

34743

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE
BİLGİSAYAR DESTEKLİ
ANALİZ YÖNTEMLERİ**

Elek. Müh. Özden MERT

F. B. E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında

Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hacı BODUR

İSTANBUL. 1994

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İÇİNDEKİLER

1	GİRİŞ	
1.1	Enerji Akış Probleminin Belirlenmesi	1
1.2	Bara Tipleri	9
1.3	Gauss - Seidel Yöntemi	11
1.4	Newton - Raphson Yöntemiyle Enerji Akış Çözümleri	19
2	SİMETRİLİ BİLEŞENLER	
2.1	Dengeli ve Dengesiz Arızalar	33
3	GÜÇ SİSTEM İFADELERİ	
3.1	Şebeke Tanım Denklemleri	36
3.2	Bara Güç Denklemleri	36
3.3	Hat Yüklenme Denklemleri	37
3.4	Çözüm Teknikleri	38
3.4.1	Gauss İteratif Metodu Kullanılarak Ybara'nın Bulunması	38
3.4.2	Gauss - Seidel İteratif Metodu Kullanılarak Ybara'nın Bulunması	43
3.4.3	Yaklaşım Metodu Kullanılarak Ybara'nın Bulunması	45
3.4.4	Newton -Raphson Metodu Kullanılarak Ybara'nın Bulunması	49
4	SAYISAL UYGULAMALAR	
	KAYNAKLAR	76
	EKLER	77
	ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Günümüzde zaman çok önemlidir. Bu yüzden, bütün dalarda olduğu gibi, Enerji İletim Sistemlerinde de kısa zamanda çözüme ulaşma bakımından bilgisayarlar kullanılmaktadır. Bu araştırmada ; Enerji İletim Sistemlerinde, güç akış problemlerinin, bilgisayar ile çözüme yönelik iteratif yöntemleri anlatılmaktadır.

Giriş bölümünde ; bir güç akış probleminin belirlenmesi ve n baralı bir enerji iletim sistemindeki güç ifadeleri ile, enerji sistemini bir devre ile modelliyip, düğüm ve çevre yöntemlerini kullanarak [Ybara] (bara admitans matrisi)'nin oluşturulması anlatılmıştır. Daha sonra, baralar yük akışlarına göre tiplere ayrılmıştır ve buradan bilinen değerler ile bilinmeyen değerler tespit edilerek, güç akış denklemleri çıkarılmıştır. Bundan sonra da, Gauss-Seidel ve Newton-Raphson Yöntemleri ile güç ifadelerinin bulunması teorik olarak anlatılmıştır.

Simetrikli Bileşenler bölümünde, 3 fazlı bir enerji iletim sisteminde bir a ($a=1\angle 120^\circ$) operatörü belirleyerek, dengeli bir sistemin, Simetrikli Bileşenlerdeki gerilim ve güç ifadelerinin bulunuşu ile, dengeli ve dengesiz arızalar hakkında kısa bir genel bilgi verilmiştir.

Güç Sistem İfadelerinde ise, daha önce giriş bölümünde teorik olarak verilen Gauss-Seidel ve Newton-Raphson iteratif çözüm yöntemleri, daha derinlemesine ve bilgisayar ile çözüme yönelik olarak anlatılmıştır. Daha sonra da uygulama bölümünde verilen bir çözümlü örnek ile ve Ek-2 bölümünde verilen bir Basic program dili yazılımı ile bu konu pekiştirilmiştir.

SUMMARY

Nowadays time is very essential. Therefore, computers are used in energy transmission systems for reaching the solution in a short time. In this research, the iterative methods related to computer are described for load flow problems in energy transmission system.

The formation of a [Ybus] (bus admittance matrix) by node and loop methods, modifying the energy system by a circuit, by power expressions of n bused energy transmission systems are described in the introduction section. After that buses are classified according to load flows and load flow equations are found by using the determined known and unknown values. After all, theoretical determination of power expressions by Gauss-Seidel and Newton-Raphson methods are elucidated.

A brief general information about determination of balanced and unbalanced errors by forming the equations of voltage and power expressions in a balanced system by determining an operator ($a=1\angle 120^\circ$) in a three phases energy transmission system is given in the introduction section.

Gauss-Seidel and Newton-Raphson iterative solution methods are described according to a computer usage and in details in Power System expression which was theoretically described in the introduction section. In the application section an example is given and resttified by a Basic program illustrated as Supp-2.

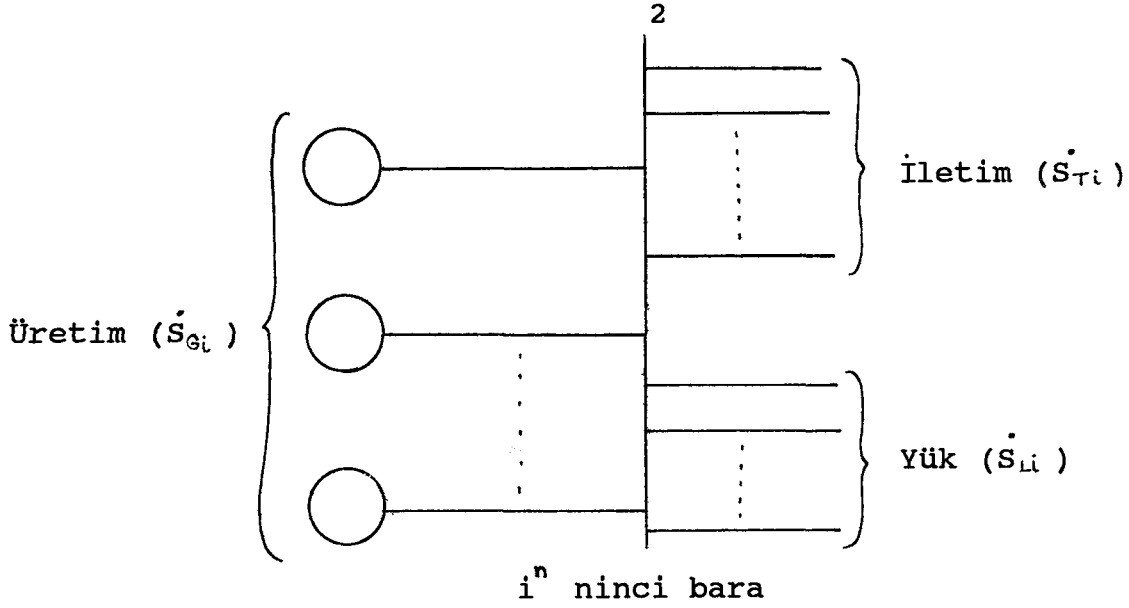
1. GİRİŞ

Enerji sistemlerinin 3 fazlı normal dengeli durumda ve sürekli hal çalışmaları büyük önem taşır. Verilen bir yük koşulunda akla hemen şu gelir: Sistem üzerinde hatlarda ve transformatörlerde yük dağılımı nasıl olacaktır? Sistem üzerinde gerilim dağılımı nasıl olacaktır? Herhangi bir sistemde aşağıdaki gibi durumlarda yine şu soruların cevaplanması gerekir. Yeni üretim merkezlerinin inşası, projelendirilmiş yükün büyümesi, yeni iletim hatlarının inşası nasıl olacaktır?

Bir enerji sistemini bir devre ile modellendirmek ve çevre, düğüm yöntemleri uygulayarak direk çözüm arama yoluna gidilmesi uygun değildir. Çünkü yükler birer empedans olmayıp, kompleks güçlerdir ve generatörler devre analizi anlamında birer gerilim kaynağı gibi düşünülemez. Daha çok güç kaynağı gibi davranışlıdırlar. n baralı bir sistemde problem $2n$ bilinmeyenli, $2n$ nonlineer denklemin çözümü şeklindedir. Ve bu nedenle nümerik analiz tekniklerini gerektirir. Dengeli 3 fazlı sistem gözönüne alındığında hesaplar da yalnız pozitif dizi şebeke gereklidir. Bu konumdaki hesaplarımızda per-unit sistem kullanılacaktır.

1.1 Enerji Akış Probleminin Belirlenmesi

n baralı bir enerji sisteminde aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi i. barayı gözönüne alalım ;



Şekil 1.1 n baralı bir enerji sistemi

i. baradaki kompleks güçler ;

$$\dot{S}_{Gi} = \dot{S}_{Li} + \dot{S}_{Ti} \quad (1.1)$$

burada \dot{S}_{Gi} = i. baraya gelen 3 fazlı kompleks güç,

\dot{S}_{Li} = i. baradan giden 3 fazlı kompleks yük gücü,

\dot{S}_{Ti} = i. baradan giden 3 fazlı kompleks iletilen güç

Güçler için ;

$$\dot{S}_{Gi} = P_{Gi} + jQ_{Gi}$$

$$\dot{S}_{Li} = P_{Li} + jQ_{Li} \quad \} \quad (1.2)$$

$$\dot{S}_{Ti} = P_{Ti} + jQ_{Ti}$$

olduğundan, aşağıdaki bir diğerinden bağımsız denklemleri yazabiliriz.

$$P_{Gi} = P_{Li} + P_{Ti} \quad (1.3)$$

$$Q_{Gi} = Q_{Li} + Q_{Ti} \quad (1.4)$$

bilindiği üzere bunlar aktif ve reaktif güçleri göstermektedir.

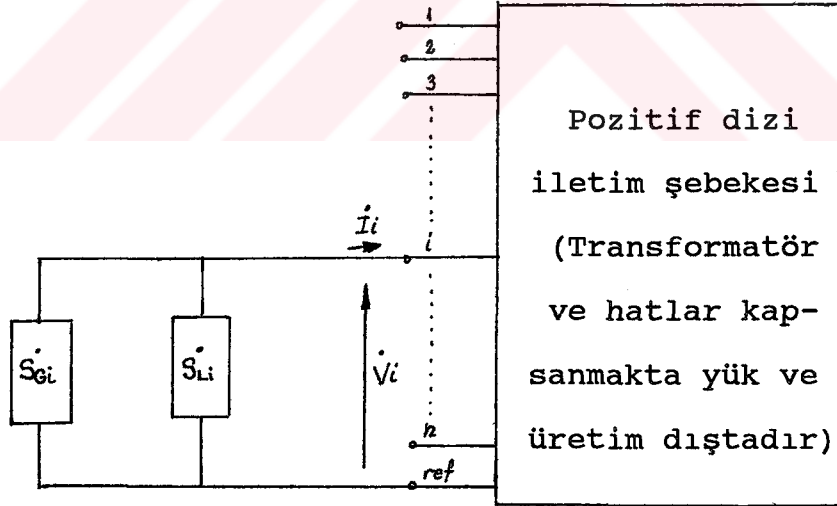
Herbir bara için bu toplam 6 değişken yukardaki bağımsız

denklemlerle bağımlıdırlar. n bara için 2n denklem ve 6n değişken

mevcuttur. Enerji akış problemleri belirli yük akışlarına göre yapılır. Bu nedenlerle P_{Li} ve Q_{Li} verilir veya bilinir ve her bara için değişken sayısı 4'e iner. P_{Gi} , Q_{Gi} , P_{Ti} , Q_{Ti} üretime ait terimler bir sorun oluşturmaz fakat iletme ait terimler farklılık gösterir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi n baralı bir enerji sistemini gözönüne alalım. Şekilde görüldüğü gibi generatör ve yükler kutu dışında bırakılmıştır. Kutu içindeki devre pasif olup n uçlu devre teorisi uygulanabilir. Empedans veya admitansları gözönüne alarak probleme girebiliriz. Admitans yöntemi problemimize daha uygundur.

$$[\tilde{I}_{\text{bara}}] = [Y_{\text{bara}}] \cdot [\tilde{V}_{\text{bara}}] \quad (1.5)$$

yazabiliriz.



Şekil 1.2 n baralı bir enerji sistemi

\tilde{I}_{bara} : Elemanları \dot{I}_i olan $n \times 1$ elemanlı vektör.

\tilde{V}_{bara} : Elemanları $\dot{V}_i = V_i \angle \delta_i$ olan $n \times 1$ elemanlı vektör.

$[Y_{\text{bara}}]$: $n \times n$ matris elemanları $Y_{ii} = Y_{ii} \angle \theta_{ii}$, i ucundan görülen kısadevre admitansı.

$Y_{ij} = Y_{ij} | \dot{V}_{ij}$, i ve j uçları arasında kısadevre transfer admitansı.

