

KUÇUK BOZUCU ETKİLER ALTINDA GÖÇ SİSTEMLERİNİN
DİNAMİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Taşdemir AŞAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 4 Haziran 1990

Tezin Savunulduğu Tarih :28 Eylül 1990

Tez Danışmanı : Prof.Dr.M.Emin TACER

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr.Nurdan GÜZELBEYOĞU

Prof.Dr.Nejat TUNÇAY



EYLÜL 1990

ÖNSÖZ

Elektrik Mühendisliği Lisans ve Yüksek Lisans eğitimim boyunca, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli Hocam Prof.Dr.M.Emin TACER'e, bu tezi hazırlamamda gösterdiği yoğun ilgi ve yardımlarından ötürü teşekkürü bir borç bilirim.

Eylül 1990

Taşdemir AŞAN

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
SUMMARY	vi
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. DİNAMİK ALTSİSTEMLERİN LİNEER GÖSTERİLİMLERİ. 3	3
2.1. Mekanik Altsistemler	3
2.1.1. Önısıtmasız Buhar Güç Santrali	3
2.1.2. Tandem Bağlı Tek Önısıtmalı Buhar Güç Santrali	6
2.1.3. Tandem Bağlı Çift Önısıtmalı Buhar Güç Santrali	9
2.1.4. Su Santrali.....	13
2.2. Senkron Makinaların Elektriksel Gösterilimi 15	15
2.2.1. Bir Zaman Sabiti (Birinci Derece) Model... 15	15
2.2.2. Beşinci Derece Model	16
2.2.3. Üçüncü Derece Model	22
2.3. Otomatik Gerilim Regülatörü ve Uyarma Altsistemleri	23
2.3.1. 1. Tip Otomatik Gerilim Regülatörü ve Uyarma Sistemi	23
2.3.2. 2. Tip Otomatik Gerilim Regülatörü ve Uyarma Sistemi	25
2.3.3. Güç Kararlaştırıcı Altsistemler	26
2.4. A ve B Matrislerinin Oluşturulması için Sistematik Yöntem	28
BÖLÜM 3. ENTERKONNEKTE TOPLAM SİSTEM	30
3.1. Şebeke Gösterilimi	32
3.1.1. Jacobian Matris	32
3.1.1.1. Sabit Empedanslı Yüklerin Gösterilimi.. 33	33
3.1.1.2. Sabit Akımlı Yüklerin Gösterili	34
3.1.1.3. Sabit Aktif ve Reaktif Güçlü Yüklerin Gösterilimi	34
3.1.2. Admitans (veya Empedans) Matrisi	34
3.2. Merkezden Denetim	35
3.3. Bölgelerin A ve B matrisleri	38
3.3.1. Birinci Durum: Hidro-Termal Bir Sistemin Elektro-Mekanik Gösterilimi	39
3.3.2. İkinci Durum: Sonsuz Baraya Bağlı Bir Buhar İstasyonunun Elektro-Mekanik Gösterilimi	44
BÖLÜM 4. LİNEER SİSTEM ANALİZLERİ	49
4.1. Özdeğerler ve Özvektörler	49

4.1.1. Özdeğer ve Özvektör Tanımı.....	49
4.1.2. Sayısal Hesaplama.....	50
4.2. Zaman Cevabı.....	52
4.3. Kararlılık Analizi.....	55
4.4. Özdeğer Duyarlılığı.....	56
4.5. Parametrelerin Ayarlanması.....	57
4.5.1. Genel Yöntemler.....	57
4.5.2. Lineer Programlamayla Birleştirilmiş Özdeğer Duyarlılığı.....	57
BÖLÜM 5. SAYISAL ÖRNEKLER.....	59
BÖLÜM 6. SONUÇLAR.....	74
KAYNAKLAR.....	76
EKLER.....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	117

ÖZET

Genel anlamda güç sistemlerinin kararlılığı, bütün enterkonnekte üretici ve tüketici sistemlerin paralel olarak senkron işletimlerinin sağlanmasıyla ilgilidir. Paralel çalışmadaki aksaklık, küçük veya büyük bozucu etkiler tarafından oluşabilir.

Enterkonnekte güç sistemlerinin lineer dinamik performansı, normal işletim koşullarında güç sisteminde oluşan küçük bozucu etkiler altında sistem makinalarının davranışlarıyla ilgilidir. İlk birkaç salınımda açık olarak gözlenmemesine karşılık osilasyonlar sistemin işletim karakteristiklerine bağlı belirli bir değere erişince, dinamik kararsızlık ortaya çıkar.

Bir enterkonnekte güç sisteminin küçük bozucu etkilere karşı dinamik davranışı, temel altsistem modellerinin kullanımıyla incelenmektedir. Küçük bozucu etkiler altında genel kararlılık inceleme metodu, sistemi tanımlayan diferansiyel ve cebrik denklem takımının lineerleştirilmesi olmuştur. Güç sisteminin dinamiğini gösteren eşitliklerin bir çalışma noktası civarında lineerleştirilmesi ile toplam sistem, dış girişlerden arınmış bir özerk sistem olarak elde edilebilir.

Dinamik kararlılık analizleri, altsistemlerin oluşturduğu toplam sistem matrisinin özdeğerlerinin bulunmasıyla yapılır. Asimptotik kararlılık için toplam sistem matrisinin özdeğerlerinin reel kısımları negatif işaretli olmalıdır. Dinamik kararlılığın iyileştirilmesi de özdeğer duyarlılığı ve lineer programlama kullanılarak yapılmaktadır. Lineer programlama teknikleri ile sistemin kritik özdeğerleri sol yarı düzleme kaydırılarak sistemin kararlı çalışması sağlanabilir. Lineer programlamayla birleştirilmiş özdeğer duyarlılığından yararlanarak dinamik kararlılığın oluşturulması, farklı dinamik karakteristiklere sahip güç sistemlerine başarıyla uygulanabilecek bir yöntem olarak görünmektedir.

SUMMARY

POWER SYSTEM DYNAMICS UNDER SMALL PERTURBATIONS

In recent years, electric power systems, worldwide, have grown markedly in size and complexity. In order to maximize efficiency of generation and distribution of electric power, the interconnections between individual utilities have increased and the generators have been required to operate at maximum limits for extensive periods of time. In addition, the most economic sites for generation plants are often remote from load centers and power must be transmitted over long distances. The majority of power system interconnections are made through AC transmission lines and the interconnected system, there may be thousands of synchronous generators in service to supply the load.

With the advent of interconnection of large electric power systems, many new dynamic power system problems have emerged. A problem of much interest in the study of large electric power systems is the elimination of low-frequency oscillations, which often arise between coherent areas within a power network. These oscillations are related to the dynamics of interarea power transfer and often exhibit little damping. With the utilities increasing power exchanges over greater distances and in greater amounts, the use of conventional power system stabilizers may not provide sufficient damping for these interarea modes.

The reliability of the interconnected system is enhanced by virtue of the capability of transferring power readily from one area to others within the system. But in the meantime, the multiple interconnections of multi-areas make the system much more vulnerable to instability, not only because of the complexity of multi-area interconnections but also because of the drastic reduction of spinning reserves of individual areas.

The stability characteristics of large electric power systems is too varied to permit a simple classification of all behavior, and it is not possible to separate all analyses into simple categories. Because of their essential nonlinearity, the stability of power systems depends on the severity of the applied disturbances. Criteria for power system design specify the types of fault the system must be able to withstand without major loss of synchronism and consequent breakup. It is also

critical that the power system remains stable while operating with no faults. Power system analysis refer to these separate, but related, stability problems as transient stability and dynamic (small-signal) stability.

Transient stability studies are limited to relatively short time intervals, typically is or less. They are most often used to determine the stability of a single unit or plant during the initial period of high stress immediately following a nearby fault. On the other side, dynamic stability studies cover longer real-time intervals.

In general the system operating conditions are restricted most by the need to maintain transient stability. In recent years, however, as power systems have been operated with higher power transfer levels to meet economic constraints, dynamic stability problems have become apparent. In order to achieve the required high transfers of power, the controls associated with the generators have become critical.

The dynamic stability of electric power systems has been a subject of major theoretical and practical interest since the advent of interconnection of large electric power systems, and it continues to grow in importance as the control requirements of the power plants become more sophisticated and demanding.

This thesis is concerned with the representation of steam and hydraulic turbines, their speed-governing systems, synchronous generator models, control system of the various voltage regulators and excitation systems now available. Basic models for turbines in power system stability analyses are presented. These models provide adequate representations for mechanical and electrical subsystems of an interconnected power system in most stability analyses.

In this study, the mathematical model of a multi-machine system has been obtained by linearizing the system equations about an operating point.

Dynamic performance for small perturbations of an interconnected power system is studied using basic models which are given in this report. The general method of studying stability under small perturbations has been to linearize the set of differential and algebraic equations describing the interconnected system.

The mathematical description of such model before linearization is made up of the following two types of equations.

1. Subsystem equations (Dynamics)

$$\dot{x}_i = f_i(x_i, u_i, t) \quad (1)$$

$$y_i = g_i(x_i, u_i, t) \quad (2)$$

where x_i : state variables of subsystem i

\dot{x}_i : time derivate of x_i

u_i : input variables of subsystem i

y_i : output variables of subsystem i

f_i, g_i : time-varying nonlinear functions.

2. Interconnection equations (Topology)

$$U = FY + GV \quad (3)$$

$$W = JY + KV \quad (4)$$

where U : vector of all u_i

Y : vector of all y_i

V : overall system input variables

W : overall system output variables

F, G, J, K : time-varying interconnection (incidence) matrices.

After linearization of the equations representing the power system dynamic around an operating point, which will represent the behavior of the system under small perturbations, and accounting for the interconnection equations, the total system of equations can be represented by an autonomous system of equations without external inputs in the state space form:

$$\dot{X} = AX$$

where X : vector of state variables of the autonomous system

\dot{X} : vector of time derivate of X

A : coefficient matrix of the total system.

The solution of Equation (5) have the general form:

$$X = C_1 M_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 M_2 e^{\lambda_2 t} + \dots + C_n M_n e^{\lambda_n t} \quad (5)$$

where α_i : eigenvalues of the matrix A

M_i : corresponding eigenvectors of the matrix A

C_i : arbitrary constants determined from initial conditions

Analysis of dynamic stability is done by finding the eigenvalues of the matrix A which can be obtained by the techniques studies in this report. Improvemens of dynamic stability can be done using eigenvalue sensitivities and linear programming.

This method using eigen-value sensitivities and linear programming is developed to select the relevant parameters of a linearized dynamic power system in order to maximize shifting the critical eigen-values to the left at a given operating condition to improve system stability.

In this method, parameters of interconnected systems can be selected without neglecting interaction between dynamic subsystems. The method is general and can be used to select the best parameters for any linearized interacting dynamic systems, optimizing cost and dynamic performance.

The sensitivity matrix relating the change of system eigen-values with respect to its parameters is utilized to develop an iterative algorithm employing linear programming techniques to shift the system's critical eigen-values to the left. The flow chart of this algorithm is given in the following figure.

The method developed in this study to optimize shifting the system's critical eigen-values using linear programming techniques has been successfully applied to power systems with different dynamic characteristics.

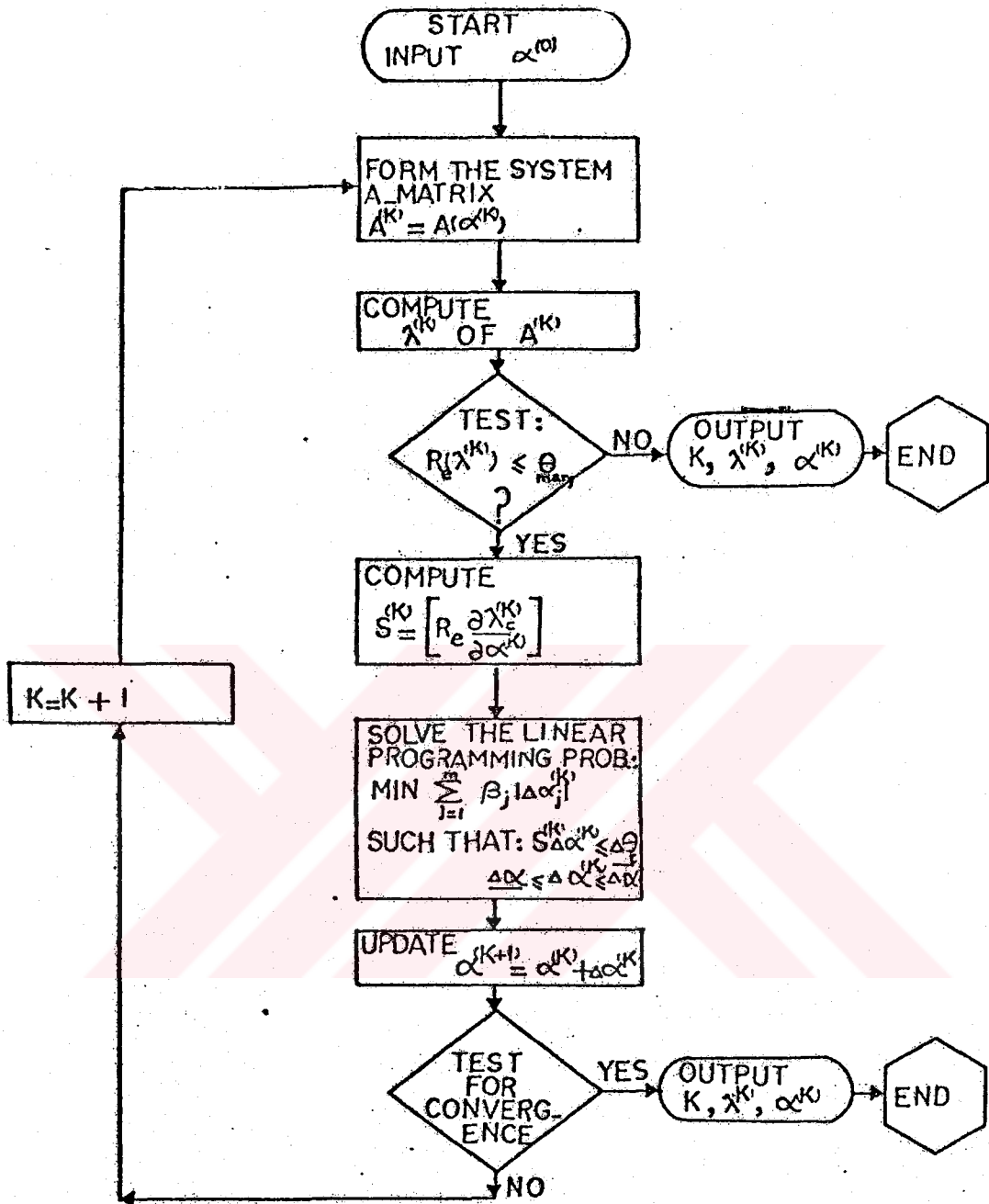


Figure. Flow Chart of the Linear Programming Algorithm Used to Shift the System's Critical Eigen-Values.

BÖLÜM 1.

GİRİŞ

Bir enterkonnekte güç sistemi birbirine göre hareketli altsistemlerin birleşiminden oluşur. Sistemi oluşturan elemanların özellikleri nedeniyle güç sistemi iki grupta toplanabilir.

1. Güç Altsistemleri
 - a. Mekanik enerji sağlayan makinalar (türbin)
 - b. Üreteçler (senkron generatör)
 - c. Transformatörler
 - d. Enerji İletim Sistemi
 - e. Elektriksel-Yükler
2. Kontrol Altsistemleri
 - a. Tahrik sistemlerine ilişkin mekanik regülatörler.
 - b. Senkron generatöre ilişkin gerilim regülatörleri, uyarma sistemi ve güç kararlaştırıcı altsistemler.
 - c. Röleler ve açma-kapama elemanları

Sistemin güvenilirliği ve kararlılığı bütün bu altsistemlerin uyumlu bir biçimde işletimine bağlıdır. Uyumlu işletim için mekanik giriş enerjisi ile elektriksel çıkış enerjisi arasında sürekli bir dengenin olması gerekir. Bütün bunların ışığı altında, güç sistemlerinin kararlılığı, üretici ve tüketici sistemlerin her türlü bozucu etki altında paralel olarak senkron işletimlerinin sağlanması olarak tanımlanabilir. Bozucu etki altındaki güç sisteminin analizinin oldukça karmaşık olması, bozucu etki tiplerinin (küçük ve büyük bozucu etkiler) ve sürelerinin farklılığı nedeniyle sistemin kararlılık açısından

analizinin sınıflandırılması gereği ortaya çıkar. Bu sınıflandırma, geçici, dinamik ve sürekli hal kararlılık analizleri olarak yapılır. Geçici hal kararlılık analizi senkronizmanın ani olarak kaybının sözkonusu olduğu büyük bozucu etkilere karşı sistem cevabının incelenmesidir. Dinamik kararlılık, birkaç saniyelik geçici olay süresince küçük bozucu etkiler altındaki sistemin davranışı ile ilgilidir. Beklenen yük değişimleri ya da üretim planında, sistem kapasitesinin 1/100'ü mertebesinde olabilecek değişikliklere karşı sistem cevabı sürekli hal kararlılık analizi ile elde edilir.

Küçük bozucu etkiye maruz kalan güç sisteminin kararlılık analizinin yapılabilmesi için, enterkonnekte sistemi oluşturan mekanik ve elektriksel altsistemlere ait lineerleştirilmiş matematiksel modellere gerek vardır. Bölüm 2'de bu altsistemlere ait IEEE Komite Raporlarında yayınlanmış temel modellerin lineerleştirilmiş eşitlikleri ve bunlara ait sistem gösterimleri verilmektedir. Bölüm 2'de verilen bu altsistem modellerinden yararlanılarak elde edilen iki farklı sistem için durum uzayı modelleri ve bunlara ait sistem matrisleri Bölüm 3'de gösterilmektedir. Bölüm 4 lineer sistem analizleri ve dinamik kararlılık incelemelerini vermektedir. Bunların yanı sıra Bölüm 4'deki kararlılık analizlerinde kullanılan özdeğer duyarlılığı ve kararlılık iyileştirmelerini yapabilmeyi sağlayan bilgisayar programları eklerde verilmektedir.

BÖLÜM 2.

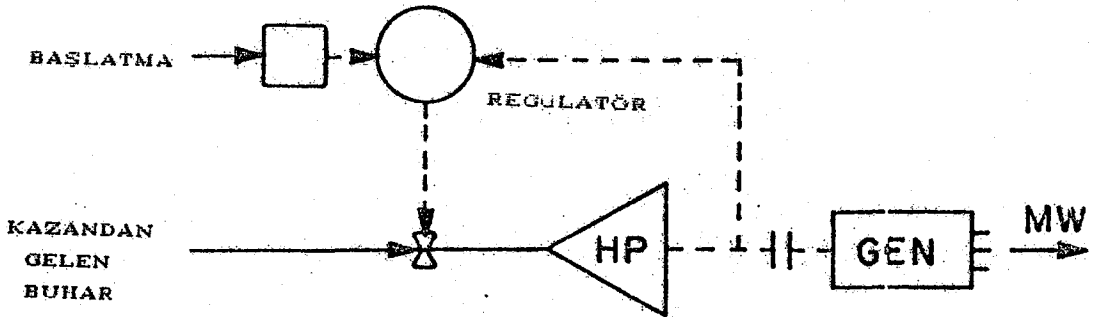
DİNAMİK ALT SİSTEMLERİN LİNEER GÖSTERİLİMLERİ

Bu bölümde bir güç sisteminde bulunan farklı alt sistemlerin temel modelleri ele alınmış ve dinamik davranışlarını gösteren bir çalışma noktası etrafında lineerleştirilmiş matematiksel modelleri verilmiştir. Türbinler gerilim regülatörleri, hız ayar sistemleri ve uyarma sistemleri için temel modeller, elektrik mühendisliğinde güç sistemleri kararlılık analizleri için benimsenmiş modelleri içeren IEEE Komite Raporlarından alınmıştır [1,2].

2.1. Mekanik Alt Sistemler

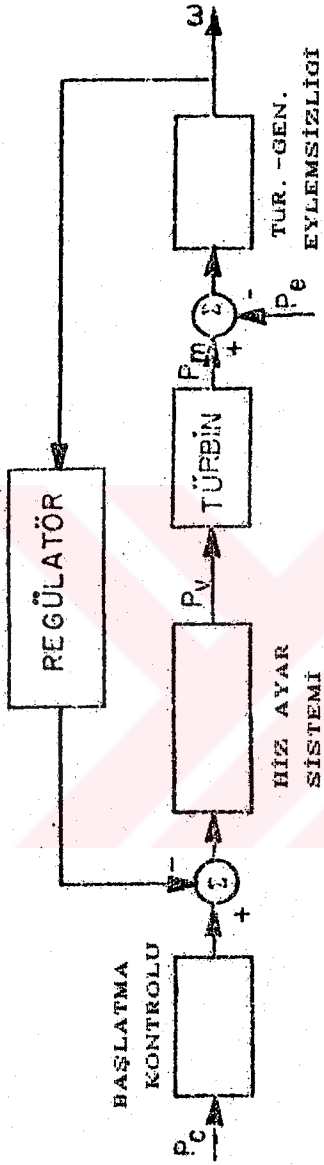
2.1.1. Ön Isıtmasız Buhar Güç Santrali [1]

Bu altsisteme ait blok diyagramı ve lineerleştirilmiş matematiksel model sırasıyla Şekil 2.2 ve 2.3'de gösterilmiştir. Bu modelde kazanın dinamik davranışının oldukça yavaş olduğu kabul edilmiştir. Bu varsayım la buhar kaynağının sonsuz olduğu vurgulanır.

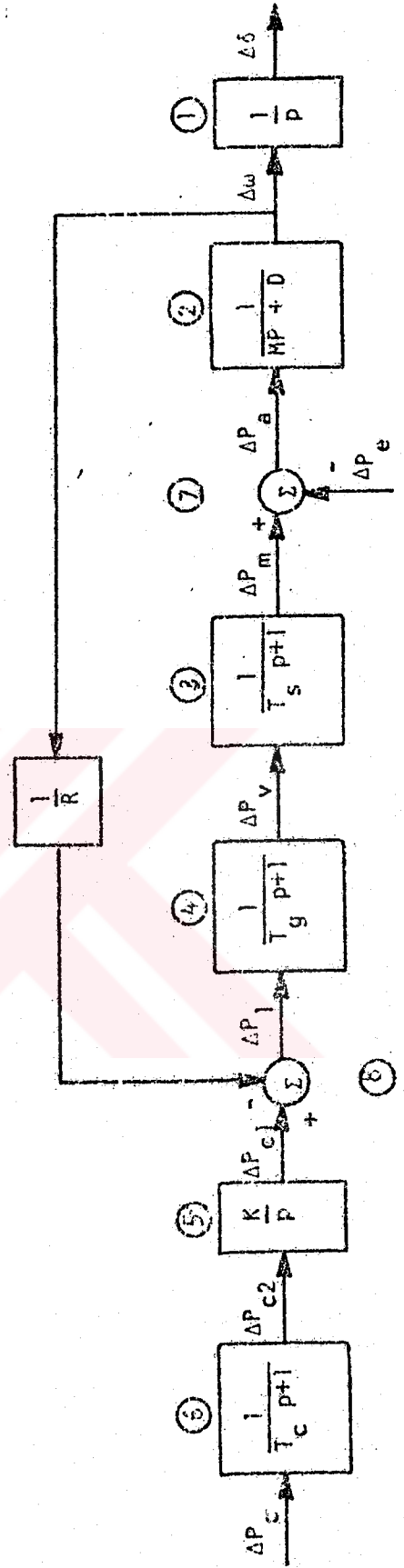


Şekil 2.1. Önısıtmasız buhar santrali modeli.

Lineerleştirilmiş matematiksel modeli oluşturan 8 eşitliğin herbiri Şekil 2.3'deki daire içine alınmış numaraların gösterdiği blok veya toplama noktalarından elde edilmiştir. Bu denklem takımı aşağıdaki gibi bir matrisel gösterilimle ifade edilebilir.



Şekil 2.2. Önısıtmasız buhar güç santrali blok diyagramı



Şekil 2.3. Önısıtmasız buhar güç santrali lineer model

$\dot{\Delta\delta}$		1										$\Delta\delta$
$\dot{\Delta\omega}$		$-\frac{D}{M}$								$\frac{1}{M}$		$\Delta\omega$
$\dot{\Delta P}_m$			$-\frac{1}{T_s}$	$\frac{1}{T_s}$								ΔP_m
$\dot{\Delta P}_v$				$-\frac{1}{T_g}$							$\frac{1}{T_g}$	ΔP_v
$\dot{\Delta P}_{c1}$	=					K						ΔP_{c1}
$\dot{\Delta P}_{c2}$						$-\frac{1}{T_c}$		$\frac{1}{T_c}$				ΔP_{c2}
q			1				-1		-1			ΔP_e
0		$-\frac{1}{R}$										ΔP_c
												ΔP_a
												ΔP_l

(2.1)

Yukarıdaki matrisel gösterimin son iki satır ve sütununun Kron Rotasyonel Dönüşümü ile eliminasyonundan sonra dinamik model şu şekilde verilebilir.

$$\dot{X} = AX + BU \quad (2.2)$$

Bu eşitlikte

$$X^T = [\Delta\delta, \Delta\omega, \Delta P_m, \Delta P_v, \Delta P_{c1}, \Delta P_{c2}] \quad (2.3)$$

(Durum Değişkenleri) $\dot{X}=X$ vektörünün zamana göre türevi

$$U^T = [\Delta P_e, \Delta P_c] \quad (\text{giriş değişkenleri}) \quad (2.4)$$

$$A = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & & & & \\ \hline & \frac{D}{M} & \frac{1}{M} & & & \\ \hline & & \frac{1}{T_s} & \frac{1}{T_s} & & \\ \hline & \frac{1}{RT_g} & & \frac{1}{T_g} & \frac{1}{T_g} & \\ \hline & & & & & K \\ \hline & & & & & \frac{1}{T_c} \\ \hline \end{array} \quad (2.5)$$

$$B^T = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline & \frac{1}{M} & & & & \\ \hline & & & & & \frac{1}{T_c} \\ \hline \end{array} \quad (2.6)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Ayrıca (2.5) ve (2.6) eşitliklerindeki

M: Momentum eylemsizlik sabiti

D: Viskoz sürtünme katsayısı

R: Sürekli hal hız ayarı

T_s : Türbin zaman sabiti

T_g : Regülatör zaman sabiti

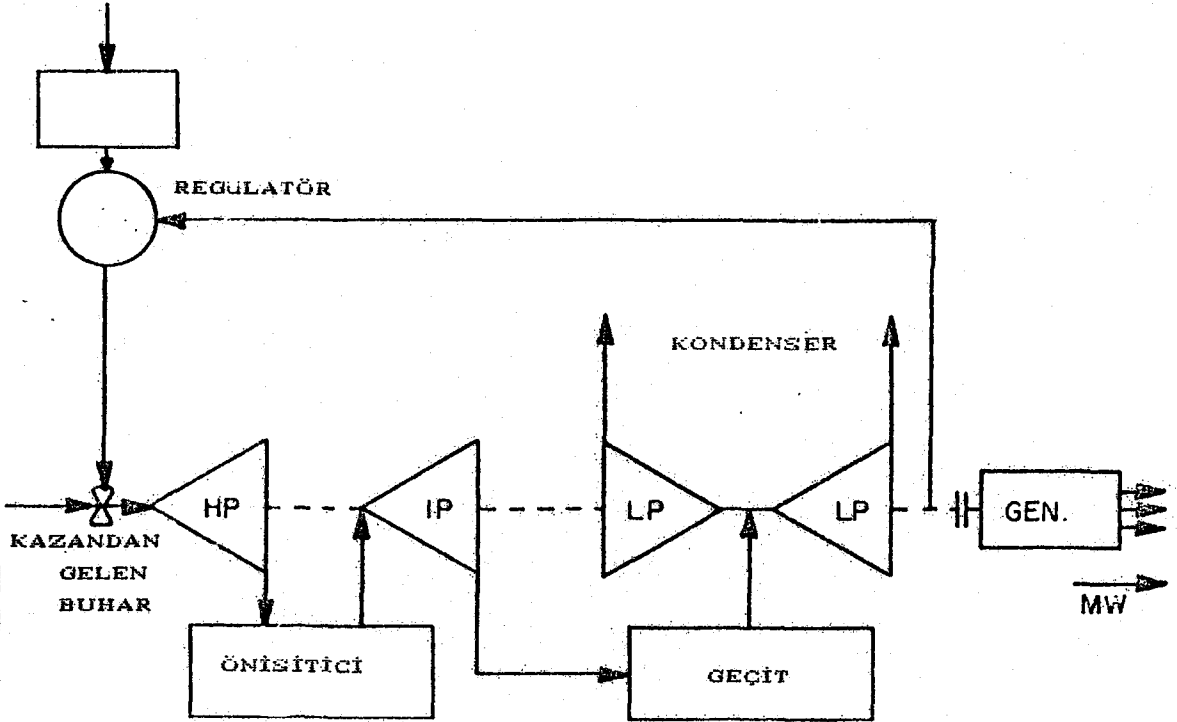
K : Başlatma kontrol kazancı

T : Başlatma kontrol zaman sabitini

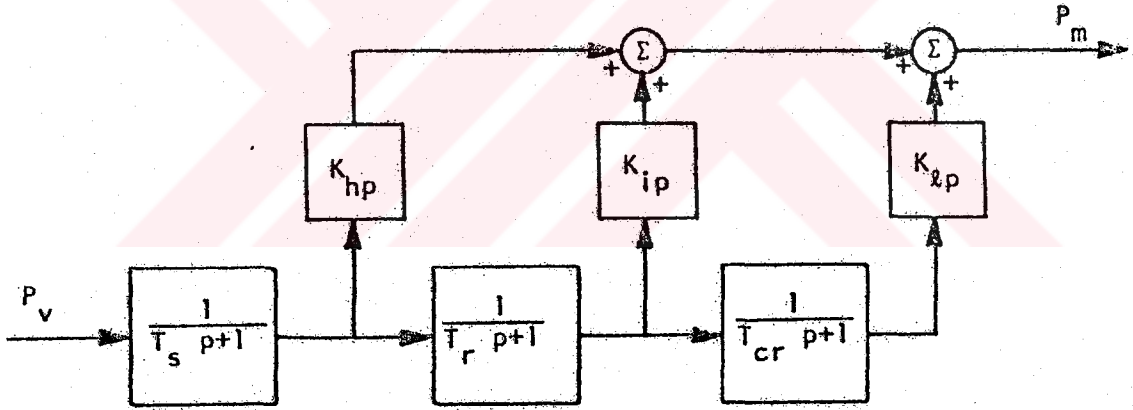
göstermektedir.

2.1.2. Tandem Bağlı Tek Önısıtmalı Buhar Güç Santrali [1]

Bu güç santraline ait blok diyagram Şekil 2.2'de kinin aynısıdır. Ancak türbine ait transfer fonksiyonu ayrıca Şekil 2.5'de verilmiştir. Şekil 2.6'da ise bu alt sistemin lineerleştirilmiş bir modeli gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Tandem bağlı, tek önısıtmalı buhar santrali modeli.

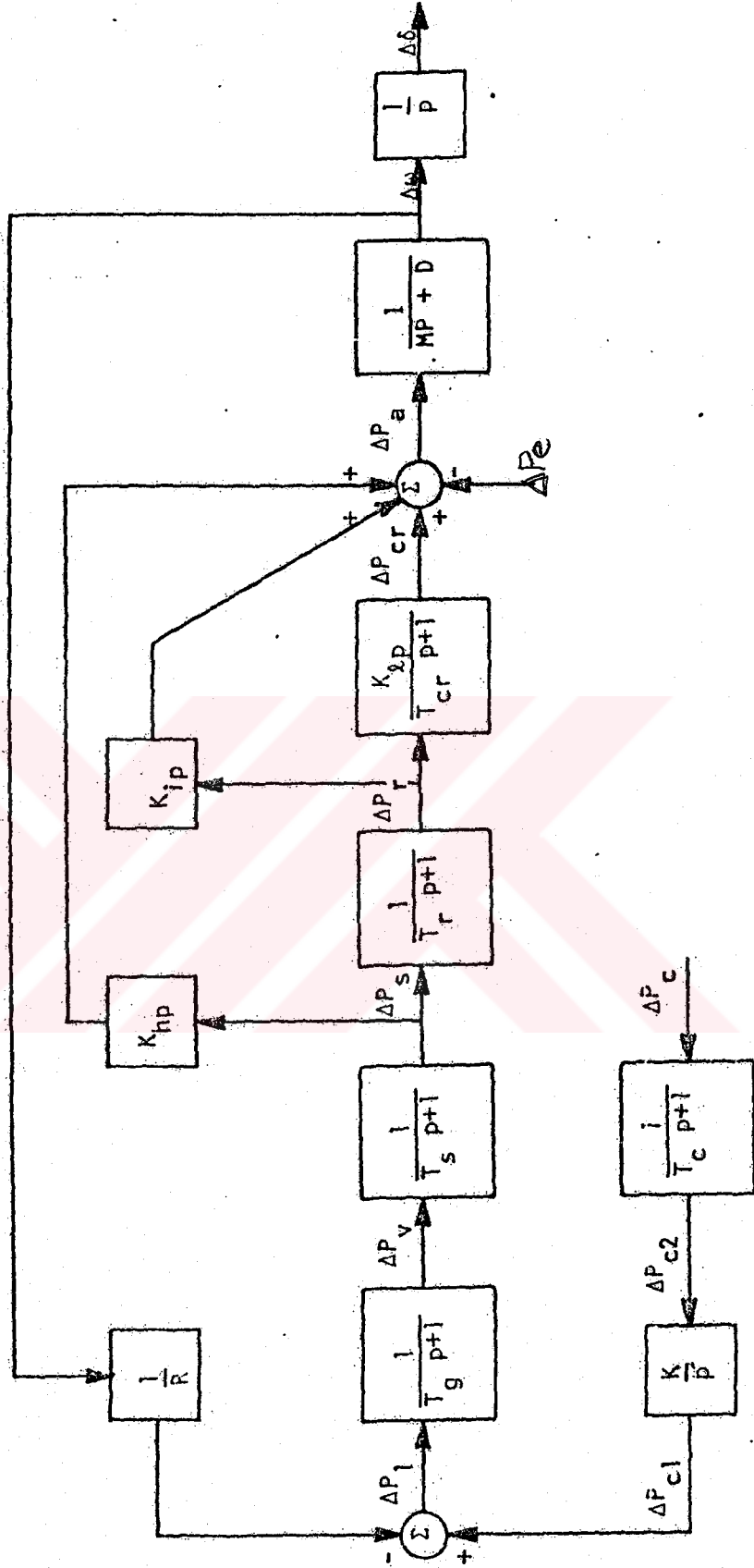


Şekil 2.5. Tek önısıtmalı buhar türbinine ait transfer fonksiyonları.