En kolay anlaşılır olan Vbara olup elemanları basit bir deyişle baraların gerilimleridir. Ibara bir tip kaynak akım vektörü olup n baradaki yük akımı farkıyla üretim akımlarını gösterir. [Ybara] bütün transformatörler ile iletim hatlarını kapsayan devre bilgilerini açıklar. Yukardaki denklemi i. uç için yazalım :

$$\dot{I}_i = \dot{Y}_{i1} \dot{V}_1 + \dot{Y}_{i2} \dot{V}_2 + \dots + \dot{Y}_{ii} \dot{V}_i + \dots + \dot{Y}_{in} \dot{V}_n \quad (1.6)$$

bu Y'lerden herhangi birini nasıl bulabiliriz. Örneğin \dot{Y}_{i2} 'yi bulmak isteyelim. \dot{V}_2 dışında bütün V'lerin sıfır olduğunu kabul edelim.

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_3 = \dot{V}_4 = \dots = \dot{V}_n = 0 \text{ bu durumda ;}$$

$$\dot{I}_i = 0 + \dot{Y}_{i2} \dot{V}_2 + 0 + \dots + 0$$

$$\dot{Y}_{i2} = \frac{\dot{I}_i}{\dot{V}_2} \Bigg|_{\dot{V}_2 \text{ dışında bütün } \dot{V} = 0} \quad (1.7)$$

Bu bağıntıyı genelleştirirsek;

$$\dot{Y}_{ij} = \frac{\dot{I}_i}{\dot{V}_j} \Bigg|_{\dot{V}_j \text{ dışında bütün } \dot{V} = 0} \quad (1.8)$$

Burada i ve j değerleri n bara numaralarından herhangi biridir ve bir diğerinden bağımsız seçilebilir. Bütün \dot{V} 'leri sıfıra eşitlerken j hariç bütün uçları kısa devre ediyoruz ve j ucunu \dot{V}_j gerilimindeki bir kaynakla sonlandırıyoruz. Sonra \dot{I}_i buluyoruz. \dot{Y}_{ij} bulmak için yukardaki denklemde yerine koyuyoruz. \dot{Y} 'ler kısa devre parametreleri diye adlandırılır. Karşılık Teoreminin uygulan-

dığıdevrelerde $\dot{Y}_{ij} = \dot{Y}_{ji}$ dir ve enerji sistemleri bu durumdadır. Eğer n bara bütün düğümleri gösteriyorsa bu devre için [Ybara]'nın daha basit bir formülasyonu mümkündür. \dot{Y} 'ler devre analizindeki düğüm gerilimleri yönteminin uygulanması sonucu ortaya çıkan gerilim katsayılarıdır. \dot{Y}_{ii} , i nolu baraya bağlı admitansların toplamı \dot{Y}_{ij} , i ve j nolu baralar arasına doğrudan bağlanmış tüm admitansların negatif işaretlisidir (Uygulama 1).

Düğüm analizi yöntemi bilgisayar ile hesaplar için uygundur. Bunun için evvela [Ybara] düzeniyle ve sıfır durumuyla başlanır. i ve j baraları arasına bir \dot{y} admitanslı elemanın bağlandığını düşünelim [Ybara]'daki dört eleman etkilenecektir.

$$\dot{Y}_{ii}, \dot{Y}_{ij}, \dot{Y}_{ji} \text{ ve } \dot{Y}_{jj}$$

bunlar şöylece modifiye edilir ;

$$\dot{Y}_{ii\text{yeni}} = \dot{Y}_{ii\text{eski}} + \dot{y}$$

$$\dot{Y}_{ij\text{yeni}} = \dot{Y}_{ij\text{eski}} - \dot{y}$$

$$\dot{Y}_{ji\text{yeni}} = \dot{Y}_{ji\text{eski}} - \dot{y}$$

$$\dot{Y}_{jj\text{yeni}} = \dot{Y}_{jj\text{eski}} + \dot{y}$$

} (1.9)

Eklenen her admitans elemanı için [Ybara] modifiye edilir. Eğer admitans i ile referans arasına bağlanmış ise sadece \dot{Y}_{ii} etkilenecektir (Uygulama 2).

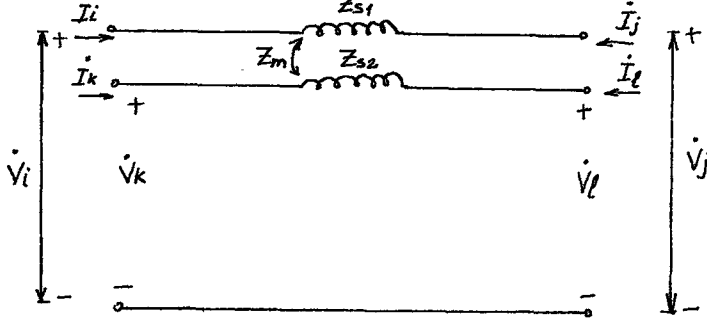
Verilen denklemler enerji sisteminde 2 durum dışında bütün cihazlara uygulanır.

1. Ayar transformatörleri,

2. Ortak kuplajı olan iletim hatları.

1.'yi ilerde, 2.'yi şimdi gözönüne alıyoruz.

Böyle bir hattın Şekil 1.3' te gösterilmiştir.



Şekil 1.3 Ortak kuplajlı bulunan hatların eşdeğer devresi
Basitliği sağlamak için şönt elemanlar ihmal edilmiştir.

Bağlantıları doğrudan yazılırsa ;

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_i \\ \dot{V}_k \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{V}_j \\ \dot{V}_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{s1} & Z_m \\ Z_m & Z_{s2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_i \\ \dot{I}_k \end{bmatrix} \quad (1.10)$$

Akımlar için çözerek ;

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_i \\ \dot{I}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{s1} & y_m \\ y_m & y_{s2} \end{bmatrix} \left\{ \begin{bmatrix} \dot{V}_i \\ \dot{V}_k \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{V}_j \\ \dot{V}_l \end{bmatrix} \right\} \quad (1.11)$$

ki burada ;

$$\begin{bmatrix} y_{s1} & y_m \\ y_m & y_{s2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{s1} & Z_m \\ Z_m & Z_{s2} \end{bmatrix}^{-1} \quad (1.12)$$

devreye j-1 ucundan bakarak ;

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_j \\ \dot{I}_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{s1} & y_m \\ y_m & y_{s2} \end{bmatrix} \left\{ \begin{bmatrix} \dot{V}_j \\ \dot{V}_l \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{V}_i \\ \dot{V}_k \end{bmatrix} \right\} \quad (1.13)$$

Etkilenen 16 elemana ait modifikasyonlar ;

$$Y_{iiyeni} = Y_{iieski} + y_{s1}$$

$$Y_{jjyeni} = Y_{jjeski} + y_{s1}$$

$$\begin{aligned}
\dot{Y}_{ijyeni} &= \dot{Y}_{ij\dot{e}ski} - \dot{y}_{s1} = \dot{Y}_{jiyeni} \\
\dot{Y}_{kkyeni} &= \dot{Y}_{kk\dot{e}ski} + \dot{y}_{s2} \\
\dot{Y}_{llyeni} &= \dot{Y}_{ll\dot{e}ski} + \dot{y}_{s2} \\
\dot{Y}_{klyeni} &= \dot{Y}_{lk\dot{y}eni} = \dot{Y}_{kl\dot{e}ski} - \dot{y}_{s2} \\
\dot{Y}_{ikyeni} &= \dot{Y}_{kiyeni} = \dot{Y}_{ik\dot{e}ski} + \dot{y}_m \\
\dot{Y}_{ilyeni} &= \dot{Y}_{liyeni} = \dot{Y}_{il\dot{e}ski} - \dot{y}_m \\
\dot{Y}_{jlyeni} &= \dot{Y}_{ljyeni} = \dot{Y}_{jl\dot{e}ski} + \dot{y}_m \\
\dot{Y}_{jkyeni} &= \dot{Y}_{kjyeni} = \dot{Y}_{jk\dot{e}ski} - \dot{y}_m
\end{aligned} \tag{1.14}$$

$\dot{S}_{\tau i}$ 'nin çözümüne dönersek ;

Önce gördüğümüz (1.6) ;

$$\dot{I}_i = \dot{Y}_{i1}\dot{V}_1 + \dot{Y}_{i2}\dot{V}_2 + \dots + \dot{Y}_{ii}\dot{V}_i + \dots + \dot{Y}_{in}\dot{V}_n$$

denklemini;

$$\dot{I}_i = \sum_{j=1}^n \dot{Y}_{ij}\dot{V}_j = \sum_{j=1}^n \dot{Y}_{ij}V_j \left[\delta_j + \gamma_{ij} \right] \tag{1.15}$$

şeklinde yazılabilir. Keza önceki denklemle birlikte verdiğimiz şekilden doğrudan görülmektedir ki ;

$$\dot{S}_{\tau i} = \dot{V}_i \dot{I}_i^* \tag{1.16}$$

bu bağıntılardan ;

$$\begin{aligned}
\dot{S}_{\tau i} &= \dot{V}_i \left[\sum_{j=1}^n \dot{Y}_{ij}V_j \left[\delta_i + \delta_j + \gamma_{ij} \right]^* \right. \\
&= \sum_{j=1}^n \dot{V}_i \dot{Y}_{ij}V_j \left[\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij} \right.
\end{aligned} \tag{1.17}$$

$\dot{S}_{\tau i}$ 'yi kartezyen elemanlara ayırarak;

$$\dot{P}_{\tau i} = \sum_{j=1}^n \dot{V}_i \dot{Y}_{ij}V_j \cdot \text{Cos}(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \tag{1.18}$$

$$Q_{Ti} = \sum_{j=1}^n V_i Y_{ij} V_j \cdot \sin(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \quad (1.19)$$

elde edilir.

2n değişken (P_{Ti}, Q_{Ti}) ' yi yukardaki denklemler vasıtasıyla (V_i, δ_i) 2n değişkenle yer değiştirebileceğimizi görüyoruz. Yukardaki denklemler enerji akış probleminin karmaşıklığına göstermektedir. Bunlar verilen bir baradan iletilen aktif ve reaktif güçlerin, bütün diğer baralardaki gerilim şiddet ve faz açılarına bağımlı olduğunu göstermektedir.

Böylece ;

$$P_{Gi} - P_{Li} = \sum_{j=1}^n V_i Y_{ij} V_j \cdot \cos(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \quad (1.20)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Li} = \sum_{j=1}^n V_i Y_{ij} V_j \cdot \sin(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \quad (1.21)$$

veya ;

$$S_{Gi} - S_{Li} = \sum_{j=1}^n V_i Y_{ij}^* V_j^* \quad (1.22)$$

duruma bakacak olursak her barada $(P_{Gi}, Q_{Gi}, P_{Li}, Q_{Li}, V_i, \delta_i)$ 6 değişkenle ilgileniyoruz. Bunlara ikisi P_{Li}, Q_{Li} belirlenmektedir. İki değişkenin daha belirlenmesini gerektirerek, yukardaki denklemler sağlanmaktadır. Fiziki durumu gözönüne alırsak bunlar "kontrol edilebilir değişkenler" olmalıdır. Seçimimiz gözönüne alınan baraya bağlanan cihazlarla bir dereceye kadar etkilenir. Sonuçta 4 opsiyon ortaya çıkar ki; bunları bara tipleri olarak tanımlıyoruz.

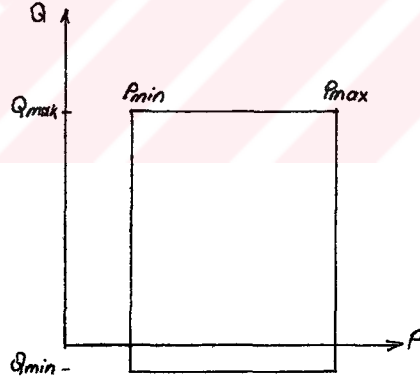
1.2 Bara Tipleri

Tablo 1.1 Bara Tipleri

Bara tipleri	Kod	Bilinenler	Bilinmeyenler	Yakl. Mik.
Referans	0	$V_i = 1 - 0$ $S_i = 0$	P_{Gi} Q_{Gi}	1
Yük	1	P_{Gi} Q_{Gi}	V_i δ_i	% 85
Generatör	2	P_{Gi} V_i	δ_i Q_{Gi}	% 10
Gerilim kontrollü	3	P_{Gi} Q_{Gi} V_i	δ_i $\dot{C} = \frac{\dot{a}}{b} = C \frac{\alpha}{b}$ $\dot{E}_{1pu} = \dot{C} \dot{E}_{2pu}$	% 5

İlk bara tipi genellikle referans, salınan veya serbest bara olarak adlandırılır. Bu esas olarak bir generatör barasıdır. Bilindiği üzere bir a.a. devresinde bir fazör büyüklük referans seçilir. Bu işlem burada, referans barada gerçekleştirilir ve faz açısı sıfır alınır. Aynı zamanda gerilimi bu barada 1 pu alıyoruz ve böylece bütün sistemde gerilimler 1' e yakın olacaktır. Genellikle referans barası aynı zamanda 1 Nolu bara alınır. Fiziksel olarak referans barası bir generatör veya bağlantı barası olmalıdır. (Bağlantı barasında bir hattın diğerine geçiş yapılır.) Böylece P_{Gi} ve Q_{Gi} için pek çok olasılık mümkün olabilir. Her sistem için bunlardan yalnız biri seçilir. Tip 1 olan baralarda P_{Gi} ve Q_{Gi} belirlidir. Bu tip barada üretim olmayabilir ki; böylece P_{Gi}

ve Q_{Gi} sıfır olacaktır. Bu nedenle bu baralara yük olarak bakılır. Bunlar en genel olan baralardır ve tüm baraların yaklaşık % 85' ini teşkil eder. Bu baralarda aranan V_i ve ΔI değişkenleridir. Tip 2 ve Tip 3 ekseriye birlikte gruplandırılır. Ve gerilim kontrollü baralar olarak tanınır. Fiziksel karakterlerindeki farklar nedeniyle bu baralar bir diğerinden ayrılır. Keza hesaplarda da izlenen yollarda bu baralar için farklar mevcuttur. Tip 2 ' de her zaman generatör bulunur. Bunlarda 2 kontrol olanağı vardır. Türbindeki buhar miktarı ve generatör ikaz akımı ve böylece P_{Gi} ve V_i kontrol edilir. Bu değerler tesbit edilebildiğinden bilinen gözüyle bakılırlar. Generatör karakteristikleri belirli bir çalışma bölgesinde olmayı gerektirir.



Şekil 1.4 Basitleştirilmiş bir generatör çalışma karakteristiği

P_{Gi} 'yi koşullandırmak kolaydır. Sadece $P_{Gi\min}'nin \leq P_{Gi} \leq P_{Gi\max}$ yazılır. Fakat bu iş Q_{Gi} için böylece kolayca verilemez ve bilinmeyen dört büyüklükten biridir. Böylece Q_{Gi} hesaplandıktan sonra $Q_{Gi\min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi\max}$ durum kontrol edilmelidir. Eğer Q_{Gi} arzu edilen limitler arasında değilse, limit değeri alınır. Yani $Q_{Gi} > Q_{Gi\max}$ ise $Q_{Gi\max}$, $Q_{Gi} < Q_{Gi\min}$ ise $Q_{Gi\min}$ ve V_i sabit koşulundan vazgeçilir.

Böylece V_i ve Q_{ei} bilinen ve bilinmeyen olarak rolleri değiştirilir. Böylece bu bara hesaplarda Tip 2'den Tip 1'e dönüşür. Q_{ei} 'nin kontrolüne devam edilir. Ve istenilen limitlere girince tekrar Tip 2 şekline dönülür. Tip 3 baralarda da kontrol olanağı vardır. Fakat bu türbin ve ikaz kontrolü ile değil uç ayarlı faz transformatörleri ile olmaktadır. $P_{ei} = 0$, $Q_{ei} = 0$ olmakla birlikte bu baralarda gerilim kontrolü istenir. Çözümde izlenecek yol şöyledir : matris Y baranın ($[Y_{bara}]$) bilinmesi ve verilen yük koşullarında generatör ve ayar transformatörlerinin bilinen değerler olmasıyla bunları tabloda olduğu gibi verilen değerler olarak tablodaki bilinmeyen değişkenleri çözmek üzere iterasyon yapılır.

1.3 Gauss-Seidel Yöntemi

Herhangi bir non-lineer cebrik denklem takımının doğrudan çözümü için formal bir yöntem bulunmayabilir. Yani bilinmeyenlerin, bilinen değerler üzerinden sonlu sayıda fonksiyonel işlemlere düzenlenebilir denklemler haline getirilmesi mümkün olmayabilir. Bu durumlarda nümerik iterasyon yöntemlerine başvuruyoruz. Bu tekniklerde belirli sayıda iterasyonla arzu edilen doğruluk sağlanıncaya kadar, bilinmeyenlerin her adımda daha yaklaşık değerlerini hesaplamaya çalışılır. Bu mümkün olduğunda çözümün yakınsak olduğu söylenir. Bu yöntemlerde temel fikir k 'nıncı adımdan $k+1$ 'inci adıma geçişi sağlayan genel bir bağıntının verilebilmesidir. Enerji akış problemleri iteratif yöntemler gerektirir. Genellikle 2 yöntem kullanılır : Gauss - Seidel,

Newton-Raphson. Pratikte hemen bütün programlarda bu yöntemlerden biri veya her ikisi birden kullanılır. Önce Gauss-Seidel yöntemini görelim (Uygulama 3).

n bilinmeyenli n denklem sistemini gözönüne alalım ;
bilinmeyen (her bir x değerini çözünceye kadar).

$x_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$, $1 \leq i \leq n$ şeklinde denklemler elde ediyoruz. Başlangıçta x' in bilinen yaklaşık değerleriyle başlıyoruz. İlk yaklaşım olarak;

$$\begin{aligned} x_1^1 &= f_1(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) \\ x_2^1 &= f_2(x_1^1, x_2^0, x_3^0, \dots, x_n^0) \\ &\vdots \\ x_i^1 &= f_i(x_1^1, x_2^1, \dots, x_{i-1}^1, x_i^0, x_{i+1}^0, \dots, x_n^0) \end{aligned}$$

ve x_i 'nin k 'ninci yaklaşımı;

$$x_i^k = f_i(x_1^k, x_2^k, \dots, x_{i-1}^k, x_i^{k-1}, x_{i+1}^{k-1}, \dots, x_n^{k-1}) \quad (1.23)$$

Her değişkendeki değişme ;

$$\Delta x_i = x_i^k - x_i^{k-1}$$

Bütün i ler için ;

$$\Delta x_i < \epsilon \text{ olduğundan}$$

yakınsama olduğunu söylüyoruz. Bazı özel problemler üzerindeki deneyimlerden, eğer eski değer Δx_i ' den daha fazla değiştirilirse yakınsaklık için gerekli iterasyon sayısı azaltılabilir. Bunun için; $x_i^k = x_i^{k-1} + \sigma \Delta x_i$ $\sigma \geq 1$ alınıyor.

σ : hızlandırma faktörü olarak adlandırılır ve her özel problem için deneyimlerle belirlenir. Enerji çıkış problemleri için $\sigma = 1,6$ iyi bir değerdir. Evvelce belirlenen bara tiplerinde

bilinmeyenler farklı olduğundan hesaplarda izlenen yollar da farklıdır (sırayla izlenecektir). i indisi ile hesaplanmakta olan barayı gösteriyoruz. $1 \leq i$.

Tip 0 : Referans bara için bir iterasyon gerekmez.

Tip 1 :

$$\dot{S}_{Gi} - \dot{S}_{Li} = \sum_{j=1}^n \dot{V}_i \dot{V}_j^* \dot{Y}_{ij}^* \quad (1.24)$$

denklemini hatırlayarak, eşleniğini alırsak;

$$\begin{aligned} \dot{S}_{Gi} - \dot{S}_{Li} &= \sum_{j=1}^n \dot{V}_i^* \dot{V}_j \dot{Y}_{ij} \\ &= \dot{V}_i^* \dot{V}_i \dot{Y}_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \dot{V}_i^* \dot{V}_j \dot{Y}_{ij} \end{aligned} \quad (1.25)$$

tekrar düzenleyerek;

$\dot{V}_i^* \dot{Y}_{ii}$ ile bölersek;

$$\dot{V}_i = (\dot{S}_{Gi}^* - \dot{S}_{Li}^*) / (\dot{V}_i^* \dot{Y}_{ii}) - \frac{1}{\dot{Y}_{ii}} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \dot{V}_j \dot{Y}_{ij} \quad (1.26)$$

Yük barası i ' de iterasyonun herhangi bir durumunda \dot{S}_{Gi}^* ve \dot{S}_{Li}^* ve [Ybara] bilinmektedir ve bütün gerilimler için mevcuttur. V_i ' nin izleyen yaklaşımını hesaplamak için son denklemi kullanıyoruz.

Hesaplanması istenen bilinmeyen V_i ' dir. Bazen V_i ' nin önce hesaplanan değeri ile son denklem hesapta tekrarlanır ve \dot{V}_i^* 'de kullanılır. Bu en çok karşılaşılan bara tipidir.

Tip 2 : Bir generatör barasında gerilim $\dot{V}_{i\text{bel}}$ değerinde tutulmak istenir. Fakat Q_{Gi} ' ye bağımlı olarak bu mümkün değildir. Belirli bir iterasyonda son iterasyona bağımlı olarak V_i ' nin

değeri \dot{V}_{ibel} ' den farklı olacaktır. V_i ' nin belirli değeri V_{io} olsun :

$$\dot{V}_{io} = V_{io} \left[\delta_{io} \right] = \dot{V}_i \quad (1.27)$$

buradan Q_{Gi} 'yi hesaplıyoruz.

$$Q_{Gi} = Q_{Li} + \sum_{j=1}^n V_{ibel} V_j Y_{ij} \cdot \sin (\delta_{io} - \delta_j - \gamma_{ij}) \quad (1.28)$$

sonra Q_{Gi} 'nin limitler arasında olup olmadığını kontrol ediyoruz.

$$Q_{Gi\max} \geq Q_{Gi} \geq Q_{Gi\min}$$

Bu sağlanıyorsa Tip 1' deki son denklemi kullanarak V_i için iterasyon yaklaşımını hesaplıyoruz ve sağ tarafta V_i için genlik ve faz olarak \dot{V}_{ibel} ve $\dot{\Delta I}$ kullanıyoruz. V_i değerini tekrar \dot{V}_{ibel} değerine değiştirip $\dot{\Delta I}$ ' nin yeni değerinde muhafaza ediyoruz ve sonraki bara hesabına geçiyoruz. Eğer $Q_{Gi} > Q_{Gi\max}$ ise Q_{Gi} için $Q_{Gi\max}$ ve V_i için V_{io} alıp iterasyonun bundan sonraki kısmı için Tip 1' deki yöntemi izliyoruz. Benzer olarak $Q_{Gi} < Q_{Gi\min}$ ise Q_{Gi} için $Q_{Gi\min}$ ve V_i için V_{io} alarak yine Tip 1' deki yöntemle devam ediyoruz.

Tip 3 : Bazı enerji sistemlerinde kullanılan transformatörlerin uç değiştirme ve faz kaydırma olanakları vardır. Kompleks dönüşüm oranı $\dot{C} = C \left[\alpha \right]$ dir. C dönüşüm oranı, α ise faz kaymasıdır. Bu iki parametre belirlenen bir bant içinde ve bir diğerinden bağımsız olarak ayarlanır. $0,9 \leq C \leq 1,1$ ve $-10^\circ \leq \alpha \leq +10^\circ$ aralığında fiziksel olarak yük altında uç değiştirerek her iki değişken ayarlanabildiğinden, ayarlar ΔC ve $\Delta \alpha$ ' nın belirli adımlarıyla yapılmaktadır. Bu amaçla, $\Delta C = 0,025$ $\Delta \alpha = 2,5^\circ$ i gerilimin kontrol edileceği baranın değerleri olarak kabul edelim.

C' yi ayarlayarak Vi' yi ve α' yı ayarlayarak transformatörden geçen Pij aktif gücü kontrol etmek istiyoruz.

$$\begin{aligned} \dot{I}_i &= \dot{y}_{ii} \dot{V}_i + \dot{y}_{ij} \dot{V}_j \\ \dot{I}_j &= \dot{y}_{ji} \dot{V}_i + \dot{y}_{jj} \dot{V}_j \end{aligned} \quad \} \quad (1.29)$$

$$\begin{aligned} \dot{y}_{ii} &= \dot{Y}_e \\ \dot{y}_{ij} &= -i \dot{Y}_e \\ \dot{y}_{ji} &= -i^* \dot{Y}_e \\ \dot{y}_{jj} &= i^2 \dot{Y}_e \end{aligned} \quad \} \quad (1.30)$$

denklemlerini gözönüne alacağız.

Hesaplarda Vi' yi Vibel ile karşılaştırarak başlıyoruz.

$$|V_i - V_{ibel}| \leq 0,0125 V_{ibel} \quad (1.31)$$

$$(0,0125 = C/2) \quad (1.32)$$

Eğer gerilimi küçük bulursak C' yi ΔC (1 adım) kadar arttırıyoruz. Keza gerilim büyük bulunursa C, ΔC kadar küçültülür. Gerilimi tolerans içine almak için birden fazla adım gerekebilir, fakat 1 adım beklenilenin dışında sonuç veren problemleri asgariye indirir ve daha fazla gerekli ayarlar için izleyen iterasyonlara güvenebiliriz. Bundan sonra Pij' yi ele alıyoruz. Transformatör tamamen kayıpsız olmadığından bu güçte belirsizlikler vardır.