Yeniden ısıtmasız buhar santrali modelinde uygulanan yöntemlerle bu altmodelin dinamiği aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\dot{X} = AX + BU \quad (2.2)$$

Bu gösterilimdeki vektör ve matrisler şöyle tanımlanır.



Şekil 2.6. Tandem bağlı tek ünitesiz buhar güç santrali lineerleştirilmiş matematiksel modeli.

$$X^T = [\Delta\delta, \Delta\omega, \Delta P_{cr}, \Delta P_r, \Delta P_s, \Delta P_v, \Delta P_{c1}, \Delta P_{c2}] \quad (2.7)$$

(Durum Değişkenleri)

$$U^T = [\Delta P_e, \Delta P_c] \quad (2.8)$$

$$A = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & & & & & & \\ \hline & \frac{D}{M} & \frac{1}{M} & \frac{K_{ip}}{M} & \frac{K_{hp}}{M} & & & \\ \hline & & \frac{1}{T_{cr}} & \frac{K_{lp}}{T_{cr}} & & & & \\ \hline & & & \frac{1}{T_r} & \frac{1}{T_r} & & & \\ \hline & & & & -\frac{1}{T_s} & \frac{1}{T_s} & & \\ \hline & \frac{-1}{RT_g} & & & & \frac{1}{T_g} & \frac{1}{T_g} & \\ \hline & & & & & & & K \\ \hline & & & & & & & \frac{1}{T_c} \\ \hline \end{array} \quad (2.9)$$

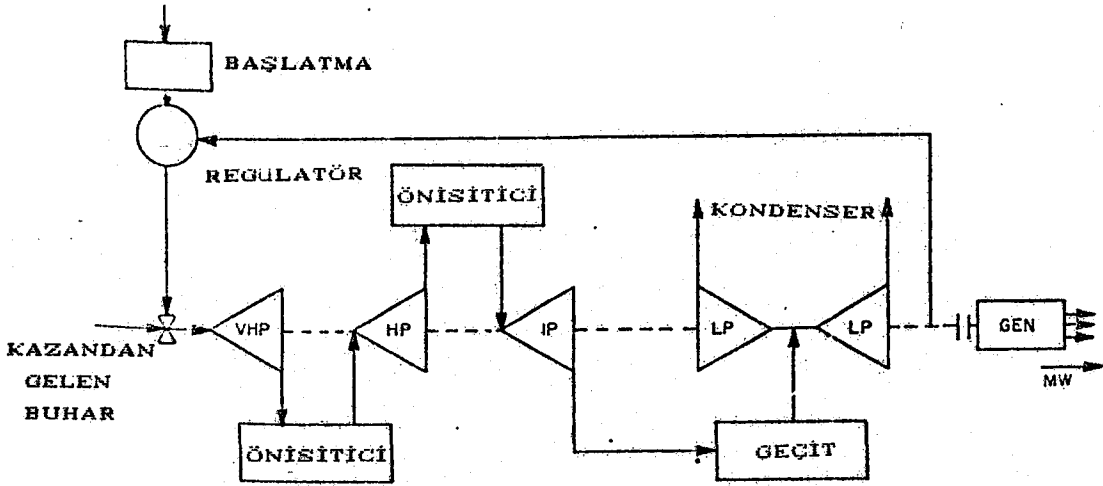
$$B^T = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline & \frac{1}{M} & & & & & & \\ \hline & & & & & & & \frac{1}{T_c} \\ \hline \end{array} \quad (2.10)$$

Bu modelde kullanılan yeni parametreler:

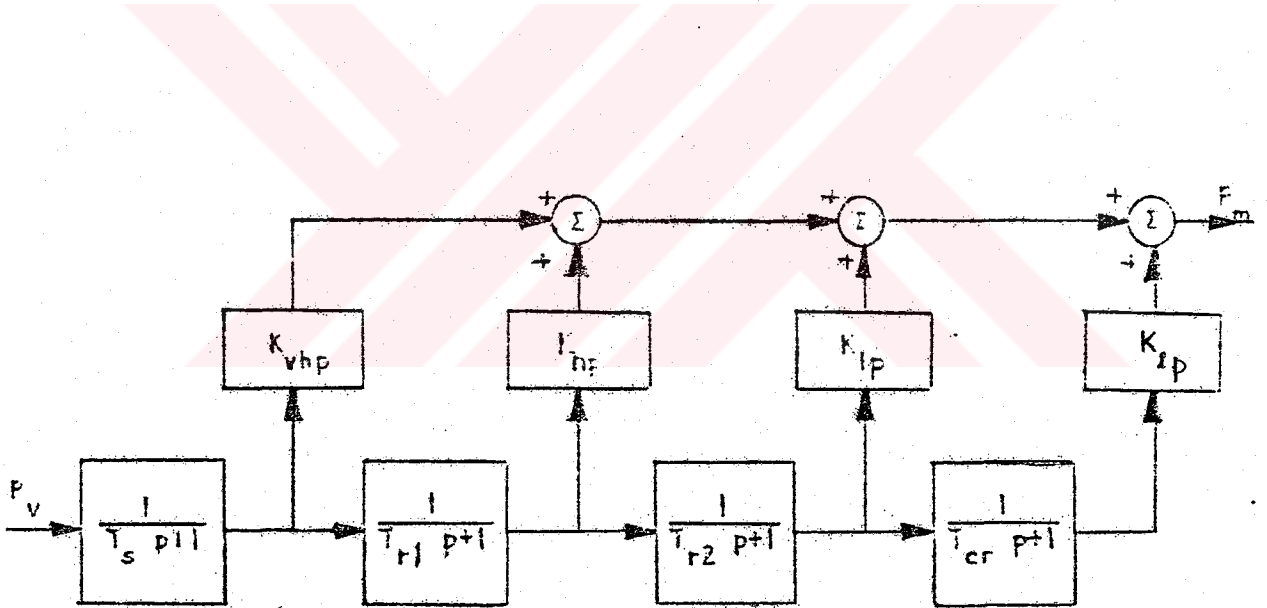
- K_{hp} : Yüksek basınçlı türbin gücü oranı
- K_{ip} : Orta basınçlı türbin gücü oranı
- K_{lp} : Alçak basınçlı türbin gücü oranı
- T_r : Önısıtma zaman sabiti
- T_{cr} : Köprü zaman sabiti

2.1.3. Tandem Bağlı Çift Önısıtmalı Buhar Güç Santrali [1]
Çift önısıtmalı sistem Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Buna ait blok diyagram Şekil 2.2'dekinin aynıdır. Ancak türbinin transfer fonksiyonu farklı olarak Şekil 2.8'de ve lineerleştirilmiş matematiksel model de Şekil 2.9'da

verilmiştir.



Şekil 2.7. Tandem bağlı çift önısıtmalı sistem.

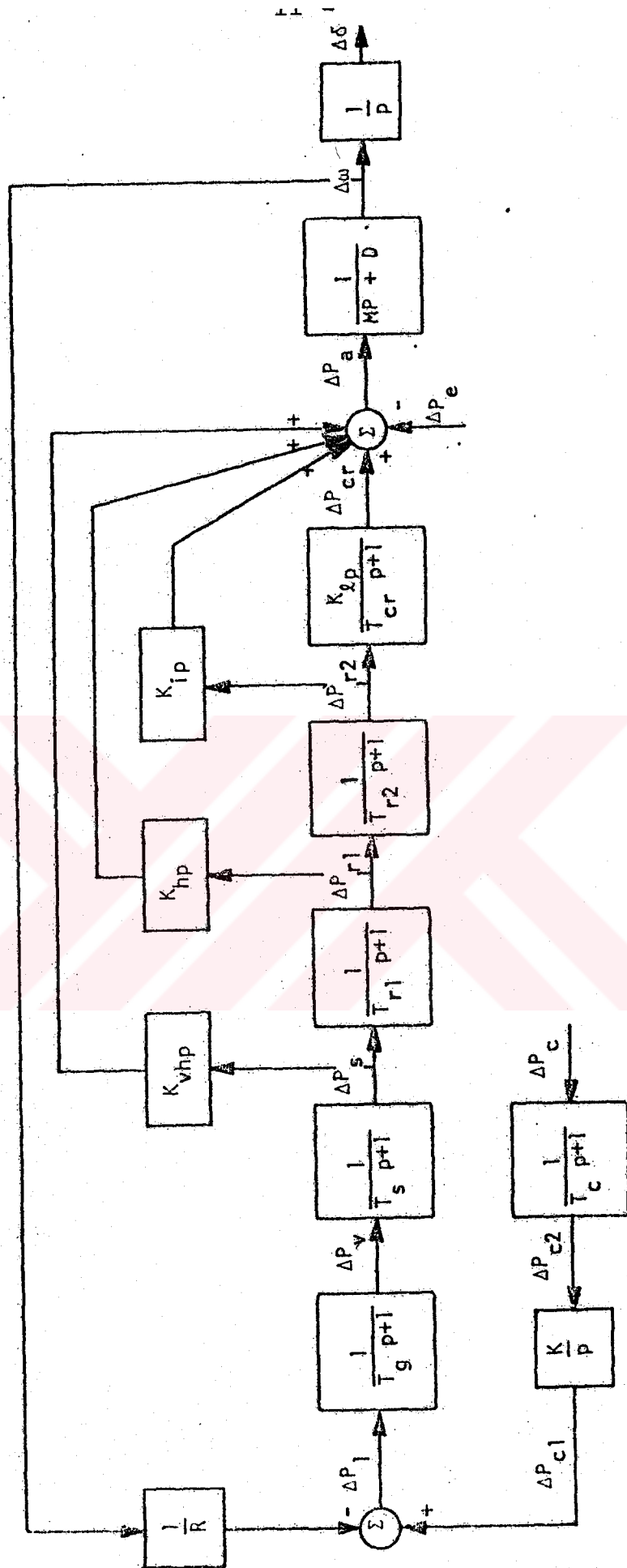


Şekil 2.8. Çift önısıtmalı buhar türbini transfer fonksiyonu.

Önceki modellerde izlenen aynı yolla modelin dinamik modeli aşağıdaki biçimiyle elde edilir.

$$\dot{X} = AX + BU$$

$$(2.2)$$



Şekil 2.9. Çift önisitçülü buhar türbini lineerleştirilmiş matematiksel modeli.

Bu eşitlikte

$$X^T = [\Delta\delta, \Delta\omega, \Delta P_{cr}, \Delta P_{r2}, \Delta P_{r1}, \Delta P_s, \Delta P_v, \Delta P_{cl}, \Delta P_{c2}] \quad (2.11)$$

$$U^T = [\Delta P_e, \Delta P_c]$$

$$A = \begin{array}{c|cccccccc} & 1 & & & & & & & \\ \hline & \frac{D}{M} & \frac{1}{M} & \frac{K_{ip}}{M} & \frac{K_{hp}}{M} & \frac{K_{vhp}}{M} & & & \\ \hline & & \frac{1}{T_{cr}} & \frac{K_{lp}}{T_{cr}} & & & & & \\ \hline & & & \frac{1}{T_{r2}} & \frac{1}{T_{r2}} & & & & \\ \hline & & & & \frac{1}{T_{r1}} & \frac{1}{T_{r1}} & & & \\ \hline & & & & & \frac{1}{T_s} & \frac{1}{T_s} & & \\ \hline & & & & & & \frac{1}{T_g} & \frac{1}{T_g} & \\ \hline & & & & & & & & K \\ \hline & & & & & & & & \frac{1}{T_c} \end{array} \quad (2.12)$$

$$B^T = \begin{array}{c|cccccccc} & -\frac{1}{M} & & & & & & & \\ \hline & & & & & & & & \frac{1}{T_c} \end{array} \quad (2.13)$$

olarak tanımlanmıştır. Çift ön ısıtıcılı bu modelde karşılaşılan yeni parametreler:

- K_{vhp} : Çok yüksek basınçlı türbin gücü oranı
- T_{r1} : 1. önısıtıcı zaman sabiti
- T_{r2} : 2. önısıtıcı zaman sabiti

2.1.4. Su Santrali [1]

Su santrali güç sistemine ait gösterilim ve transfer fonksiyonları Şekil 2.1 ve 2.2'dekilerle aynıdır. Su santrali sisteminin lineerleştirilmiş matematiksel modeli Şekil 2.10'da gösterilmektedir. Bu modelin dinamik hali $\dot{X} AX+BU$ denklem sistemiyle tanımlıdır. Bu eşitlikte

$$X^T = [\Delta\delta, \Delta\omega, \Delta P_m, \Delta P_v, \Delta P_g, \Delta P_{c1}, \Delta P_{c2}] \quad (2.14)$$

$$U^T = [\Delta P_e, \Delta P_c] \quad (2.15)$$

$$A = \begin{bmatrix} & 1 & & & & & \\ & \frac{D}{M} & \frac{1}{M} & & & & \\ & & -\frac{2}{T_w} & \frac{2(T_g + T_w)}{T_g T_w} & -\frac{2}{T_g} & & \\ & & & -\frac{1}{T_g} & \frac{1}{T_g} & & \\ \frac{DT_r - M}{rMT_r} & -\frac{1}{rM} & & & -\frac{R}{rT_r} & -\frac{R}{rT_r} & -\frac{KR}{r} \\ & & & & & & K \\ & & & & & & -\frac{1}{T_c} \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

$$B^T = \begin{bmatrix} & \frac{1}{M} & & & \frac{1}{rM} & & \\ & & & & & & \frac{1}{T_c} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

olarak tanımlanmıştır.

Su santralına ait özel parametrelerin tanımları aşağıda verilmiştir:

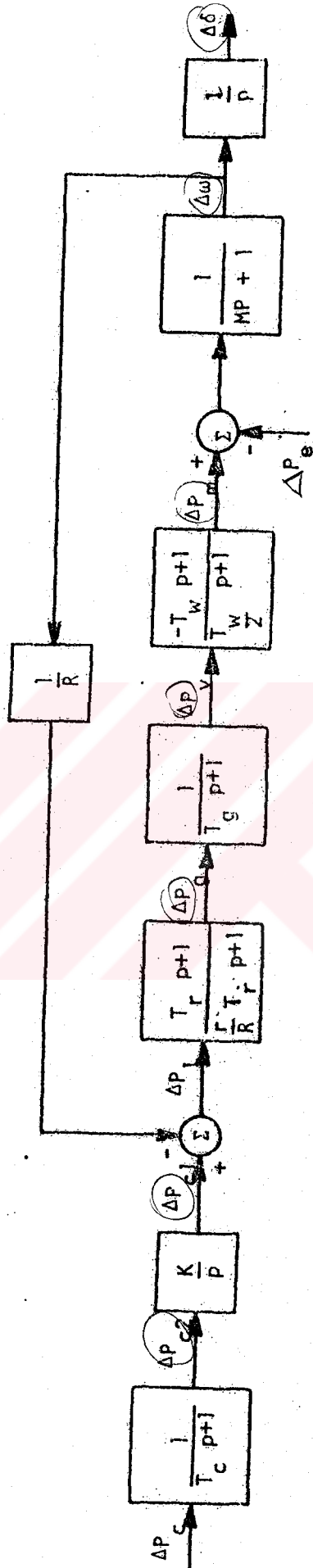
M : Momentum eylemsizlik sabiti

D : Sönüm katsayısı

R : Sürekli hal hız ayarlaması

r : Geçici hız ayarlaması

T_w : Oluklardaki suyun zaman sabiti



Şekil 2.10. Su santrali lineerleştirilmiş matematiksel modeli.

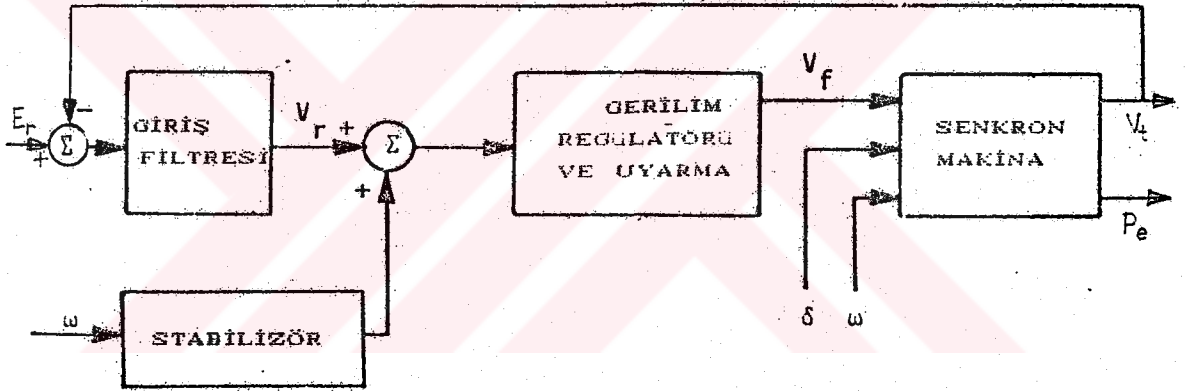
- T_g : Regülatör zaman sabiti
 T_r : Geçici düşü zaman sabiti
 K : Başlama kontrol kazancı
 T_c : Başlama kontrol zaman sabiti

2.2. Senkron Makinaların Elektriksel Gösterilimi

Senkron makinaların dinamik davranışlarının incelenmesi için çeşitli varsayımlara göre farklı modeller bulunmaktadır. Aşağıda bu modellerden en çok kullanılan ve en verimli üç tanesi incelenmiştir.

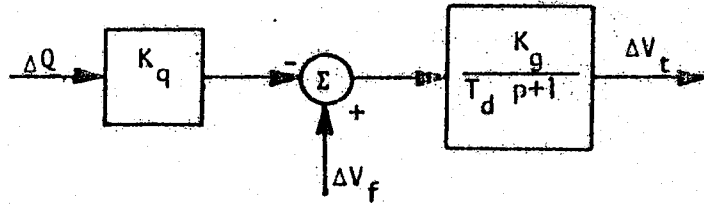
2.2.1. Bir Zaman Sabitli (Birinci derece) Model [3]

Uyarma, gerilim regülatörü ve stabilizatörü de içeren senkron makina genel sisteminin şematik gösterilimi Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.11. Senkron makinanın genel sistem gösterilimi.

Şekil 2.12'de bir zaman sabitli senkron makinanın lineerleştirilmiş matematiksel modeli gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Bir zaman sabitli lineerleştirilmiş matematiksel model.

Bu modelin dinamiği aşağıdaki eşitlikte verilir.

$$\dot{X} = AX + BU \quad (2.2)$$

Burada,

$$X = \Delta V_t \quad (2.18)$$

$$U^T = [\Delta V_f, \Delta Q] \quad (2.19)$$

$$A = \begin{bmatrix} -1 \\ T_d \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

$$B = \begin{bmatrix} K_g \\ T_d \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} K_q K_g \\ T_d \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

olarak elde edilir. Ayrıca,

T_d : Alternatör doğru eksen zaman sabiti

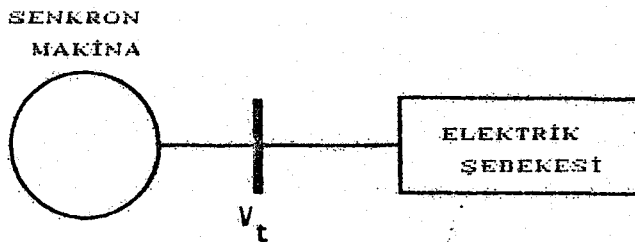
K_g : Alternatör gerilim kazancı

K_q : Armatür reaksiyon sabitidir.

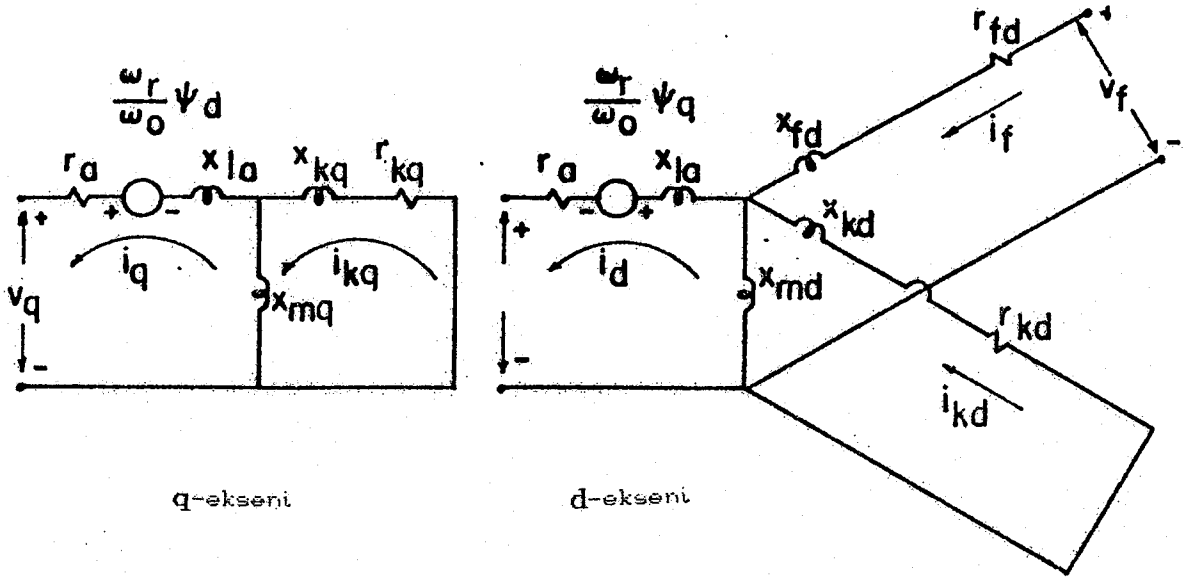
2.2.2. Beşinci Derece Model [3,4]

Senkron makinanın lineer gösterilimi 5 sargılı Park Eşikleri düşünülerek elde edilir. Beş birinci dereceden diferansiyel eşitlik hareket denklemleri için ayrı ayrı elde edilir. Bu elektriksel gösterilim d-q eksenlerini kullanır ve bu eksenler sönüm sargılarını da içerir.

Senkron makinanın model çizimi Şekil 2.13'de verilmiştir. Park Dönüşümlerinin sonucunda ortaya çıkan eşdeğer elektriksel devreler de Şekil 2.14'de gösterilmektedir.



Şekil 2.13. Senkron Makinanın Modeli.



Şekil 2.14. Senkron makinanın eşdeğer elektriksel devresi.

Modelde kullanılacak parametre ve notasyonlar aşağıda verilmektedir.

- v_q : q-ekseni uç gerilimi
- v_d : d-ekseni uç gerilimi
- v_f : uyarma gerilimi
- i_q : q-ekseni akımı
- i_d : d-ekseni akımı
- i_{kq} : q-ekseni sönüm sargısı akımı
- i_{kd} : d-ekseni sönüm sargısı akımı
- i_f : uyarma akımı
- ω : rotor açısal hızı
- ω_o : senkron açısal hız
- p : d/dt türev operatörü
- δ : q-ekseni ve a-fazı arasındaki rotor açısı (yük açısı)
- V_t : Makina uçlarındaki gerilimin genliği
- r_a : Armatür sargıları direnci
- X_{la} : Armatür sargıları kaçak reaktansı
- r_{fd} : uyarma sargısı direnci
- X_{lfd} : uyarma sargısı kaçak reaktansı
- r_{kd} : d-ekseni sönüm sargısı direnci

- $X_{\ell kd}$: d-ekseni sönüm sargısı kaçak reaktansı
 r_{kq} : q-ekseni sönüm sargısı direnci
 $X_{\ell kq}$: q-ekseni sönüm sargısı kaçak reaktansı
 X_{md} : d-ekseni magnetik reaktansı
 X_{mq} : q-ekseni magnetik reaktansı

Generatör olarak çalışmayı gösteren pozitif akımlı Park Denklemleri aşağıda verilmektedir.

$$v_q = \frac{p}{\omega_o} \psi_q + \psi_d \frac{\omega}{\omega_o} - r_a i_q \quad (2.22)$$

$$v_d = \frac{p}{\omega_o} \psi_d - \psi_q \frac{\omega}{\omega_o} - r_a i_d \quad (2.23)$$

$$0 = \frac{p}{\omega_o} \psi_{kq} + r_{kq} i_{kq} \quad (2.24)$$

$$0 = \frac{p}{\omega_o} \psi_{kd} + r_{kd} i_{kd} \quad (2.25)$$

$$v_f = \frac{X_{md}}{r_{fd}} \left[\frac{p}{\omega_o} \psi_{fd} + r_{fd} i_f \right] \quad V_f = R_{fd} i_{fd} + \frac{d\psi_{fd}}{dt} \cdot \frac{1}{\omega_o} \quad (2.26)$$

Bu denklemlerde;

$$\psi_q = \psi_{mq} - X_{\ell a} i_q \quad (2.27)$$

$$\psi_d = \psi_{md} - X_{\ell a} i_d \quad (2.28)$$

$$\psi_{kd} = \psi_{md} + X_{\ell kd} i_{kd} \quad (2.29)$$

$$\psi_{kq} = \psi_{mq} + X_{\ell kq} i_{kq} \quad (2.30)$$

$$\psi_{fd} = \psi_{md} + X_{\ell fd} i_f \quad (2.31)$$

$$\psi_{md} = X_{md} (i_{kd} + i_{fd} - i_d) \quad (2.32)$$

$$\psi_{mq} = X_{mq}(i_{kq} - i_q) \quad (2.33)$$

olarak kullanılmıştır. Bu makina modelinde ortaya çıkan makina parametreleri aşağıda tanımlanmıştır [16].

- X_d : d eksen senkron reaktansı
- X_q : q eksen senkron reaktansı
- X'_d : d eksen geçici reaktansı
- X'_q : q eksen geçici reaktansı
- X''_d : d eksen altgeçici reaktansı
- X''_q : q eksen altgeçici reaktansı
- X_2 : negatif seri reaktans
- X_0 : sıfır seri reaktansı
- X_{la} : armatür sargısı kaçak reaktansı
- r_a : armatür sargısı direnci
- T'_{do} : uyarma açık devre zaman sabiti
- T''_{do} : d-ekseni sönüm sargısı açık devre zaman sabiti
- T''_{qo} : q-ekseni sönüm sargısı açık devre zaman sabiti

$$X_{md} = X_d - X_{la} \quad (2.34)$$

$$X_{mq} = X_q - X_{la} \quad (2.35)$$

$$X_{lfd} = \frac{X_{md}(X'_d - X_{la})}{X_{md}(X'_d - X_{la})} \quad (2.36)$$

$$X_{fd} = X_{lfd} + X_{md} \quad (2.37)$$

$$X_{lkd} = \frac{(X''_d - X_{la}) X_{md} X_{fd}}{X_{lfd} X_{md} - (X''_d - X_{la}) X_{fd}} \quad (2.38)$$

$$X_{kd} = X_{lkd} + X_{md} \quad (2.39)$$

$$X_{\ell kq} = \frac{(X_q'' - X_{\ell a}) X_{mq}}{X_{mq} - (X_q'' - X_{\ell a})} \quad (2.40)$$

$$X_{kq} = X_{\ell kq} + X_{mq} \quad (2.41)$$

$$r_{fd} = \frac{X_{fd}}{\omega_o T_{do}'} \quad (2.42)$$

$$r_{kd} = \frac{X_d' + X_{\ell kd} - X_{\ell a}}{\omega_o T_{do}''} \quad (2.43)$$

$$r_{kq} = \frac{X_{kq}}{\omega_o T_{qo}''} \quad (2.44)$$

(2.27)'den (2.44)'e kadar olan eşitlikler (2.22)'den (2.26)'ya kadar olan eşitliklerde yerlerine konulursa aşağıdaki denklem sistemi elde edilir.

$$DT = ET + \omega_o V \quad (2.45)$$

Burada

$$T^T = [i_d, i_q, i_f, i_{kd}, i_{kq}] \quad (2.46)$$

$$V^T = [v_d, v_q, v_f, 0, 0] \quad (2.47)$$

$$D = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline -X_d & & X_{md} & X_{md} & \\ \hline & -X_q & & & X_{mq} \\ \hline \frac{X_{md}^2}{r_{fd}} & & \frac{X_{md} X_{fd}}{r_{fd}} & \frac{X_{md}^2}{r_{fd}} & \\ \hline -X_{md} & & X_{md} & X_{kd} & \\ \hline & -X_{mq} & & & X_{kq} \\ \hline \end{array} \quad (2.48)$$

$$E = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline r_a^{\omega_0} & -X_q^{\omega} & & & X_{mq}^{\omega} \\ \hline X_d^{\omega} & r_a^{\omega_0} & -X_{md}^{\omega} & X_{md}^{\omega} & \\ \hline & & -X_{md}^{\omega_0} & & \\ \hline & & & -r_{kd}^{\omega_0} & \\ \hline & & & & -r_{kq}^{\omega_0} \\ \hline \end{array} \quad (2.49)$$

Lineerleştirme uygulandığında, küçük yer değiştirme denklemleri elde edilir ve değişkenden önceki Δ işareti sürekli hal değerinden uzaklaşmayı simgeler.

($\Delta i_d = i_d - i_{d0}$; buradaki "o" indisi sürekli hal büyüklüklerini gösterir).

(2.45) eşitliğindeki denklem sisteminin lineerleştirilmesinden sonra, modelin dinamiği,

$$\dot{X} = AX + BU \quad (2.2)$$

eşitliği ile verilir. Burada;

$$X^T = [\Delta i_d, \Delta i_q, \Delta i_f, \Delta i_{kd}, \Delta i_{kq}] \quad (2.50)$$

$$U^T = [\Delta v_d, \Delta v_q, \Delta v_f, \Delta \omega] \quad (2.51)$$

$$A = \omega_0 D^{-1} F \quad (2.52)$$

$$B = \omega_0 D^{-1} G \quad (2.53)$$

$$F = \begin{bmatrix} r_a & -X_q & & & X_{mq} \\ X_d & r_a & -X_{md} & X_{md} & \\ & & -X_{md} & & \\ & & & -r_{kd} & \\ & & & & -r_{kq} \end{bmatrix} \quad (2.54)$$

$$G = \begin{bmatrix} 1 & & & -X_q i_{q0} / \omega_o \\ & 1 & & (X_d i_{d0} - X_{md} i_{f0}) / \omega_o \\ & & 1 & \\ & & & \\ & & & \end{bmatrix} \quad (2.55)$$

2.2.3. Üçüncü Derece Model [4]

Bu model beşinci derece modeldeki sönüm sargılarının elimine edildiği özel bir durumdur. Bu modelin dinamiği Δi_{kd} ve Δi_{kq} büyüklüklerinin sıfıra eşit oldukları düşünülerek beşinci model eşitliklerinden kolaylıkla elde edilebilir. O zaman sistem dinamiğini veren

$$\dot{X} = AX + BU \quad (2.2)$$

eşitliğindeki terimler

$$X^T = [\Delta i_d, \Delta i_q, \Delta i_f] \quad (2.56)$$

$$U^T = [\Delta v_d, \Delta v_q, \Delta v_f, \Delta \omega] \quad (2.57)$$

$$A = \omega_o D^{-1} F \quad (2.58)$$

$$B = \omega_o D^{-1} G \quad (2.59)$$

olarak elde edilebilir. Bu model için D, F ve G matrisleri aşağıdaki gibi olacaktır.

$$D = \begin{array}{|c|c|c|} \hline & -X_d & X_{md} \\ \hline & & -X_q \\ \hline X_{md}^2/r_{fd} & & X_{md}X_{fd}/r_{fd} \\ \hline \end{array} \quad (2.60)$$

$$F = \begin{array}{|c|c|c|} \hline r_a & -X_q & \\ \hline X_d & r_a & -X_{md} \\ \hline & & -X_{md} \\ \hline \end{array} \quad (2.61)$$

$$G = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & & -X_q i_{qo}/\omega_o \\ \hline & 1 & (X_d i_{do} - X_{md} i_{fo})/\omega_o \\ \hline & & 1 \\ \hline \end{array} \quad (2.62)$$

2.3. Otomatik Gerilim Regülatörü ve Uyarma Alt Sistemleri

2.3.1. 1. Tip Otomatik Gerilim Regülatörü ve Uyarma Sistemi [2]

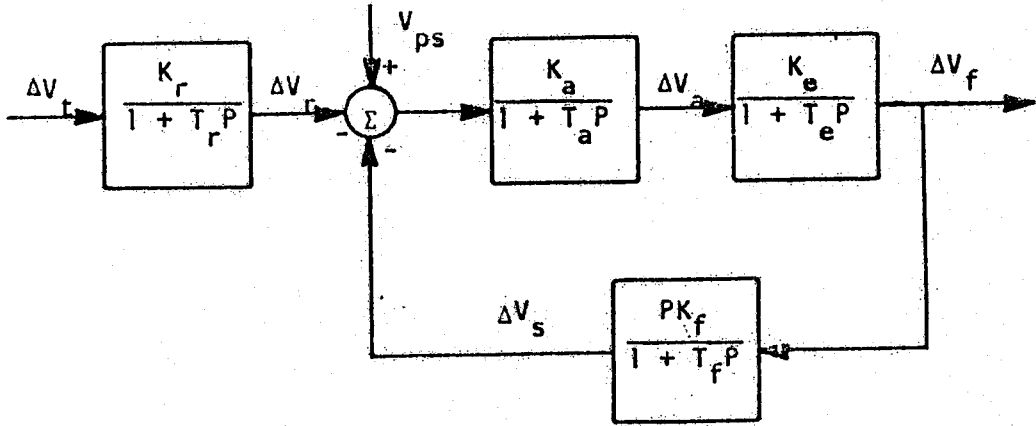
Şekil 2.15 1. tip Otomatik Gerilim Regülatörü ve uyarma düzeni sistemine ait lineerleştirilmiş matematiksel modeli göstermektedir.