Amacımıza uyan bir kabul ;

$$P_{ij} \approx \text{Re}[\dot{V}_i \dot{I}_i^*] \text{ bu bağıntı ;}$$

$$P_{ij} = + V_i^2 Y_e \cos(\delta_e) - V_i V_j C Y_e \cos(\delta_i - \delta_j - \delta_e - \alpha) \quad (1.33)$$

α' deki $\Delta\alpha$ değişimi ile Pij' deki ΔP_{ij} değişiminin tahmini gerekir.

$$\frac{\partial P_{ij}}{\partial \alpha} = - V_i V_j C Y_e \sin(\delta_i - \delta_j - \delta_e - \alpha) \quad (1.34)$$

$\Delta P_{ij}'$ yi yaklaşık olarak ;

$$\Delta P_{ij} = \frac{\partial P_{ij}}{\partial \alpha} \Delta \alpha \quad (1.35)$$

alılıp $|P_{ij} - P_{ijbel}| \leq \Delta P_{ij}/2$ kontrolü yapılır.

Bu durumda α için bir değişiklik gerekmez. Gereksinme oluyorsa uygun bir şekilde α' yi $\Delta \alpha$ kadar değiştiririz. α' nın arttırılması i' den j' ye aktif güç akışını arttırır. Böylece uygun bir C elde ediyoruz. Bundan sonra $[Ybara]$ elemanlarını uygun bir şekilde getirmek gerekir.

$$\begin{aligned} Y_{iiyeni} &= Y_{iieski} + y_{iiyeni} - y_{iieski} \\ Y_{ijyeni} &= Y_{ijeski} + y_{ijyeni} - y_{ijeski} \\ Y_{jiyeni} &= Y_{jieski} + y_{jiyeni} - y_{jieski} \\ Y_{jjyeni} &= Y_{jjeski} + y_{jjyeni} - y_{jjeski} \end{aligned} \quad (1.36)$$

eski değerler bir önceki iterasyon değerleridir. Yeni Y değerleri ise son C değeri kullanılarak ;

$$y_{ii} = \dot{Y}_e, \quad y_{ij} = -\dot{C} \dot{Y}_e, \quad y_{ji} = -C^* \dot{Y}_e, \quad y_{jj} = C^2 \dot{Y}_e$$

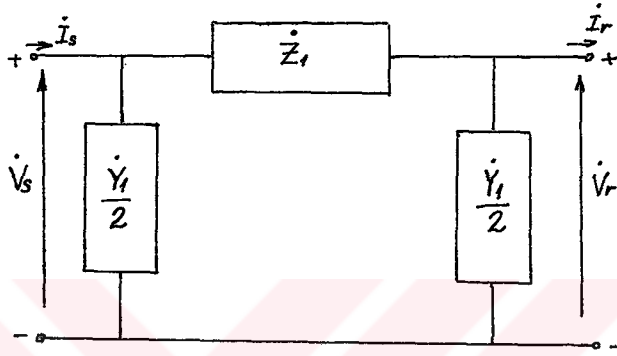
bağıntılarından bulunur. Bundan sonra ;

$$\dot{Y}_i = \frac{S_{ei}^* - S_{ii}^*}{V_i^* \cdot Y_{ii}} - \frac{1}{Y_{ii}} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n V_i \dot{Y}_{ij} \quad (1.37)$$

bağıntısında V_i hesaplanarak bir sonraki baraya geçilir. Herbir iterasyonda C ve α kontrol edilir ve belirlenen limitler arasında ($0,9 \leq C \leq 1,1$ ve $-10^\circ \leq \alpha \leq +10^\circ$) tutulur. Hesaplara 1 nolu baradan başlanır ve sırasıyla bütün baralar üzerinde işlemler yapılır ve böylece ilk önce tipler belirlenerek uygun hesaplar başlar.

Bütün baralar bir kere hesaplandığı için buna 1 iterasyon diyoruz. Çözüm yakınsayıncaya kadar iterasyona devam edilir veya

maksimum müsaade edilen sayıda iterasyondan sonra çözümü yakınsamayacağına karar verilir. Gereken iterasyon sayısı problemin şekline ve başlangıç değerine bağlı olmakla birlikte 5 ile 50 arasındadır. Yakınsama sağlandığında, izleyen işlem hatlardaki akışları belirlemektedir.



Şekil 1.5 Basit bir devre modeli

Şekildeki gibi bir devre modeli kullanılarak. i 'den j 'ye bağlanan hat için ;

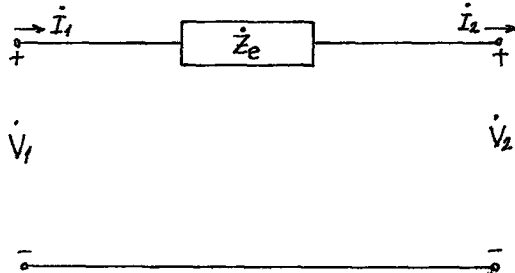
$$\dot{I}_{ij} = \frac{\dot{Y}_1 \dot{V}_i}{2} + \frac{\dot{V}_i - \dot{V}_j}{Z_1} \quad (1.38)$$

ve burada $\dot{S}_{ij} = \dot{V}_j \dot{I}_{ij}^* = P_{ij} + jQ_{ij}$ olup,

i, j baralarını bir transformatör bağlıyorsa ;

Şekil 1.6 ile \dot{I}_{ij} akımını hesaplıyoruz.

$$\dot{I}_{ij} = \frac{\dot{V}_i - \dot{V}_j}{\dot{Z}_e} \quad (1.40)$$



Şekil 1.6 Basit bir transformatör modeli

$\dot{S}_{ij} = \dot{V}_i \dot{I}_{ij}^*$ ile de güç akışını belirliyoruz.

Referans barada ;

$\dot{S}_{\tau i}$ ($i=1$) değerini

$$\dot{S}_{\tau i} = \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \left[\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij} \right] \quad (1.41)$$

bağıntısıyla

$\dot{S}_{\sigma i} = \dot{S}_{Li} + \dot{S}_{\tau i}$ buluyoruz.

Generatör baralarında $Q_{\tau i}$ değeri

$$Q_{\tau i} = \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \quad (1.42)$$

ile ve

$Q_{\sigma i} = Q_{Li} + Q_{\tau i}$ ile de $Q_{\sigma i}$ bulunur.

Çözölmüş olan enerji akış problemi baralar ile açıklanır ve aşağıdaki bilgileri içerir :

- Bara isim ve numarası,
- Bara tipi,
- Bara gerilim genliği (V_i),
- Bara gerilim faz açısı (δ_i),
- Aktif yük (P_{Li}),
- Reaktif yük (Q_{Li}),
- Aktif üretim ($P_{\sigma i}$),
- Reaktif üretim ($Q_{\sigma i}$),
- Hat ve transformatör akışı (P_{ij} ve Q_{ij}),

P ve Q' da ki uygunsuzluklar :

Bazı durumlarda hat yüklemeleri (şönt kapasitif elemanlara verilen Q' lar) akış değerlerinden ayrılır ve keza gerilim

kontrolü için kullanılan şönt reaktif elemanlar yükten ayrılırlar. Bazı diğer gerekli bilgiler. Örneğin gerekli iterasyon sayısı da baskıda verilir.

1.4 Newton - Raphson yöntemiyle enerji akış çözümleri

Çok büyük şebekelerde Gauss-Seidel yöntemi yakınsama için çok sayıda iterasyon gerektirebilir. Tip 3 şeklindeki baralar reaktif direnç kapsayabilirler ki regülasyon transformatörlerinde bu durumla karşılaşılır. Negatif direnç durumunda yakınsamayı önleme eğilimine neden olur. Bu nedenlerle büyük şebekelerde Newton-Raphson yöntemi kullanılır. Yöntemi anlamak üzere ;

$f(x) = 0$ denklemini gözönüne alalım. Bu denklemin kökünü bulmak isteyelim. x^0 noktasında Taylor serisine açalım ;

$$f(x) = f(x^0) + \frac{1}{1!} \frac{df(x^0)}{dx} (x - x^0) + \frac{1}{2!} \frac{df^2(x^0)}{dx^2} (x - x^0)^2 + \dots (1.43)$$

ilk yaklaşım olarak 1. türevli kısımdan sonrasını ihmal ediyoruz.

Böylece ;

$$x' = x^0 - \frac{f(x^0)}{\frac{df(x^0)}{dx}} (1.44)$$

Bu bağıntıyı ardarda gelen yaklaşımlarda kullanalım.

Recursion - izleme bağıntısı :

$$x^{k+1} = x^k - \frac{f(x^k)}{\frac{df(x^k)}{dx}} (1.45)$$

Alttaki notasyonları kabul edersek ;

$$f(x^k) = f^k (1.46)$$

$$\frac{df(x^k)}{dx} = f_x^k \quad (1.47)$$

bu durumda

$$x^{k+1} = x^k - \frac{f^k}{f_x^k} \quad (1.48)$$

olacaktır (Uygulama 4).

Bu örneğin uygulaması bakımından iki yöntem karşılaştırılırsa ; Newton -Raphson' un daha çabuk yakınsadığı görülür. Fakat herbir iterasyondaki hesaplar daha ayrıntılı ve uzun olmakta, türevle bölümü gerektirmektedir. Yöntemi iki değişkenli iki denkleme genişletelim ;

$$f(x,y) = 0 \quad , \quad g(x,y) = 0$$

x^k , y^k noktasında Taylor serisine açtığımızda

$$f(x,y) = f(x^k, y^k) + \frac{1}{1!} \frac{\partial f(x^k, y^k)}{\partial x} (x - x^k) + \frac{1}{1!} \frac{\partial f(x^k, y^k)}{\partial y} (y - y^k) + \dots \quad (1.49)$$

$$g(x,y) = g(x^k, y^k) + \frac{1}{1!} \frac{\partial g(x^k, y^k)}{\partial x^k} (x - x^k) + \frac{1}{1!} \frac{\partial g(x^k, y^k)}{\partial y} (y - y^k) + \dots$$

Notasyonları aşağıdaki gibi birleştirirsek

$$f(x^k, y^k) = f^k$$

$$g(x^k, y^k) = g^k$$

$$\frac{\partial f(x^k, y^k)}{\partial x} = f_x^k$$

$$\Delta x = x - x^k$$

$$\Delta y = y - y^k$$

$$\frac{\partial f(x^k, y^k)}{\partial y} = f_y^k$$

$$\Delta f = f - f^k$$

$$\Delta g = g - g^k$$

$$\frac{\partial g(x^k, y^k)}{\partial x} = g_x^k$$

$$\frac{\partial g(x^k, y^k)}{\partial y} = g_y^k$$

Böylece açılımlar

$$\begin{aligned} \Delta f &= f_x^k \Delta x + f_y^k \Delta y \\ \Delta g &= g_x^k \Delta x + g_y^k \Delta y \end{aligned} \quad \} \quad (1.50)$$

ve matris biçiminde

$$\begin{bmatrix} \Delta f \\ \Delta g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x^k & f_y^k \\ g_x^k & g_y^k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \quad (1.51)$$

olup Jakobyen şeklinde

$$[J^k] = \begin{bmatrix} f_x^k & f_y^k \\ g_x^k & g_y^k \end{bmatrix} \quad (1.52)$$

yazılabilir :

$$\begin{bmatrix} \Delta f \\ \Delta g \end{bmatrix} = [J^k] \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \quad (1.53)$$

Bu denklemi aşağıda olduğu gibi iterasyon için kullanıyoruz. K. iterasyonda x ve y' nin değerleri x^k ve y^k olarak gösterilmiştir. Bu nedenle f, g ve J' yi f^k , g^k ve J^k değerlerini elde etmek için değerlendirebiliriz.

$$\begin{aligned} f &= 0 \quad , \quad g = 0 \quad \text{olması için} \\ \Delta f^k &= 0 - f^k \\ \Delta g^k &= 0 - g^k \quad \text{değerlerini hesaplıyoruz. Bilinmeyenler } \Delta x^k \text{ ve} \end{aligned}$$

Δy^k 'dir. Yukardaki bağıntıdan ;

$$\begin{bmatrix} \Delta x^k \\ \Delta y^k \end{bmatrix} = [J^k]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta f^k \\ \Delta g^k \end{bmatrix} \quad (1.54)$$

x ve y ' nin değerleri ;

$$\begin{aligned} x^{k+1} &= x^k + \Delta x^k \\ y^{k+1} &= y^k + \Delta y^k \end{aligned} \quad \} \quad (1.55)$$

Böylece $k+1$ ' inci iterasyona hazırlanmış bulunuyoruz. Yakınsaklık elde edilinceye veya müsaade edilen maksimum iterasyon sayısı tamamlanıncaya kadar işleme devam ediyoruz. Yöntemi $2n$ bilinmeyenli $2n$ denkleme uygulayalım. Denklemler ;

$$\begin{aligned} f_i(\tilde{x}, \tilde{y}) &= 0 \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n \\ g_i(\tilde{x}, \tilde{y}) &= 0 \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

olup burada bilinmeyen ;

$$\tilde{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \quad \tilde{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (1.56)$$

vektörleridir. Daha önce verilen

$$\begin{aligned} \Delta f &= f_x^k \Delta x + f_y^k \Delta y \\ \Delta g &= g_x^k \Delta x + g_y^k \Delta y \end{aligned} \quad (1.57)$$

denklemlerine karşılık $2n$ değişken için

$$\begin{bmatrix} \Delta f_1^k \\ \Delta f_2^k \\ \vdots \\ \Delta f_n^k \\ \Delta g_1^k \\ \Delta g_2^k \\ \vdots \\ \Delta g_n^k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1^k}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1^k}{\partial x_n} & \frac{\partial f_1^k}{\partial y_1} & \dots & \frac{\partial f_1^k}{\partial y_n} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_n^k}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_n^k}{\partial x_n} & \frac{\partial f_n^k}{\partial y_1} & \dots & \frac{\partial f_n^k}{\partial y_n} \\ \frac{\partial g_1^k}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial g_1^k}{\partial x_n} & \frac{\partial g_1^k}{\partial y_1} & \dots & \frac{\partial g_1^k}{\partial y_n} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial g_n^k}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial g_n^k}{\partial x_n} & \frac{\partial g_n^k}{\partial y_1} & \dots & \frac{\partial g_n^k}{\partial y_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1^k \\ \Delta x_2^k \\ \vdots \\ \Delta x_n^k \\ \Delta y_1^k \\ \Delta y_2^k \\ \vdots \\ \Delta y_n^k \end{bmatrix} \quad (1.58)$$

veya

$$\begin{bmatrix} \tilde{\Delta f}^k \\ \tilde{\Delta g}^k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{fx}^k & J_{fy}^k \\ J_{gx}^k & J_{gy}^k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{\Delta x}^k \\ \tilde{\Delta y}^k \end{bmatrix} \quad (1.59)$$

Son iki bağıntı karşılaştırıldığında son bağıntıda görülen alt matrislerin anlamları anlaşılır. Devam ederek ;

$$\begin{bmatrix} \tilde{\Delta f}^k \\ \tilde{\Delta g}^k \end{bmatrix} = [J^k] \begin{bmatrix} \tilde{\Delta x}^k \\ \tilde{\Delta y}^k \end{bmatrix} \quad \text{ve çözersek} \quad (1.60)$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{\Delta x}^k \\ \tilde{\Delta y}^k \end{bmatrix} = [J^k]^{-1} \begin{bmatrix} \tilde{\Delta f}^k \\ \tilde{\Delta g}^k \end{bmatrix} \quad (1.61)$$

Şimdi yöntemi enerji akış problemine uygulayalım ;

$$\begin{aligned} f_i &= - P_{Gi} + P_{Ti} + P_{Li} = 0 \\ g_i &= - Q_{Gi} + Q_{Ti} + Q_{Li} = 0 \end{aligned} \quad (1.62)$$

Burada ;

$$P_{Ti} = \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \cos (\delta_i - \delta_j - \delta_{ij}) \quad \} \quad (1.63)$$

$$Q_{Ti} = \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \sin (\delta_i - \delta_j - \delta_{ij})$$

$$\tilde{x} = \tilde{\delta}$$

$$\tilde{y} = \tilde{V}$$

olarak tanımlıyoruz. J Jakobyen' in teşkili için aşağıdaki 8 adet genel kısmi türev gerekir.

$$\frac{\partial f_i}{\partial x_j} = \frac{\partial P_{Ti}}{\partial \delta_j} = V_i V_j Y_{ij} \sin (\delta_i - \delta_j - \delta_{ij}) \quad (1.64)$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial x_i} = \frac{\partial P_{Ti}}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n V_i V_j Y_{ij} \sin (\delta_i - \delta_j - \delta_{ij}) \quad (1.65)$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial y_j} = \frac{\partial P_{Ti}}{\partial V_j} = V_i Y_{ij} \cos (\delta_i - \delta_j - \delta_{ij}) \quad (1.66)$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial y_i} = \frac{\partial P_{Ti}}{\partial V_i} = V_i Y_{ii} \cos(\delta_{ii}) + \sum_{j=1}^n V_j Y_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j - \delta_{ij}) \quad (1.67)$$

$$\frac{\partial g_i}{\partial x_j} = \frac{\partial Q_{Ti}}{\partial \delta_j} = - V_i V_j Y_{ij} \cos (\delta_i - \delta_j - \delta_{ij}) \quad (1.68)$$

$$\frac{\partial g_i}{\partial x_i} = \frac{\partial Q_{Ti}}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n V_i V_j Y_{ij} \cos (\delta_i - \delta_j - \delta_{ij}) \quad (1.69)$$

$$\frac{\partial g_i}{\partial y_j} = \frac{\partial Q_{Ti}}{\partial v_j} = v_i y_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \quad (1.70)$$

$$\frac{\partial g_i}{\partial y_i} = \frac{\partial Q_{Ti}}{\partial v_i} = v_i y_{ii} \sin(-\gamma_{ii}) + \sum_{j=1}^n v_j y_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \quad (1.71)$$

Böylece temel J Jakobyen teşkil edilmiş olmaktadır. Özel bara tipleri için açıklama ve modifikasyonlar gerekir. Bu nedenle her bir bara tipini ayrıca inceliyoruz. i indisi ile incelenmekte olan barayı gösteriyoruz.

Tip 0 : Referans barada iteratif hesaplar gerekmez. Jakobyen matrisi ile merteye düşürülebilir. Uygun satır ve sütun kaldırılarak $\Delta\delta_i$, Δv_i , ΔP_i , ΔQ_i değişkenleri elimine edilir ve kalan baralar tekrar numaralanır.

Tip 1 :

$$\begin{bmatrix} \tilde{\Delta x}^k \\ \tilde{\Delta y}^k \end{bmatrix} = [J^k] \begin{bmatrix} \tilde{\Delta f}^k \\ \tilde{\Delta g}^k \end{bmatrix} \quad (1.72)$$

bağıntısından elde edilen sonuçlar doğrudan uygulanabilir.

$$\begin{aligned} \delta_i^{k+1} &= \delta_i^k + \Delta\delta_i^k \\ v_i^{k+1} &= v_i^k + \Delta v_i^k \end{aligned} \quad (1.73)$$

Tip 2 : Gerilim bilindiğinden dolayı generatör barasında f_i fonksiyonuna gerek yoktur. Bu nedenle bağıntı denklem sisteminden çıkarılır ve merteye bir düşer. Hesapta $\delta_i^{k+1} = \delta_i^k + \Delta\delta_i^k$ ve hesapların sonunda v_i için v_{iyeni} kullanılarak ;

$$Q_{Gi} - Q_{Li} = \sum_{j=1}^n v_i v_j y_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \quad (1.74)$$

bağıntısından Q_{Gi} 'yi hesaplıyoruz. Eğer Q_{Gi} sınırlar içindeyse

V_i' nin değeri V_{i+1} olarak tutulur. Eğer değilse Q_{i+1} uygun bir limite alınır ve g_i denklem sistemine geri döndürülür. Diğer bir deyişle V_i' nin değişimine müsaade ederek izleyen iterasyonda baraya Tip 1 işlemi uyguluyoruz. Her iterasyonda Q_{i+1} kontrol edilmelidir. Çünkü diğer bara değerleri değiştikçe, limit (sınır) içi ve dışı değerler alabilir.

Tip 3 : Tip 3 için muhtelif yöntemler izlenebilir. Bunlardan biri ;

$$\begin{bmatrix} \tilde{\Delta x}^k \\ \tilde{\Delta y}^k \end{bmatrix} = [J^k] \begin{bmatrix} \tilde{\Delta f}^k \\ \tilde{\Delta g}^k \end{bmatrix} \quad (1.75)$$

denklemini çözerken Tip 1 gibi işlem görmektedir. Bu durumda V_i' yi V_{i+1} ile mukayese ediyoruz. Eğer gerilim çok düşük (veya yüksek) ise uç düzeninin C düzenini ayarlıyoruz. Bundan sonra P_{ij} hesaplanır. Tolerans dışı ise α ayarlanır. Ayarlanan $\dot{C} = C|_{\alpha}$ ile yeni J parametreleri hesaplanır. Nihayet $[Y_{\text{bara}}]$ yeni duruma getirilir ve sonra izleyen iterasyona geçirilir. Alternatif bir yaklaşım kompleks değişim oranını değişken olarak Jakobyene girmek için uygun bir bağıntı bulmaktır. Bu yöntem daha üstün olup daha hızlı yakınsar.

Özetlenirse ;

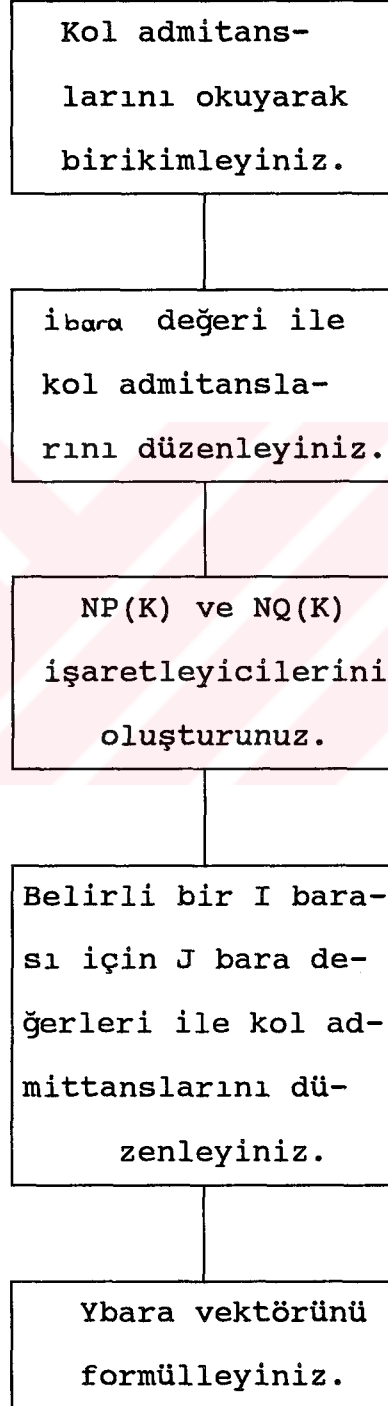
$\tilde{\delta}$ ve \tilde{V}' nin ön tahminleri ile hesaplara başlıyoruz ve karşılık olan $\tilde{\Delta f}$, $\tilde{\Delta g}$ ve J' yi hesaplıyoruz. 4 bara tipine göre modifikasyonları yapıyoruz. J' nin tersini alarak $\tilde{\Delta \delta}$, $\tilde{\Delta V}'$ yi buluyoruz. Yine çeşitli bara koşullarıyla $\tilde{\Delta \delta}$, $\tilde{\Delta V}'$ kullanarak, $\tilde{\delta}$ ile \tilde{V}' nin yeni değerlerini buluyoruz. Yakınsak oluncaya veya maksimum

iterasyon sayısına erişinceye kadar, işleme devam ediyoruz. Hesapların kalan kısmı Gauss - Seidel yönteminde olduğu gibi devam eder. Polar şekilde gösterilen kompleks değişkenler $\dot{V}_i = V_i \angle \delta_i$, $\dot{Y}_{ij} = Y_{ij} \angle \gamma_{ij}$ bilgisayar ile yapılan hesaplarda kartezyen şekliyle alınmalıdır. $\dot{V}_i = E_i + jF_i$, $\dot{Y}_{ij} = G_{ij} + jB_{ij}$. Böylece hesaplar hızlanır. Enerji akış problemleri 3 faz enerji sistemlerinin pek çok çalışma durumlarıyla ilgili sorulara açıklık getirebilmelidir. Esas olarak şunlar bilinmek istenir ; Bütün baralardaki gerilimler tolerans içinde midir? Bütün transformatör ve hat yükleri nominal değerler içinde midir? Bu sorular muhtelif yük ve üretim durumları için cevaplanmalıdır. Keza yeni hatların oluşturulması için optimum çözüm aranmalıdır. Enterkonnekte sistemler arasında enerji akışları da konu kapsamına girmektedir (Uygulama 5,6).