Bu modelin dinamiği;

$$\dot{X} = AX + BU \quad (2.2)$$

denklemleri ile verilir. Bu denklemlerdeki,

$$X^T = [\Delta V_f, \Delta V_a, \Delta V_s, \Delta V_r] \quad (2.63)$$



Şekil 2.15. 1. Tip Otomatik Gerilim Regülatörü ve Uyarma Düzeni lineerleştirilmiş matematiksel modeli.

$$U^T = [\Delta V_t, \Delta V_{ps}] \quad (2.64)$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_e} & \frac{K_e}{T_e} & & \\ & -\frac{1}{T_a} & -\frac{K_a}{T_a} & -\frac{K_a}{T_a} \\ -\frac{K_f}{T_e T_f} & \frac{K_e K_f}{T_e T_f} & -\frac{1}{T_f} & \\ & & & -\frac{1}{T_r} \end{bmatrix} \quad (2.65)$$

$$B^T = \begin{bmatrix} & & & K_r/T_r \\ & K_a/T_a & & \end{bmatrix} \quad (2.66)$$

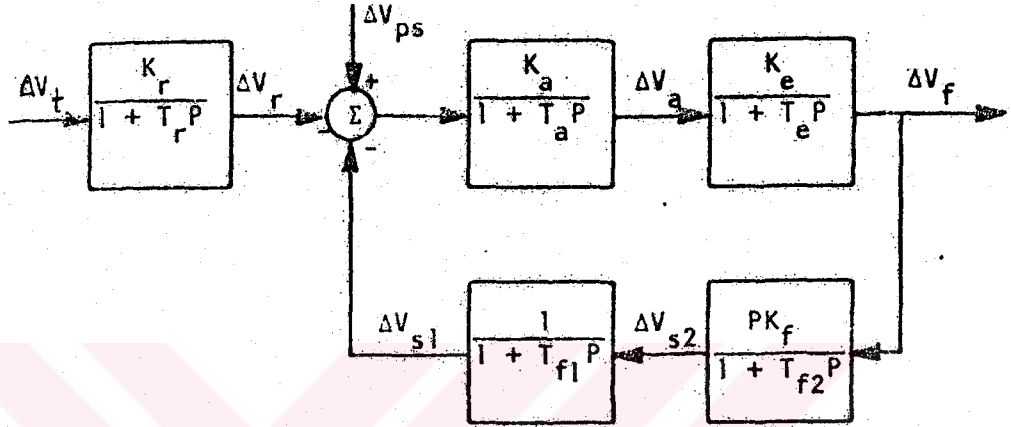
Kullanılan yeni parametreler aşağıdaki gibi tanımlanırlar:

- K_r : Regülatör giriş filtresi kazancı
- T_r : Regülatör giriş filtresi zaman zabiti
- K_a : Otomatik gerilim regülatörü kazancı
- T_a : Otomatik gerilim regülatörü zaman sabiti
- K_e : Uyarma düzeni kazancı
- T_e : Uyarma düzeni zaman sabiti

K_f : Regülatör kararlılık devresi kazancı
 T_f : Regülatör kararlılık devresi zaman sabiti

2.3.2 2. Tip Otomatik Gerilim Regülatörü ve Uyarma Sistemleri [2]

Şekil 2.16, 2. Tip otomatik gerilim Regülatörü ve uyarma sistemine ait lineerleştirilmiş matematiksel modeli göstermektedir.



Şekil 2.16. 2. Tip Otomatik Gerilim Regülatörü ve Uyarma sistemi lineerleştirilmiş matematiksel modeli.

Bu modelin dinamiği,

$$\dot{X} = AX + BU \quad (2.2)$$

denklemleriyle verilir. Burada,

$$X^T = [\Delta V_f, \Delta V_a, \Delta V_{s1}, \Delta V_{s2}, \Delta V_r] \quad (2.67)$$

$$U^T = [\Delta V_t, \Delta V_{ps}] \quad (2.68)$$

$$A = \begin{bmatrix} \frac{1}{T_e} & \frac{K_e}{T_e} & & & \\ & -\frac{1}{T_a} & -\frac{K_a}{T_a} & & -\frac{K_a}{T_a} \\ & & -\frac{1}{T_{f1}} & \frac{1}{T_{f1}} & \\ \frac{K_f}{T_e T_{f2}} & \frac{K_e K_f}{T_e T_{f2}} & & \frac{1}{T_{f2}} & \\ & & & & \frac{1}{T_r} \end{bmatrix} \quad (2.69)$$

$$B^T = \begin{bmatrix} & & & & \frac{K_r}{T_r} \\ & \frac{K_a}{T_a} & & & \end{bmatrix} \quad (2.70)$$

olarak elde edilmiştir.

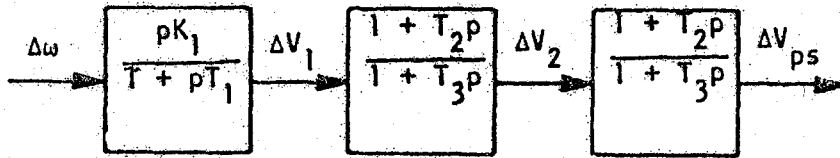
2. tip otomatik gerilim regülatörü ve uyarma sisteminde karşılaşılan yeni parametreler şunlardır:

T_{f1} : Regülatör kararlılık devresi birinci zaman sabiti

T_{f2} : Regülatör kararlılık devresi ikinci zaman sabiti.

2.3.3. Güç Kararlılaştırıcı Alt Sistemler [5]

Şekil 2.17, güç kararlılaştırıcı alt sistemlere ait lineerleştirilmiş matematiksel modeli göstermektedir.



Şekil 2.17. Güç kararlılaştırma sistemi lineerleştirilmiş matematiksel modeli.

Bu modelin dinamiği,

$$\dot{X} = AX + BU \quad (2.2)$$

denklemleri ile gösterilir.

Burada,

$$x^T = [\Delta V_1, \Delta V_2, \Delta V_{ps}] \quad (2.71)$$

$$u^T = [\Delta \omega] \quad (2.72)$$

olarak verilir.

Bu modelde açısal hızdaki değişim Şekil 2.17'deki ilk blok ile türetildiğinden A ve B matrisleri hangi mekanik modelin kullanıldığına bağlıdır. Bundan dolayı A ve B matrisleri, mekanik gösterilimin seçiminden ve $\Delta \omega$ değişkeninin elimine edilmesinden sonra elde edilir.

Elde edilen ön denklem takımı,

$$\dot{x}' = A'x' + B'u' \quad (2.73)$$

olacaktır. Buradaki terimler,

$$x'^T = [\Delta V_1, \Delta V_2, \Delta V_{ps}, \Delta \omega] \quad (2.74)$$

$$u'^T = [\Delta \omega, \Delta V_3] \quad (2.75)$$

$$A' = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline & -\frac{1}{T_1} & & \\ \hline & \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right) \frac{T_2}{T_3} & & -\frac{1}{T_3} \\ \hline & \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right) \left(\frac{T_2}{T_3}\right)^2 & \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_3}\right) \cdot \frac{T_2}{T_3} & -\frac{1}{T_3} \\ \hline & & & \\ \hline \end{array} \quad (2.76)$$

$$B'^T = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline & & & \\ \hline \frac{1}{T_1} & \frac{T_2}{T_1 T_3} & \left(\frac{T_2}{T_3}\right)^2 \cdot \frac{1}{T_1} & \frac{1}{K_1} \\ \hline \end{array} \quad (2.77)$$

olarak verilirler.

Yeni parametreler;

K_1 : Güç kararlılaştırıcı kazancı

T_1, T_2, T_3 : Güç kararlılaştırıcı zaman sabitleridir.

$\Delta\omega$ mekanik modelden bilinmektedir. $\Delta\omega$ durum değişkenine ait eşitliğin indirgenmesinden sonra A' ve B' matrislerinin son satır ve sütununda yeni terimler belirecektir. $\Delta\omega$ 'nın indirgenmesinden sonra eşitliğin sol tarafı sıfır olur ve ΔV_3 değişkeni de Kron'un Rotasyonel Dönüşümü ile elimine edilebilir. Böylece sistem dinamiğini gösteren genel (2.2 eşitliği) elde edilir.

2.4. A ve B Matrislerinin Oluşturulması İçin Sistematik Yöntem [6]

A ve B matrislerinin oluşturulması için dinamik alt sistemlerden herbirinde uygulanan yöntem aşağıdaki adımlarla özetlenebilir.

1) Her transfer fonksiyonuna eşdeğer temel blokların serileri olarak yer verilir (toplama ve sabitle çarpma; türev ve integral blokları).

2) Değişkenlerin tanınması ve adlandırılması

- a. Durum değişkenleri (integral blokların çıkışları)
- b. Giriş değişkenleri
- c. Türev alıcı blokların girişleri (elimine edilen değişkenler)
- d. Cebrik blokların çıkışları (elimine edilen değişkenler)

3) Tanınarak isimlendirilen bloklara ait eşitlikler matris formunda yazılır. Genişletilmiş bir katsayı matrisi elde edilir.

4) Cebrik blokların çıkışlarına ait değişkenler Kron Rotasyonel Dönüşümü ile elimine edilir. Elimine edilecek eşitliklerin sol yanları sıfır yapılmalıdır.

5) Türev alıcı blokların çıkışlarına ait değişkenlerin eliminasyonu için, durum değişkenleri ortaya çıkan sol yanları aynı eşitliklerin indirgenmesi ile bu

eşitliklerin sol yanları sıfır olarak elde edilir.

6) 5. adımdan sonra, 4. adımda izlenen aynı yolla türev alıcı blokların çıkışlarına ait değişkenler elimine edilir.



BÖLÜM 3.

ENTERKONNEKTE TOPLAM SİSTEM

Sistem katsayı matrisleri A ve B'nin oluşturulması matris küçültme yöntemleriyle tek makinalı sistemlerde nispeten kolaydır. Enterkonnekte sistemler ise birçok alt sistemleri ve çok sayıda makınayı içerdiğinden dolayı analizleri daha karmaşıktır.

Sistemin herbiri aşağıdaki biçimde tanımlanan n adet dinamik alt sistemden oluştuğunu düşünelim:

$$\dot{X}_i = A_i X_i + B U_i \quad (3.1)$$

$$Y_i = C_i X_i + D U_i \quad i=1,2,\dots,n \quad (3.2)$$

Alt sistemler arasındaki ilişki de 3.3. eşitliği ile verilsin.

$$[U_1, U_2, \dots, U_n]^T = F[Y_1, Y_2, \dots, Y_n]^T + G V \quad (3.3)$$

(3.2) eşitliğindeki her bir alt sistemin çıkışları (3.3) eşitliğinde yerlerine konularak

$$0 = (FC)X + (FD - I) U + G V \quad (3.4)$$

ifadesi elde edilir. Bu eşitliklerde kullanılan değişkenler aşağıda tanımlanmıştır.

- X_i : i'nci alt sistemin durum değişkenleri
- U_i : i'nci alt sistemin giriş değişkenleri
- Y_i : i'nci alt sistemin çıkış değişkenleri
- X : toplam sistemin durum değişkenleri
- U : toplam sistemin giriş değişkenleri
- V : toplam sistemin çıkış değişkenleri

I : birim matris

(3.1) ve (3.4) eşitlikleri matris formunda düzenlenerek toplam sistemin modeli verilir.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \vdots \\ x_n \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & & & B_1 & & & \\ & A_2 & & & B_2 & & \\ & & & & & & 0 \\ & & & & & & \\ & & & A_n & & & B_n \\ \hline [FC] & & & [FD - I] & & & G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \\ u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \\ v \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Bu eşitliğin genel şekli (3.6) eşitliğinde gösterilmektedir.

$\dot{\hat{X}}$	\hat{A}	\hat{B}	0	X
0	FC	(FD - I)	G	U
				V

(3.6)

U değişkenlerine ait sol yanların sıfır olmasıyla esas eşitlikler elimine edilerek

$$\dot{\hat{X}} = [\hat{A} - \hat{B} (FD-1)^{-1} FC] X + [-\hat{B} (FD-1)^{-1} G] V \quad (3.7)$$

veya

$$\dot{\hat{X}} = AX + BV \quad (3.8)$$

sistem gösterilimi elde edilir.

3.1. Şebeke Gösterilimi [7]

Elektrik şebekesinin etkileşimlerini Jacobian Matris yoluyla gösterilebilir. Akımlarla ve gerilimlerle ilgili olan empedans ve admitans matrislerinin kullanılması da diğer bir uygulamadır.

3.1.1. Jacobian Matris

Büyük güçlü motorlar, senkron kondensörler gibi elemanların yokluğunda yüklerin dinamik davranışları

yokmuş kabul edilir..

Eşdeğer şebekenin (dinamik olmayan baraların elimine edilmesi ile ortaya çıkan eşdeğer) Jacobian matrisi, sabit empedanslı, sabit akımlı, sabit aktif ve reaktif güçlülükler gibi olası yük gösterilimlerinden birine dayanan dinamik baralar arasındaki aktif ve reaktif güç transferindeki etkileri gösterir.

Bu durumda şebeke gösterilimi aktif ve reaktif güçler açısından aşağıdaki biçimde verilir.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & M \\ J & L \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Bu ifadede;

- ΔP : Aktif güçteki değişim vektörü
- ΔQ : Reaktif güçteki değişim vektörü
- $\Delta \delta$: Faz açısı değişimi vektörü
- ΔV : Gerilimin genliğindeki değişim vektörü
- H : $\partial P / \partial \delta$ altmatrisi
- M : $\partial P / \partial V$ altmatrisi
- J : $\partial Q / \partial \delta$ altmatrisi
- L : $\partial Q / \partial V$ altmatrisini göstermektedir.

3.1.1.1. Sabit empedanslı yüklerin gösterilimi

Yük akışı hesaplarıyla gerilimlerin elde edilmesinden sonra yüklerin yerine, kendilerine ait referans baraya bağlı admitanslar kullanılır.

$$Y_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^2} = G_i + jB_i \quad (3.10)$$

Bundan sonra bara admitans matrisi oluşturulur ve yük baraları elimine edilir. Böylece Kron İndirgemesi kullanılarak (3.11) eşitliği ile dinamik baraların (generatör baraları) eşdeğer admitans matrisi elde edilir.

$$Y_{eq} = Y_{gg} - Y_{gl} Y_{ll}^{-1} Y_{lg} \quad (3.11)$$

Bu adımda, Jacobian Matris indirgenmiş admitans matrisi ile hesaplanır.

3.1.1.2. Sabit akımlı yüklerin gösterilimi

Önce bara admitans matrisi yükler dahil edilmeden hesaplanır. O zaman, sabit akımlı yükler, küçük bozucu etkilerde dinamik olmayan baralarda akım değişimleri oluşmayacağını gösterdiğinden, admitans matrisi dinamik baraların elde tutulmasıyla indirgenmiş olur ve indirgenen bu matrisle Jacobian matris hesaplanır.

3.1.1.3. Sabit aktif ve reaktif güçlü yüklerin gösterilimi.

İlk adımda yükler hesaba katılmaksızın bara admitans matrisi hesaplanır. Bütün elemanları içeren Jacobian matris elde edilir ve ondan sonra Kron indirgemesi kullanılarak indirgenir. Sonuç olarak dinamik baraları kapsayan Jacobian matris bulunur. Çünkü dinamik olmayan baralar için aktif ve reaktif güç değişimleri söz konusu değildir.

3.1.2. Admitans (veya Empedans) Matrisi

Birleşik admitanslarla gösterilen şebeke, generatörlerin bağlı olduğu dinamik baraların elde tutulduğu bir hale indirgenir. Böylece lineerleştirmeden sonraki akım-gerilim ilişkisi (3.12) ve (3.13) eşitlikleri ile verilir.

$$\Delta I_g = Y_{eq} \Delta V_g \quad (3.12)$$

$$\Delta V_g = Z_{eq} \Delta I_g \quad (3.13)$$

Bu ifadelerde;

$$Z_{eq} = Y_{eq}^{-1} \quad (3.14)$$

ΔV_g : Generatör baralarının gerilim değişimleri vektörü
 ΔI_g : Generatör baralarının akım değişimleri vektörü
 Y_{eq} : Eşdeğer bara admitans matrisi (3.11 eşitliği)
 Z_{eq} : Eşdeğer bara empedans matrisi (3.14 eşitliği)
olarak tanımlanır.

3.2. Merkezden Denetim [8,9,10]

Enterkonnekte güç sistemlerinin frekans denetimi problemleri yalıtılmış özerk bölgelerinkinden daha önemlidir.

Her bir bölge, bölge başına bir dinamik blok olarak gösterilebildiği Bölüm 2'de incelenmiş dinamik alt sistemlerin birkaçı ile karakterize edilir. Aynı zamanda bu dinamik bloklar cebrik denklemlerle gösterilen elektrik şebekesi üzerinde etkileşime sahiptir. Ve de merkezden denetim dinamik bloklar arasındaki enterkonnekte bağlantı gibi düşünülür ve cebrik denklemlerle gösterilir.

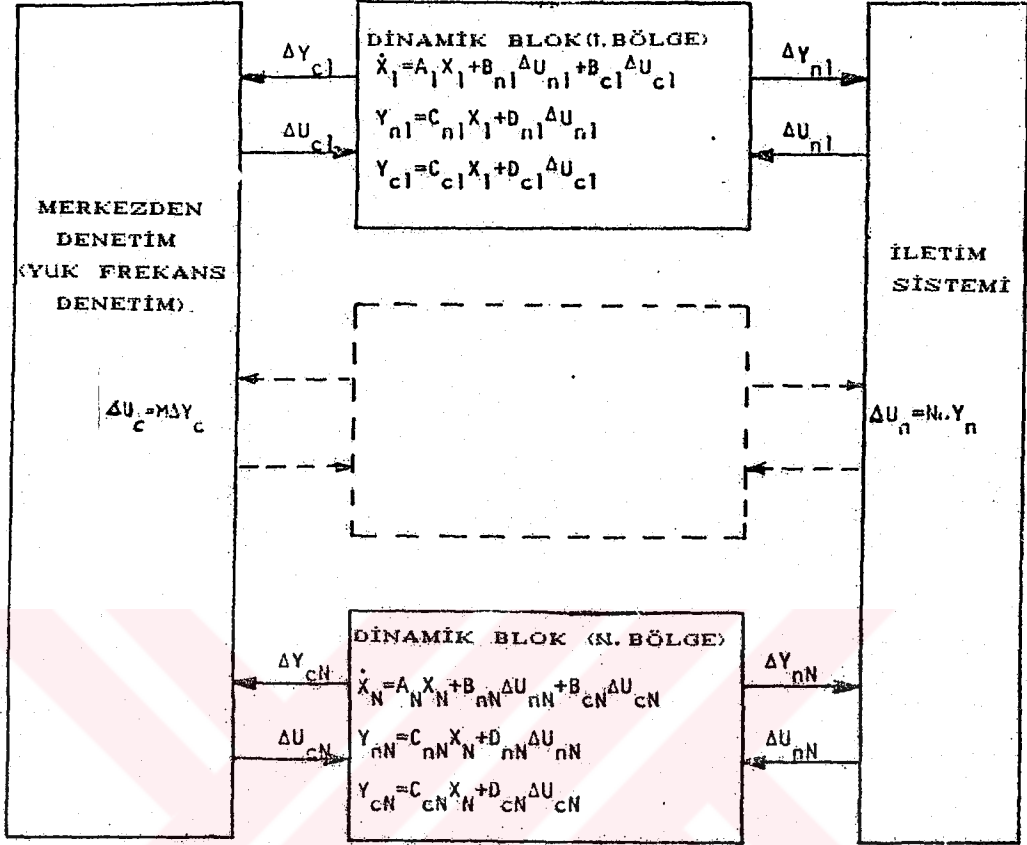
Şekil 3.1'deki her bir dinamik blok bir bölgeyi gösteriyorsa ve merkezden denetim, yük frekansının denetimi olarak düşünülürse, o takdirde;

$$\begin{aligned} \Delta U_{c1} &= \Delta P_{c1} = \Delta P_{e1} + b_1 \Delta \omega_1 \\ \Delta U_{c2} &= \Delta P_{c2} = \Delta P_{e2} + b_2 \Delta \omega_2 \\ &\vdots \\ \Delta U_{cn} &= \Delta P_{cn} = \Delta P_{en} + b_n \Delta \omega_n \end{aligned} \quad (3.15)$$

olaacaktır.

- ΔP_{ci} : i'inci bölge denetim hatası
 ΔP_{ei} : i'inci bağlantı hattı aktif gücündeki küçük değişim
 $\Delta \omega_i$: i'inci hızdaki küçük değişim
 b_i : i'inci frekans polarizasyon parametresi
n : enterkonnekte bağlı bölgelerin sayısını

gösterir.



Şekil 3.1. Şebeke ve merkezden denetimin oluşturduğu etkileşimi gösteren sistem şeması.

(3.16) eşitliklerindeki matris, her bir dinamik alt-sistemin bir bölgeyi gösterdiği yük frekansının denetimi içindir. (3.16a) ve (3.16b) ile verilen M; bir kuadratik performans fonksiyonunun minimumlaştırılması ile elde edilen optimal denetime ait durum değişkenlerinin geribesleme kazançlarını gösterir.

$$\frac{1}{2} \int_0^T [X^t Q X + U^t R U] dt \text{ performans fonksiyonunu mini-}$$

mumlaştıran Riccati Eşitliğinin $(A^t K - KA + KBR^{-1}B^t K - Q = 0)$ çözümünün K matrisi olarak elde edilmesi ile M matrisi

$$M = [R^{-1} B^t K] X \quad (3.16a)$$

olarak kullanılır [17, 18]. (Q ve R pozitif tanımlı matrislerdir.)

M: Merkezden denetim geribesleme kazancı matrisi

$$M = \begin{bmatrix} 1 & b_1 & & & & & & & & & \\ & & 1 & b_2 & & & & & & & \\ & & & & \dots & \dots & & & & & \\ & & & & & & \dots & \dots & & & \\ & & & & & & & & \dots & \dots & \\ & & & & & & & & & & 1 & b_n \end{bmatrix} \quad (3.16b)$$

Şekil 3.1'de verilen

$$\Delta U_c = M \Delta Y_c \quad (3.17)$$

$$\Delta U_n = N \Delta Y_n \quad (3.18)$$

eşitliklerinden (3.17) eşitliği, (3.15) eşitlik takımının aynıdır. Bu eşitliklerde

$$\Delta U_c^T = [\Delta P_{c1}, \Delta P_{c2}, \dots, \Delta P_{cn}] \quad (3.19)$$

ΔU_c : Merkezden denetim değişkenleri vektörü

$$\Delta Y_c^T = [\Delta P_{e1}, \Delta \omega_1, \Delta P_{e2}, \Delta \omega_2, \dots, \Delta P_{en}, \Delta \omega_n] \quad (3.20)$$

ΔY_c : Merkezden denetim geribesleme değişkenleri vektörü olarak tanımlanır.

(3.18) eşitliği de iletim sisteminin eşdeğer empedans matrisi gösterilimine veya Jacobian matrisine ait (3.9) veya (3.13) denklem takımlarıyla aynıdır. Bu durumda:

i. Jacobian matris iletim sistemini göstermek için seçildiyse

$$\Delta U_n^T = [\Delta P_{e1}, \Delta Q_1, \Delta P_{e2}, \Delta Q_2 \dots, P_{en}, Q_n] \quad (3.21)$$

$$\Delta Y_n^T = [\Delta \delta_1, \Delta V_1, \Delta \delta_2, \Delta V_2 \dots \Delta \delta_n, \Delta V_n] \quad (3.22)$$

N: (3.9) eşitliği ile verilen Jacobian matris

ii. Bara empedans matrisi, iletim sistemini göstermek için seçildiye,

$$\Delta U_n^T = [\Delta V_{x1}, \Delta V_{y1}, \Delta V_{x2}, \Delta V_{y2} \dots \Delta V_{xn}, \Delta V_{yn}] \quad (3.23)$$

$$\Delta Y_n^T = [\Delta I_{x1}, \Delta I_{y1}, \Delta I_{x2}, \Delta I_{y2} \dots \Delta I_{xn}, \Delta I_{yn}] \quad (3.24)$$

N: (3.13) eşitliği ile verilen eşdeğer bara empedans matrisi

ΔP_{ei} : i'inci bağlantı hattı aktif gücündeki küçük değişim

ΔQ_i : i'inci bağlantı hattı reaktif gücündeki küçük değişim

$\Delta \delta_i$: i'inci faz açısındaki küçük değişim

ΔV_i : i'inci gerilimin genliğindeki küçük değişim

ΔV_{xi} : i'inci gerilimin reel bileşenindeki küçük değişim

ΔV_{yi} : i'inci gerilimin kompleks bileşenindeki küçük değişim

ΔI_{xi} : i'inci enjeksiyon akımının reel bileşenindeki küçük değişim

ΔI_{yi} : i'inci enjeksiyon akımının kompleks bileşenindeki küçük değişim

olacaktır.

3.3. Bölgelerin A ve B matrisleri

Daha önce hiç dış kontrol sinyali (dış giriş değişkenleri) varolmadığında, özerk bir sistemin bütün dinamik altsistemlerin enterkonnekte birleşimi ile elde edildiğinden söz edilmişti. Eğer dış kontrol sinyalleri varsa, durum uzayı formundaki genel eşitlik $X=AX+BU$ elde

edilir.

Bölüm 2.4'de tanımlanan aynı sistematik yöntem, toplam sistemin A ve B matrislerinin şekillendirilmesinde kullanılır. Dinamik altsistemlerin herbirinin eşitlikleri elde edilmiş olduğu için temel blokların denklemlerini çıkarmak gerekmeyecektir. Problemin durum değişkeni olmayan değişkenlerin indirgenmesi haline gelmesi için, yalnızca yeni eşitlikler, altsistemlerin şebeke ve merkezden denetim ile bağlanmalarının denklemleridir.

Örnek olarak, farklı dinamik altsistem gösterilimleri kullanılan makinaların enterkonnekte bağlantılarına ait iki durum ve etkileşimleri 3.3.1 ve 3.3.2 bölümlerinde incelenmiş ve bunlara ait A matrisleri elde edilmiştir.

3.3.1. Birinci Durum: Hidro-Termal Bir Sistemin Elektro-Mekanik Gösterilimi

Şekil 3.2, bir su istasyonunun bir elektrik şebekesi ve merkezden denetim (yük frekansı denetimi) ile termal (buhar) istasyonu bağlantısının dinamik şeklini göstermektedir. Bu hidro-termal sistem için aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır.

1) Su ve buhar istasyonlarındaki elektrik makinaları dinamik altsistem gösterilimleri bakımından özdeş-tirler.

2) Elektrik makinalarının dinamik altsistem gösterilimleri bir zaman sabitlidir.

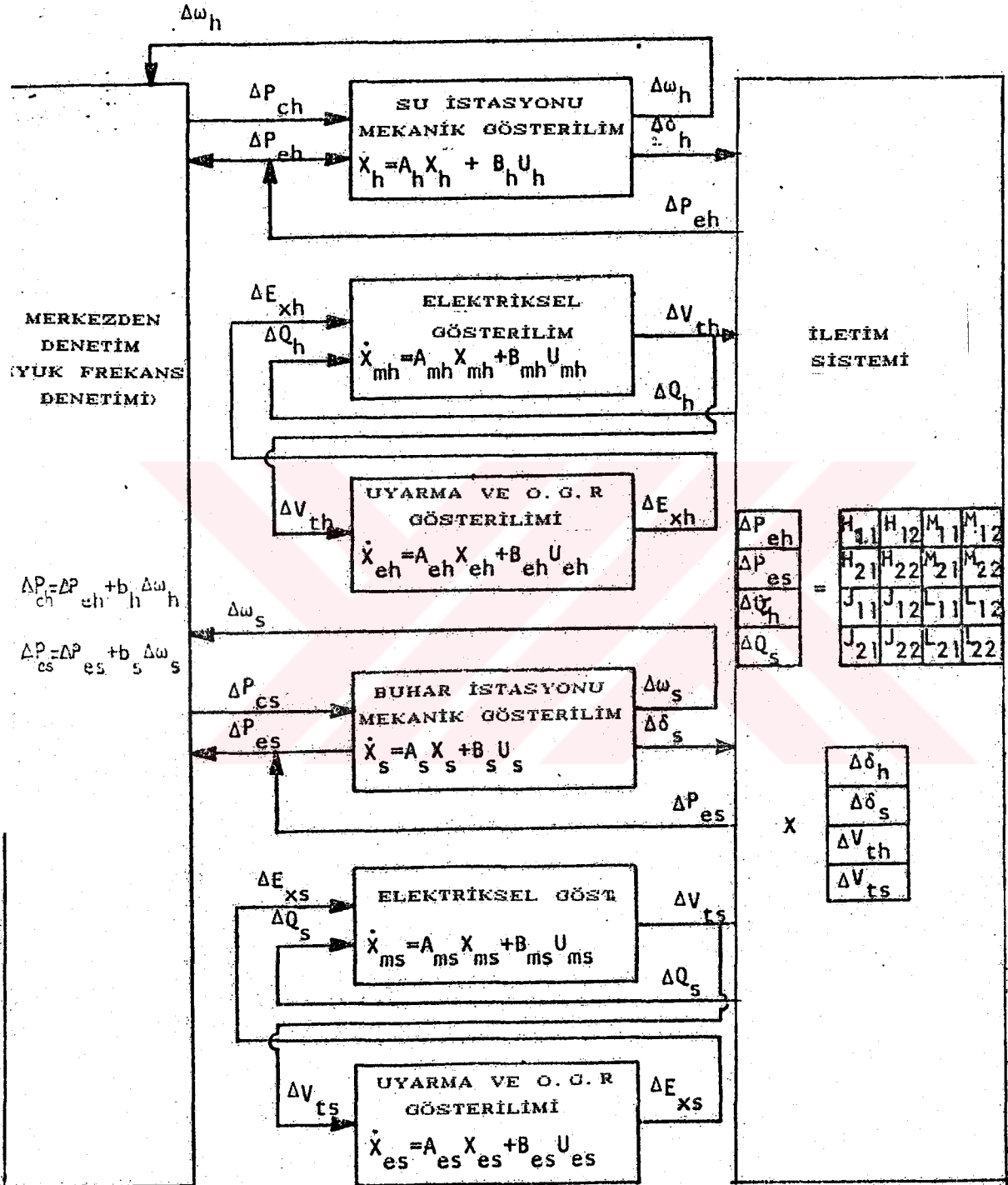
3) Uyarma sistemi ve otomatik gerilim regülatörü gösterilimleri 1. tiptendir.

4) Buhar istasyonu, ön ısıtmasız buhar güç santralına aittir.

5) Güç kararlaştırıcı altsistemlerin olmadığı düşünölmüştür.

6) İletim sistemi Jacobian Matris yoluyla gösterilmektedir.

7) Merkezden denetim (yük frekans denetimi) ile etkileşim düşünülmüştür.



Şekil 3.2. Hidro-termal Dinamik Sistem Şeması

Durum değişkeni olmayan değişkenlerin eliminasyonundan önceki toplam sistemin dinamiği (3.6) eşitliği ile verilir; burada:

$$\begin{aligned} X^T = & [\Delta\delta_h, \Delta\omega_h, \Delta P_{vh}, \Delta P_{gh}, \Delta P_{clh}, \Delta P_{c2h}; \Delta V_{th}, \Delta V_{fh}, \Delta V_{ah}, \Delta V_{sh}, \\ & \Delta V_{rh}; \Delta\delta_s, \Delta\omega_s, \Delta P_{ms}, \Delta P_{vs}, \Delta P_{cls}, \Delta P_{c2s}; \Delta V_{ts}, \Delta V_{fs}, \Delta V_{as}, \\ & \Delta V_{ss}, \Delta V_{rs}] \end{aligned} \quad (3.25)$$

$$U^T = [\Delta P_{eh}, \Delta P_{ch}, \Delta Q_h; \Delta P_{es}, \Delta P_{cs}, \Delta Q_s] \quad (3.26)$$

$$V = 0 \quad (3.27)$$

olarak kullanılır. Bu ifadelerdeki h ve s indisleri sırasıyla su ve buhar istasyonlarına ait değişkenleri tanımlar.

Durum değişkeni olmayan değişkenlerin (U vektörü) eliminasyonundan sonra özerk bir sistem elde edilir. Bu sistemin toplam matrisi (3.29) eşitliğinde verilmektedir. Burada dinamik altsistemlere ait matrisleri tanımak oldukça kolaylaşmıştır. Bazı yeni terimler belirmiş ve bazı terimler de altsistemler, elektrik şebekesi ve merkezden denetim arasındaki etkileşim yüzünden azalmıştır.

Toplam sistem 23. dereceden lineer diferansiyel denklem takımıyla gösterilir.

$$\dot{X} = AX \quad (3.28)$$

Buradaki X vektörü (3.25) eşitliğinde ve A matrisi de (3.29) eşitliğinde tanımlanmışlardır.

$\Delta \delta_h$	1									
$\Delta \omega_h$	$-\frac{H_{11}}{M_{11}}$	$-\frac{D_h}{M_h}$	$\frac{1}{M_h}$		$-\frac{H_{12}}{M_h}$		$-\frac{M_{11}}{M_h}$		$-\frac{h_{12}}{M_h}$	
ΔP_{mh}		$\frac{2}{T_w}$	$\frac{2(a+b)}{T_w}$	$\frac{2}{T_g}$						
ΔP_{vh}	$\frac{H_{11}}{M_h}$		$-\frac{1}{T_g}$	$\frac{1}{T_g}$	$\frac{H_{12}}{M_h}$		$\frac{M_{11}}{M_h}$		$\frac{M_{12}}{M_h}$	
ΔP_{gh}	$\frac{D_h M_h}{r M_h}$	$-\frac{1}{r M_h}$	$-\frac{R_h}{r T_r}$	$\frac{K_h R_h}{r T_r}$						
ΔP_{c2h}				K_h						
ΔP_{c2h}	$\frac{H_{11}}{T_{ch}}$	$\frac{b_h}{T_{ch}}$		$-\frac{1}{T_{ch}}$	$\frac{H_{12}}{T_{ch}}$		$\frac{M_{11}}{T_{ch}}$		$\frac{M_{12}}{T_{ch}}$	
ΔV_{th}	$\frac{A}{B,1}$			$\frac{K_g}{T_d}$			$\frac{A}{B,13}$		$\frac{A}{B,19}$	
ΔV_{fh}				$-\frac{1}{T_e}$	$\frac{1}{T_e}$					
ΔV_{ah}				$-\frac{1}{T_a}$	$\frac{K_a}{T_a}$	$\frac{K_a}{T_a}$				
ΔV_{sh}				$\frac{K_f}{T_e T_f}$	$\frac{K_e K_f}{T_e T_f}$	$-\frac{1}{T_f}$				
ΔV_{rh}				$\frac{K_r}{T_r}$		$-\frac{1}{T_r}$				
$\Delta \delta_s$							1			
$\Delta \omega_s$	$\frac{J_{11}}{M_s}$			$\frac{J_{12}}{M_s}$		$-\frac{D_s}{M_s}$	$\frac{1}{M_s}$		$-\frac{h_{12}}{M_s}$	
ΔP_{ms}						$-\frac{1}{T_s}$	$\frac{1}{T_s}$			
ΔP_{vs}						$\frac{1}{K T_g}$	$\frac{1}{T_g}$	$\frac{1}{T_g}$		
ΔP_{c2s}								K_s		
ΔP_{c2s}	$\frac{J_{11}}{T_{cs}}$			$\frac{J_{12}}{T_{cs}}$		$\frac{L_{11}}{T_{cs}}$	$\frac{b_s}{T_{cs}}$		$-\frac{1}{T_{cs}}$	
ΔV_{ts}	$\frac{A}{19,1}$			$\frac{A}{19,8}$		$\frac{A}{19,15}$		$\frac{A}{19,19}$	$\frac{K_g}{T_d}$	
ΔV_{fs}								$-\frac{1}{T_e}$	$\frac{1}{T_e}$	
ΔV_{as}								$-\frac{1}{T_a}$	$-\frac{K_a}{T_a}$	$\frac{K_a}{T_a}$
ΔV_{ss}								$\frac{K_f}{T_e T_f}$	$\frac{K_e K_f}{T_e T_f}$	$-\frac{1}{T_f}$
ΔV_{rs}								$\frac{K_r}{T_r}$		$-\frac{1}{T_r}$

(3.29)

İki elektrik makinasında dinamik gösterilimi aynı olduğundan ve su ve buhar istasyonlarının aynı adlı bazı parametreleri bulunduğu için, (3.29) eşitliğindeki parametrelerin tanınmaları açısından bir karışıklık olduğu düşünülebilir. Ancak asıl diagonal altmatrislerin; her bir dinamik altsistemlere ait oldukları ve bu durumda parametrelerin o altsistemle belirlendikleri hatırlanacak olursa,

karişıklıktan kaınımış olunacaktır. Su istasyonuna ait elektrik makinalarının uyarma parametreleri buhar santralında kullanılanlarla aynı adlıdır. Ancak onların değerleri farklı olabilir. Ve bu aynı adlı parametreler farklı ana diagonal altmatrislerde oldukları için tanınmaları kolay olacaktır.

Bağlantılı altmatrislerde bulunan ve karişıklığa yol açabilecek parametreler, sırasıyla su istasyonunu ve buhar istasyonunu belirten h ve s ek indisleri ile gösterilmişlerdir. (yani M_h ; su istasyonunun eylemsizlik sabiti; M_s : buhar istasyonunun eylemsizlik sabiti).

Su istasyonu elektrik makinası ve Jacobian'e ait parametreler:

$$\begin{aligned} A_{8,1} &= -H_{21} K K_g / T_d \\ A_{8,8} &= -(1+H_{22} K K_g) / T_d \\ A_{8,13} &= -M_{21} K K_g / T_d \\ A_{8,19} &= -M_{22} K K_g / T_d \end{aligned} \quad (3.30)$$

Buhar istasyonu elektrik makinası ve Jacobian'e ait parametreler:

$$\begin{aligned} A_{19,1} &= -J_{21} K K_g / T_d \\ A_{19,8} &= -J_{22} K K_g / T_d \\ A_{19,13} &= -L_{21} K K_g / T_d \\ A_{19,19} &= -(1+L_{22} K K_g) / T_d \end{aligned} \quad (3.31)$$

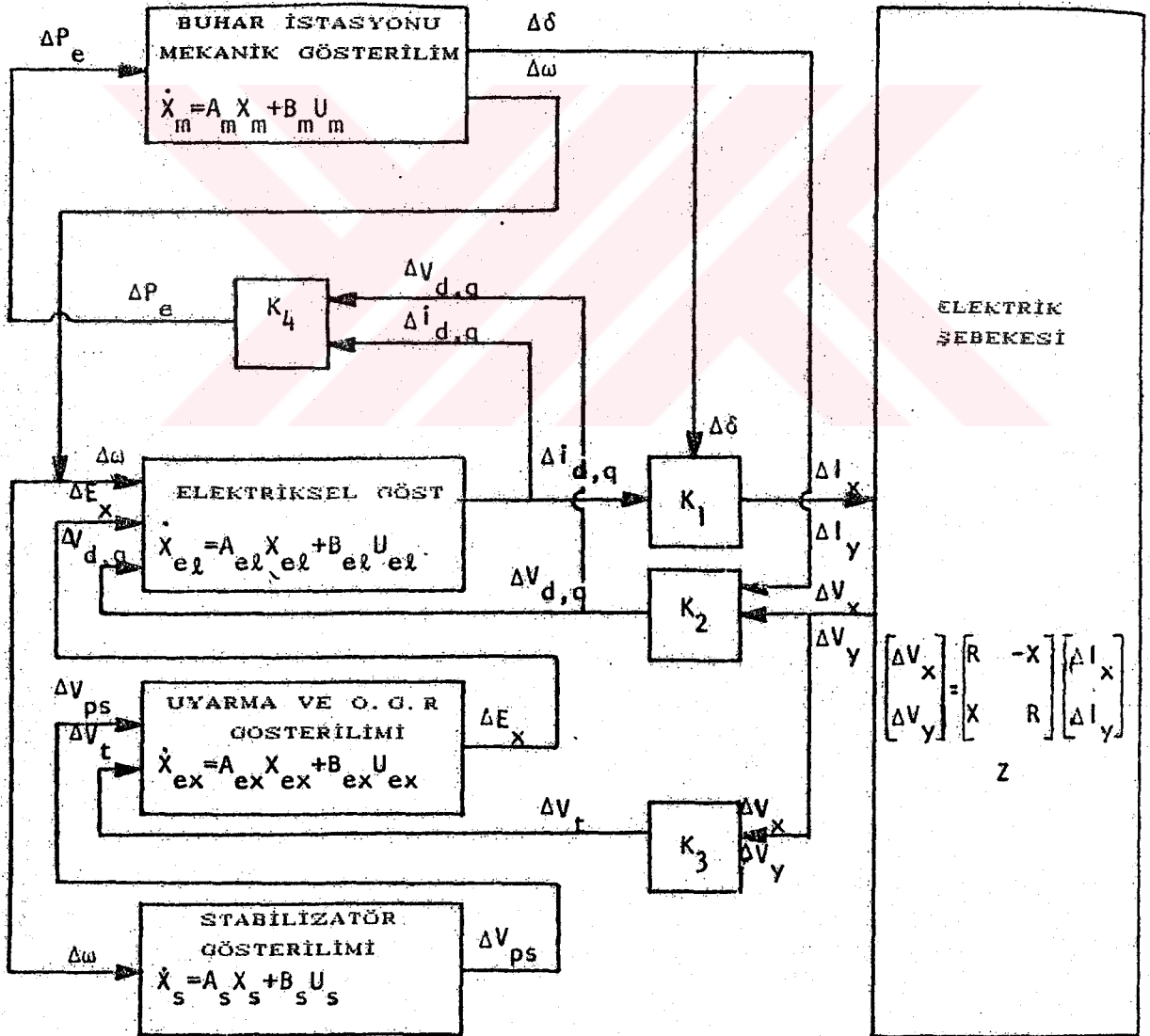
3.3.2. İkinci Durum: Sonsuz Baraya Bağlı Bir Buhar İstasyonunun Elektro-Mekanik Gösterilimi

Şekil 3.3'de bir iletim sistemi ile sonsuz baraya bağlı bulunan buhar istasyonunun dinamik şekli gösterilmektedir. Bu durum için aşağıdaki varsayımlar düşünülmüştür.

1) Buhar istasyonu tandem, ön ısıtmasız buhar güç santralidir.

2) Elektrik makinası dinamik gösterilimi beşinci devreli modeldir.

3) Elektrik Makinasının uyarma düzeni ve otomatik gerilim regülatörü 1. tiptendir.



Şekil 3.3. Bir iletim sistemi ile sonsuz baraya bağlı bulunan bir buhar istasyonunun dinamik şeması.

4) Uyarmada güç kararlaştırıcı düzenin olduğu gösterilmiştir.

5) Transformatörü de kapsayan transmisyon hattı bara empedans matrisi yoluyla gösterilmektedir.

Aşağıdaki eşitliklerde, lineerleştirmeden sonra elde edilen K altmatrisleri (K_1, K_2, K_3, K_4) verilmektedir [3].

$$\begin{bmatrix} I_x \\ I_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \delta & \cos \delta \\ -\cos \delta & \sin \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta I_x \\ \Delta I_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \delta_0 & \cos \delta_0 & (\cos \delta_0 i_{d0} - \sin \delta_0 i_{q0}) \\ -\cos \delta_0 & \sin \delta_0 & (\sin \delta_0 i_{d0} - \cos \delta_0 i_{q0}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta i_d \\ \Delta i_q \\ \Delta \delta \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

K_1

$$\begin{bmatrix} \Delta V_x \\ \Delta V_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & -X \\ X & R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta I_x \\ \Delta I_y \end{bmatrix} \quad (3.34)$$

Z

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \delta & -\cos \delta \\ \cos \delta & \sin \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta V_d \\ \Delta V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \delta_0 & -\cos \delta_0 & (V_{x0} \cos \delta_0 + V_{y0} \sin \delta_0) \\ \cos \delta_0 & \sin \delta_0 & (-V_{x0} \sin \delta_0 + V_{y0} \cos \delta_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V_x \\ \Delta V_y \\ \Delta \delta \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

K_2

$$v_t^2 = (v_x^2 + v_y^2) \quad (3.37)$$

$$\Delta v_t = \begin{bmatrix} v_{xo}/v_{to} & v_{yo}/v_{to} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta v_x \\ \Delta v_y \end{bmatrix} \quad (3.38)$$

K_3

$$P_e = v_d i_q + v_q i_d + r_a (i_d^2 + i_q^2) \quad (3.39)$$

$$\Delta P_e = \begin{bmatrix} (2r_a i_{do} + v_{do}) & (2r_a i_{qo} + v_{qo}) & i_{do} & i_{qo} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta i_d \\ \Delta i_q \\ \Delta v_d \\ \Delta v_q \end{bmatrix} \quad (3.40)$$

K_4

Durum değişkeni olmayan değişkenlerin eliminasyonundan önceki toplam sistemin dinamik davranışı (3.1) eşitliği ile verilmiştir. Burada;

$$X^T = [\Delta \delta, \Delta \omega, \Delta P_m, \Delta P_v; \Delta i_d, \Delta i_q, \Delta i_f, \Delta i_{kd}, \Delta i_{kq}; \Delta v_f, \Delta v_a, \Delta v_s, \Delta v_r; \Delta v_1, \Delta v_2, \Delta v_{ps}] \quad (3.41)$$

$$U^T = [\Delta I_x, \Delta I_y; \Delta v_x, \Delta v_y; \Delta v_d, \Delta v_q; \Delta v_t, \Delta P_e, \Delta v_3] \quad (3.42)$$

şeklinde tanımlanırlar.

Durum değişkeni olmayan değişkenlerin (U vektörü) eliminasyonundan önceki toplam sistemin genişletilmiş matrisi (3.43) eşitliği ile verilir. Bu genişletilmiş matris (3.41) ve (3.43) eşitlikleriyle tanımlanan X ve U değişkenlerine aittir ve 25'inci derecedendir.

(3.43) eşitliğiyle verilen bu genişletilmiş matris hakkında bazı saptamalar yapılmalıdır:

Bahan soal

ΔS	Δw	Δp_m	Δp_r	Δi_d	Δi_q	Δi_p	Δi_{kd}	Δi_{kn}	Δf	Δv_s	Δv_r	Δv_1	Δv_2	Δv_{ps}	Δi_x	Δj_y	Δv_x	Δv_y	Δv_d	Δv_g	Δv_h	Δp	Δv_3
1																							
$\frac{1}{M}$	$\frac{1}{M}$																						
$\frac{1}{RT_0}$	$\frac{1}{T_0}$																						
$B_{1,1}$	$B_{1,2}$	$A_{1,1}$	$A_{1,2}$	$A_{1,3}$	$A_{1,4}$	$A_{1,5}$																	
$B_{2,1}$	$B_{2,2}$	$A_{2,1}$	$A_{2,2}$	$A_{2,3}$	$A_{2,4}$	$A_{2,5}$																	
$B_{3,1}$	$B_{3,2}$	$A_{3,1}$	$A_{3,2}$	$A_{3,3}$	$A_{3,4}$	$A_{3,5}$																	
$B_{4,1}$	$B_{4,2}$	$A_{4,1}$	$A_{4,2}$	$A_{4,3}$	$A_{4,4}$	$A_{4,5}$																	
$B_{5,1}$	$B_{5,2}$	$A_{5,1}$	$A_{5,2}$	$A_{5,3}$	$A_{5,4}$	$A_{5,5}$																	
$K_{1,2}$	$K_{1,3}$	$K_{2,1}$	$K_{2,2}$																				
$\frac{1}{M}$	$\frac{1}{M}$																						

Serbia non

Sentron Mak.

A
2. OP
0.6. P
W

$\frac{1}{T_0}$
 $\frac{1}{T_0}$
 $\frac{1}{T_0}$
 $\frac{1}{T_0}$
 $\frac{1}{T_0}$
 $\frac{1}{T_0}$
 $\frac{1}{T_0}$
 $\frac{1}{T_0}$
 $\frac{1}{T_0}$
 $\frac{1}{T_0}$

0.15
0.15
0.15
0.15
0.15
0.15
0.15
0.15
0.15
0.15

2. OP
0.6. P
B

(3.43)

Bahan

A
 $\frac{1}{T_0}$
 $\frac{1}{T_0}$
 $\frac{1}{T_0}$
 $\frac{1}{T_0}$

6. kor

B

$\frac{1}{M}$
 $\frac{1}{M}$
 $\frac{1}{M}$
 $\frac{1}{M}$
 $\frac{1}{M}$
 $\frac{1}{M}$
 $\frac{1}{M}$
 $\frac{1}{M}$
 $\frac{1}{M}$
 $\frac{1}{M}$

-1

X

-1

X

-1

X

-1

X

1) M üssü, (2.52) ve (2.53) eşitliklerinde tanımlanmış sonuçları meydana getiren matrislerin A ve B matrisleri olduğu anlamına gelir.

2) K matrislerinde görülen 1,2,3 ve 4 üsleri, bunların (3.33), (3.36), (3.38) ve (3.40) eşitliklerince tanımlanan K_1 , K_2 , K_3 ve K_4 matrisleri olduklarını gösterir.

3) $A_{2,1}$; $A_{3,1}$ ve $A_{3,2}$ terimleri (2.76) eşitliğinde tanımlanan A matrisinin elemanlarına aittir.

4) Genişletilmiş matrisin son satırı, (2.73) eşitliğinin 4. satırından çıkarılmış, aynı genişletilmiş matrisin 2. satırına karşılık gelmektedir.

Durum değişkeni olmayan değişkenlerin (U vektörü) eliminasyonundan sonra (3.28) eşitliğindeki türde 16'ıncı dereceden bir diferansiyel denklem takımı elde edilir. Buradaki X vektörü (değişkenleri) (3.41) eşitliği ile verilmiştir. Son A matrisi elemanlarının karmaşıklığı nedeniyle verilememiştir. (3.7) eşitliğiyle verilmiş olduğu gibi standart matris indirgeme teknikleri kullanılarak genişletilmiş matris indirgenmektedir.

BÖLÜM 4.

LİNEER SİSTEM ANALİZLERİ

4.1. Özdeğerler ve Özvektörler

4.1.1. Özdeğer ve Özvektör Tanımı [11]

Sınırlı bir A kare matrisinin özdeğerleri, mantıklı çözümlere sahip olan

$$AX = \lambda X \longrightarrow (A - \lambda_i I) \underline{x} = \underline{0} \quad \text{rank } A \leq n \quad (4.1)$$

olmalı

eşitliğindeki λ değerleridir. (4.1) eşitliğinin çözümü, yalnızca $(A - \lambda I)$ 'nin determinantı sıfır olduğunda mevcuttur.

$$|A - \lambda I| = 0 \quad (4.2)$$

(4.2) eşitliğinin köklerine A matrisinin özdeğerleri denir ve n matrisin boyutunu göstermek üzere

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ şeklinde yazılabilir.

Her bir özdeğere ait, cM_i formundaki (4.1) eşitliğinin bir çözümü olacaktır. Burada M_i sıfır olmayan vektör ve c de sınırlı bir katsayıdır.

$$AM_i = \lambda_i M_i \longrightarrow (A - \lambda_i I)M_i = 0 \quad (4.3)$$

(4.3) eşitliğinin sıfırdan farklı M_i çözümleri, A'nın normalize özdeğerleridir.

n adet farklı özdeğer için çözüm vektörleri bir M kare matrisi oluşturmak için birer birer düzenlenebilir. Şöyleki;

$$M = [M_1, M_2 \dots M_n] \quad (4.4)$$

Özdeğerler de diagonal bir Λ matrisinde düzenlenebilir.

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & \\ & \lambda_2 & \\ & & \ddots \\ & & & \lambda_n \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Bu durumda (4.1) eşitliği bütün özdeğer ve özvektörleri aynı anda değiştirmek için geliştirilebilir. Buradan;

$$A \cdot M = A [M_1, M_2, \dots, M_n] = [AM_1, AM_2, \dots, AM_n] = [M_1 \lambda_1, M_2 \lambda_2, \dots, M_n \lambda_n]$$
$$AM = MA = [M_1 \lambda_1, M_2 \lambda_2 \dots M_n \lambda_n] \quad AM_i = M_i \lambda_i \quad (4.6)$$

Bu genel görüş ile özel dinamik problemler arasında ilişki kurmak için (4.6) eşitliğinin soldan M^{-1} ile çarpıldığını düşünelim.

$$M^{-1}AM = \Lambda \quad e^{At} = M \cdot e^{\Lambda t} \cdot M^{-1} \quad (4.7)$$

O zaman M matrisi, A matrisini diagonal matrise dönüştüren bir dönüşüm olarak kabul edilebilir. M'nin bu özelliği büyük değer taşır.

4.1.2. Sayısal Hesaplama [11,12]

(4.2) eşitliğinin açılımı λ 'nın bir çok terimlisini oluşturur. QR dönüşümleri simetrik olmayan matrislerin ve çok kısaltılmış formda tanımlananların özdeğerlerinin ve özvektörlerinin hesabında çok etkilidir. QR dönüşümlerinin esasını oluşturan temel düşünce, A matrisinin ortogonal benzerlik dönüşümleriyle üçgen hale getirilmesidir. Özdeğerler benzerlik dönüşümü altında değişmez kaldıklarından üçgen matrisin köşegen elemanları A'nın özdeğerleridir.

Benzerlik dönüşümü genel olarak şu formdadır;

$$T = Q^{-1}AQ \quad (4.8)$$

QR dönüşümünün özel avantajı, A matrisinin üçgenleştirilmesinde birim matrislerin kullanılıyor olmasıdır. QR dönüşümü aşağıda açıklanacağı gibi iteratif bir yöntemdir.

$A^{(k)}$, (k-1) iterasyon sonunda elde edilen dönüştürülmüş matristir. Bu yüzden,

$$A = A^{(1)} \quad (4.9)$$

$A^{(k)}$ matrisi, birim matris $Q^{(k)}$ ve üstüçgen matris $R^{(k)}$ gibi iki matrisin çarpımı olarak ayrılmıştır. $A^{(k-1)}$ matrisi, $Q^{(k)}$ ve $R^{(k)}$ 'nin ters yönde çarpımlarından oluşmuştur. Şöyleki;

$$A^{(k)} = Q^{(k)} R^{(k)} \quad (4.10)$$

$$A^{(k+1)} = R^{(k)} Q^{(k)} \quad (4.11)$$

QR dönüşümleri, A'daki bir takım benzerlik dönüşümleri ile eşdeğerdir. Bu A'nın özdeğerlerinin değişmeden kalmasını sağlamak için gerçekleştirilmiştir.

$$A = A^{(1)} = Q^{(1)} R^{(1)} \quad (4.12)$$

$$[Q^{(1)}]^{-1} A^{(1)} = R^{(1)} \quad (4.13)$$

$$A^{(2)} = R^{(1)} Q^{(1)} = [Q^{(1)}]^{-1} A^{(1)} Q^{(1)} \quad (4.14)$$

$$A^{(2)} = Q^{(2)} R^{(2)} \quad (4.15)$$

$$[Q^{(2)}]^{-1} A^{(2)} = R^{(2)} \quad (4.16)$$

$$A^{(3)} = [Q^{(2)}]^{-1} A^{(2)} Q^{(2)} \quad (4.17)$$

$$A^{(3)} = [Q^{(2)}]^{-1} [Q^{(1)}]^{-1} A^{(1)} Q^{(1)} Q^{(2)} \quad (4.18)$$

Bu işlemlerin sonucunda,

$$A^{(k)} = [Q^{(k-1)}]^{-1} \dots [Q^{(1)}]^{-1} A^{(1)} Q^{(1)} \dots Q^{(k-1)} \quad (4.19)$$

elde edilir.

Pratik hesaplama yöntemini geliştirmek, A matrisinin kendi Q ve R matrislerine, uygun bir metodla ayrıştırılmasını gerektirir. QR dönüşümü, Hessenberg veya tridiagonal şekle indirgeme ile bağlantılı kullanıldığında, QR algoritması, bir bilgisayara yüksek hızla yüklenmesine elverişli elemanları olan bir matrisin bütün özdeğerlerinin bulunması için en etkili yöntemlerden biri olduğunu gösterecektir.

Özvektörler, son üçgen matrisin özvektörlerinin hesaplanması ve ters dönüşüm uygulanmasıyla bulunabilirler.

Özel bir λ_i özdeğerine ait özvektör aşağıdaki eşitliğin çözümüyle elde edilir.

$$(A - \lambda_i I) M_i = 0 \rightarrow A M_i = \lambda_i M_i \quad (4.20)$$

$|A - \lambda_i I| = 0$ olduğu için, (4.20) eşitliğinde belirtilen n cebrik denklemin sonsuz çözümü olacaktır. Bu zorluktan, özvektörün bir elemanına keyfi olarak 1 değeri diğerlerine de 0 değeri verilerek kaçınılabılır. Böylece cebrik denklem çözümü yöntemlerinden en iyi bilinenlerinden biriyle bulunabilecek, tek çözümlü homogen olmayan denklem takımı elde edilir.

4.2. Zaman Cevabı [13]

Bir çalışma noktası civarında güç sistemi dinamiği gösteren durum uzayı formundaki genel eşitlik aşağıdaki gibi verilir.

$$\dot{X}(t) = A X(t) + BU(t) \quad \psi(s) = \frac{Ek(su+A)}{EBoB} = \frac{(s-\lambda_1)^{m_1} (s-\lambda_2)^{m_2} \dots (s-\lambda_n)^{m_n}}{(s-\lambda_1)^{m_1} (s-\lambda_2)^{m_2} \dots (s-\lambda_n)^{m_n}} \quad (4.21)$$

ψ(s) : minimal çözümlü
garelleri bilmiş özvektör için

(4.21) eşitliğinin çözümü, farklı özdeğerler (bağımsız özvektörler) varsayımı ve 4.4. eşitliğinde tanımlanan özvektör matrisi M'nin kullanımı ile elde edilebilir.

$$X(t) = MQ(t) \quad (4.22)$$

(4.22) eşitliği (4.21) eşitliğinde yerine konursa;

$$\dot{MQ}(t) = AMQ(t) + BU(t) \quad (4.23)$$

(4.23) eşitliği de M'nin tersi ile soldan çarpılırsa;

$$\dot{Q}(t) = M^{-1}AMQ(t) + M^{-1}BU(t) \quad (4.24)$$

(4.7) eşitliği, (4.24) eşitliğinde yerine konursa,

$$\dot{Q}(t) = \Lambda Q(t) + M^{-1}BU(t) \quad (4.25)$$

bulunur.

$X(t)$, $t=t_0$ 'da biliniyor (yani, çalışma noktasından başlangıç bozucu etkileri cinsinden başlangıç değerler) ve $t=t_1$ 'deki $X(t)$ değeri hesaplanmak isteniyor. O zaman, (4.25) eşitliğinde t değişkeni τ ile değiştirilir ve bu eşitlik $e^{-\Lambda\tau}$ ile soldan çarpılırsa,

$$e^{-\Lambda\tau}\dot{Q}(\tau) - e^{-\Lambda\tau}\Lambda Q(\tau) = e^{-\Lambda\tau} M^{-1}BU(\tau) \quad (4.26)$$

Şimdi (4.26) eşitliğini (t_0, t) aralığında integre edelim.

$$\int_{t_0}^t e^{-\Lambda\tau}\dot{Q}(\tau)d\tau - \int_{t_0}^t e^{-\Lambda\tau}\Lambda Q(\tau)d\tau = \int_{t_0}^t e^{-\Lambda\tau}M^{-1}BU(\tau)d\tau \quad (4.27)$$

integrasyon sonucu

$$Q(t) = e^{-\Lambda(t-t_0)}Q(t_0) + e^{-\Lambda t} \int_{t_0}^t e^{\Lambda\tau} M^{-1}BU(\tau)d\tau \quad (4.28)$$

olarak bulunur. (4.22) eşitliğinden,

$$Q(t) = M^{-1}.X(t) \quad (4.29)$$

yazılır. (4.29) eşitliği, (4.28) eşitliğinde kullanılır ve düzenlemeler yapılırsa:

$$X(t) = \underbrace{Me^{\Lambda(t-t_0)}M^{-1}}_{e^{A(t-t_0)}} X(t_0) + \int_{t_0}^t \underbrace{Me^{\Lambda(t-\tau)}M^{-1}}_{e^{A(t-\tau)}} BU(\tau) d\tau \quad (4.30)$$

elde edilir.

$$Me^{\Lambda t} M^{-1} = e^{At} \quad (4.31)$$

olduğundan,

$$X(t) = e^{A(t-t_0)} X(t_0) + \int_{t_0}^t e^{A(t-\tau)} BU(\tau) d\tau \quad (4.32)$$

Özel bir durum olarak $U(t)=0$ (dış girişler olmadan sistem çalışıyor; yani özerk sistem) alınırsa,

$$\dot{X}(t) = AX(t) \quad (4.33)$$

homogen denkleminin çözümü;

$$X(t) = e^{A(t-t_0)} X(t_0) \quad (4.34)$$

$$X(t) = Me^{\Lambda(t-t_0)} M^{-1} X(t_0) \quad (4.35)$$

$$X(t) = Me^{\Lambda t} e^{-\Lambda t_0} M^{-1} X(t_0) = M \cdot e^{\Lambda t} \cdot C(t_0) \quad (4.36)$$

elde edilir.

$$e^{-\Lambda t_0} \cdot M^{-1} \cdot X(t_0) = C(t_0)$$

$$e^{\Lambda t} = \begin{bmatrix} e^{\lambda_1 t} & & & \\ & e^{\lambda_2 t} & & \\ & & \ddots & \\ & & & e^{\lambda_n t} \end{bmatrix} \quad (4.37)$$

olsun. (4.6) ve (4.36) eşitlikleri (4.35) eşitliğine uygulanırsa, sonuç olarak;

$$X(t) = C_1 M_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 M_2 e^{\lambda_2 t} + \dots + C_n M_n e^{\lambda_n t} \quad (4.38)$$

yazılabilir. Eğer;

$$\lambda_i = \alpha_i \pm j\omega_i \quad (\text{kompleks eşlenik çift}) \quad (4.39)$$

ise,

$$x_j(t) = \sum_{i=1}^n e^{\alpha_i t} (A_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t) \quad (4.40)$$

(4.38) eşitliği, A matrisinin özdeğer ve özvektörlerinin bir fonksiyonu olarak zaman cevabıdır. C_1, C_2, \dots, C_n sabitleri, değerleri (4.36) eşitliği ile bulunabilen $C(t_0)$ vektörünün elemanlarıdır. (4.40) eşitliği, herhangi bir $x_j(t)$ değişkeni için, (4.38) ve (4.39) eşitlikleri ile hesaplanan A_i ve b_i sabitlerinin ve özdeğerlerinin reel ve kompleks kısımlarının fonksiyonu olarak zaman cevabıdır.

4.3. Kararlılık Analizi [14]

Bir sistem parametresinin değişimi veya A matrisindeki özel bir elemanın değişimi için s-düzleminde işaretilenen sistem özdeğerlerinin hareketi, köklerin yer eğrisi olarak anılır.

Geleneksel kontrol sisteminde kök yer eğrisinin kullanışlılığı s-düzlemindeki sistem özdeğerlerinin konumunun sistem kararlılığını belirlemesidir.

Eğer özdeğerlerin reel kısımları pozitif ise (s-düzleminin sağ yarısında), sistem kararsızdır. Özdeğerlerin reel kısımları negatifse, sistem kararlı cevaplar verecektir. Kompleks özdeğerler kompleks eşlenik çiftler olarak ortaya çıkarlar ve salınımlı cevaplara neden olurlar:

1) Özdeğerin reel kısmı negatif ve büyük değerli ise (zaman sabiti küçük), cevaplar çabucak sönerler.

2) Özdeğerin reel kısmı negatif ve küçük değerli ise (zaman sabiti büyük), cevaplar yavaşça sönerler.

3) Özdeğerin reel kısmı sıfır ise, cevaplar sabit bir bant genişliğinde belirsizce salınım yaparlar.

4) Özdeğerlerin reel kısmı pozitif ise, cevaplar sınırsız artar; sistem kararsızdır.