[Y] Bara İçin Birikim Gereklerinin Azaltılması :

Konunun başında verdiğimiz [Y] bara formülasyonu doğru ve basit olmasına karşın büyük bir sisteme uygulandığında, birikim gerekleri kısıtlayıcıdır. $n \times n$ şeklindeki bir [Y] baranın tüm birikimi n^2 kadar kompleks elemanın birikimini gerektirir. Örneğin 1000 baralı bir sistem için 10^6 kompleks eleman birikimi gerekmektedir. Dikkat edilirse [Y] baranın elemanlarından büyük bir kısmı sıfırdır. Pratik bir sistemde verilen bir barada, sonlanan ortalama 1,5 ila 2,5 hat bulunur. Bunun anlamı [Y] baranın verilen bir satır veya sütunu ortalama sıfırdan farklı 3 elemanlıdır ki, bunlardan biri diagonalde olacaktır. Yanlız bunların birikimi kullanılacak hafıza birimini 200 kere küçültür. Aşağıda [Y] baranın vektör olarak birikimi için bir tablo verilmiştir.

Tablo 1.2 [Y] baranın vektör olarak bulunması için bilgisayar akış diyagramı



Bu tabloda kullanılan notasyonların tanımı ;

YA(K) : IA(K) ve JA(K) baralarında son bulan orijinal K. kol admitansı gelişigüzel bir düzenle verilmiştir.

YB(K) : IB(K) ve JB(K) baralarında son bulan düzenlenmiş K. kol admitansı. Düzene göre önce sıra izleyerek IB sayısı ve sonra buna karşılık JB sayısı verilir.

NB : Bara no'su sonda numaralanmak üzere referansda kapsar.

NE : Eleman no'su.

Y(L) : Ybara vektörü ilk NB elemanı y değeri ki;

i : Bara no'sudur. İzleyen 2(NE) elemanı çift elemanlı y değerleridir. Sıra YB(K)' da verildiği gibidir.

NP(K) : K. bara için NQ(K), y değerlerinin ilkinin vektörde yeri. Kol admitanslarının yukarıda açıklandığı gibi düzenlenmesinden sonra Ybara vektörünün verilmesi kolaydır.

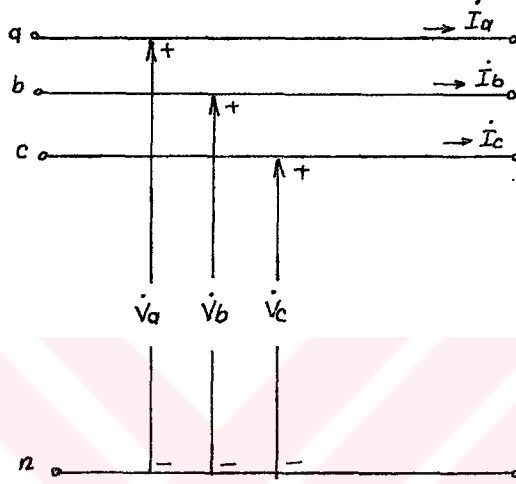
Y(L) : (K = N1)' den (K = N2)' ye YB(K)' ların toplamı ki;

$N1 = NP(L)$, $N2 = NP(L) + NQ(L) - 1$

$Y(L) = - YB(L)$, $NB \leq L \leq NB + 2(NE)$ (Uygulama 7).

2. SİMETRİLİ BİLEŞENLER

3 fazlı bir enerji sistemini gözönüne alalım.



Şekil 2.1 3 fazlı bir enerji sisteminin gösterimi

Burada \dot{V}_a , \dot{V}_b , \dot{V}_c gerilimleri, genlik ve faz açıları ile belirlenir (V_a , V_b , V_c , θ_a , θ_b , θ_c). Böylece 6 büyüklükle gerilimler tanımlanır. Polar gösterime karşılık olan bu durum kompleks gösterime dönüştürülürse yine tanım için 6 büyüklük gereksinimi ortaya çıkar. Eğer ;

$$\dot{V}_a = \dot{V}_{a0} + \dot{V}_{a1} + \dot{V}_{a2} \quad (2.1)$$

$$\dot{V}_b = \dot{V}_{b0} + \dot{V}_{b1} + \dot{V}_{b2} \quad (2.2)$$

$$\dot{V}_c = \dot{V}_{c0} + \dot{V}_{c1} + \dot{V}_{c2} \quad (2.3)$$

şeklinde her gerilimi 3 bileşenden oluşur kabul eder ve 1 indisleri a, b, c faz sıralı dengeli 3 fazlı bir takım, 2 indisleri a, b, c faz sıralı diğer bir dengeli 3 fazlı bir takım alırsak, her takım 2 serbestlik derecesi gerektirdiğinden geriye 2 serbestlik derecesi kalır. Ayrıca 0 indisli 3 fazlıda olamaz bu durumda

0' lılar herbiri eşit fazda alırsak böylece 2 serbestlik derecesini de kullanmış oluruz. Dengeli 3 fazlı sistemde bir fazın belirlenmesi diğerlerini de kesin belli eder ve bir fazın belli olması için 2 serbestlik yani ; örneğin genlik ve açı gerekir. Böylece tanımlanan bileşenlere "Simetrik Bileşen" adı verilir. j operatörünü anımsarsak polar şekilde bu ; $j = 1 \angle 90^\circ$ yani bir fazörün j ile çarpımı genliği aynı kalarak, açısının 90° artmasına neden olur. Benzer olarak "a" operatörü tanımlanır; bu $a = 1 \angle 120^\circ$ polar şeklindedir. Böylece dengeli sistemde bir fazör ardından gelen faz sırasındakine göre a kadar farklıdır. Böylece matris olarak ;

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$[\tilde{V}_{abc}] = [T] [\tilde{V}_{012}] \quad (2.5)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

$$[\tilde{V}_{012}] = [T]^{-1} [\tilde{V}_{abc}] \quad (2.7)$$

bileşenler üzerine empedans etkisi ise ;

$$[\tilde{V}_{abc}] = [Z_{abc}] [\tilde{I}_{abc}]$$

burada Z_{abc} matrisi 3×3 'lü olup 9 eleman self ve ortak empedansları gösterir, buradan hareketle ;

$$\begin{aligned}
 [T] \tilde{V}_{012} &= [Zabc] [T] \tilde{I}_{012} \\
 \tilde{V}_{012} &= [T]^{-1} [Zabc] [T] \tilde{I}_{012}
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

bulunur. Böylece

$$\begin{aligned}
 [Z_{012}] &= [T]^{-1} [Zabc] [T] \\
 \tilde{V}_{012} &= [Z_{012}] \tilde{I}_{012}
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

tanımlanabilir. Simetrik bileşenlerin önemi şurada görülür. Tipik bir enerji sistem bileşenleri $[Zabc]$ diyagonal değildir. Fakat bazı simetrikleri vardır ki $[Z_{012}]$ tam veya yaklaşık diyagonaldır.

Güç konusuna gelince genel şekilde 3 fazlı akan güç ;

$$\dot{S}_{3\phi} = \dot{V}_a \dot{I}_a^* + \dot{V}_b \dot{I}_b^* + \dot{V}_c \dot{I}_c^* \tag{2.10}$$

veya

$$\dot{S}_{3\phi} = \tilde{V}_{abc} \tilde{I}_{abc}^* \tag{2.11}$$

olarak verilir. Burada ;

$$\begin{aligned}
 \dot{S}_{3\phi} &= \{ [T] \tilde{V}_{012} \}_t \{ [T] \tilde{I}_{012} \}^* \\
 \dot{S}_{3\phi} &= \tilde{V}_{012} [T]_t [T]^* \tilde{I}_{012}^*
 \end{aligned} \tag{2.12}$$

olup, dönüşüm matrislerinin çarpılmasıyla

$$\begin{aligned}
 [T]_t [T]^* &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} = 3 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{2.13}$$

bulunur. Bu nedenle

$$\dot{S}_{3\phi} = 3 \tilde{V}_{012} \tilde{I}_{012}^*$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_{3\phi} &= 3 \tilde{V}_{o12t} \dot{I}_{o12}^* \\ \dot{S}_{3\phi} &= 3 [\dot{V}_o \dot{I}_o^* + \dot{V}_1 \dot{I}_1^* + \dot{V}_2 \dot{I}_2^*] \end{aligned} \quad (2.14)$$

yazılabilir (Uygulama 8).

Simetrik bileşenlerin per-unit olarak yazılması :

\tilde{V}_{o12} bağıntısı, V_{LN} baz ile bölünerek ;

$$\frac{\tilde{V}_{o12}}{V_{LN\text{baz}}} = [T]^{-1} \frac{\tilde{V}_{abc}}{V_{LN\text{baz}}} \quad (2.15)$$

$$\tilde{V}_{o12} \text{ pu} = [T]^{-1} \tilde{V}_{abc\text{pu}} \quad (2.16)$$

benzer olarak ;

$$\dot{I}_{o12} \text{ pu} = [T]^{-1} \dot{I}_{abc\text{pu}} \quad (2.17)$$

olup bazı $I_{L\text{baz}}$ dir.

$$[Z_{o12}] = [T]^{-1} [Z_{abc}] [T] \text{ idi ;}$$

$$\frac{1}{Z_{Y\text{baz}}} [Z_{o12}] = \frac{1}{Z_{Y\text{baz}}} [T]^{-1} [Z_{abc}] [T]$$

$$[Z_{o12} \text{ pu}] = [T]^{-1} [Z_{abc\text{pu}}] [T] \quad (2.18)$$

bulunur.

$$\text{Güçler ; } \dot{S}_{3\phi} = 3 \tilde{V}_{o12t} \dot{I}_{o12}^*$$

$$\frac{\dot{S}_{3\phi}}{S_{3\phi\text{baz}}} = \frac{3 \tilde{V}_{o12t} \dot{I}_{o12}^*}{S_{3\phi\text{baz}}}$$

$$\dot{S}_{\text{pu}} = \frac{3 \tilde{V}_{o12t} \dot{I}_{o12}^*}{3 S_{1\phi\text{baz}}} = \frac{\tilde{V}_{o12t} \dot{I}_{o12}^*}{V_{LN\text{baz}} I_{L\text{baz}}}$$

$$\dot{S}_{\text{pu}} = \tilde{V}_{o12\text{pu}} \cdot \dot{I}_{o12\text{pu}}^* \quad (2.19)$$

2.1 Dengeli ve Dengesiz Arızalar

Sistemlerin Basitleştirilmesi :

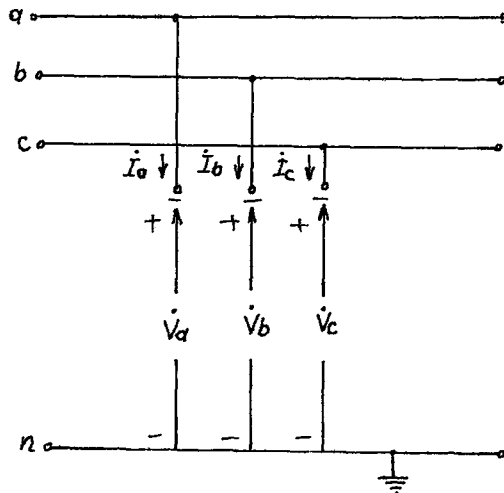
Enerji sistemleri için sıfır, pozitif, negatif (eşdeğer dizi

devrelerini) kullanacağız. sonuçların doğruluğuna önemli bir etki yapmayacak bazı kabuller yapıyoruz :

1. Transformatör modellerindeki mıknatıslama akımı ve çekirdek kayıplarına tekabül eden şönt elemanlar ihmal ediliyor.
2. Hat modellerindeki şönt elemanlar ihmal ediliyor.
3. Sinüsoidal sürekli hal devre analiz teknikleri gözönüne alınacaktır. DA geçici terimler düzeltme faktörleriyle belirlenecektir.

4. Bütün gerilim kaynaklarının açısının aynı olduğu kabul edilmiştir. Böylece gerilimlerin arızadan önce nominal değerde olduğu kabul ediliyor. Faz açısının sıfır alınması yük akımlarının ihmal anlamındadır ve arzu edildiğinde süperpoze edilir.