4.4. Özdeğer Duyarlılığı [15]

Özdeğer duyarlılığı, α sistem parametrelerine ve A matrisinin elemanlarına göre alınacak kısmi türevlerden elde edilir. Eğer (4.3) eşitliğinin her iki yanının da α_j parametrelerine göre kısmi türevleri alınır;

$$\left(\frac{\partial A}{\partial \alpha_j}\right) M_i + A \left(\frac{\partial M_i}{\partial \alpha_j}\right) = \lambda_i \left(\frac{\partial M_i}{\partial \alpha_j}\right) + \left(\frac{\partial \lambda_i}{\partial \alpha_j}\right) M_i \quad (4.41)$$

Bölüm 4.1.1'deki aynı özdeğer analizi, A matrisinin devriğinde yapılırsa; (4.6) eşitliğine eşdeğer bir eşitlik elde edilir;

$$A^T W = W \Lambda \quad (4.42)$$

Burada özdeğerlerde bir değişme olmaz. Ancak yeni bir W özvektör takımı şekillenir. (4.42) eşitliği, özel bir özdeğer ve ona ait özvektör için (4.3) eşitliğine eşdeğer hale gelir;

$$A^T W_i = W_i \lambda_i \quad (4.43)$$

((4.41) eşitliğinin ve W_i 'nin herbir teriminin skaler ürünü şöyle oluşur;

$$\left(\left(\frac{\partial A}{\partial \alpha_j}\right) M_i, W_i\right) + \left(A \left(\frac{\partial M_i}{\partial \alpha_j}\right), W_i\right) = \lambda_i \left(\frac{\partial M_i}{\partial \alpha_j}, W_i\right) + \frac{\partial \lambda_i}{\partial \alpha_j} (M_i, W_i) \quad (4.44)$$

= sadeleşir.

(4.43) eşitliği, (4.44) eşitliğinin sağ tarafının ilk teriminde yerine konulursa, şu hale gelir:

$$\lambda_i \left(\frac{\partial M_i}{\partial \alpha_j}, W_i\right) = \left(\frac{\partial M_i}{\partial \alpha_j}, A^T W_i\right) \quad (4.45)$$

(4.45) eşitliğinin, (4.44) eşitliğinin sol tarafının ikinci terimine eşdeğer olduğu görülür. Buradan

$$\frac{\partial \lambda_i}{\partial \alpha_j} = \frac{\left(\left(\frac{\partial A}{\partial \alpha_j}\right) M_i, W_i\right)}{(M_i, W_i)} \quad (4.46)$$

bulunur.

4.5. Parametrelerin Ayarlanması

4.5.1. Genel Yöntemler [9,10]

En çok amaçlanan, sistem performansında kapsamlı iyileştirmeler yapmak için, belirli kontrol sistemi parametrelerini değiştirmektir. Bununla birlikte, ne sistemin geçici cevabı ne de özdeğerlerinin konumu, dinamik performansı iyileştirmek için sistem parametrelerinin nasıl değiştirileceği hakkında bir fikir vermez.

Dinamik performansın iyileşmesinin bir olasılığı, sistem parametrelerinin birkaç bileşimi için geçici cevapları hesaplamak ve en uygun cevaplı bileşimi seçmekle gerçekleştirilebilir. Ancak ayarlanabilen parametrelerin çok sayıda olduğu büyük bir sistemde hesaplamaların çokluğu engelleyici bir rol oynar.

Parametrelerin ön ayarlamalarının hepsinin özdeğerlerdeki değişimlere bağlı olması daha az çabayı gerektirir. Özdeğer duyarlılığı, s-düzleminde özdeğerlerin daha çok istenilen konuma getirilmesinde hangi sistem parametrelerinin en etkili olduğunu gösterir.

4.5.2. Lineer Programlamayla Birleştirilmiş Özdeğer Duyarlılığı [3]

Temel fikir, her bir sistem parametresine verilen maliyete uygun kritik özdeğerlerin yer değiştirilmelerinin maksimumlaştırılmasında toplanmaktadır.

Maliyet ve fiziksel özelliklerin ilişkisinden dolayı diğerlerinden daha kolay değiştirilebilen bazı sistem parametreleri bulunduğu için, sistem parametrelerinin ayarlanması, verilen çalışma noktasındaki kritik özdeğerlerin sola geçirilmesini maksimumlaştırmak için problemin aşağıdaki şekle dönüştürüldüğü lineer programlama kullanılarak yapılmaktadır.

$$\text{Min} \left[\sum_{t=1}^n C_i |\Delta\alpha_i| \right] \quad (4.47)$$

$$\text{Re} \left[\frac{\partial \lambda_j}{\partial \alpha_i} \right] \Delta\alpha_i \leq \text{Re} \left[\nabla \lambda_j \right] \quad (4.48)$$

$$\underline{\alpha}_i \leq \alpha_i \leq \bar{\alpha}_i$$

C_i : i'inci parametreye ayrılan rölatif maliyet değeri

$\Delta\alpha_i$: i'inci parametredeki değişim

$\partial\lambda_j/\partial\alpha_i$: i'inci parametreye göre λ_j kritik özdeğerinin duyarlılığı

$\Delta\lambda_j$: λ_j kritik özdeğerinin değişimi

$\bar{\alpha}_i, \underline{\alpha}_i$: i'inci parametrenin maksimum ve minimum değerleri

Özdeğerler ve parametreler arasındaki ilişki lineer olmadığı için özdeğerlerin değişimleri küçük düşünülmelidir. Bu yüzden, özdeğer duyarlılığı çok küçük oluncüye kadar işlem iteratif bir yolla uygulanmaya devam edilir.

BÖLÜM 5.

SAYISAL ÖRNEKLER

4.1. Birinci Durum İle İlgili İncelemeler.

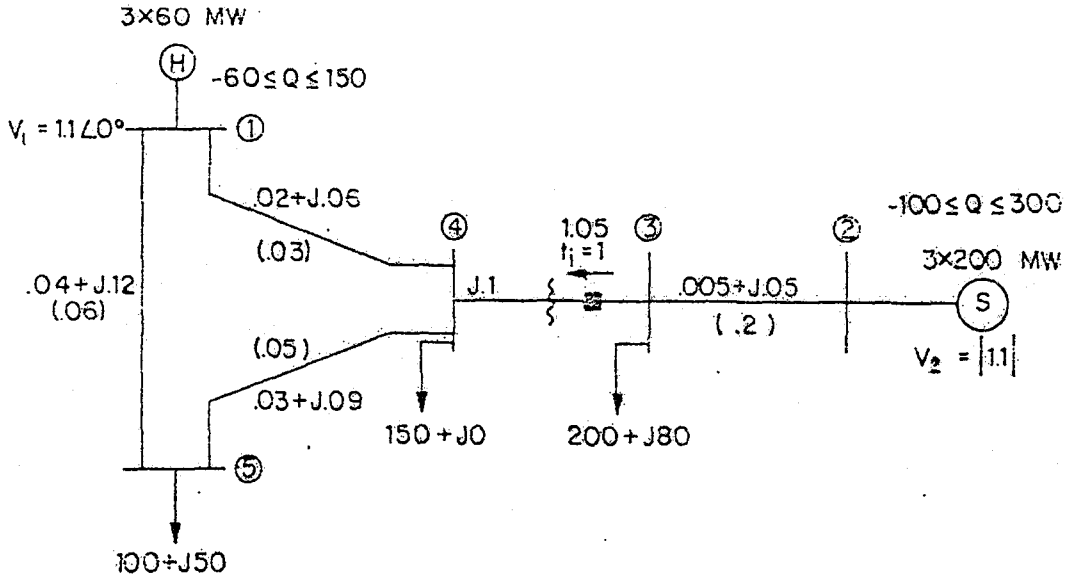
Şekil 5.1. de verilen beş baralı güç sistemi dinamik kararlılık çalışmaları için kullanılmıştır. 3,4 ve 5 no.lu yük baralarının dinamik olmadığı varsayılmıştır. 1 numaralı bara, herbiri 60 MW'lık 3 üniteli su santrali istasyonuna aittir. 2 numaralı bara ise herbiri 200 MW'lık 2 ünitelen oluşan buhar istasyonunu göstermektedir.

1 numaralı bara salınım barası olarak kabul edilmiştir. Tam ve yarım yük olarak iki yük seviyesi kullanılmıştır. Yük akışının incelenmesinden sonra tam ve yarım yük için gerilim ve güçlerin analizleri yapılarak Tablo 5.1 de verilmiştir.

Tablo 5.1 Yük akışı Sonuçları

Bara	TAM YÜK				YARI YÜK			
	G Ü Ç		GERİLİM		G Ü Ç		GERİLİM	
	Aktif	Reaktif	Genlik	Açı	Aktif	Reaktif	Genlik	Açı
1	1.089	.769	1.100	0.000	1.022	-.082	1.100	0.000
2	3.500	1.228	1.100	14.778	1.250	.360	1.100	2.217
3	-2.000	-.800	1.029	6.258	-1.000	-.400	1.068	-.685
4	-1.500	-.600	1.062	-.956	-.750	-.300	1.091	-1.819
5	-1.000	-.500	1.042	-2.829	-.500	-.250	1.081	-2.180

Dinamik baralardan oluşan eşdeğer devrenin Jacobian Matrisi, elektrik Şebekesinin etkileşimini göstermek için kullanılmıştır. Sabit empedans, sabit akım ve sabit aktif ve reaktif güçlü yükler olmak üzere üç değişik tip yük gösterimi ele alınmıştır.



Şekil 5.1. Örnek olarak seçilen güç sistemi.

Tablo 5-2 örnek olarak seçilen sisteme ait Jacobian Matrisi göstermektedir. Bu değerler Ek A ile verilen Jacobian Matris programı ile elde edilmiştir.

Şekil 5-1 de verilen sistem, su ve buhar santrallerinin ayrı basit alt modellerinin herbirinin düşünülmesi ve şebeke ve yük frekans kontrolü üzerinden alt modellere bağlanması adımları ile incelenmiştir. Aynı zamanda her altmodel bir önceki tümleştirilmiş alt sisteme bağlı olarak ele alınmıştır. Başlangıç parametreleri, her bir altmodel ve tümleştirilmiş altsistemin dinamik kararlılığının iyileştirilmesi için, değiştirilmiştir. Parametre değişimleri her parametreye göre bulunan özdeğer duyarlılığına uygun olarak yapılmıştır.

Temel altmodeller ve etkileşimin gösterilimleri aşağıdaki gibi düşünülmüştür.

1) Buhar güç santrali ön ısıtmasız ve tandem bağlıdır.

2) Dinamik gösterilimlerin etkiler bakımından su ve buhar istasyonlarının elektriksel altmodelleri özdeş ve temel altmodeller bir zaman sabitlidir.

3) Elektrik makinalarının Otomatik Gerilim Regülatörü ve uyarma sistemi 1. tiptir.

4) Güç kararlılaştırıcılar bulunmamaktadır.

5) İletim sistemi Jacobian Matris yoluyla ifade edilmiştir.

6) Yük frekans denetiminin etkileşimi düşünülmüştür.

Tablo 5-3 mekanik altmodellerin başlangıç parametrelerini vermektedir. Bu parametreler hem makinaların kendi temel değerlerine hem de bu çalışmada 100 MW olarak seçilen genel temel değere göre birime indirgenmiş olarak verilmiştir.

Tablo 5-3 Mekanik Parametreler

Parametre	BUHAR İSTASYONU		SÜ İSTASYONU	
	Kendi Temel Değeri	Genel Temel Değeri	Kendi Temel Değeri	Genel Temel Değeri
MVA	600	100	180	100
H	4	24	3	5.4
M		$\frac{24}{60\pi}$		$\frac{5.4}{60\pi}$
D	$\frac{1}{120\pi}$	$\frac{6}{120\pi}$	$\frac{1}{120\pi}$	$\frac{1.8}{120\pi}$
R	$0.05 \times 120\pi$	$\frac{0.05 \times 120\pi}{6}$	$0.05 \times 120\pi$	$\frac{0.05 \times 120\pi}{1.8}$
r			0.3×120	$\frac{0.3 \times 120}{1.8}$
T_w, T_s	1	1	2	2
T_R	0.25	0.25	0.2	0.2
T_r			4	4
K	.0009	.0009	.0002	.0002
T_c	.25	.25	.25	.25
b	$6.0 / (120\pi)$	$6.0 / (120\pi)$	$8.0 / (120\pi)$	$8.0 / (120\pi)$

Su ve buhar istasyonlarının elektrik makinalarının özdeş olduğu varsayılmıştır. Elektriksel altmodellerin parametreleri Tablo 5-4 ile verilmiştir.

Tablo 5-4 Su ve Buhar İstasyonlarına ait Elektriksel Parametreler

Parametre	Değer
Td(s)	1,5
Kg(p.u.)	1.0
Ta(s)	0.1
Te(s)	5.0
Ka(p.u.)	1.0
Ke	500
Tf(s)	0.4
Kf(p.u.)	0.05
Tr(s)	0.05
Kr(p.u.)	1.0
Kq(p.u.)	0.00

5.1.1. Temel Altmodeller

Su santralının mekanik altmodeli, şebekeye bağlı olmaksızın yalnız başına ele alındığında, tam yük için aşağıdaki özdeğerler bulunur.

.0000
-6.1565
-0.2688
.1085 +j.6549

Kompleks özdeğerler olan $0.1085+j.6549$ eşlenik çifte ait duyarlılıklar aşağıdaki gibidir.

Sönüm katsayısı $-18.81+j16.38$
Momentum Eylemsizlik Sabiti $-12.77+j10.54$
Oluklardaki suyun zaman sabiti $.183+j.181$
Geçici düşü zaman sabiti $-.030+j.018$
Regülatör zaman sabiti $.054+j.323$
Geçici hız ayarlaması $-.007+j.004$
Sürekli hal hız ayarlaması $-.002+j.002$

Bu duyarlılıklara bağlı olarak, su parametrelerinde aşağıdaki değişimler yapılmıştır.

Sönüm Katsayısı, 1.0 p.u.'den 1.5 p.u.'e;
Oluklardaki suyun zaman sabiti 2.0 s'den 1.0'se ye;
Geçici düşü zaman sabiti 4.0 s'den 5.0 s'ye değiştirilmiştir.

Tablo 5-5 birbiriyle bağlantısı olmayan altmodellerin herbiri için özdeğerlerin sonuçlarını göstermektedir. Elektrik makinalarının altmodelleri otomatik gerilim regülatörü ve uyarma sisteminide kapsamaktadır.

Tablo 5-5 Bağlantısız Temel Altmodellerin Özdeğerleri

	Su santrali mekanik	Buhar santrali mekanik	Elektrik Makinaları
Tam yük	-0.3190±j.9413 -0.1872 -6.4582 0	-0.2546±j1.4866 -0.4.6158 0	-2.6291±j6.8534 -5.6374±j2.2458 -16.8338
Yarı yük	-0.2491±j.8602 -0.2233 -6.4369 0	-0.2266±j1.4739 -4.6093 0	-2.6291±j6.8543 -5.6374±j2.2458 -16.8338

5.1.2. Şebekeye Bağlı Su ve Buhar Santrali Mekanik Altmodelleri

İki yük seviyesi (tam ve yarı yük) ve ek olarak üç yük gösterilimi (sabit empedanslı, sabit akımlı ve sabit aktif ve reaktif güçlü yükler) ile şebekeye bağlı bulunan su ve buhar santrallerinin mekanik altmodelleri incelenmiştir. Sonuçta elde edilen özdeğerler Tablo 5-6 da verilmiştir.

Tablo 5-6 Şebekeye bağlı Su ve Buhar Santrali Mekanik modellerin özdeğerleri

	Y Ü K G Ö S T E R İ L İ M İ		
	Sabit Empedans	Sabit Akım	Sabit Güç
TAM YÜK	-.0436±j15.4144 -.2474±j1.4178 -5.5714 -4.3832 -1.8308 -.0409 0	-0472±j15.8968 -.2472±j1.4139 -5.5803 -4.3722 -1.8254 -.0414 0	-.0437±j15.4352 -.2473±j1.4159 -5.5786 -4.3791 -1.827 -.0412 0
YARI YÜK	.0084±j16.0039 -.2139±j1.3994 -5.5602 -4.3752 -1.8330 -.0413 0	.0064±j16.2835 -.2138±j1.3991 -5.5578 -4.3732 -1.8335 -.0413 0	.0078±j16.0919 -.2140±j1.4003 -5.5558 -4.3765 -1.8349 -.0412 0

Tablo 5-6'daki sonuçlar, sistemin yarı yük için kararsız olduğunu göstermektedir. Sağ yarı düzlemde bulunan özdeğerlerin duyarlılığına göre sistem parametrelerinde aşağıdaki değişimler yapılmıştır.

Regülatör zaman sabiti, .2 s den, 3 s ye su santrali sürekli hal hız ayarı .05 p.u. dan, 04 p.u. ya buhar santrali sürekli hal hız ayarı 05 p.u. dan 06 p.u. ya değiştirilmiştir.

Tablo 5-7 bu değişimler yapıldıktan sonraki özdeğerleri göstermektedir.

Tablo 5-7 Şebekeye bağlı su ve buhar santralleri mekanik altmodellerin parametrelerindeki değişimlerden sonraki özdeğerleri.

	Y Ü K G Ö S T E R İ L İ M İ		
	Sabit Emgedans	Sabit Akım	Sabit Güç
TAM	-0.738+j15.4482	-.0757+j15.9299	-.0738+j15.4688
YÜK	-.2782+j1.3007	-.2774+j1.2971	-.2778+j1.2989
	-4.5790	-4.5815	-4.5802
	-3.6532	-3.6549	-3.6568
	-1.7629	-1.7559	-1.7586
	-.0360	-.0366	-.0363
	0	0	0
YARI	-.0199+j16.0372	-.211+j16.3166	-.203+j16.1253
YÜK	-.2445+j1.2813	-.2445+j1.2810	-.2448+j1.2821
	-4.5709	-4.5710	-4.5704
	-3.6458	-3.6430	-3.6430
	-1.7655	-1.7659	-1.7677
	-.0365	-.0365	-.0363
	0	0	0

5.1.3. Şebekeye Bağlı Merkezden Denetimli Su ve Buhar Santralleri Mekanik Altmodelleri.

Bu altmodeller için parametrelerdeki değişimlerden sonra elde edilen özdeğerler Tablo 5-8 de verilmiştir. Sistem kararlı olduğundan (sağ yanı düzlemde özdeğer yor) parametrelerde değişikliğe gerek yoktur. Merkezden denetimin devreye girmesi sistemin dinamik kararlılığında bir etkiye yol açmamıştır. Merkezden denetim, sürekli hal frekansını ve yük sabitlerini korumak için tasarlandığı için bu sonuç beklenmektedir.

Tablo 5-8 Şebekeye bağlı merkezden denetimli su ve buhar santralleri mekanik Altmodellerinin özdeğerleri.

	Y Ü K G Ö S T E R İ L İ M İ		
	Sabit Emgedans	Sabit Akım	Sabit Güç
TAM YÜK	-0.0738+j15.4482	-0.0757+j15.9299	-0.0738+j15.4688
	-0.2782+j1.3006	-0.2774+j1.2971	-0.2778+j1.2989
	-4.5789	-4.5814	-4.5802
	-4.0000	-4.0000	-4.0000
	-3.9967	-3.9967	-3.9967
	-3.6573	-3.6590	-3.6609
	-1.7621	-1.7551	-1.7578
	-0.0354	-0.0360	-0.0357
	0	0	0
	0	0	0
YARI YÜK	-0.0199+j16.0372	-0.0211+j16.3166	-0.0203+j16.1253
	-0.2445+j1.2813	-0.2445+j1.2810	-0.2448+j1.2821
	-4.5708	-4.5709	-4.5703
	-4.0000	-4.0000	-4.0000
	-3.9967	-3.9968	-3.9968
	-3.6499	-3.6470	-3.6470
	-1.7647	-1.7651	-1.7669
	-0.0359	-0.0360	-0.0358
	-0.0006	-0.0006	-0.0006
	0	0	0
0	0	0	

5.1.4. Su ve Buhar İstasyonlarının Herbirinin Elektromekanik Dinamik Davranışları

Burada Jacobian altmatrislerle gösterilen elektrik şebekesine bağlı her bir makinanın mekanik ve elektriksel gösterilimleri birleştirilmiştir. Sabit empedam yükü gözönüne alınarak su ve buhar istasyonlarının herbirinin elektromekanik davranışlarının incelenmesi sonucu elde edilen özdeğerler Tablo 5-9 da verilmiştir.

Tablo 5-9 Su ve Buhar İstasyonları İçin Elektromekanik Dinamik Davranışları Özdeğerleri.

Su İstasyonu	Buhar İstasyonu
-.0799 j6.5655	.0620 j13.9362
-2.6165 j7.4949	-2.9386 j8.4263
-16.5774	-15.6004
-7.7908	-11.8079
-4.4407	-3.4799
-3.9992	-2.3303
-.9433	-1.9157

Su santralına ait elektromekanik almatrislerle kararsız olduğu açıkça görülmektedir. Özdeğerleri yerlerinin değiştirilmesi için lincer programlama kullanılarak, aşağıdaki parametreler değiştirilmiştir.

Geciği düşü zaman sabiti 5.0 s'den 2.5 s'ye,
Regülatör zaman sabiti, .3 p.u.'den .6 p.u.'e,
Geçici hız ayarı, .3 p.u.'den .2479 p.u.'e,
Sürekli hal hız ayarı, .4p.u.'den .2 p.u.'e,
Otomatik gerilim regülatörü zaman sabiti, .1 s'den .25 s'e,
Uyarma kazancı, 500'den 350'ye,
Kararlılaştırıcı zaman sabiti, .4 s'den .5593 s'e
Kararlılaştırıcı kazancı, .05'den .1'e,
Regülatör giriş filtresi zaman sabiti, .05 s'den .09 s'e,
Sönüm katsayısı, 1.5 p.u.'den 1.8062 p.u.'e,
Oluklardaki suyun zaman sabiti, 1.0 s'den .8 s'e,
değiştirilmiştir.

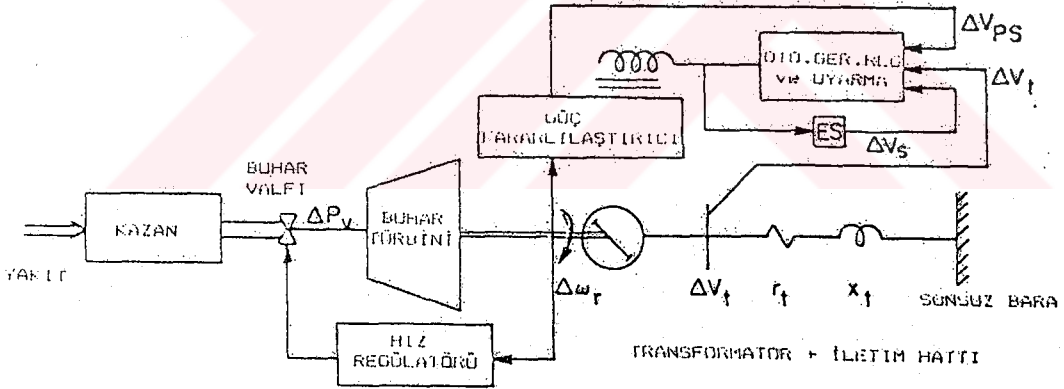
Tablo 5-10, bu parametrelerin değişiminden sonra su istasyonunun elektromekanik altsisteminin özdeğerlerini göstermektedir.

Tablo 5-10 Su istasyonunun elektromekanik Altsisteminin Parametrelerindeki Değişiklerden Sonra Elde Edilen Özdeğerleri

-0.0111±j	13.9922
-1.0940±j	5.9191
-8.2105±j	2.1672
-2.5889	
-1.6333	
-1.2992	
-0.0322	

5.2. İkinci Durum İle İlgili İncelemeler

Şekil 5-2 ile gösterilen sonsuz baraya bağlı senkron generatör dinamik kararlılık incelemesi için kullanılmıştır ve 800 MW'lık bir buhar güç santraline aittir. Bu sisteme ait dinamik gösterilim Şekil 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Sonsuz Baraya Bağlı Senkron Generatör

Temel altmodeller ve etkileşimin gösterilimleri aşağıdaki gibi düşünülmüştür.

1. Buhar güç santrali ön ısıtmasız ve tandem bağlıdır.

2. Elektrik makinası dinamik altsistem gösterilimi 5. derece modeldir.
3. Otomatik gerilim regülatörü ve uyarma sistemi 1. tiptir.
4. Güç kararlılaştırıcı devrededir.
5. Transformatörü içine alan iletim sistemi empedans matrisi yoluyla gösterilmiştir.

Üç ayrı inceleme ele alınmıştır.

1. Güç kararlılaştırıcısız senkron generatör
2. Güç kararlılaştırıcılı senkron generatör
3. Güç kararlılaştırıcılı sistemde, otomatik gerilim regülatörü ve güç kararlılaştırıcı parametrelerdeki değişimler ile kararlılığın iyileştirilmesi.

Parametreler ve işletim koşulları aşağıdaki gibi varsayılmıştır. Makina parametreleri 800 MW temel değere göre birime indirgenmiştir.

Mekanik Altsisteme ait parametreler:

$$\begin{aligned} D &= 0.0 \\ M &= 2.7/60 \\ T_s &= 1.0 \\ T_g &= .25 \\ R &= .05 \times 120 \end{aligned}$$

Senkron generatöre ait parametreler:

$$\begin{aligned} X_t &= .2 \\ R_t &= .02 \\ r_a &= .0032 \\ X_a &= .093 \\ r_{fd} &= .001 \\ X_{fd} &= .086 \\ r_{kd} &= .011 \end{aligned}$$

r_{kq}	=	.014
X_{kd}	=	.048
X_{kq}	=	0.32
X_{md}	=	1.564
X_{mq}	=	1.470
δ (rad)	=	.012
i_{fo}	=	1.499
V_{fo}	=	2.34
V_{do}	=	.569
V_{qo}	=	.975
V_{to}	=	1.05
i_{qo}	=	.366
i_{do}	=	.931

Otomatik Gerilim Regülatörü ve Uyarma Altsistemlerine Ait Parametreler:

T_e (s)	=	2.028
T_a (s)	=	.02
T_f (s)	=	.45
T_r (s)	=	.001
K_e	=	13.89
K_a	=	50.0
K_f	=	.057
K_r	=	1.0

Güç Kararlılaştırıcıya Ait Parametreler:

K_1	=	.21
T_1 (s)	=	3.0
T_2 (s)	=	.15
T_3 (s)	=	.05

Tablo 5-11 Üç Ayrı İnceleme Durumu İçin Sistem Özdeğerleri

Güç Kararlılaştırıcısız Sistem	Güç Kararlılaştırıcılı Sistem (Verilen Parametrelili)	Güç Kararlılaştırıcılı Sistem (Yeni Parametrelili)
-2.09±j 12.93	-3.29±j15.48	-6.18±j17.14
-.50±j .77	-.51±j .64	-.51±j .78
-38.25	-42.47	-44.53
-15.79	-18.07	-18.14
-27.08±j376.21	-27.08±j376.21	-27.08±j376.21
-26.24±j39.8	-27.93±j39.6	-29.38±j37.05
-1000.	-1000.	-1000.
-4.12	-4.12	-4.12
-0.96	-0.95	-0.96
	-13.84±j6.4	-8.45±j8.83
	-.38	-.34

Daha önce bahsedildiği gibi, senkron makina eylemsizliği ve sistem parametreleri nedeniyle oluşan doğal frenas salınımlarına ait ilk özdeğer sol yarı düzleme kaydırılarak yeni güç kararlılaştırıcılı sistem elde edilmiş ve aşağıdaki güç kararlılaştırıcı parametrelerindeki değişimler yapılmıştır.

K_f : Regülatör kararlılaştırma devresi kazancı, .057'den .051'e,

K_1 : Güç kararlılaştırıcı kazancı, .21'den .047'ye,

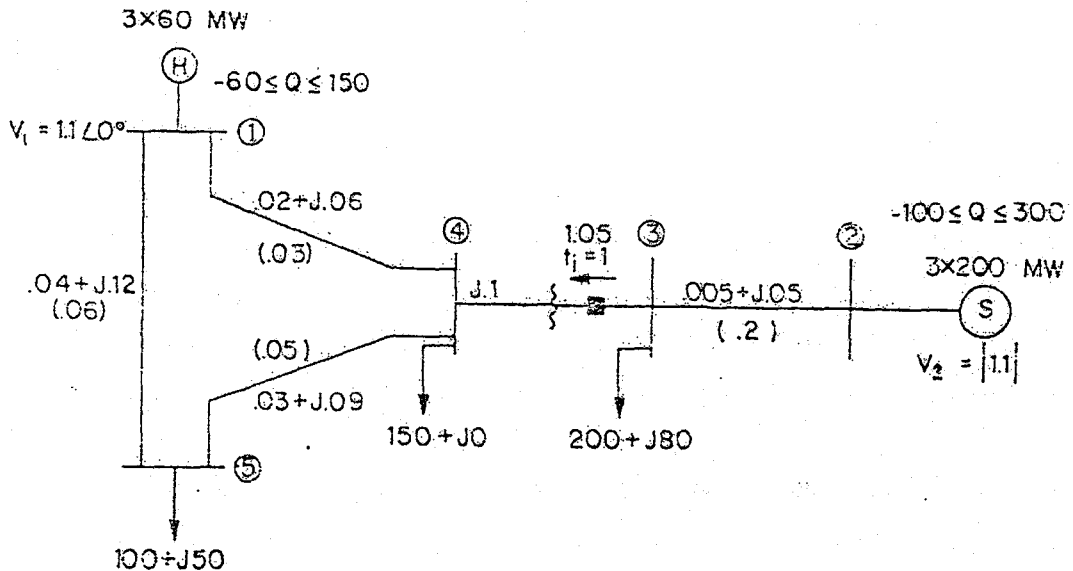
T_2 : Güç kararlılaştırıcı 2. zaman sabiti, .15 s'den .44 s'ye değiştirilmiştir.

BÖLÜM 6.
SONUÇLAR

Bu çalışmada modern enterkonnekte güç sistemlerini oluşturan temel altsistemlerin gösterilimleri verilmiş ve bu modellerin her biri için bir çalışma noktası civarında lineerleştirilen matematiksel modelleri elde edilmiştir.

Altsistemlerinin herbirinin dinamik davranışlarının incelenebilmesi için lineerleştirilmiş matematiksel modeller durum uzayı formunda oluşturulmuştur. Durum uzayı formunda ortaya çıkan katsayı matrisleri A ve B'nin sistematik olarak elde edilmesi gösterilmiştir. Merkezden yük frekans denetimi incelenerek güç sistemine uygulanması ve işlevleri verilmiştir.

Güç sistemini örnekleyen iki farklı durum ele alınmış ve bu iki durum için katsayı matrisleri verilmiştir. Bu sistemlerin dinamik kararlılık ve lineer sistem analizlerini de içeren FORTRAN dilinde bilgisayar programları hazırlanmıştır. Dinamik kararlılık ve iyileştirilmesi problemini incelemek için aşağıdaki şekildeki sistem örnek seçilmiştir.



Dinamik kararlılık analizleri ve lineer sistem analizleri hakkında temel kavramların verildiği bu tezde teorik kavramların uygulamalarının nasıl yapılabileceği sayısal örneklerle gösterilmiştir. Tezde tanımlanan yöntemlerle, dinamik kararlılığın iyileştirilebildiği saptanmıştır.

Sonsuz baranın olmadığı düşünüldüğünde, çok maki-nalı güç sisteminin katsayı matrisi singüler olacaktır. Bu, sıfır değerli özdeğerler demektir. Bu durumdan makinaların faz açıları, belirli bir referans makinaya göre tanımlanarak kaçınılabılır. Böylece sistem derecesi de bir derece düşürülmüş olur.

Sönüm sargılarının yokluğunda, kararlılık karakteristikleri, tam yükte yarı yüktekinden daha iyidir. Bunun sebeplerinden biri, yarı yük için sönüm katsayısının düşmesidir. Özdeğer duyarlılık incelemelerinden de görülebileceği gibi sönüm katsayısı, kararlılık koşulunu belirleyen en etkili parametrelerden biridir.


Sabit empedans, sabit akım ve sabit güçlü yük gösterilimlerinin kullanımında, kararlılık açısından sezilebilir bir fark görülmemiştir.

Dinamik kararlılık analizlerinde yük frekans denetiminin bir yardımının olmadığı gözlenmiştir. Bu sonuç Tablo 5-7 ve 5-8 deki özdeğerlerin karşılaştırılması ile açıkça görülebilir.

Dinamik kararlılık nicelemesinde kullanılan yöntem, sistem tasarımcılarını, maliyet ve dinamik performansın optimizasyonu ve parametrelerin kesin belirlenmesi gibi konularda desteklemekte de kullanılabilir. Bu yöntem çok genelleştirilebileceği için, herhangi bir lineerleştirilmiş dinamik sisteme kolaylıkla uygulanabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] IEEE Committe Report, Dynamic Models for Steam and Hydro-Turbines, IEEE Trans.on Power Apparatus on Systems, Vol.PAS-92, No.6, November/December, pp.1954-1915, 1973.
- [2] IEEE Committe Report, Computer Representation of Excitation Systems, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-87, No.6, June, pp.1460-1464, 1968.
- [3] EL-ABIAD, A.H., MANSOUR, M.O., AGUILAR, A., Optimal Parameter Selection of Linearized Dynamic Systems With Application to Synchronous Generators, PICA Proceedings, 1975.
- [4] HAMMONS, T.J., WINNING, D.J., Comparisons of Synchronous Machine Models in the Study of the Transient Behaviour of Electrical Power Systems, Proc.IEE, Vol.118, No.10, October, pp.1442-1458, 1971.
- [5] BAKER, D.H., KRAUSE, P.C., Low Frequency Rotor Oscillations Introduced by the Excitation System, IEE PES, EHV/UHV Conference, Vancouver, Canada, July, 15-20, 1973.
- [6] IRISARRI, G., Small Signal (Linear) Dynamic Stability Study for a Hydro-Steam Power System, Purdue University, July, 1972.
- [7] STAGG, G.W., EL-ABIAD, A.H., Computer Methods in Power System Analysis, Mc Graw-Hill, New York, 1968.
- [8] KIRCHMAYER, L.K., Economic Control of Interconnected Power Systems, John Wiley and Sons, Inc., New York 1958.
- [9] MOUSSA, H.A.M., YU YAO-NAN, Optimal Power Systems Stabilization Through Excitation and/or Governor Control, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-91, No.3, May/June, pp.1166-1174, 1972.
- [10] YU, YAO-NAN, MOUSSA, H.A.M., Optimal Stabilization of a Multi-Machine System, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-91, No.3, May/June, pp.1174-1182, 1972.

- 1 -
- [11] NOBLE, B., Applied Linear Algebra, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1969.
 - [12] STEWARD, G.W., Introduction to Matrix Computations Academic Press, New York, 1973.
 - [13] DERUSSO, P.M, ROY, R.J., CLOSE, C.M., State Variables for Engineers, John Wiley and Sons, Inc. New York 1965.
 - [14] ANDERSON, P.M., FOUAD, A.A., Power System Control and Stability, Iowa State University Press, Vol.1, Summer 1973.
 - [15] VAN NESS, J.E,BOYLE, J.M., IMAD, F.P., Sensitivities of Large, Multiple-Loop Control Systems,IEEE Trans.on Automatic Control, Vol.AC-10, July, pp.308-315, 1965.
 - [16] BAKER, D.H., Converting Machine Parameters in Synchronous Machine, Purdue University, PCTR-18-72.
- 

```

C      PROGRAM AGUIL7(INPUT,OUTPUT,TAPE5=INPUT,TAPE6=OUTPUT)
      COMPLEX YBUS(5,5),ZLIN
      DIMENSION AJ(10,10),AM(8),P(5),Q(5),V(5),DELTA(5)
   5    READ(5,10)(AM(I),I=1,8)
  10    FORMAT(8A10)
  15    WRITE(6,20)(AM(I),I=1,8)
  20    FORMAT(1H1//26X,8A10)
      READ(5,25)NODE,LINE,NTRAN,NDYN,NTYPE
  25    FORMAT(5I5)
      DO 30 I=1,NODE
      DO 30 J=1,NODE
      YBUS(I,J)=(.0,.0)
      YBUS(J,I)=(.0,.0)
  30    CONTINUE
      WRITE(6,35)
  35    FORMAT(/58X,22H*SISTEM PARAMETRELERI*/)
      DO 50 I=1,LINE
      READ(5,40)NP,NQ,ZLIN,YPQ
  40    FORMAT(2I5,3F10.5)
      WRITE(6,45)NP,NQ,ZLIN,YPQ
  45    FORMAT(50X,2I3,3F8.3)
      ZLIN=1./ZLIN
      YBUS(NP,NP)=YBUS(NP,NP)+ZLIN+CMPLX(.0,YPQ)
      YBUS(NQ,NQ)=YBUS(NQ,NQ)+ZLIN+CMPLX(.0,YPQ)
      YBUS(NP,NQ)=YBUS(NP,NQ)-ZLIN
      YBUS(NQ,NP)=YBUS(NP,NQ)
  50    CONTINUE
      IF(NTRAN.LE.0)GO TO 65
      DO 60 I=1,NTRAN
      READ(5,40) NP,NQ,ZLIN,TAP
      WRITE(6,55) NP,NQ,ZLIN,TAP
  55    FORMAT(39X,15H*TRANSFORMATOR*,2I3,2F8.3,16X,F7.3)
      ZLIN=TAP/ZLIN
      YBUS(NP,NQ)=-ZLIN
      YBUS(NQ,NP)=YBUS(NP,NQ)
      YBUS(NP,NP)=YBUS(NP,NP)+TAP*ZLIN
      YBUS(NQ,NQ)=YBUS(NQ,NQ)+ZLIN/TAP
  60    CONTINUE
  65    WRITE(6,70)
  70    FORMAT(/61X,14H*BARA MATRISI*/)
      DO 75 I=1,NODE
      WRITE(6,80)I,(YBUS(I,J),J=1,NODE)
  80    FORMAT(14X,I3,10F10.5)
      WRITE(6,85)
  85    FORMAT(/44X,41H*AKTIF VE REAKTIF GUCLER ,GERILIM VE ACI*/)
      DO 95 I=1,NODE
      READ(5,90)P(I),Q(I),V(I),DELTA(I)
  90    FORMAT(4F10.5)
  95    WRITE(6,100)I,P(I),Q(I),V(I),DELTA(I)
 100   FORMAT(43X,I3,4F10.4)
      IF(NTYPE.NE.1)GO TO 115
      WRITE(6,105)
 105   FORMAT(/42X)
      DO 110 I=1,NODE
      V2=V(I)*V(I)
      YBUS(I,I)=YBUS(I,I)+CMPLX(P(I)/V2,-Q(I)/V2)
 110   WRITE(6,80)I,(YBUS(I,J),J=1,NODE)
 115   IF(NTYPE.NE.3)GO TO 120
      M=NODE
      GO TO 140
 120   NRED=NODE-NDYN
      DO 125 I=1,NRED
      M=NODE-I+1
      CALL KRONY(YBUS,M)

```



```

125     CONTINUE
        WRITE(6,130)
130     FORMAT(/57X,26H*INDIRGENMIS BARA MATRISI*/)
        DO 135 I=1,NDYN
135     WRITE(6,80)I,(YBUS(I,J),J=1,NDYN)
        M=NDYN
140     PI=3.1415926
        DO 145 I=1,M
145     DELTA(I)=DELTA(I)*PI/180.0
        DO 155 I=1,M
            K=2*(I-1)+1
            SUMS=.0
            SUMC=.0
            DO 150 J=1,M
                IF(I.EQ.J)GO TO 150
                L=2*(J-1)+1
                IF(REAL(YBUS(I,J)).NE.0.)GO TO 148
                IF(AIMAG(YBUS(I,J)).GT.0.)GO TO 146
                ANG=DELTA(I)-DELTA(J)+PI/2.
                GO TO 149
146     ANG=DELTA(I)-DELTA(J)-PI/2.
                GO TO 149
148     ANG=DELTA(I)-DELTA(J)-ATAN2(AIMAG(YBUS(I,J)),REAL(YBUS(I,J)))
149     Y=CABS(YBUS(I,J))
            T1=Y*SIN(ANG)
            T2=Y*COS(ANG)
            T3=T1*V(J)
            T4=T2*V(J)
            SUMS=SUMS+T3
            SUMC=SUMC+T4
            AJ(K,L)=T3*V(I)
            AJ(K,L+1)=T2*V(I)
            AJ(K+1,L)=-T4*V(I)
            AJ(K+1,L+1)=T1*V(I)
150     CONTINUE
            Y=2.*V(I)*CABS(YBUS(I,I))
            TETA=ATAN2(AIMAG(YBUS(I,I)),REAL(YBUS(I,I)))
            AJ(K,K)=-SUMS*V(I)
            AJ(K,K+1)=SUMC+Y*COS(TETA)
            AJ(K+1,K)=SUMC*V(I)
            AJ(K+1,K+1)=SUMS-Y*SIN(TETA)
155     CONTINUE
            WRITE(6,160)
160     FORMAT(/59X,17H*JACOBIAN MATRISI*/)
            K=2*M
            DO 165 I=1,K
                L=1+(I-1)/2
165     WRITE(6,80)L,(AJ(I,J),J=1,K)
            IF(NTYPE.NE.3)GO TO 5
            NRED=2*(NODE-NDYN)
            K=2*NODE
            DO 170 I=1,NRED
                CALL KRONJ(AJ,K)
            K=K-1
170     CONTINUE
            WRITE(6,175)
175     FORMAT(/55X,29H*INDIRGENMIS JACOBIAN MATRISI*/)
            K=2*NDYN
            DO 180 I=1,K
                L=1+(I-1)/2
180     WRITE(6,80)L,(AJ(I,J),J=1,K)
            GO TO 5
185     STOP
        END