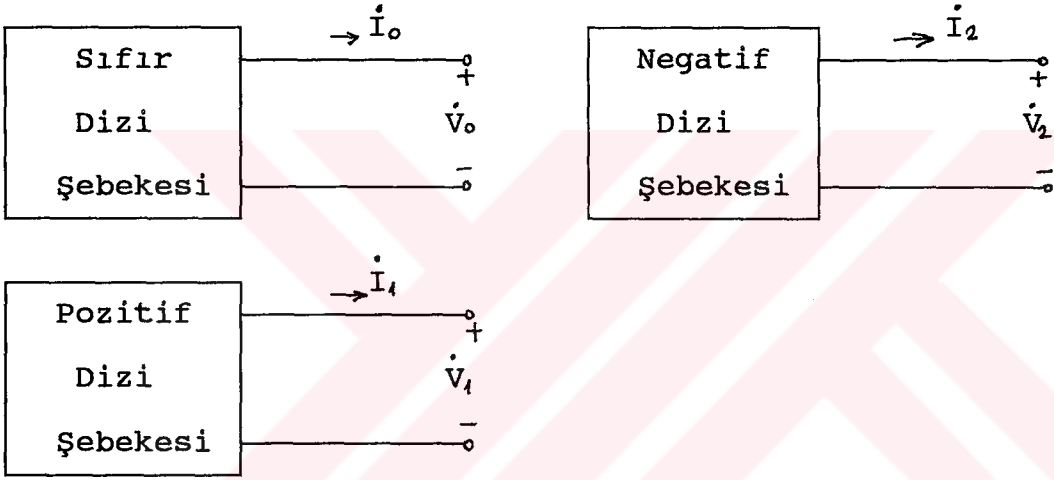
Bunlardan başka el ile yapılan hesaplarda dirençler ihmal edilir. Fakat bilgisayar hesaplarında buna gerek yoktur. Keza pozitif ve negatif diziler arasındaki fark sadece makina empedanslarında görülür. Eğer $x(t)$ ' ' subtransiyent reaktans (başlangıç reaktansı) pozitif dizi için alınırsa fark önemsizdir



Şekil 2.2 3 fazlı bir enerji sisteminin genel şekli

ve çıkık kutuplu olmayan makinalarda aynıdır. Basitleştirmeler bilgisayar birimleri için önemlidir ve gerekli birikim 1/3' e düşer, yukarıdaki şekilde görülen genel durumu gözönüne alıyoruz.

Şekilde dış bağlantılar için getirilen uçlar arıza simülasyonu için kullanılacaktır. Eşdeğer dizi devreler ise aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Her iki şekildeki uçlar bir diğerine karşılık olmaktadır.



Şekil 2.3 Eşdeğer dizi devreleri

3. GÜÇ SİSTEM İFADELERİ

3.1 Şebeke Tanım Denklemleri

Bir güç sisteminin herhangi bir şebekesindeki bara ağına ait denklemi empedans formunda yazdığımızda ;

$$\dot{E}_{\text{bara}} = Z_{\text{bara}} \cdot \dot{I}_{\text{bara}} \quad (3.1)$$

veya admitans formunda yazdığımızda ;

$$\dot{I}_{\text{bara}} = Y_{\text{bara}} \cdot \dot{E}_{\text{bara}} \quad (3.2)$$

şeklindedir. Çevre denklemlerini kullandığımızda ise empedans formu;

$$\dot{E}_{\text{göz}} = Z_{\text{göz}} \cdot \dot{I}_{\text{göz}}$$

ve admitans formu ;

$$\dot{I}_{\text{göz}} = Y_{\text{göz}} \cdot \dot{E}_{\text{göz}}$$

şeklindedir.

3.2 Bara Güç Denklemleri

Herhangi bir i barası için aktif ve reaktif güç ;

$$P_i - j Q_i = E_i \dot{I}_i^* \quad (3.3.a)$$

ve akım ;

$$I_i = \frac{P_i - j Q_i}{E_i^*} \quad (3.3.b)$$

şeklindedir. I_i akım değeri sistem içine doğru akışta olduğunda pozitifdir. Şebeke denklemleri formülasyonunda eğer şönt elemanlar ihmal edilirse, baradaki toplam akım (3.3)' deki gibi yazılabilir. Diğer durumda ise, eğer şönt elemanlar ihmal edilmezse i barasındaki toplam akım denklemi (3.4) deki şekilde yazılabilir :

$$I_i = \frac{P_i - j Q_i}{E_i^*} - y_i E_i \quad (3.4)$$

Burada y_i , baradaki toplam şönt admitansdır ve $y_i E_i$ ise, i barasından toprağa akan şönt akımdır.

3.3 Hat Yüklenme Denklemleri

Önceden bara gerilimlerinin iteratif çözümleri tamamlanmış, hat yükleri hesaplanmış olabilir. Hatlar arasındaki bağlantıda i barasındaki akım, i barasından j barasına şu şekildedir ;

$$I_{ij} = (E_i - E_j)y_{ij} + E_i \frac{y_{ij}'}{2} \quad (3.5)$$

Burada ; y_{ij} = hat admitansı

y_{ij}' = toplam hat şönt admitans

$E_i \frac{y_{ij}'}{2}$ = şönt admitanstan dolayı i barasındaki akım olup reaktif ve aktif yük ise;

$$P_{ij} - j Q_{ij} = E_i^* I_{ij} \quad (3.6)$$

veya

$$P_{ij} - j Q_{ij} = E_i^* (E_i - E_j)y_{ij} + E_i^* E_i \frac{y_{ij}'}{2} \quad (3.7)$$

şeklinde. i barasındaki yük, i 'den j 'ya aktif güç olarak P_{ij} , reaktif güç olarak Q_{ij} 'dir. Benzer olarak j barasındaki yük, j 'den i 'ye P_{ji} ve Q_{ji} 'dir.

$$P_{ji} - j Q_{ji} = E_j^* (E_j - E_i)y_{ji} + E_j^* E_j \frac{y_{ij}'}{2} \quad (3.8)$$

i - j hattındaki kayıp yük ise (3.7) ve (3.8) denklemlerinde belirlenen güç denklemlerinin cebrik toplamıdır.

3.4 Çözüm Teknikleri

3.4.1 Gauss iteratif metodu kullanılarak Ybara'nın bulunması

Yük problemlerinin çözümüne önce bir gerilim kabulü ile başlanır. Gerilimin açıkça belirtilmiş olduğu ve sabit kaldığı yerlerdeki baralarda bağlantı yoktur ve onlar hesaba katılmaz. Sonra, (3.3)' deki denklemden bağılı olmayan s barasından başka bütün baralar için akımlar hesaplanır.

$$I_i = \frac{P_i - \sum_j Q_j}{E_i^*} \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, n \\ i \neq s \end{array} \quad (3.9)$$

Burada n, şebekedeki baraların sayısıdır. Şebekenin gerilim tanımı aşağıdaki denklemden elde edilebilir.

$$I_{\text{bara}} = Y_{\text{bara}} \cdot E_{\text{bara}} \quad (3.10)$$

Referans bara olarak yer seçilirse, aşağıdaki denklemi yazabiliriz

$$E_i = \frac{1}{Y_{ii}} \left(I_i - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Y_{ij} E_j \right) \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, n \\ i \neq s \end{array} \quad (3.11)$$

(3.9) denkleminde hesaplanan bara akımları, bağılı olmayan bara gerilimi ve kabul edilen bara gerilimleri (3.11)' de yerine konularak bara gerilimlerinin yeni değerleri elde edilir. Bu gerilimler (3.9) denkleminde kullanılarak (3.11) denkleminin bir sonraki çözümleri için bara akımları tekrar hesaplanır. Bu işlem, bütün bara gerilimlerindeki değişimler ihmal edilebilir olana kadar devam eder. Sonra gerilim çözümleri tamamlanmış olacaktır ; kullanılmayan baradaki güç ve hat akımları da hesaplanabilir.

(3.11)' deki şebeke denklemi ve (3.9)' daki yük denklemi birleştirildiğinde (3.12) denklemi elde edilir.

$$E_i = \frac{1}{Y_{ii}} \left(\frac{P_i - j Q_i}{E_i^*} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Y_{ij} E_j \right) \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, n \\ i \neq s \end{array} \quad (3.12)$$

Bu tarz yük akış probleminin formülasyonunun sonuçları, nonlinear bir denklemin bir iteratif yöntem ile çözülmesine benzemektedir.

$$\frac{1}{Y_{ii}} = L_i \quad (3.13)$$

dersek (3.12)'deki denklem ;

$$E_i = \frac{(P_i - j Q_i) L_i}{E_i^*} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Y_{ij} L_i E_j \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, n \\ i \neq s \end{array} \quad (3.14)$$

şeklinde yazılabilir.

$$(P_i - j Q_i) L_i = K L_i \quad (3.15)$$

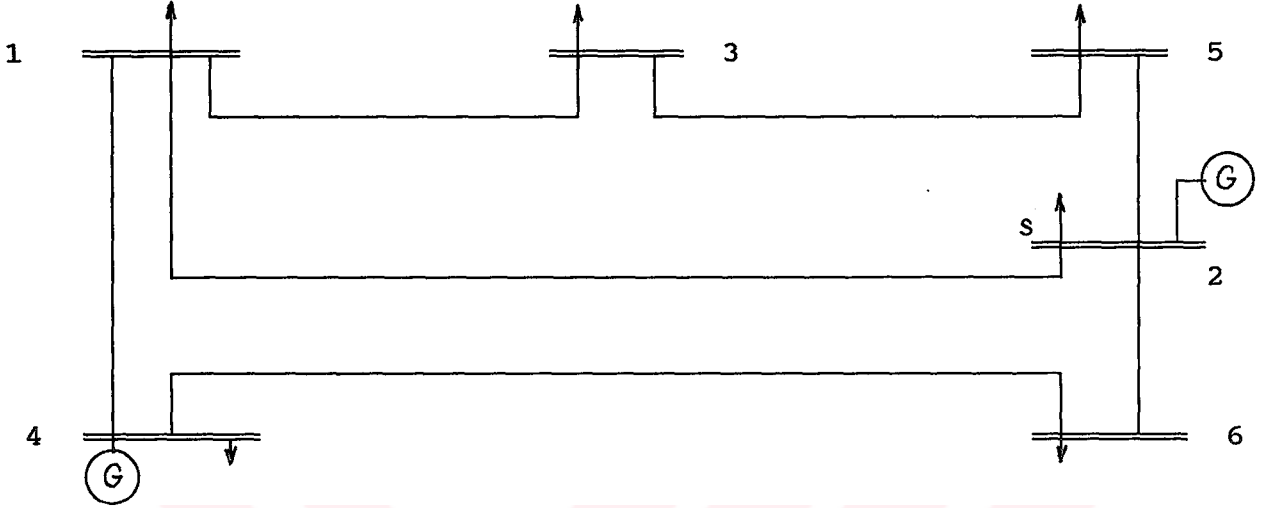
ve

$$Y_{ij} L_i = Y L_{ij} \quad (3.16)$$

kabulünü yaparsak (3.14)'deki bara gerilimi şu şekilde yazılabilir

$$E_i = \frac{K L_i}{E_i^*} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Y L_{ij} E_j \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, n \\ i \neq s \end{array} \quad (3.17)$$

Bir yük akış çalışması için normal işlem, sistemi dengeli bir sistem olarak kabul etmek ve tek-faz gösterime denk gelen pozitif dizi şebekesini kullanmaktır. Karşılıklı kuplaj etkisi olmadığından, bara admitans matrisi yazılabilir ve bu matrisin elemanlarının çoğu sıfır olacaktır. Şekil 3.1' de gösterilen sistemde referans bara olarak 2 nolu bara seçilmiş olsun.



Şekil 3.1.a Bir güç sisteminin tek hat diagramı

Gauss iteratif çözümü için formüller ;

$$E_1^{k+1} = \frac{KL_1}{(E_1^k)^*} - YL_{12} E_2 - YL_{13} E_3 - YL_{14} E_4$$

$$E_2^{k+1} = \text{referans barası olduğu için sabit değer alınıyor.}$$

$$E_3^{k+1} = \frac{KL_3}{(E_3^k)^*} - YL_{31} E_1 - YL_{35} E_5$$

$$E_4^{k+1} = \frac{KL_4}{(E_4^k)^*} - YL_{41} E_1 - YL_{46} E_6 \quad \} \quad (3.18)$$

$$E_5^{k+1} = \frac{KL_5}{(E_5^k)^*} - YL_{52} E_2 - YL_{53} E_3$$

$$E_6^{k+1} = \frac{KL_6}{(E_6^k)^*} - YL_{62} E_2 - YL_{64} E_4$$

Burada k iterasyon sayısıdır. Gauss iteratif metodu ile yük akış çözümü için akış diagramı Şekil 3.2' de verilmiştir.