```

```

SUBROUTINE KRONJ(AJ,L)
DIMENSION AJ(10,10)
K=L-1
B=1./AJ(L,L)
DO 300 I=1,K
DO 300 J=1,K
AJ(I,J)=AJ(I,J)-AJ(I,L)*AJ(L,J)*B
300 CONTINUE
RETURN
END
```

```

SUBROUTINE KRONY(YBUS,L)
COMPLEX YBUS(5,5),Z
K=L-1
Z=1./YBUS(L,L)
DO 200 I=1,K
DO 200 J=1,K
YBUS(I,J)=YBUS(I,J)-YBUS(I,L)*YBUS(L,J)*Z
200 CONTINUE
DO 210 I=1,K
DO 210 J=I,K
YBUS(J,I)=YBUS(I,J)
210 CONTINUE
RETURN
END
```

```
C      PROGRAM ABUILA9(INPUT,OUTPUT,TAPE5=INPUT,TAPE6=OUTPUT)
C
      DIMENSION PARM(20,3),TIT1(24),A(15,15),C(20),RTRA(15),RTIA(15)
      :VRA(15,15),VIA(15,15),T(15,15),RTRT(15),RTIT(15),
      :VRT(15,15),VIT(15,15),SUMR(15),SUMI(15),SNMATR(20,15)
      DIMENSION SNMATI(20,15),D(20),GJA(16)
100     READ (5,555) NMAT,NTYPE,BMWCO
C
      IF (EOF-5)550,105,550
105     READ (5,560) TIT1
      DO 110 I=1,NMAT
      DO 110 J=1,NMAT
110     A(I,J)=.0
      PI=3.1415926
      FA1=60.0*PI
      FA2=2.*FA1
      WRITE (6,565)TIT1
      GO TO (115,140,115,115,140,115,140),NTYPE
115     READ(5,555)MAHY,LPHY,BMWHY
C
      BMWHY=BMWBY*MAHY/BMWCO
      WRITE(6,570)
      DO 120 I=1,LPHY
      READ(5,575) (PARM(I,J),J=1,3),D(I)
120     C(I) =D(I)
C
      C(1)=C(1)*BMWBY/FA2
      C(2)=C(2)*BMWBY/FA1
      C(6)=C(6)*FA2/BMWBY
      C(7)=C(7)*FA2/BMWBY
      IF (NTYPE.EQ.4) C(10)=C(10)/FA2
      DO 125 I=1,LPHY
C
125     WRITE (6,580) (PARM(I,J),J=1,3),D(I),C(I)
      A(1,2)=1.0
      A(2,2)=-C(1)/C(2)
      A(2,3)=1./C(2)
      A(3,3)=-2./C(3)
      A(3,4)=2.*(C(3)+C(5))/(C(3)*C(5))
      A(3,5)=-2./C(5)
      A(4,4)=-1./C(5)
      A(4,5)=1./C(5)
      A(5,2)=(C(1)*C(4)-C(2))/(C(6)*C(4)*C(2))
      A(5,3)=-1./(C(6)*C(2))
      A(5,5)=-C(7)/(C(6)*C(4))
      GO TO (200,140,135,130,140,135,140),NTYPE
130     A(5,6)=-C(7)/(C(6)*C(4))
      A(5,7)=-C(8)*C(7)/C(6)
      A(6,7)=C(8)
      A(7,7)=-1./C(9)
      L=7
      K=LPHY
      GO TO 145
135     L=5
      K=LPHY
      IF (NTYPE.EQ.6) GO TO 165
      GO TO 145
140     L=0
      K=0
```

```
IF (NTYPE.EQ.5) GO TO 165
145 READ(5,555) MAST,LPST,BMWST.
C
BMWST=BMWST*MAST/BMWCD
WRITE(6,585)
DO 150 I=1,LPST
  I1=I+K
  READ(5,575) (PARM(I1,J),J=1,3),D(I1)
150 C(I1)=D(I1)
C
C(K+1)=C(K+1)*BMWST/FA2
C(K+2)=C(K+2)*BMWST/FA1
C(K+5)=C(K+5)*FA2/BMWST
IF (NTYPE.EQ.4) C(K+8)=C(K+8)/FA2
DO 155 I=1,LPST
  I1=I+K
155 WRITE(6,580) (PARM(I1,J),J=1,3),D(I1),C(I1)
C
A(L+1,L+2)=1.0
A(L+2,L+2)=-C(K+1)/C(K+2)
A(L+2,L+3)=1./C(K+2)
A(L+3,L+3)=-1./C(K+3)
A(L+3,L+4)=1./C(K+3)
A(L+4,L+2)=-1./(C(K+4)*C(K+5))
A(L+4,L+4)=-1./C(K+4)
GO TO (200,200,185,180,165,165,160),NTYPE
160 L=4
  K=LPST
165 READ(5,555) LPEL
C
WRITE(6,590)
DO 170 I=1,LPEL
  I1=I+K
  READ(5,575) (PARM(I1,J),J=1,3),D(I1)
170 C(I1)=D(I1)
C
IF (NTYPE.EQ.6) C(K+10)=C(K+10)/BMWWHY
IF (NTYPE.EQ.7) C(K+10)=C(K+10)/BMWST
DO 175 I=1,LPEL
  I1=I+K
175 WRITE(6,580) (PARM(I1,J),J=1,3),D(I1),C(I1)
C
A(L+1,L+1)=-1./C(K+1)
A(L+1,L+2)=C(K+2)/C(K+1)
A(L+2,L+2)=-1./C(K+3)
A(L+2,L+3)=1./C(K+3)
A(L+3,L+3)=-1./C(K+4)
A(L+3,L+4)=-C(K+5)/C(K+4)
A(L+3,L+5)=C(K+5)/C(K+4)
A(L+4,L+2)=-C(K+7)/(C(K+3)*C(K+6))
A(L+4,L+3)=C(K+7)/(C(K+3)*C(K+6))
A(L+4,L+4)=-1./C(K+6)
A(L+5,L+1)=-C(K+9)/C(K+8)
A(L+5,L+5)=-1./C(K+8)
IF (NTYPE.EQ.5)GO TO 200
C
GO TO 185
180 A(L+4,L+5)=1./C(K+4)
```

```
A(L+5,L+6)=C(K+6)
A(L+6,L+6)=-1./C(K+7)
185 WRITE(6,595)
READ(5,600) (GJA(I),I=1,16)
C
WRITE(6,605) (GJA(I),I=1,16)
IF (NTYPE.NE.7) GO TO 190
A(2,1)=-GJA(11)/C(2)
A(2,L+1)=-GJA(12)/C(2)
A(L+1,1)=-GJA(15)*C(K+10)*C(K+2)/C(K+1)
A(L+1,L+1)=- (1.+GJA(16)*C(K+10)*C(K+2))/C(K+1)
GO TO 200
190 A(2,1)=-GJA(1)/C(2)
A(5,1)=GJA(1)/(C(6)*C(2))
IF(NTYPE.EQ.6) GO TO 195
A(2,L+1)=-GJA(3)/C(2)
A(5,L+1)=GJA(3)/(C(6)*C(2))
A(L+2,1)=-GJA(9)/C(K+2)
A(L+2,L+1)=-GJA(11)/C(K+2)
IF (NTYPE.NE.4) GO TO 200
A(7,1)=GJA(1)/C(9)
A(7,2)=C(10)/C(9)
A(7,L+1)=GJA(3)/C(9)
A(L+6,1)=GJA(9)/C(K+7)
A(L+6,L+1)=GJA(11)/C(K+7)
A(L+6,L+2)=C(K+8)/C(K+7)
GO TO 200
195 A(2,L+1)=-GJA(2)/C(2)
A(5,L+1)=GJA(2)/(C(6)*C(2))
A(L+1,1)=-GJA(5)*C(K+10)*C(K+2)/C(K+1)
A(L+1,L+1)=- (1.+GJA(6)*C(K+10)*C(K+2))/C(K+1)
200 WRITE(6,610)
DO 205 I=1,NMAT
C
205 WRITE(6,615) I, (A(I,J),J=1,NMAT)
DO 210 I=1,NMAT
DO 210 J=1,NMAT
210 T(J,I)=A(I,J)
CALL EIGENV(NMAT,A,RTRA,RTIA,VRA,VIA)
WRITE(6,620)
DO 215 I=1,NMAT
215 WRITE(6,625) I,RTRA(I),RTIA(I)
WRITE(6,630)
DO 225 KL=1,NMAT,6
KL1=KL+5
IF (KL1.GT.NMAT) KL1=NMAT
WRITE(6,635) (K,K=KL,KL1)
DO 220 I=1,NMAT
WRITE(6,640) (VRA(I,J),VIA(I,J),J=KL,KL1)
220 CONTINUE
225 CONTINUE
C
CALL EIGENV (NMAT,T,RTRT,RTIT,VRI,VIT)
I1=NMAT-1
C
DO 245 I=1,i1
I2=I+1
DO 230 J=I2,NMAT
IF ((ABS(RTRA(I)-RTRT(J))):LE..5E-7).AND.
```

```
:(ABS(RTIA(I)-RTIT(J)).LE..5E-7).AND.  
:(SIGN(1.,RTIA(I)).EQ.SIGN(1.,RTIT(J)))) GO TO 235  
230 CONTINUE  
GO TO 245  
235 RTEM=RTRT(J)  
RTRT(J)=RTRT(I)  
RTRT(I)=RTEM  
RTEM=RTRT(J)  
RTIT(J)=RTIT(I)  
RTIT(I)=RTEM  
DO 240 I2=1,NMAT  
RTEM=VRT(I2,J)  
VRT(I2,J)=VRT(I2,I)  
VRT(I2,I)=RTEM  
RTEM=VIT(I2,J)  
VIT(I2,J)=VIT(I2,I)  
VIT(I2,I)=RTEM  
240 CONTINUE  
245 CONTINUE  
C  
N1=0  
GO TO (265,260,255,250,260,255,260),NTYPE  
250 N=7  
M=LPHY  
GO TO 265  
255 N=5  
M=LPHY  
GO TO 265  
260 N=0  
M=0  
IF (NTYPE.EQ.5) GO TO 410  
GO TO 345  
C  
265 DO 340 I=1,LPHY  
DO 270 I2=1,NMAT  
DO 270 J=1,NMAT  
270 A(I2,J)=.0  
GO TO (275,280,290,295,300,305,315,320,325,330),I  
275 A(2,2)=-1./C(2)  
A(5,2)=1./(C(6)*C(2))  
GO TO 495  
280 A(2,2)=C(1)/(C(2)*C(2))  
A(2,3)=-1./(C(2)*C(2))  
A(5,2)=-C(1)/(C(6)*C(2)*C(2))  
A(5,3)=1./(C(6)*C(2)*C(2))  
IF (NTYPE.NE.3.AND.NTYPE.NE.4.AND.NTYPE.NE.6) GO TO 495  
A(2,1)=GJA(1)/(C(2)*C(2))  
A(5,1)=-GJA(1)/(C(6)*C(2)*C(2))  
IF (NTYPE.NE.6) GO TO 285  
A(2,N+1)=GJA(2)/(C(2)*C(2))  
A(5,N+1)=-GJA(2)/(C(6)*C(2)*C(2))  
GO TO 495  
285 A(2,N+1)=GJA(3)/(C(2)*C(2))  
A(5,N+1)=-GJA(3)/(C(6)*C(2)*C(2))  
GO TO 495  
290 A(3,3)=2./(C(3)*C(3))  
A(3,4)=-2./(C(3)*C(3))  
GO TO 495
```

```
295  A(5,2)=1./(C(6)*C(4)*C(4))
      A(5,5)=C(7)/(C(6)*C(4)*C(4))
      IF (NTYPE.NE.4) GO TO 495
      A(5,6)=C(7)/(C(6)*C(4)*C(4))
      GO TO 495
300  A(3,4)=-2./(C(5)*C(5))
      A(3,5)=2./(C(5)*C(5))
      A(4,4)=1./(C(5)*C(5))
      A(4,5)=-1./(C(5)*C(5))
      GO TO 495
305  A(5,2)=(C(2)-C(1)*C(4))/(C(6)*C(6)*C(4)*C(2))
      A(5,3)=1./(C(2)*C(6)*C(6))
      A(5,5)=C(7)/(C(4)*C(6)*C(6))
      IF (NTYPE.NE.3.AND.NTYPE.NE.4.AND.NTYPE.NE.6) GO TO 495
      A(5,1)=-GJA(1)/(C(2)*C(6)*C(6))
      IF (NTYPE.NE.6) GO TO 310
      A(5,N+1)=-GJA(2)/(C(2)*C(6)*C(6))
310  A(5,N+1)=-GJA(3)/(C(2)*C(6)*C(6))
      IF (NTYPE.NE.4) GO TO 495
      A(5,6)=C(7)/(C(4)*C(6)*C(6))
      A(5,7)=C(7)*C(8)/(C(6)*C(6))
      GO TO 495
315  A(5,5)=-1./(C(6)*C(4))
      IF (NTYPE.NE.4) GO TO 495
      A(5,6)=-1./(C(4)*C(6))
      A(5,7)=-C(8)/C(6)
      GO TO 495
320  A(5,7)=-C(7)/C(6)
      A(6,7)=1.0
      GO TO 495
325  A(7,7)=1./(C(9)*C(9))
      A(7,1)=-GJA(1)/(C(9)*C(9))
      A(7,2)=-C(10)/(C(9)*C(9))
      A(7,N+1)=-GJA(3)/(C(9)*C(9))
      GO TO 495
330  A(7,2)=1./C(9)
      GO TO 495
335  CONTINUE
340  CONTINUE
341  GO TO 535
C
345  DO 405 I=1,LPST
      DO 350 I2=1,NMAT
      DO 350 K=1,NMAT
350  A(I2,K)=.0
      GO TO (355,360,370,375,380,385,390,395),I
355  A(N+2,N+2)=-1./C(M+2)
      GO TO 495
360  A(N+2,N+2)=C(M+1)/(C(M+2)*C(M+2))
      A(N+2,N+3)=-1./(C(M+2)*C(M+2))
      IF (NTYPE.NE.7) GO TO 365
      A(N+2,1)=GJA(11)/(C(M+2)*C(M+2))
      A(N+2,N+1)=GJA(12)/(C(M+2)*C(M+2))
      GO TO 495
365  IF (NTYPE.NE.3.AND.NTYPE.NE.4) GO TO 495
      A(N+2,1)=GJA(9)/(C(M+2)*C(M+2))
      A(N+2,N+1)=GJA(11)/(C(M+2)*C(M+2))
      GO TO 495
```

```
370  A(N+3,N+3)=1./((C(M+3)*C(M+3))
      A(N+3,N+4)=-1./((C(M+3)*C(M+3))
      GO TO 495
375  A(N+4,N+2)=1./((C(M+5)*C(M+4)*C(M+4))
      A(N+4,N+4)=1./((C(M+4)*C(M+4))
      IF(NTYPE.NE.4) GO TO 495
      A(N+4,N+5)=-1./((C(M+4)*C(M+4))
      GO TO 495
380  A(N+4,N+2)=1./((C(M+4)*C(M+5)*C(M+5))
      GO TO 495
385  A(N+5,N+6)=1.0
      GO TO 495
390  A(N+6,N+6)=1./((C(M+7)*C(M+7))
      A(N+6,1)=-GJA(9)/((C(M+7)*C(M+7))
      A(N+6,N+1)=-GJA(11)/((C(M+7)*C(M+7))
      A(N+6,N+2)=-C(M+8)/((C(M+7)*C(M+7))
      GO TO 495
395  A(N+6,N+2)=1./C(M+7)
      GO TO 495
400  CONTINUE
405  CONTINUE
406  GO TO 535
C
410  DO 490 I=1,LPEL
      DO 415 I2=1,NMAT
      DO 415 K=1,NMAT
415  A(I2,K)=.0
      GO TO (420,430,440,445,450,455,460,465,470,475),I
420  A(N+1,N+1)=1./((C(M+1)*C(M+1))
      A(N+1,N+2)=-C(M+2)/((C(M+1)*C(M+1))
      IF (NTYPE.NE.6) GO TO 425
      A(N+1,1)=GJA(5)*C(M+10)*C(M+2)/((C(M+1)*C(M+1))
      A(N+1,N+1)=(1.+GJA(6)*C(M+10)*C(M+2))/((C(M+1)*C(M+1))
      GO TO 495
425  IF (NTYPE.NE.7) GO TO 495
      A(N+1,1)=GJA(15)*C(M+10)*C(M+2)/((C(M+1)*C(M+1))
      A(N+1,N+1)=(1.+GJA(16)*C(M+10)*C(M+2))/((C(M+1)*C(M+1))
      GO TO 495
430  A(N+1,N+2)=1./C(M+1)
      IF (NTYPE.NE.6) GO TO 435
      A(N+1,1)=-GJA(5)*C(M+10)/C(M+1)
      A(N+1,N+1)=-GJA(6)*C(M+10)/C(M+1)
      GO TO 495
435  A(N+1,1)=-GJA(15)*C(M+10)/C(M+1)
      A(N+1,N+1)=-GJA(16)*C(M+10)/C(M+1)
      GO TO 495
440  A(N+2,N+2)=1./((C(M+3)*C(M+3))
      A(N+2,N+3)=-1./((C(M+3)*C(M+3))
      A(N+4,N+2)=C(M+7)/((C(M+6)*C(M+3)*C(M+3))
      A(N+4,N+3)=-C(M+7)/((C(M+6)*C(M+3)*C(M+3))
      GO TO 495
445  A(N+3,N+3)=1./((C(M+4)*C(M+4))
      A(N+3,N+4)=C(M+5)/((C(M+4)*C(M+4))
      A(N+3,N+5)=-C(M+5)/((C(M+4)*C(M+4))
      GO TO 495
450  A(N+3,N+4)=-1./C(M+4)
      A(N+3,N+5)=1./C(M+4)
      GO TO 495
```



```
455 A(N+4,N+2)=C(M+7)/(C(M+3)*C(M+6)*C(M+6))
A(N+4,N+3)=-C(M+7)/(C(M+3)*C(M+6)*C(M+6))
A(N+4,N+4)=1./(C(M+6)*C(M+6))
GO TO 495
460 A(N+4,N+2)=-1./(C(M+3)*C(M+6))
A(N+4,N+3)=1./(C(M+3)*C(M+6))
GO TO 495
465 A(N+5,N+1)=C(M+9)/(C(M+8)*C(M+8))
A(N+5,N+5)=1./(C(M+8)*C(M+8))
GO TO 495
470 A(N+5,N+1)=-1./C(M+8)
GO TO 495
475 IF (NTYPE.EQ.7) GO TO 480
A(N+1,1)=-GJA(5)*C(M+2)/C(M+1)
A(N+1,N+1)=-GJA(6)*C(M+2)/C(M+1)
GO TO 495
480 A(N+1,1)=-GJA(15)*C(M+2)/C(M+1)
A(N+1,N+1)=-GJA(16)*C(M+2)/C(M+1)
GO TO 495
485 CONTINUE
490 CONTINUE
491 GO TO 535
C
495 N1=N1+1
DO 515 K=1,NMAT
VSUMR=0.
VSUMI=0.
DO 500 I2=1,NMAT
SUMR(I2)=0.0
SUMI(I2)=0.0
DO 500 L=1,NMAT
SUMR(I2)=SUMR(I2)+(VRA(L,K)*A(I2,L))
SUMI(I2)=SUMI(I2)+(VIA(L,K)*A(I2,L))
500 CONTINUE
DO 505 L=1,NMAT
VSUMR=VSUMR+(SUMR(L)*VRT(L,K)-SUMI(L)*VIT(L,K))
VSUMI=VSUMI+(SUMR(L)*VIT(L,K)+SUMI(L)*VRT(L,K))
505 CONTINUE
SNMATR(N1,K)=VSUMR
SNMATI(N1,K)=VSUMI
VSUMR=0.
VSUMI=0.
DO 510 L=1,NMAT
VSUMR=VSUMR+(VRA(L,K)*VRT(L,K)-VIA(L,K)*VIT(L,K))
VSUMI=VSUMI+(VRA(L,K)*VIT(L,K)+VIA(L,K)*VRT(L,K))
510 CONTINUE
VTEM=VSUMR*VSUMR+VSUMI*VSUMI
IF (VTEM.LE..1E-8) VTEM=.1E-8
T1=SNMATR(N1,K)
T2=SNMATI(N1,K)
SNMATR(N1,K)=(T1*VSUMR+T2*VSUMI)/VTEM
SNMATI(N1,K)=- (T1*VSUMI-T2*VSUMR)/VTEM
515 CONTINUE
GO TO (341,406,520,491,525,530),NTYPE
520 IF (N1.LT.LPHY) GO TO 341
IF (N1.EQ.LPHY) GO TO 345
GO TO 406
525 IF (N1.LT.LPHY) GO TO 341
```

```
IF (N1.EQ.LPHY) GO TO 410
GO TO 491
530 IF (N1.LT.LPST) GO TO 406
IF (N1.NE.LPST) GO TO 491
N=4
M=5
GO TO 410
535 WRITE(6,645)
DO 545 K=1,NMAT,4
KL=K+3
IF (KL.GT.NMAT) KL=NMAT
WRITE (6,650) (RTRA(J),RTIA(J),J=K,KL)
DO 540 J=1,N1
540 WRITE(6,655) (FARM(J,L),L=1,3),(SNMATR(J,N),SNMATI(J,N);N=K,KL
545 CONTINUE
GO TO 100
550 STOP
C
555 FORMAT (2I5,F10.5)
560 FORMAT (8A10)
565 FORMAT (1H1/(26X,8A10/))
570 FORMAT (///36X,33HSU SANTRALI MEKANIK PARAMETRELERI.7X.
:5HTEMEL,4X,11HGENEL TEMEL./36X,31(1H-),7X.
:8(1H-),4X,11(1H-)/)
575 FORMAT (3A10,F10.0)
580 FORMAT (38X,3A10,6X,F7.4,6X,F9.4)
585 FORMAT (///36X,39HBUHAR SANTRALI MEKANIK PARAMETRELERI.7X.
:5HTEMEL,4X,11HGENEL TEMEL./36X,31(1H-),7X,8(1H-),4X,11(1H-)/)
590 FORMAT (///32X,39HSENKRON MAKINA PARAMETRELERI,3X.
:5HTEMEL,4X,11HGENEL TEMEL./32X,39(1H-),3X,8(1H-),
:4X,11(1H-)/)
595 FORMAT (///59X,18HJACOBIAN MATRIS./59X,18(1H-)/)
600 FORMAT (8F10.5)
605 FORMAT (42X,4F11.4/)
610 FORMAT (///55X,19HKATSAYI MATRISI (A)./55X,22(1H-)/)
615 FORMAT (/14,1X,14F9.3/(5X,14F9.3/))
620 FORMAT (///61X,10HOZDEGERLER./61X,11(1H-)/)
625 FORMAT (52X,I3,3X,F10.4,3X,F10.4)
630 FORMAT (///60X,11HOZVEKTORLER./60X,12(1H-))
635 FORMAT (//11X,I3,5(19X,I3)/)
640 FORMAT (1X,2F10.4,5(2X,2F10.4))
645 FORMAT (///47X,36HD U Y A R L I L I K A N A L I Z I .
:/47X,11(2H-),2X,8(2H-)/)
650 FORMAT (//11X,9HPARAMETRE,14X,4(18HOZDEGER/DUYARLILIK,3X)//
:30X,4(5X,2F10.4)/)
655 FORMAT (1X,3A10,4(4X,E10.3,1X,E10.3))
END
```

```
C      PROGRAM AGUIL12(INPUT,OUTPUT,TAPE5=INPUT,TAPE6=OUTPUT)
C
      DIMENSION PARM(40,3),TIT1(32),A(18,18),C(40),RTRA(18),RTIA(18),
:VRA(18,18),VIA(18,18),T(18,18),RTRT(18),RTIT(18),
:VRT(18,18),VIT(18,18),SUMR(18),SUMI(18),SNMATR(20,18),
:SNMATI(20,18),D(40),X(5,5),R(5,5),V(5,5),AA(5,5),BB(5,5),
:XI(5,5),SS(3,9)
100     READ (5,515) NMAT,NTYPE,BMWCO
C
      IF (EDF-5) 510,105,510
105     READ (5,520) TIT1
      DO 110 I=1,NMAT
      DO 110 J=1,NMAT
110     A(I,J)=.0
      PI=3.1415926
      FA1=60.0*PI
      FA2=2.*FA1
      WRITE (6,525) TIT1
      L=0
      K=0
      READ (5,515) MAST,LPST,BMWST
C
      BMWST=BMWST*MAST/BMWCO
      WRITE(6,530)
      DO 115 I=1,LPST
      I1=I+K
      READ(5,535) (PARM(I1,J),J=1,3),D(I1)
115     C(I1) =D(I1)
C
      C(K+1)=C(K+1)*BMWST/FA2
      C(K+2)=C(K+2)*BMWST/FA1
      C(K+5)=C(K+5)*FA2/BMWST
      C(7)=C(7)*FA2/BMWST
      DO 120 I=1,LPST
      I1=I+K
C
120     WRITE (6,540) (PARM(I1,J),J=1,3),D(I1),C(I1)
      A(L+1,L+2)=1.0
      A(L+2,L+2)=-C(K+1)/C(K+2)
      A(L+2,L+3)=1./C(K+2)
      A(L+3,L+3)=-1./C(K+3)
      A(L+3,L+4)=1./C(K+3)
      A(L+4,L+2)=-1./(C(K+4)*C(K+5))
      A(L+4,L+4)=-1./C(K+4)
      READ (5,545) LPEX,LSTA,LPMA
C
      LPEL=LPEX+LPMA+LSTA
      WRITE (6,550)
      DO 125 I=1,LPEL
      I1=I+LPST
      READ (5,535) (PARM(I1,J),J=1,3),D(I1)
125     C(I1)=D(I1)
      DO 130 I=1,LPEL
      I1=I+LPST
130     WRITE (6,540) (PARM(I1,J),J=1,3),D(I1),C(I1)
      LS=LPST+LPEX
      L=LS+LSTA
      K=L+LPMA
```

```
WRITE(6,555)
READ(5,515) LSSV
C
DO 135 I=1,LSSV
  I1=I+K
  READ(5,535) (PARM(I1,J),J=1,3),D(I1)
135 C(I1)=D(I1)
  DO 140 I=1,LSSV
    I1=I+K
140 WRITE(6,560) (PARM(I1,J),J=1,3),C(I1)
C
  XD=C(L+5)+C(L+2)
  XQ=C(L+6)+C(L+2)
  XFD=C(L+4)+C(L+5)
  VVQ=C(K+5)-C(L+7)*C(K+7)-C(L+8)*C(K+8)
  VVD=C(K+4)-C(L+7)*C(K+8)-C(L+8)*C(K+7)
  VB=SQRT(VVQ*VVQ+VVD*VVD)
  IF (NTYPE.EQ.2) GO TO 145
  K1=3
  GO TO 150
145 K1=5
  XKD=C(L+5)+C(L+10)
  XKQ=C(L+6)+C(L+12)
150 DO 155 I=1,K1
  DO 155 J=1,K1
  X(I,J)=.0
155 R(I,J)=.0
  DO 160 I=1,K1
  DO 160 J=1,3
160 V(I,J)=.0
  X(1,1)=-((XQ+C(L+8))/FA2)
  X(2,2)=-((XD+C(L+8))/FA2)
  X(2,3)=C(L+5)/FA2
  X(3,2)=-C(L+5)*C(L+5)/(C(L+3)*FA2)
  X(3,3)=C(L+5)*XFD/(C(L+3)*FA2)
  R(1,1)=C(L+1)+C(L+7)
  R(1,2)=XD+C(L+8)
  R(1,3)=-C(L+5)
  R(2,1)=-XQ-C(L+8)
  R(2,2)=R(1,1)
  R(3,3)=R(1,3)
  IF (NTYPE.EQ.1) GO TO 165
  X(1,4)=C(L+6)/FA2
  X(2,5)=X(2,3)
  X(3,5)=-X(3,2)
  X(4,1)=-X(1,4)
  X(4,4)=XKQ/FA2
  X(5,2)=-X(2,5)
  X(5,3)=X(2,5)
  X(5,5)=XKD/FA2
  R(1,5)=R(1,3)
  R(2,4)=C(L+6)
  R(4,4)=-C(L+11)
  R(5,5)=-C(L+9)
165 V(1,1)=-((C(L+5)*C(K+3)-(C(L+8)+XD)*C(K+8))/FA2)
  V(2,1)=-((XQ+C(L+8))*C(K+7)/FA2)
  V(1,2)=-VB*C(K+2)
  V(2,2)=VB*C(K+1)
```

```
C      V(3,3)=1.0
C      DO 175 I=1,K1
      DO 170 J=1,K1
170     BB(I,J)=.0
175     BB(I,I)=1.0
      CALL MULTM (XI,R,AA,K1,K1,K1)
      CALL MULTM (XI,V,BB,K1,K1,3)
      DO 180 I=1,K1
      LL=I+4
      DO 180 J=1,K1
      NN=J+4
180     A(LL,NN)=AA(I,J)
C
      VQX=C(K+5)*C(L+8)/(C(K+6)*FA2)
      VDX=C(K+4)*C(L+8)/(C(K+6)*FA2)
      VAX=(C(K+5)*C(L+7)-C(K+4)*C(L+8))/C(K+6)
      VBX=(C(K+4)*C(L+7)+C(K+5)*C(L+8))/C(K+6)
      C1=VQX*AA(1,1)+VDX*AA(2,1)+VAX
      C2=VQX*AA(1,2)+VDX*AA(2,2)+VBX
      C3=VQX*AA(1,3)+VDX*AA(2,3)
      D1=VQX*(BB(1,1)+C(K+8))+VDX*(BB(2,1)-C(K+7))
      D2=VQX*BB(1,2)+VDX*BB(2,2)+VB*(C(K+4)*C(K+1)-C(K+5)*C(K+2))/
: C(K+6)
      D3=VQX*BB(1,3)+VDX*BB(2,3)
      E1=C(L+5)*C(K+3)-(C(L+5)-C(L+6))*C(K+8)
      E2=(C(L+6)-C(L+5))*C(K+7)
      E3=C(L+5)*C(K+7)
      IF (NTYPE.EQ.2) GO TO 185
      K=7
      GO TO 190
185     C4=VQX*AA(1,4)+VDX*AA(2,4)
      C5=VQX*AA(1,5)+VDX*AA(2,5)
      E4=-C(L+6)*C(K+8)
      E5=E3
      K=9
C
190     N=LPST
      A(K+1,K+1)=-1./C(N+1)
      A(K+1,K+2)=C(N+5)/C(N+1)
      A(K+2,K+2)=-1./C(N+2)
      A(K+2,K+3)=-C(N+6)/C(N+2)
      A(K+2,K+4)=A(K+2,K+3)
      A(K+3,K+1)=-C(N+7)/(C(N+1)*C(N+3))
      A(K+3,K+2)=-A(K+3,K+1)*C(N+5)
      A(K+3,K+3)=-1./C(N+3)
      A(K+4,K+4)=-1./C(N+4)
      FA3=C(N+8)/C(N+4)
      A(2,5)=-E1/C(2)
      A(2,6)=-E2/C(2)
      A(2,7)=-E3/C(2)
      IF (NTYPE.EQ.1) GO TO 195
      A(2,8)=-E4/C(2)
      A(2,9)=-E5/C(2)
195     DO 200 I=1,K1
      A(I+4,1)=BB(I,2)
      A(I+4,2)=BB(I,1)
200     A(I+4,K+1)=BB(I,3)
      A(K+4,1)=D2*FA3
```

```
A(K+4,2)=D1*FA3
A(K+4,5)=C1*FA3
A(K+4,6)=C2*FA3
A(K+4,7)=C3*FA3
A(K+4,K+1)=D3*FA3
IF (NTYPE.EQ.1) GO TO 205
A(K+4,8)=C4*FA3
A(K+4,9)=C5*FA3

C
205 IF (LSTA.LE.0) GO TO 230
    K=K+4
    G=C(LS+2)/C(LS+3)
    GG=G*G
    GK=C(LS+4)/C(2)
    GL=GK/C(LS+1)
    GP=GG/C(LS+1)
    GF=G/C(LS+1)
    A(K-2,K+3)=C(LPST+6)/C(LPST+2)
    DO 210 I=1,3
    DO 210 J=1,9
210 SS(I,J)=.0
    A(K+1,K+1)=-1./C(LS+1)
    A(K+2,K+1)=(1./C(LS+2)-1./C(LS+1))*G
    A(K+2,K+2)=-1./C(LS+3)
    A(K+3,K+1)=(1./C(LS+2)-1./C(LS+1))*GG
    A(K+3,K+2)=(1./C(LS+2)-1./C(LS+3))*G
    A(K+3,K+3)=-1./C(LS+3)
    SS(1,2)=-GL*C(1)
    SS(1,3)=GL
    SS(1,5)=-GL*E1
    SS(1,6)=-GL*E2
    SS(1,7)=-GL*E3
    SS(2,2)=-GK*C(1)*GF
    SS(2,3)=GK*GF
    SS(2,5)=-GK*GF*E1
    SS(2,6)=-GK*GF*E2
    SS(2,7)=-GK*GF*E3
    SS(3,2)=-GK*C(1)*GP
    SS(3,3)=GK*GP
    SS(3,5)=-GK*GP*E1
    SS(3,6)=-GK*GP*E2
    SS(3,7)=-GK*GP*E3
    IF (NTYPE.EQ.2) GO TO 215
    N=7
    GO TO 220
    N=7
    GO TO 220
215 SS(1,8)=-GL*E4
    SS(1,9)=-GL*E5
    SS(2,8)=-GK*GF*E4
    SS(2,9)=-GK*GF*E5
    SS(3,8)=-GK*GP*E4
    SS(3,9)=-GK*GP*E5
    N=9
220 DO 225 I=1,3
    DO 225 J=1,N
225 A(K+I,J)=SS(I,J)
230 WRITE (6,565)
    DO 235 I=1,NMAT
```

```
C
235 WRITE(6,570) I,(A(I,J),J=1,NMAT)
      DO 240 I=1,NMAT
      DO 240 J=1,NMAT
240   T(J,I)=A(I,J)
      CALL EIGENV(NMAT,A,RTRA,RTIA,VRA,VIA)
      WRITE(6,575)
      DO 245 I=1,NMAT
245   WRITE(6,580) I,RTRA(I),RTIA(I)
      WRITE(6,585)
      DO 255 KL=1,NMAT,6
      KL1=KL+5
      IF (KL1.GT.NMAT) KL1=NMAT
      WRITE(6,590) (K,K=KL,KL1)
      DO 250 I=1,NMAT
      WRITE(6,595) (VRA(I,J),VIA(I,J),J=KL,KL1)
250   CONTINUE
255   CONTINUE
C
      CALL EIGENV (NMAT,T,RTRT,RTIT,VRI,VIT)
      I1=NMAT-1
C      * EXPLANATION *
      DO 275 I=1,I1
      I2=I+1
      DO 260 J=I2,NMAT
      IF((ABS(RTRA(I)-RTRT(J)).LE..5E-7).AND.
: (ABS(RTIA(I)-RTIT(J)).LE..5E-7).AND.
: (SIGN(1.,RTIA(I)).EQ.SIGN(1.,RTIT(J)))) GO TO 265
260   CONTINUE
      GO TO 275
265   RTEM=RTRT(J)
      RTRT(J)=RTRT(I)
      RTRT(I)=RTEM
      RTEM=RTIT(J)
      RTIT(J)=RTIT(I)
      RTIT(I)=RTEM
      DO 270 I2=1,NMAT
      RTEM=VRT(I2,J)
      VRT(I2,J)=VRT(I2,I)
      VRT(I2,I)=RTEM
      RTEM=VIT(I2,J)
      VIT(I2,J)=VIT(I2,I)
      VIT(I2,I)=RTEM
270   CONTINUE
275   CONTINUE
C
      N1=0
      JPE=7
      IF (NTYPE.EQ.2) JPE=9
C
      N=0
      M=0
      DO 325 I=1,LPST
      DO 280 I2=1,NMAT
      DO 280 K=1,NMAT
280   A(I2,K)=.0
      GO TO (285,290,305,310,315),I
285   A(N+2,N+2)=-1./C(M+2)
```



```
IF (LSTA.LE.0) GO TO 470
A(JPE+5,2)=-GL
A(JPE+6,2)=-GK*6F
A(JPE+7,2)=-GK*6P
GO TO 470
290 A(N+2,N+2)=C(M+1)/(C(M+2)*C(M+2))
A(N+2,N+3)=-1./(C(M+2)*C(M+2))
A(N+2,N+5)=E1/(C(M+2)*C(M+2))
A(N+2,N+6)=E2/(C(M+2)*C(M+2))
A(N+2,N+7)=E3/(C(M+2)*C(M+2))
IF (NTYPE.EQ.1) GO TO 295
A(N+2,N+8)=E4/(C(M+2)*C(M+2))
A(N+2,N+9)=E5/(C(M+2)*C(M+2))
295 IF (LSTA.LE.0) GO TO 470
DO 300 K=1,3
DO 300 J=2,JPE
300 A(JPE+K+4,J)=-SS(K,J)/C(2)
GO TO 470
305 A(N+3,N+3)=1./(C(M+3)*C(M+3))
A(N+3,N+4)=-1./(C(M+3)*C(M+3))
GO TO 470
310 A(N+4,N+2)=1./(C(M+5)*C(M+4)*C(M+4))
A(N+4,N+4)=1./(C(M+4)*C(M+4))
GO TO 470
315 A(N+4,N+2)=1./(C(M+4)*C(M+5)*C(M+5))
GO TO 470
320 CONTINUE
325 CONTINUE
326 M=LPST
C
IF (NTYPE.EQ.2) GO TO 330
N=7
GO TO 335
C
330 N=9
335 DO 390 I=1,LPEX
DO 340 I2=1,NMAT
DO 340 K=1,NMAT
340 A(I2,K)=.0
GO TO (345,350,355,360,365,370,375,380),I
345 A(N+1,N+1)=1./(C(M+1)*C(M+1))
A(N+1,N+2)=-C(M+5)/(C(M+1)*C(M+1))
A(N+3,N+1)=C(M+7)/(C(M+3)*C(M+1)*C(M+1))
A(N+3,N+2)=-A(N+3,N+1)*C(M+5)
GO TO 470
350 A(N+2,N+2)=1./(C(M+2)*C(M+2))
A(N+2,N+3)=C(M+6)/(C(M+2)*C(M+2))
A(N+2,N+4)=A(N+2,N+3)
IF (LSTA.LE.0) GO TO 470
A(N+2,N+7)=-A(N+2,N+3)
GO TO 470
355 A(N+3,N+1)=C(M+7)/(C(M+1)*C(M+3)*C(M+3))
A(N+3,N+2)=-A(N+3,N+1)*C(M+5)
A(N+3,N+3)=1./(C(M+3)*C(M+3))
GO TO 470
360 A(N+4,N+4)=1./(C(M+4)*C(M+4))
A(N+4,1)=-D2*FA3/C(M+4)
A(N+4,2)=-D1*FA3/C(M+4)
```



```
A(N+4,N+1)=-D3*FA3/C(M+4)
A(N+4,5)=-C1*FA3/C(M+4)
A(N+4,6)=-C2*FA3/C(M+4)
A(N+4,7)=-C3*FA3/C(M+4)
IF (NTYPE.EQ.1) GO TO 470
A(N+4,8)=-C4*FA3/C(M+4)
A(N+4,9)=-C5*FA3/C(M+4)
GO TO 470
365 A(N+1,N+2)=1./C(M+1)
A(N+3,N+2)=C(M+7)/(C(M+1)*C(M+3))
GO TO 470
370 A(N+2,N+3)=-1./C(M+2)
A(N+2,N+4)=-1./C(M+2)
IF (LSTA.EQ.0) GO TO 470
A(N+2,N+7)=1./C(M+2)
GO TO 470
375 A(N+3,N+1)=-1./(C(M+3)*C(M+1))
A(N+3,N+2)=-A(N+3,N+1)*C(M+5)
GO TO 470
380 A(N+4,1)=D2/C(M+4)
A(N+4,2)=D1/C(M+4)
A(N+4,N+1)=D3/C(M+4)
A(N+4,5)=C1/C(M+4)
A(N+4,6)=C2/C(M+4)
A(N+4,7)=C3/C(M+4)
IF (NTYPE.EQ.1) GO TO 470
A(N+4,8)=C4/C(M+4)
A(N+4,9)=C5/C(M+4)
GO TO 470
385 CONTINUE
390 CONTINUE
391 IF (LSTA.LE.0) GO TO 495
C
M=LS
IF(NTYPE.EQ.2) GO TO 395
N=11
GO TO 400
395 N=13
C
400 DO 465 I=1,LSTA
DO 405 I2=1,NMAT
DO 405 K=1,NMAT
405 A(I2,K)=.0
GO TO (410,420,435,450),I
410 A(N+1,N+1)=1./(C(M+1)*C(M+1))
A(N+2,N+1)=G/(C(M+1)*C(M+1))
A(N+3,N+1)=GG/(C(M+1)*C(M+1))
DO 415 K=1,3
DO 415 J=2,JPE
415 A(N+K,J)=-SS(K,J)/C(M+1)
GO TO 470
420 A(N+2,N+1)=-1./(C(M+1)*C(M+3))
A(N+3,N+1)=(1.-2*C(M+2)/C(M+1))/(C(M+3)*C(M+3))
A(N+3,N+2)=-1./(C(M+3)*C(M+3))
DO 425 J=2,JPE
425 A(N+2,J)=SS(2,J)/C(M+2)
DO 430 J=2,JPE
430 A(N+3,J)=2.*SS(3,J)/C(M+2)
```

```
GO TO 470
435 A(N+2,N+2)=1./(C(M+3)*C(M+3))
A(N+3,N+3)=1./(C(M+3)*C(M+3))
A(N+2,N+1)=(1./C(M+1)-1./C(M+2))*G/C(M+3)
A(N+3,N+1)=2.*(1./C(M+1)-1./C(M+2))*GG/C(M+3)
A(N+3,N+2)=(2.*C(M+2)/C(M+3)-1.)/(C(M+3)*C(M+3))
DO 440 J=2,JPE
440 A(N+2,J)=-SS(2,J)/C(M+3)
DO 445 J=2,JPE
445 A(N+3,J)=-2.*SS(3,J)/C(M+3)
GO TO 470
450 DO 455 K=1,3
DO 455 J=2,JPE
455 A(N+K,J)=SS(K,J)/C(M+4)
GO TO 470
460 CONTINUE
465 CONTINUE
466 GO TO 495
C
C
470 N1=N1+1
DO 490 K=1,NMAT
VSUMR=0.
VSUMI=0.
DO 475 I2=1,NMAT
SUMR(I2)=0.0
SUMI(I2)=0.0
DO 475 L=1,NMAT
SUMR(I2)=SUMR(I2)+(VRA(L,K)*A(I2,L))
SUMI(I2)=SUMI(I2)+(VIA(L,K)*A(I2,L))
475 CONTINUE
DO 480 L=1,NMAT
VSUMR=VSUMR+(SUMR(L)*VRT(L,K)-SUMI(L)*VIT(L,K))
VSUMI=VSUMI+(SUMR(L)*VIT(L,K)+SUMI(L)*VRT(L,K))
480 CONTINUE
SNMATR(N1,K)=VSUMR
SNMATI(N1,K)=VSUMI
VSUMR=0.
VSUMI=0.
DO 485 L=1,NMAT
VSUMR=VSUMR+(VRA(L,K)*VRT(L,K)-VIA(L,K)*VIT(L,K))
VSUMI=VSUMI+(VRA(L,K)*VIT(L,K)+VIA(L,K)*VRT(L,K))
485 CONTINUE
VTEM=VSUMR*VSUMR+VSUMI*VSUMI
IF (VTEM.LE..1E-8) VTEM=.1E-8
T1=SNMATR(N1,K)
T2=SNMATI(N1,K)
SNMATR(N1,K)=(T1*VSUMR+T2*VSUMI)/VTEM
SNMATI(N1,K)=- (T1*VSUMI-T2*VSUMR)/VTEM
490 CONTINUE
IF (N1.LE.LPST) GO TO 326
C
IF (N1.LE.LS) GO TO 391
C
GO TO 466
C
495 WRITE(6,600)
DO 505 K=1,NMAT,4
```

```
KL=K+3
IF (KL.GT.NMAT) KL=NMAT
WRITE (6,605) (RTRA(J),RTIA(J),J=K,KL)
DO 500 J=1,N1
500 WRITE(6,610) (PARM(J,L),L=1,3),(SNMATR(J,N),SNMATI(J,N),N=K,KL)
505 CONTINUE

510 STOP
C
515 FORMAT (2I5,F10.5)
520 FORMAT (8A10)
525 FORMAT (1H1/(26X,8A10)
530 FORMAT (///6X,33HSU SANTRALI MEKANIK PARAMETRELERI,7X,
: 5HTEMEL,4X,11HGENEL TEMEL,/36X,31(1H-),7X,8(1H-),4X,11(1H-)/)
535 FORMAT (3A10,F10.0)
540 FORMAT (8X,3A10,2X,F11.4,4X,F11.4
545 FORMAT (3I5)
550 FORMAT (///4X,24HELEKTRIKSEL PARAMETRELER,11X,5HTEMEL,4X,
: 11HGENEL TEMEL,4X,11(1H-)/)
560 FORMAT (4X,3A10,6X,F9.5)
565 FORMAT (///15X,19HKATSAYI MATRISI (A),4X,2(1H-)/)
570 FORMAT (/I4,1X,14F9.3,/(5X,14F9.3/))
575 FORMAT (///16X,10HOZDEGERLER,/6X,12(1H-))
580 FORMAT (12X,I3,3X,F10.4,3X,F10.4)
585 FORMAT (///10X,11HOZDEGERLER,10X,12(1H-))
590 FORMAT (///11X,I3,5(6X,I3)/)
595 FORMAT (1X,2F10.4,2(2X,2F10.4))
600 FORMAT (///7X,34HD U Y A R L I L I K A N A L I Z I,/7X,8(
: 2H-),2X,8(2H-)/)
605 FORMAT (///11X,9HPARAMETRE,4X,4(18HOZDEGER/DUYARLILIK,3X)//
: 4(5X,2F10.4)/)
610 FORMAT (1X,3A10,4(4X,E10.3,1X,E10.3))
C
END
```

```
SUBROUTINE MULTM(PRE,POS,RES,M1,N1,L1)
DIMENSION PRE(5,5),POS(5,5),RES(5,5)
DO 105 I=1,M1
DO 105 J=1,L1
SUM=.0
DO 100 K=1,N1
100 SUM=SUM+PRE(I,K)*POS(K,J)
RES(I,J)=SUM
105 CONTINUE
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE EIGENV(A,N,NA,ITOPT,E,V,IFLG,WK1,WK2,IWK,IER)
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
COMPLEX*16 A,E,V,WK1,ZX,ZY,ZZ,ZPIV,ZS,ZT,ZEJJ,ZONE,ZZERO,ZSUM
:      CMPLX
COMPLEX SRI
DIMENSION A(NA,N),E(N),V(NA,N),WK1(N,N),WK2(N),IWK(N),IFLG(N)
:      NAME(2)
ZERO=0.0DO
ONE=1.0DO
SIXTN=16.0DO
ZZERO=(0.0DO,0.0DO)
ZONE=(1.0DO,0.0DO)
PT1=0.1DO
PT5=0.5DO
PT0625=0.0625DO
PT95=0.95DO
DCP30=1.0D30
DCP70=1.0D70
UEPS=Z34100000000000000
XINF=Z7FFFFFFFFFFFFFFFFF
NAME(1)='ZEF'
NAME(2)='1M'
ZX=CMPLX(DREAL(ZX),AIMAG(ZX))
SR=DBLE(SR)
SI=DBLE(SI)
SRI=CMPLX(DBLE(SR),DBLE(SI))
IF(IOPT.LT.1 .OR. IOPT.GT.4) GO TO 960
IF(N.LT.1 .OR. N.GT.NA) GO TO 960
IF(IOPT.NE.4 ) GO TO 20
IF(IER.GE.3000) GO TO 970
IF(IER.GE.2000) GO TO 960
DO 10 I=1,N
IF(IFLG(I).LT.0 .OR. IFLG(I).GT.1) GO TO 960
10  CONTINUE
GO TO 500
20  IER=0
IF(N.NE.1) GO TO 30
E(1)=A(1,1)
GO TO 480
30  DO 40 I=1,N
WK2(I)=ONE
40  CONTINUE
B1=SIXTN
B2=B1*B1
B3=PT0625
B4=B3*B3
50  IBAL=0
ANORM=ZERO
DO 120 J=1,N
C=ZERO
R=ZERO
DO 60 I=1,N
C=C+ABS(REAL(A(I,J)))+ABS(AIMAG(A(I,J)))
R=R+ABS(REAL(A(J,I)))+ABS(AIMAG(A(J,J)))
60  CONTINUE
IF(ANORM.LT.R) ANORM=R
C=C-ABS(REAL(A(J,J)))+ABS(AIMAG(A(J,J)))
R=R-ABS(REAL(A(J,J)))+ABS(AIMAG(A(J,J)))
IF(C.EQ.ZERO.OR.R.EQ.ZERO) GO TO 120
G=R*B3
F=ONE
```

```
S=C+R
70  IF(C.GE.G) GO TO 80
    F=F*B1
    C=C*B2
    GO TO 70
80  G=R*B1
90  IF (C.LT.G) GO TO 100
    F=F*B3
    C=C*B4
    GO TO 90
100 IF((C+R)/F.GE.PT95*S) GO TO 120
    IBAL=1
    G=ONE/F
    WK2(J)=WK2(J)*F
    DO 110 I=1,N
    A(J,I)=A(J,I)*G
    A(I,J)=A(I,J)*F
110 CONTINUE
120 IF(IBAL.EQ.1) GO TO 50
    IF(N.EQ.2) GO TO 220
    NM2=N-2
    ZEROP=ANORM*UEFS
    DO 210 K=1,NM2
    KP1=K+1
    IWK(KP1)=0
    PIV=ABS(REAL(A(KP1,K)))+ABS(AIMAG(A(KP1,K)))
    KROW=KP1
    KP2=K+2
    DO 130 I=KP2,N
    X=ABS(REAL(A(I,K)))+ABS(AIMAG(A(I,K)))
    IF(X.LE.PIV) GO TO 130
    PIV=X
    KROW=I
130 CONTINUE
    IF(PIV.LE.ZEROP) GO TO 210
    IWK(KP1)=KROW
    ZX=A(KROW,K)
    A(KROW,K)=A(KP1,K)
    A(KP1,K)=ZX
    ZPIV=ZONE/ZX
    DO 140 I=KP2,N
    A(I,K)=A(I,K)*ZPIV
140 CONTINUE
    IF(KROW.EQ.KR1) GO TO 160
    DO 150 I=1,N
    ZX=A(I,KP1)
    A(I,KP1)=A(I,KROW)
    A(I,KROW)=ZX
150 CONTINUE
160 DO 180 J=KP1,N
    ZX=A(KROW,J)
    A(KROW,J)=A(KP1,J)
    A(KP1,J)=ZX
    IF(REAL(ZX).EQ.ZERO.AND.AIMAG(ZX).EQ.ZERO) GO TO 180
    ZT=-ZX
    DO 170 I=KP2,N
    A(I,J)=A(I,J)+ZT*A(I,K)
170 CONTINUE
180 CONTINUE
    NKP2=N+KP2
    DO 200 L=KP2,N
    J=NKP2-L
```

```
IF (REAL(A(J,K)).EQ.ZERO.AND.AIMAG(A(J,K)).EQ.ZERO) GO TO 200
ZT=A(J,K)
DO 190 I=1,N
A(I,KP1)=A(I,KP1)+ZT*A(I,J)
190 CONTINUE
200 CONTINUE
210 CONTINUE
220 IF (IOPT.EQ.2) GO TO 270
DO 240 I=1,N
JS=I-1
IF (I.EQ.1) JS=1
JS1=JS-1
JJ=N-I+1
DO 230 J=JS,N
WK1(J-JS1,JJ)=A(I,J)
230 CONTINUE
240 CONTINUE
IF (N.EQ.2) GO TO 270
DO 260 J=1,NM2
JP2=J+2
DO 250 I=JP2,N
WK1(I,J)=A(I,J)
250 CONTINUE
260 CONTINUE
270 K=N
EPSX=UEPS
EPS=UEPS
ITMAX=31
ZT=ZZERO
280 IF (K.EQ.1) GO TO 470
K1=K-1
K2=K-2
DO 460 IT=1,ITMAX
DO 290 I=2,K
M=K-I+2
MM1=M-1
BA1=ABS(REAL(A(M,MM1)))+ABS(AIMAG(A(M,MM1)))
BA11=ABS(REAL(A(MM1,MM1)))+ABS(AIMAG(A(MM1,MM1)))
BA=ABS(REAL(A(M,M)))+ABS(AIMAG(A(M,M)))
IF (BA1.LE.EPS*(BA11+BA)) GO TO 300
290 CONTINUE
M=1
300 IF (M.EQ.K) GO TO 470
IF (IT.EQ.ITMAX) GO TO 460
IF (IT.NE.10.AND.IT.NE.20) GO TO 310
SR=(ABS(REAL(A(K,K1)))+ABS(REAL(A(K1,K2))))*PT5
SI=(ABS(IMAG(A(K,K1)))+ABS(IMAG(A(K1,K2))))*PT5
ZS=CMPLX(SR,SI)
GO TO 320
310 ZS=A(K,K)
ZX=A(K,K1)*A(K1,K)
IF (REAL(ZX).EQ.ZERO.AND.AIMAG(ZX).EQ.ZERO) GO TO 320
ZY=(A(K1,K1)-ZS)*PT5
ZZ=SQRT(ZY*ZY+ZX)
IF (REAL(ZY)*REAL(ZZ)+IMAG(ZY)*IMAG(ZZ).LT.ZERO) ZZ=-ZZ
ZX=ZX/(ZY+ZZ)
ZS=ZS-ZX
320 DO 330 I=1,K
A(I,I)=A(I,I)-ZS
330 CONTINUE
ZT=ZT+ZS
IF (M.EQ.K1) GO TO 345
```

```
MP1=M+1
XR=ABS(REAL(A(K1,K1)))+ABS(AIMAG(A(K1,K1)))
YR=ABS(REAL(A(K,K1)))+ABS(AIMAG(A(K,K1)))
ZR=ABS(REAL(A(K,K)))+ABS(AIMAG(A(K,K)))
KPM=K+M
DO 340 I=MP1,K1
L=KPM-I
LM1=L-1
YI=YR
YR=ABS(REAL(A(L,LM1)))+ABS(AIMAG(A(L,LM1)))
XI=ZR
ZR=XR
XR=ABS(REAL(A(LM1,LM1)))+ABS(AIMAG(A(LM1,LM1)))
IF(YR.LE.EPS*ZR/YI*(ZR+XR+XI)) GO TO 350
340 CONTINUE
345 L=M
350 LP1=L+1
DO 400 I=LP1,K
IM1=I-1
ZX=A(IM1,IM1)
ZY=A(I,IM1)
IF((ABS(REAL(ZX))+ABS(AIMAG(ZX))).GE.(ABS(REAL(ZY))+ABS(AIMAG
: ZY)))) GO TO 370
IM1=I-1
DO 360 J=IM1,K
ZZ=A(IM1,J)
A(IM1,J)=A(I,J)
A(I,J)=ZZ
360 CONTINUE
ZZ=ZX/ZY
E(I)=ZONE
GO TO 380
370 ZZ=ZY/ZX
E(I)=-ZONE
380 A(I,IM1)=ZZ
ZZ=-ZZ
DO 390 J=I,K
A(I,J)=A(I,J)+ZZ*A(IM1,J)
390 CONTINUE
400 CONTINUE
410 DO 450 J=LP1,K
JM1=J-1
ZX=A(J,JM1)
A(J,JM1)=ZZERO
IF(REAL(E(J)).LT.ZERO) GO TO 430
DO 420 I=M,J
ZZ=A(I,JM1)
A(I,JM1)=A(I,J)
A(I,J)=ZZ
420 CONTINUE
430 DO 440 I=M,J
A(I,JM1)=A(I,JM1)+ZX*A(I,J)
440 CONTINUE
450 CONTINUE
460 CONTINUE
IER=3000+K
GO TO 970
470 E(K)=A(K,K)+ZT
ER=REAL(E(K))
EI=IMAG(E(K))
IF(ABS(ER).LE.EPSX*ABS(EI)) ER=ZERO
IF(ABS(EI).LE.EPSX*ABS(ER)) EI=ZERO
```



```
E(K)=CMPLX(ER,EI)
K=K-1
IF(K.NE.0) GO TO 280
480 IF(IOPT.EQ.2 .OR. IOPT.EQ.3) GO TO 9999
DO 490 I=1,N
IFLG(I)=1
490 CONTINUE
500 IER=0
IF(N.NE.1) GO TO 510
IF(IFLG(1).EQ.0) GO TO 9999
V(1,1)=ZONE
GO TO 9999
510 M=0
IF(ANORM.EQ.ZERO) ANORM=ONE
ANORM=DCP30/ANORM
DO 940 JJ=1,N
IF(IFLG(JJ).NE.1) GO TO 940
ZEJJ=E(JJ)
IF(M.GE.JJ) GO TO 580
MS=JJ
IF(JJ.NE.1) GO TO 520
M=1
MS=MS+1
TA=ABS(REAL(WK1(1,N-1)))+ABS(AIMAG(WK1(1,N-1)))
TAT=ABS(REAL(WK1(1,N)))+ABS(AIMAG(WK1(1,N)))
TATA=ABS(REAL(WK1(2,N-1)))+ABS(AIMAG(WK1(2,N-1)))
IF(TA.GT.EPS*(TAT+TATA)) GO TO 520
WK1(1,N-1)=ZZERO
GO TO 550
520 IF(N.EQ.2 .OR. JJ.EQ.N) GO TO 540
NM1=N-1
DO 530 M=MS,NM1
I=N-M
F=ABS(REAL(WK1(1,I)))+ABS(AIMAG(WK1(1,I)))
F1=ABS(REAL(WK1(2,I)))+ABS(AIMAG(WK1(2,I)))
F2=ABS(REAL(WK1(2,I+1)))+ABS(AIMAG(WK1(2,I+1)))
IF(F.GT.EPS*(F1+F2)) GO TO 530
WK1(1,I)=ZZERO
GO TO 550
530 CONTINUE
540 M=N
550 MM1=N-M+1
MP1=M+1
HNORM=ZERO
DO 570 J=MN,N
S=ZERO
JP1=J-MN+2
IF(J.EQ.N) JP1=N
DO 560 I=1,JP1
S=S+ABS(REAL(WK1(I,J)))+ABS(AIMAG(WK1(I,J)))
560 CONTINUE
IF(S.GT.HNORM) HNORM=S
570 IF(HNORM.EQ.ZERO) HNORM=ONE
EPS3=HNORM*EPSX
G1=SQRT(FLOAT(N))
G2=EPS3/(G1+ONE)
G3=G1*EPS3
GTOL=PT1/G1
580 IF(M.EQ.N) GO TO 600
```



```
DO 590 I=MP1,N
V(I,JJ)=ZZERO
590 CONTINUE
600 IF(JJ.EQ.1) GO TO 620
    JJM1=JJ-1
    DO 610 I=1,JJM1
        IF(IFLG(I).NE.1) GO TO 610
        IF(ABS(REAL(E(I)-ZEJJ)).LE.EPS3 .AND.ABS(AIMAG(E(I)-ZEJJ)).
:         LE.EPS3) ZEJJ=ZEJJ+EPS3
610 CONTINUE
    E(JJ)=ZEJJ
620 DO 650 J=MN,N
    L=N-J+1
    JP1=J-MN+2
    LM2=L-2
    IF(J.NE.N) GO TO 630
    JP1=N
    LM2=0
630 DO 640 I=1,JP1
    A(I+LM2,L)=WK1(I,J)
640 CONTINUE
    A(L,L)=A(L,L)-ZEJJ
    V(J-MN+1,JJ)=CMPLX(EPS3,ZERO)
650 CONTINUE
    ITER=0
    PMIN=XINF
    ISW=0
    KS=1
    IF(M.EQ.1) GO TO 700
    DO 690 K=1,MM1
        KP1=K+1
        G=ABS(REAL(A(K,K)))+ABS(AIMAG(A(K,K)))
        G1=ABS(REAL(A(K,KP1)))+ABS(AIMAG(A(K,KP1)))
        IF(G.GT.G1) GO TO 670
        DO 660 I=K,M
            ZX=A(I,K)
            A(I,K)=A(I,KP1)
            A(I,KP1)=ZX
660 CONTINUE
670 IF(REAL(A(K,K)).EQ.ZERO.AND.AIMAG(A(K,K)).EQ.ZERO)
:     A(K,K)=CMPLX(EPS3,ZERO)
        U=ABS(REAL(A(K,K)))+ABS(AIMAG(A(K,K)))
        IF(U.LT.PMIN) PMIN=U
        A(K,K)=ZONE/A(K,K)
        IF(REAL(A(K,KP1)).EQ.ZERO.AND.AIMAG(A(K,KP1)).EQ.ZERO)
:     GO TO 690
        ZT=-A(K,KP1)*A(K,K)
        DO 680 I=KP1,M
            A(I,KP1)=A(I,KP1)+ZT*A(I,K)
680 CONTINUE
690 CONTINUE
CCC 700 IF(ZTRUE(A(M,M))) A(M,M)=CMPLX(EPS3,ZERO)
700 IF(REAL(A(M,M)).EQ.ZERO.AND.AIMAG(A(M,M)).EQ.ZERO)
:     A(M,M)=CMPLX(EPS3,ZERO)
        H=ABS(REAL(A(M,M)))+ABS(AIMAG(A(M,M)))
        IF(H.LT.PMIN) PMIN=H
        A(M,M)=ZONE/A(M,M)
        UMAX=DCP70*(PMIN/HNORM)
710 V(M,JJ)=V(M,JJ)*A(M,M)
    IF(M.EQ.1) GO TO 770
```

```
720      DO 740 K=KS,MM1
          J=M-K
          ZSUM=-V(J,JJ)
          JP1=J+1
          DO 730 I=JP1,M
              ZSUM=ZSUM+A(I,J)*V(I,JJ)
730      CONTINUE
          V(J,JJ)=-ZSUM*A(J,J)
          Q=ABS(REAL(V(J,JJ)))+ABS(AIMAG(V(J,JJ)))
          IF(K.NE.MM1.AND.Q.GT.UMAX) GO TO 750
740      CONTINUE
          GO TO 770
750      ISW=1
          KS=KS+1
          EMAX=ONE/(ABS(REAL(V(J,JJ)))+ABS(AIMAG(V(J,JJ))))
          DO 760 I=1,M
              V(I,JJ)=V(I,JJ)*EMAX
760      CONTINUE
          GO TO 720
770      ITER=ITER+1
          VNORM=ZERO
          DO 780 I=1,M
              VNORM=VNORM+ABS(REAL(V(I,JJ)))+ABS(AIMAG(V(I,JJ)))
780      CONTINUE
          IF(VNORM.LT.GTOL .AND. ISW.EQ.0) GO TO 800
          IF (VNORM.LT.ANORM) GO TO 850
          VNORM=ONE/VNORM
          DO 790 I=1,M
              V(I,JJ)=V(I,JJ)*VNORM
790      CONTINUE
          GO TO 850
800      IF(ITER.LT.M) GO TO 820
          DO 810 I=1,M
              V(I,JJ)=ZZERO
810      CONTINUE
          IFLG(JJ)=0
          CALL SUERM(NAME,1000,IER)
          GO TO 940
820      KS=1
          V(1,JJ)=CMPLX(EPS3,AIMAG(V(1,JJ)))
          IF(M.EQ.1) GO TO 840
          DO 830 I=2,M
              V(I,JJ)=CMPLX(G2,AIMAG(V(I,JJ)))
830      CONTINUE
840      V(MP1-ITER,JJ)=V(MP1-ITER,JJ)-G3
          GO TO 710
850      IF(N.EQ.2) GO TO 890
          NM2=N-2
          DO 880 L=1,NM2
              K=NM2-L+1
              KP1=K+1
              KP2=K+2
              IF(IWK(KP1).EQ.0) GO TO 880
              IF(REAL(V(KP1,JJ)).EQ.ZERO.AND.AIMAG(V(KP1,JJ)).EQ.ZERO)
:                 GO TO 870
              ZT=V(KP1,JJ)
              DO 860 I=KP2,N
                  V(I,JJ)=V(I,JJ)+ZT*WK1(I,K)
860      CONTINUE
870      KROW=IWK(KP1)
          IF(KP1.EQ.KROW) GO TO 880
          ZX=V(KP1,JJ)
          V(KP1,JJ)=V(KROW,JJ)
```

```
V(KROW,JJ)=ZX
880 CONTINUE
890 DO 900 I=1,N
    V(I,JJ)=V(I,JJ)*WK2(I)
900 CONTINUE
910 SUM=ZERO
    DO 920 I=1,N
        SUM=SUM+ABS(REAL(V(I,JJ)))**2+ABS(AIMAG(V(I,JJ)))**2
920 CONTINUE
    S=SUM
    IF(S.EQ.ZERO) GO TO 940
    S=ONE/SQRT(S)
    DO 930 I=1,N
        V(I,JJ)=V(I,JJ)*S
930 CONTINUE
940 CONTINUE
950 GO TO 9999
960 CALL SUERM(NAME,2000,IER)
    GO TO 9999
970 IER1=IER
    CALL SUERM(NAME,IER1,IER)
9999 CALL SURTM(NAME,IER)
    RETURN
    END
```

JACOBIAN MATRIS

5.6552	3.2244	-5.6552	-1.2444
-1.3688	6.5388	1.3688	-5.1411
-5.5945	1.4536	5.5945	4.9103
-1.5989	-5.0859	1.5989	7.3181

OZDEGERLER

1	-.0738	15.4482
2	-.0738	-15.4482
3	-.2782	1.3006
4	-.2782	-1.3006
5	-4.5789	.0000
6	-1.7621	.0000
7	-3.6573	.0000
8	-3.9967	.0000
9	-4.0000	.0000
10	-.0354	.0000
11	-.0006	.0000
12	.0000	.0000
13	.0000	.0000

OZVEKTORLER

	1		2		3
.0242	.2271	.0242	-.2271	-.2246	-.5071
-3.5095	.3563	-3.5095	-.3563	.7220	-.1511
-.0067	.0226	-.0067	-.0226	.0112	.0161
.0011	-.0118	.0011	.0118	-.0086	.0078
.0558	-.0063	.0558	.0063	-.0109	-.0187
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.3912	.0702	.3912	-.0702	.0124	-.0187
-.0057	-.0513	-.0057	.0513	-.2257	-.5051
.7923	-.0839	.7923	.0839	.7198	-.1530
.0034	.0007	.0034	-.0007	.0052	.1330
-.0076	.0525	-.0076	-.0525	-.1693	.1028
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
-.3884	-.0599	-.3884	.0599	.0113	.0042
	4		5		6
-.2246	.5071	.0932	.0000	-.7517	.0000
.7220	.1511	-.4257	.0000	1.3246	.0000
.0112	-.0161	.0756	.0000	-.9392	.0000
-.0086	-.0078	-.0175	.0000	-.0405	.0000
-.0109	-.0038	.0065	.0000	-.0191	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0008	.0000
.0124	.0187	-.1099	.0000	-1.5385	.0000
-.2257	.5051	.0892	.0000	-.5958	.0000
.7198	.1530	-.4083	.0000	1.0498	.0000
.0052	-.1330	.2091	.0000	.6535	.0000
-.1693	-.1028	-.7483	.0000	-.4980	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	-.0002	.0000
-.0113	-.0042	.2150	.0000	1.5990	.0000
	7		8		9
.3998	.0000	-.0036	.0000	.0033	.0000
-1.4623	.0000	.0144	.0000	-.0130	.0000
1.3055	.0000	-.0308	.0000	.0016	.0000
-.2323	.0000	.0062	.0000	-.0003	.0000
.0226	.0000	-.0012	.0000	.0001	.0000
-.0033	.0000	.0079	.0000	.0010	.0000
13.3013	.0000	-34.9941	.0000	-4.6159	.0000
.1942	.0000	.0016	.0000	.0032	.0000
-.7103	.0000	-.0063	.0000	-.0128	.0000
-.8309	.0000	.0320	.0000	.0061	.0000
2.2079	.0000	-.0959	.0000	-.0183	.0000
.0007	.0000	-.0017	.0000	-.0034	.0000
-13.6032	.0000	34.7322	.0000	68.1039	.0000

	10		11		12
-2.6966	.0000	48.2174	.0000	659.6355	.0000
.0956	.0000	-.0300	.0000	.0176	.0000
.0284	.0000	-.0068	.0000	-.0002	.0000
.0269	.0000	-.0068	.0000	-.0002	.0000
.0266	.0000	-.0068	.0000	-.0002	.0000
-.0008	.0000	.0103	.0000	-.0019	.0000
.0296	.0000	-.0071	.0000	-.0001	.0000
-2.7015	.0000	48.2185	.0000	659.6356	.0000
.0957	.0000	-.0300	.0000	.0173	.0000
-.0264	.0000	.0061	.0000	.0006	.0000
-.0255	.0000	.0061	.0000	.0006	.0000
.0001	.0000	-.0019	.0000	.0053	.0000
-.0257	.0000	.0059	.0000	.0007	.0000

	13
9866.5056	.0000
.0000	.0000
.0000	.0000
.0000	.0000
.0000	.0000
.0000	.0000
.0000	.0000
.0000	.0000
9866.5056	.0000
.0000	.0000
.0000	.0000
.0000	.0000
.0000	.0000
.0000	.0000

D U Y A R L I L I K A N A L I Z I

PARAMETRE	OZDEGER/DUYARLILIK		OZDEGER/DUYARLILIK	
	-.0738	15.4482	-.0738	-15.4482
1	-1.418E+01	-1.586E-01	-1.418E+01	1.586E-01
2	3.497E+00	-2.190E+02	3.497E+00	2.190E+02
3	-1.632E-02	-8.104E-03	-1.632E-02	8.104E-03
4	-1.782E-01	2.527E-01	-1.782E-01	-2.527E-01
5	-5.919E-04	1.388E-03	-5.919E-04	-1.388E-03
6	1.849E-05	7.966E-06	1.849E-05	-7.966E-03
7	-6.985E-06	9.275E-06	-6.985E-06	-9.275E-06
8	-7.311E-01	-1.818E-03	-7.311E-01	1.818E-03
9	8.206E-02	-1.129E+01	8.206E-02	1.129E+01
10	-1.030E-02	-6.527E-03	-1.030E-02	6.527E-03
11	-7.941E-04	-2.555E-04	-7.941E-04	2.555E-04
12	3.273E-08	2.031E-08	3.273E-08	-2.031E-08
	-.2732	1.3006	-.2732	-1.3006
1	-2.887E+00	1.539E+00	-2.887E+00	-1.539E+00
2	-1.198E+00	-4.183E+00	-1.198E+00	4.183E+00
3	7.576E-02	-4.497E-02	7.576E-02	4.497E-02
4	5.513E-02	-1.026E-01	5.513E-02	1.026E-01

5	-1.065E-03	-8.912E-04	-1.065E-03	8.912E-04
6	-9.811E-05	1.829E-04	-9.811E-05	-1.829E-04
7	6.502E-05	-4.955E-04	6.502E-05	4.955E-04
8	-2.804E+00	1.565E+00	-2.804E+00	-1.565E+00
9	-1.232E+00	-4.200E+00	-1.232E+00	4.200E+00
10	7.231E-01	-3.502E-01	7.231E-01	3.502E-01
11	-5.051E-02	-1.495E-01	-5.051E-02	1.495E-01
12	-2.202E-04	2.623E-04	-2.202E-04	-2.623E-04

-4.5789 .0000 -1.7621 .0000

1	-7.827E-01	2.474E-01
2	3.584E+00	-4.359E-01
3	1.324E-01	1.411E+00
4	1.700E+00	6.557E-01
5	2.220E-03	-2.835E-03
6	-8.996E-05	4.253E+04
7	-1.579E-03	-1.335E-03
8	-7.264E-01	1.563E-01
9	3.326E+00	-2.754E-01
10	1.177E+01	-3.065E-01
11	9.869E-02	2.580E-02
12	4.233E-04	-7.438E-05

-3.6573 .0000 -3.9967 .0000

1	-2.705E-01	2.052E-03
2	9.898E-01	-8.200E-03
3	3.435E-03	-5.267E-03
4	1.700E+00	6.557E-01
5	2.220E-03	-2.835E-03
6	8.996E-05	-4.253E+04
7	-1.579E-03	1.335E-03
8	-7.264E-01	1.563E-01
9	3.326E+00	-2.754E-01
10	-1.177E+01	3.065E-01
11	9.869E-02	2.580E-02
12	4.233E-04	-7.438E-05

-4.0000 .0000 -0.0354 .0000

1	-8.510E-06	2.871E-02
2	3.404E-05	-1.018E-03
3	3.435E-03	-5.267E-03
4	1.700E+00	6.557E-01
5	2.220E-03	-2.835E-03
6	8.996E-05	-4.253E+04
7	-1.579E-03	1.335E-03
8	-7.264E-01	1.563E-01
9	3.326E+00	-2.754E-01
10	-1.177E+01	3.065E-01
11	9.869E-02	2.580E-02
12	-8.084E-04	1.842E-04

-.0006 .0000 .0000 .0000

1	1.936E-03	1.776E-05
2	-1.204E-06	4.777E-10
3	3.435E-03	-5.267E-12
4	1.700E-00	6.557E-11
5	2.220E-03	-2.835E-12

6	8.996E-05	-4.253E-12
7	-1.579E-03	1.335E-07
8	-7.264E-07	1.563E-03
9	3.326E-08	-2.754E-05
10	-1.177E-05	3.065E-06
11	9.869E-08	2.580E-09
12	-8.084E-04	1.842E-04

.0000 .0000

1	3.822E-17
2	-3.503E-17
3	5.566E-18
4	-1.700E-19
5	-2.220E-18
6	-8.996E-09
7	-1.579E-11
8	-7.264E-11
9	3.326E-16
10	-1.177E-17
11	-9.869E-10
12	-8.084E-11

1:S.S.SONUM KATSAYISI
2:S.S.EYLEMSIZLIK SABITI
3:OLUKLARDAKI SUYUN ZAMAN SABITI
4:S.S.HIZ AYARI ZAMAN SABITI
5:GECICI HAL HIZ AYARI
6:S.S.SUREKLI HAL HIZ AYARI
7:S.S. POLARIZASYON KATSAYISI
8:B.S.SONUM KATSAYISI
9:B.S.EYLEMSIZLIK SABITI
10:B.S.HIZ AYARI ZAMAN SABITI
11:B.S.SUREKLI HAL HIZ AYARI
12:B.S.POLARIZASYON KATSAYISI

JACOBIAN MATRIS

5.6369	-.2821	-5.6369	-2.8874
-1.3730	4.7840	1.3730	-5.8764
-5.7550	.2429	5.7550	2.7790
-1.7019	-6.3728	1.7019	5.7305

OZDEGERLER

1	-999.9998	.0000
2	-27.2526	377.9333
3	-27.2526	-377.9333
4	-57.6476	34.9923
5	-57.6476	-34.9923
6	21.3012	37.8221
7	21.3012	-37.8221
8	-9.7762	.0000
9	-6.0425	1.0624
10	-6.0425	-1.0624
11	-3.9987	.0000
12	-.0124	.0866
13	-.0124	-.0866
14	-1.6893	.0000
15	-.9999	.0000
16	-.6917	.0000

OZVEKTORLER

1		2		3	
.0000	.0000	.0002	-.0002	.0002	.0002
.0000	.0000	.0652	.0711	.0652	-.0711
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.2237	-.0734	.2237	.0734
.0000	.0000	-.0732	-.2235	-.0732	.2235
.0001	.0000	-.0278	-.0772	-.0278	.0772
.0000	.0000	.2190	-.0716	.2190	.0716
.0000	.0000	-.0440	-.1420	-.0440	.1420
-.2742	.0000	-1.7553	-2.1629	-1.7553	2.1629
40.0205	.0000	126.2066	-88.4061	126.2066	88.4061
-.0013	.0000	-.0085	-.0105	-.0085	.0105
15.2092	.0000	.0013	.0002	.0013	-.0002
.0000	.0000	1.7461	1.9059	1.7461	-1.9059
.0000	.0000	5.0402	5.9064	5.0402	-5.9064
.0001	.0000	14.5058	18.2644	14.5058	-18.2644
4		5		6	
-.0002	.0002	-.0002	-.0002	.0045	.0014
.0056	-.0178	.0056	.0178	.0410	.1998
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0004
-.0008	-.0006	-.0008	.0006	.0159	-.0030
-.0028	-.0173	-.0028	.0173	.0661	-.0811
-.0136	-.1376	-.0136	.1376	.5183	-.4927
-.0008	-.0006	-.0008	.0006	.0155	-.0028
.0103	.1172	.0103	-.1172	-.4395	.3960
29.1387	37.1106	29.1387	-37.1106	162.7189	41.2101
-432.7560	-160.8105	-432.7560	160.8105	290.2121	1029.6971
.1409	.1815	.1409	-.1815	.7766	.2081
-.0008	-.0032	-.0008	.0032	.0076	-.0132
.1528	-.4786	.1528	.4786	1.0583	5.3410
.7990	-1.5275	.7990	1.5275	.0410	13.7200
3.7148	-5.3870	3.7148	5.3870	-6.5169	33.9529
7		8		9	
.0045	-.0014	.0051	.0000	-.0007	.0270
.0410	-.1998	-.0502	.0000	-.0246	-.1640
.0000	.0000	.0002	.0000	-.0015	.0025
-.0009	.0004	-.0018	.0000	.0050	-.0145
.0159	.0030	.0137	.0000	-.0067	.0808
.0661	.0811	-.0379	.0000	.0088	-.1933
.5183	.4927	-1.9521	.0000	1.2342	1.9298
.0155	.0028	.0139	.0000	-.0079	.0838
-.4395	-.3960	1.9074	.0000	-1.2237	-2.1579
162.7189	-41.2101	69.3528	.0000	-30.2286	-20.1593
.7766	-.2081	.3602	.0000	-.1616	-.1130
.0076	.0132	-.0068	.0000	.0006	-.0329
1.0583	-5.3410	-1.3921	.0000	-.6512	-4.6489
.0410	-13.7200	1.2702	.0000	.9102	-.8417
-6.5169	-33.9529	-1.1589	.0000	.3197	.0706
10		11		12	
-.0007	-.0270	-.0001	.0000	2.3111	1.4196
-.0246	.1640	.0003	.0000	-.1516	.1827

-.0015	-.0025	.0171	.0000	.0070	-.0105
.0050	.0145	-.0512	.0000	.0079	-.0099
-.0067	-.0808	.0015	.0000	.9551	.8880
.0088	.1933	.0148	.0000	-1.7205	-1.7680
1.2342	-1.9298	-.0607	.0000	-1.9213	-2.1865
-.0079	-.0838	.0016	.0000	-.1908	.2559
-1.2237	2.1579	.0733	.0000	-.1212	.0913
-30.2286	20.1593	.0478	.0000	-.1467	-5.4649
27.6193	-11.6448	-.0245	.0000	.0588	-.3854
-.1616	.1130	.0003	.0000	.0034	.0000
.0006	.0329	.0025	.0000	-1.3945	-.9191
-.6512	4.6489	.0092	.0000	-1.4091	-.9046
.9102	.8417	.0046	.0000	-1.3996	-.9158
.3197	-.0706	.0023	.0000	-1.3900	-.9268

	13		14		15
2.3111	-1.4196	-.0001	.0000	-.0001	.0000
-.1516	-.1827	.0002	.0000	.0001	.0000
.0070	.0106	.0000	.0000	-.0771	.0000
.0079	.0099	.0000	.0000	.0000	.0000
.9551	-.8880	1.4202	.0000	.0050	.0000
-1.7205	1.7680	-3.2790	.0000	-.0836	.0000
-1.9213	2.1865	.8244	.0000	-.0366	.0000
-.1908	-.2559	1.7550	.0000	.0075	.0000
-.1212	-.0913	-4.6985	.0000	-.0745	.0000
-.1467	5.4649	61.3194	.0000	1.2062	.0000
.0688	.3854	-10.7095	.0000	-.0893	.0000
.0034	.0000	.5003	.0000	.0188	.0000
-1.3945	.9191	-.2884	.0000	-.0032	.0000
-1.4091	.9046	.0073	.0000	.0048	.0000
-1.3996	.9158	.0060	.0000	.0043	.0000
-1.3900	.9268	.0049	.0000	.0039	.0000

	16
.1667	.0000
-.1153	.0000
.0240	.0000
.0074	.0000
-.1320	.0000
.3634	.0000
.2434	.0000
-.2626	.0000
.1853	.0000
-3.1524	.0000
.0914	.0000
-5.0865	.0000
-.0567	.0000
-5.9657	.0000
-5.5382	.0000
-5.1414	.0000

D U Y A R L I L I K A N A L I Z :
- - - - -

PARAMETRE	OZDEGER/DUYARLILIK		OZDEGER/DUYARLILIK	
	-999.9998	.0000	-27.2526	377.9333
1	4.668E-09		-1.900E-01	-2.925E-02
2	-4.668E-09		1.626E+01	-7.103E+01
3	-9.956E-16		-2.844E-07	-6.983E-09
4	-3.998E-15		-1.138E-06	-3.694E-08
5	-5.282E-17		-1.500E-08	-3.307E-10
6	-1.137E-04		-2.378E-03	-4.726E-03
7	-1.213E-02		-1.767E-01	-5.069E-01
8	1.385E-08		-1.948E-06	-3.793E-06
9	1.000E+06		-1.431E-05	2.155E-04
10	1.659E-05		3.481E-04	6.894E-04
11	4.608E-06		9.670E-05	1.915E-06
12	-2.867E-06		6.050E-04	7.849E-04
13	2.304E-04		-5.556E-07	-2.122E-07
14	6.135E-10		-1.608E-08	-3.192E-03
15	-2.470E-08		6.226E-02	1.289E-01
16	7.509E-08		-1.733E-01	-3.935E-01
17	-2.288E-11		6.011E-05	1.190E-04
	-27.2526	-377.9333	-57.6476	34.9923
1	-1.900E-01	2.925E-02	-1.260E+01	5.256E+00
2	1.626E+01	7.103E+01	5.426E+02	-7.440E+02
3	-2.844E-07	6.983E-09	5.063E-04	4.650E-04
4	-1.138E-06	3.694E-08	2.057E-03	1.089E-03
5	-1.500E-08	3.307E-10	2.671E-05	2.420E-05
6	-2.378E-03	4.726E-03	4.364E+00	-5.427E+00
7	-1.767E-01	5.069E-01	1.316E+03	-1.152E+02
8	-1.948E-06	3.793E-06	-1.780E-01	-2.638E-01
9	-1.431E-05	-2.155E-04	-1.316E-01	-3.752E-01
10	3.481E-04	-6.894E-04	-6.302E-01	7.809E-01
11	9.670E-05	-1.915E-06	-1.751E-01	2.194E-01
12	6.050E-04	-7.849E-04	3.687E+01	5.910E+01
13	-5.556E-07	2.122E-07	-9.844E-04	-6.932E-03
14	-1.608E-08	3.192E-03	3.026E+00	-3.529E+00
15	6.226E-02	-1.289E-01	-1.394E+02	1.461E+02
16	-1.733E-01	3.935E-01	6.751E+02	-4.476E+02
17	6.011E-05	-1.190E-04	-1.121E-01	1.314E-01
	-57.6476	-34.9923	21.3012	37.8221
1	-1.260E+01	-5.256E+00	-2.219E+01	2.226E+00
2	5.426E+02	7.440E+02	-5.569E+02	-7.919E+02
3	5.063E-04	-4.650E-04	-1.181E-03	-2.022E-03
4	2.057E-03	-1.089E-03	-4.107E-03	-8.051E-03
5	2.671E-05	-2.420E-05	-6.551E-05	-1.072E-04
6	4.364E+00	5.427E+00	-4.284E+00	-4.523E+00
7	1.316E+03	1.152E+02	-6.718E+01	-3.350E+02
8	-1.780E-01	2.638E-01	1.540E-01	-1.312E-01
9	-1.316E-01	3.752E-01	1.271E-01	-2.021E-01
10	-6.302E-01	-7.809E-01	6.355E-01	6.578E-01
11	-1.751E-01	-2.194E-01	1.765E-01	1.827E-01
12	3.687E+01	-5.910E+01	-3.178E+01	2.784E+01

13	-9.844E-04	6.932E-03	2.492E-03	5.038E-03
14	3.026E+00	3.529E+00	-2.984E+00	-2.988E+00
15	-1.394E+02	-1.461E+02	9.688E+01	1.229E+00
16	6.751E+02	4.476E+02	-1.803E+02	-3.506E+02
17	-1.121E-01	-1.314E-01	1.125E-01	1.112E-01

21.3012	-37.8221	-9.7762	.0000
---------	----------	---------	-------

1	-2.219E+01	-2.226E+00	8.756E-01
2	-5.569E+02	7.919E+02	-8.560E+00
3	-1.181E-03	2.022E-03	-4.083E-03
4	-4.107E-03	8.051E-03	-2.482E-02
5	-6.551E-05	1.072E-04	-1.045E-04
6	-4.284E+00	4.523E+00	-4.819E-01
7	-6.718E+01	3.350E+02	1.128E+01
8	1.540E-01	1.312E-01	-1.640E-01
9	1.271E-01	2.021E-01	-4.096E-02
10	6.355E-01	-6.578E-01	6.681E-02
11	1.765E-01	-1.827E-01	1.855E-02
12	-3.178E+01	-2.784E+01	3.158E+01
13	2.492E-03	-5.038E-03	-4.149E-03
14	-2.984E+00	2.988E+00	-2.454E-01
15	9.688E+01	-1.229E+00	2.981E+01
16	-1.803E+02	3.506E+02	2.720E+01
17	1.125E-01	-1.112E-01	3.845E-03

-6.0425	1.0624	-6.0425	-1.0624
---------	--------	---------	---------

1	-2.887E+00	1.539E+00	-2.887E+00	-1.539E+00
2	-1.198E+00	-4.183E+00	-1.198E+00	4.183E+00
3	7.576E-02	-4.497E-02	7.576E-02	4.497E-02
4	5.513E-02	-1.026E-01	5.513E-02	1.026E-01
5	-1.065E-03	-8.912E-04	-1.065E-03	8.912E-04
6	-9.811E-05	1.829E-04	-9.811E-05	-1.829E-04
7	6.502E-05	-4.955E-04	6.502E-05	4.955E-04
8	-2.804E+00	1.565E+00	-2.804E+00	-1.565E+00
9	-1.232E+00	-4.200E+00	-1.232E+00	4.200E+00
10	7.231E-01	-3.502E-01	7.231E-01	3.502E-01
11	-5.051E-02	-1.495E-01	-5.051E-02	1.495E-01
12	-2.202E-04	2.623E-04	-2.202E-04	-2.623E-04
13	2.056E-02	-4.606E-02	2.056E-02	4.606E-02
14	1.428E-01	1.038E-01	1.428E-01	-1.038E-01
15	2.755E+01	-1.867E+01	2.755E+01	1.867E+01
16	-8.200E+00	-3.164E+00	-8.200E+00	3.164E+00
17	-5.081E-03	-3.514E-03	-5.081E-03	3.514E-03

-3.9987	.0000	-.0124	.0866
---------	-------	--------	-------

1	1.539E+00	-8.952E-04	-3.860E-04	
2	-4.183E+00	4.451E-05	-7.279E-05	
3	-4.497E-02	-1.593E-06	4.335E-06	
4	-1.026E-01	5.513E-02	1.026E-01	
5	-8.912E-04	-1.065E-03	8.912E-04	
6	1.829E-04	-9.811E-05	-1.829E-04	
7	-4.955E-04	6.502E-05	4.955E-04	
8	1.565E+00	-2.804E+00	-1.565E+00	
9	-4.200E+00	-1.232E+00	4.200E+00	
10	1.462E-03	7.231E-01	3.502E-01	
11	-1.495E-01	-5.051E-02	1.495E-01	
12	2.623E-04	-2.202E-04	-2.623E-04	
13	-4.606E-02	2.056E-02	4.606E-02	
14	1.038E-01	1.428E-01	-1.038E-01	
15	2.755E+01	-1.867E+01	2.755E+01	1.867E+01

16	-8.200E+00	-3.164E+00	-8.200E+00	3.164E+00
17	-5.081E-03	-3.514E-03	-5.081E-03	3.514E-03
	-.0124	-.0866	-1.6893	.0000
1	-8.952E-04	3.860E-04	1.296E-05	
2	4.451E-05	7.279E-05	-2.189E-05	
3	-1.593E-06	-4.335E-06	4.230E-06	
4	5.513E-02	-1.026E-01	-5.048E-06	
5	-1.065E-03	-8.912E-04	9.157E-08	
6	-9.811E-05	1.829E-04	-8.597E-03	
7	6.502E-05	-4.955E-04	2.158E-02	
8	-2.804E+00	1.565E+00	-3.479E-02	
9	-1.232E+00	-4.200E+00	-2.911E-02	
10	7.231E-01	-3.502E-01	8.888E-04	
11	-5.051E-02	-1.495E-01	2.469E-04	
12	-2.202E-04	2.623E-04	4.263E+00	
13	2.056E-02	-4.606E-02	-1.720E-04	
14	1.428E-01	1.038E-01	1.208E-04	
15	2.755E+01	-1.867E+01	1.316E-03	
16	-8.200E+00	-3.164E+00	-1.073E-03	
17	-5.081E-03	-3.514E-03	-3.619E-06	
	-.9999	.0000	-.6917	.0000
1	3.822E-07		-7.624E-04	
2	-3.503E-07		6.274E-04	
3	5.566E+00		-3.560E-04	
4	-1.700E-04		-1.327E-04	
5	-2.220E-06		8.416E-06	
6	-8.996E-05		1.278E-06	
7	-1.579E-05		-5.219E-07	
8	-7.264E-03		4.834E-01	
9	3.326E-04		-1.619E-05	
10	-1.177E-06		-6.357E-08	
11	-9.869E-02		-1.489E-08	
12	-8.084E-04		-2.999E-01	
13	-3.874E-04		-2.139E-05	
14	5.695E-05		-1.365E-03	
15	2.680E-04		-3.275E-03	
16	-2.398E-04		3.040E-03	
17	-1.417E-06		2.639E-05	

1:B.S.SONUM KATSAYISI
 2:B.S.EYLEMSIZLIK SABITI
 3:TURBIN ZAMAN SABITI
 4:B.S.HIZ AYARI ZAMAN SABITI
 5:B.S.SUREKLI HAL HIZ AYARI
 6:UYARMA ZAMAN SABITI 1
 7:UYARMA ZAMAN SABITI 2
 8:KARARLILASTIRICI ZAMAN SABITI
 9:GER.REG.ZAMAN SABITI
 10:UYARMA KAZANCI 1
 11:UYARMA KAZANCI 2
 12:KARARLILASTIRICI KAZANCI
 13:GER.REG. KAZANCI
 14:KARARLILASTIRICI ZAMAN SABITI 1
 15:KARARLILASTIRICI ZAMAN SABITI 2
 16:KARARLILASTIRICI ZAMAN SABITI 3
 17:KARARLILASTIRICI KAZANCI

ÖZGEÇMİŞ

Taşdemir AŞAN, 1967 yılında İstanbul'da doğdu. İlk öğrenimini İstanbul Bostancı İlkokulu, Orta ve Lise öğrenimini İstanbul Beşiktaş Atatürk Lisesi'nde tamamladı. 1984 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümüne girdi. 1988 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Yüksek Lisans Programına başladı. Yazar İngilizce bilmektedir.