Eşit değil

i barası için gerilim denklemini çözümü

$$E_i^{k+1} = \frac{KLi}{(E_i^k)^*} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n YL_{ij} E_j^k$$

i barasının gerilimindeki değişimleri hesapla $\Delta E_i^k = E_i^{k+1} - E_i^k$ Gerilimdeki maksimum değişiklik için test
 $|E_i| : \max E$

Daha büyük

 $\max \Delta E^k = |\Delta E_i^k|$
ayarlanır

Denk veya daha küçük

Bara sayısını arttır
 $i + 1 \rightarrow i$

Denk veya daha az

İterasyonun sonu için test
 $i : n$

Daha büyük

İterasyon sayısını arttır
 $k + 1 \rightarrow k$ E_i^k ile E_i^{k+1} yerine koy
 $i=1,2,\dots,n$ $i \neq s$

Denk veya daha az

Daha büyük

Yakınsama için test
 $\max \Delta E : \epsilon$

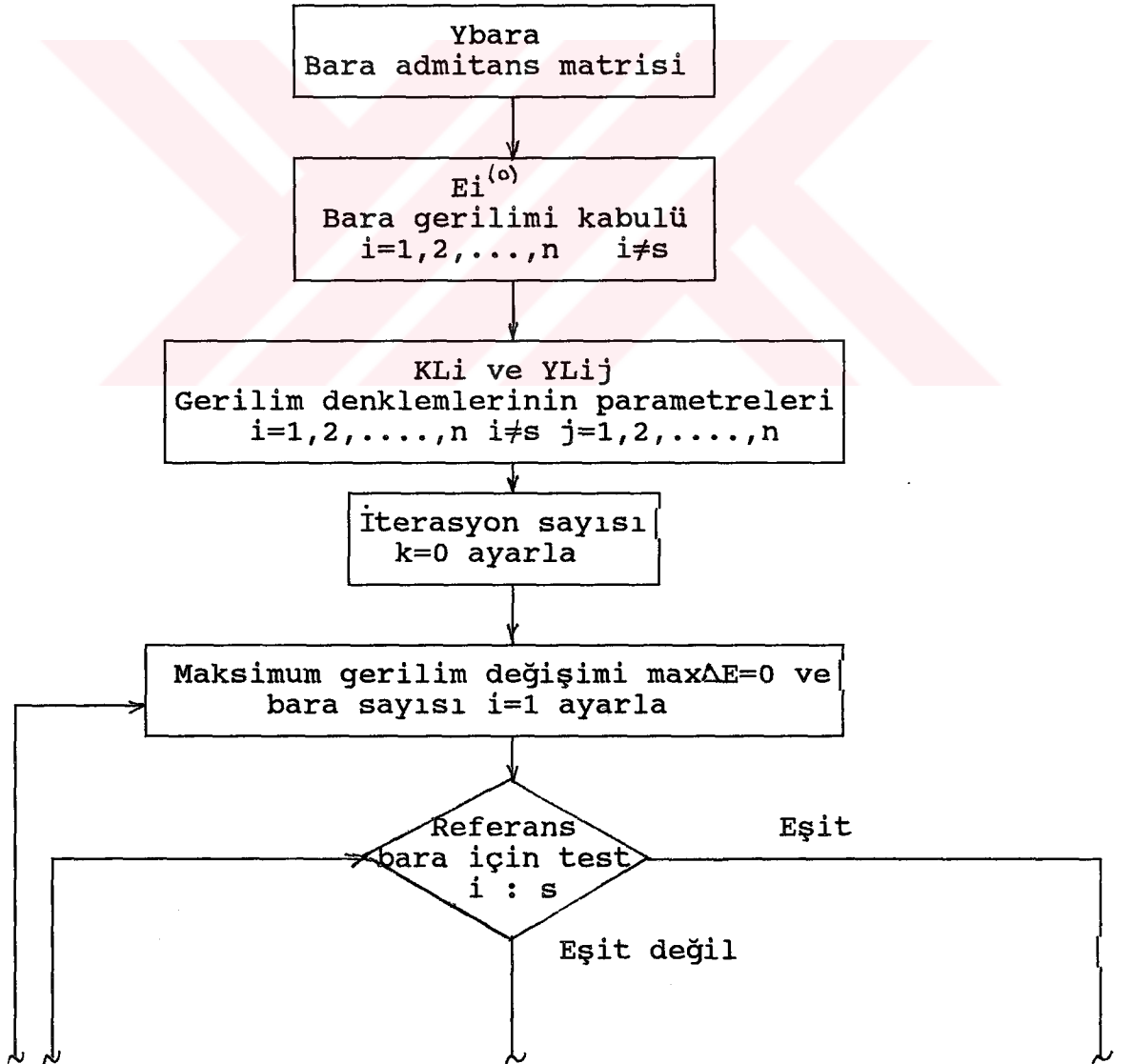
Referans baradaki hat akımları ve yükleri hesapla

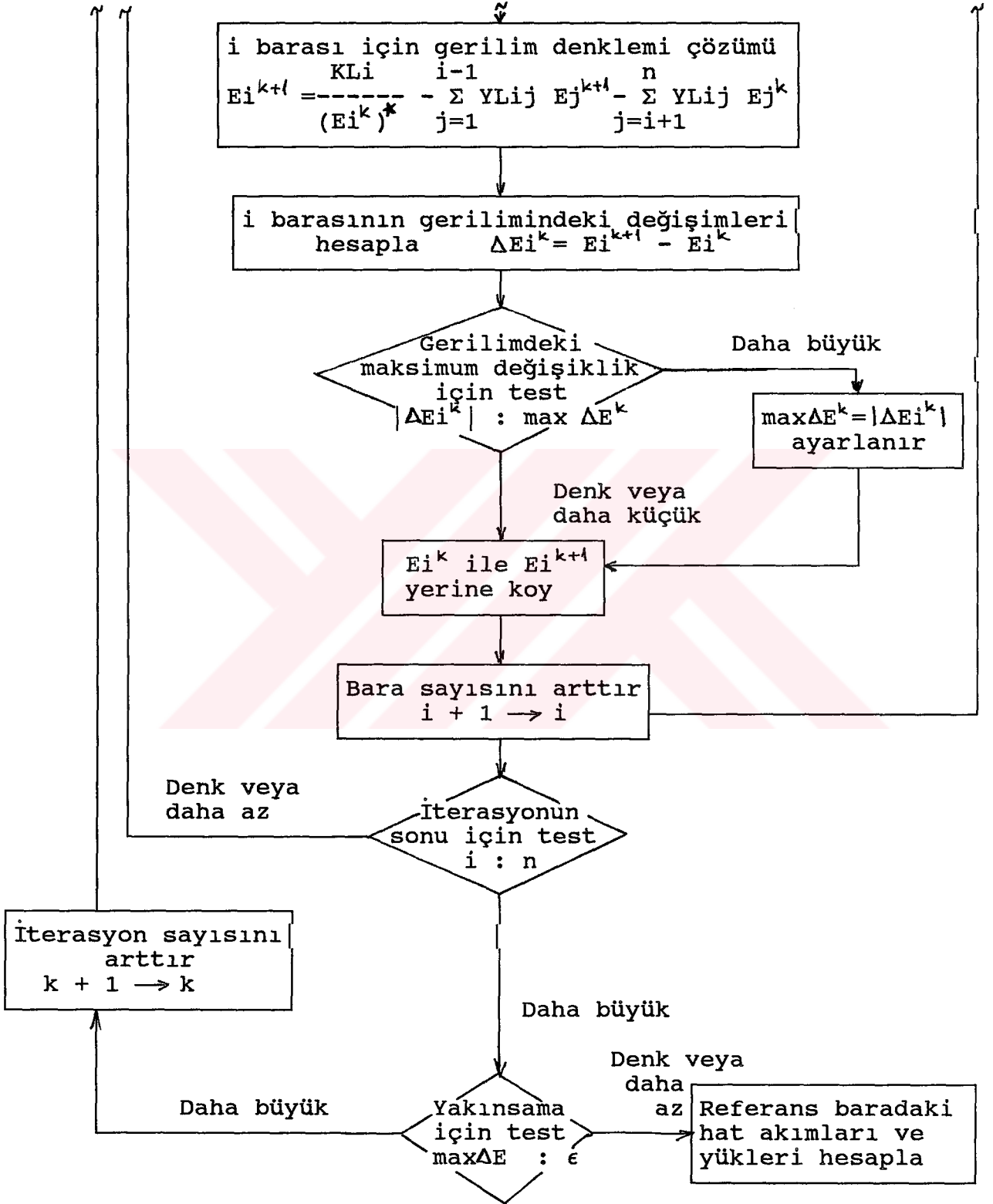
Şekil 3.2 Gauss iteratif metodu kullanılarak yük akış çözümü

3.4.2 Gauss - Seidel iteratif metodu kullanılarak Ybara bulunması

Bara gerilim denklemleri (3.17) Gauss - Seidel iteratif metodu ile de çözülebilir. Bu metotta yeni E_i^k gerilimleri hesaplanır ve hemen E_i^{k+1} nin yerine konur ve sonraki denklemlerin çözümünde kullanılır.

Gauss - Seidel iteratif metodu ile yük akış problemlerinin çözümüne ait akış diyagramı Şekil 3.3' te gösterilmiştir.





Şekil 3.3 Gauss -Seidel iteratif metodu kullanılarak yük akış çözümü

Şekil 3.1' de görülen sistem için, Gauss - Seidel formüllerini yazarsak ;

$$\begin{aligned}
 E_1^{k+1} &= \frac{KL_1}{(E_1^k)^*} - YL_{12} E_2 - YL_{13} E_3^k - YL_{14} E_4^k \\
 E_2^{k+1} &= \text{referans barası olduğu için sabit değer alınıyor.} \\
 E_3^{k+1} &= \frac{KL_3}{(E_3^k)^*} - YL_{31} E_1^{k+1} - YL_{35} E_5^k \\
 E_4^{k+1} &= \frac{KL_4}{(E_4^k)^*} - YL_{41} E_1^{k+1} - YL_{46} E_6^k \\
 E_5^{k+1} &= \frac{KL_5}{(E_5^k)^*} - YL_{52} E_2^{k+1} - YL_{53} E_3^k \\
 E_6^{k+1} &= \frac{KL_6}{(E_6^k)^*} - YL_{62} E_2 - YL_{64} E_4^{k+1}
 \end{aligned} \tag{3.19}$$

3.4.3 Yaklaşım metodu kullanılarak Ybara bulunması

Bara akımları için denklemler yaklaşım metodu ile yük akış problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. (3.10)' da verilen şebeke akım denklemlerinden i barası için akımı yazarsak ;

$$I_i = Y_{i1}E_1 + Y_{i2}E_2 + \dots + Y_{ii}E_i + \dots + Y_{in}E_n \tag{3.20}$$

Bu denklem tekrar yazılırsa ;

$$Y_{i1}E_1 + Y_{i2}E_2 + \dots + Y_{ii}E_i + \dots + Y_{in}E_n - I_i = R_i \tag{3.21}$$

Burada R_i , bir rezidüdür ve kabul edilen gerilimden dolayı i barasındaki akımdaki hatayı belirtir. Şekil 3.1' de gösterilen sistem için yaklaşım metodu formülleri şu şekildedir :

$$\begin{aligned}
Y_{11}E_1^k + Y_{12}E_2 + Y_{13}E_3^k + Y_{14}E_4^k - I_1^k &= R_1^k \\
Y_{31}E_1^k + Y_{33}E_3^k + Y_{35}E_5^k - I_3^k &= R_3^k \\
Y_{41}E_1^k + Y_{44}E_4^k + Y_{46}E_6^k - I_4^k &= R_4^k \\
Y_{52}E_2 + Y_{53}E_3^k + Y_{55}E_5^k - I_5^k &= R_5^k \\
Y_{62}E_2 + Y_{64}E_4^k + Y_{66}E_6^k - I_6^k &= R_6^k
\end{aligned}
\quad \} \quad (3.22)$$

Denklemden referans barada önce hesaba katılmamış olan E değeri değişmemiştir.

Bara gerilimlerinin belirlenmesi ile ;

$$E_1^{(0)}, E_2^{(0)}, E_3^{(0)}, E_4^{(0)}, E_5^{(0)}, E_6^{(0)}$$

bara akımları (3.9) denklemden hesaplanmıştır ve sonra bara rezidüleri (3.22) denklemden hesaplanmıştır. Ri rezidüsünün maksimum olduğu bara için bir gerilim düzeltmesi bulunur. Eğer i barasındaki akım değişmeden sabit kalırsa, Ri rezidüsü gerilim düzeltmesi ile sıfırlanabilecektir. Gerilim düzeltmesi ;

$$\Delta E_i^k = - \frac{R_i^k}{Y_{ii}} \quad (3.23)$$

şeklindedir. Bir sonraki gerilim i barasındaki gerilimin düzeltilmesidir ;

$$E_i^{k+1} = E_i^k + \Delta E_i^k \quad (3.24)$$

ve yeni akım değeri ;

$$I_i^{k+1} = \frac{P_i - j Q_i}{(E_i^{k+1})^*} \quad (3.25)$$

i barasındaki akımdaki değişimin sonucu olarak i barasındaki gerçek rezidü değeri ;

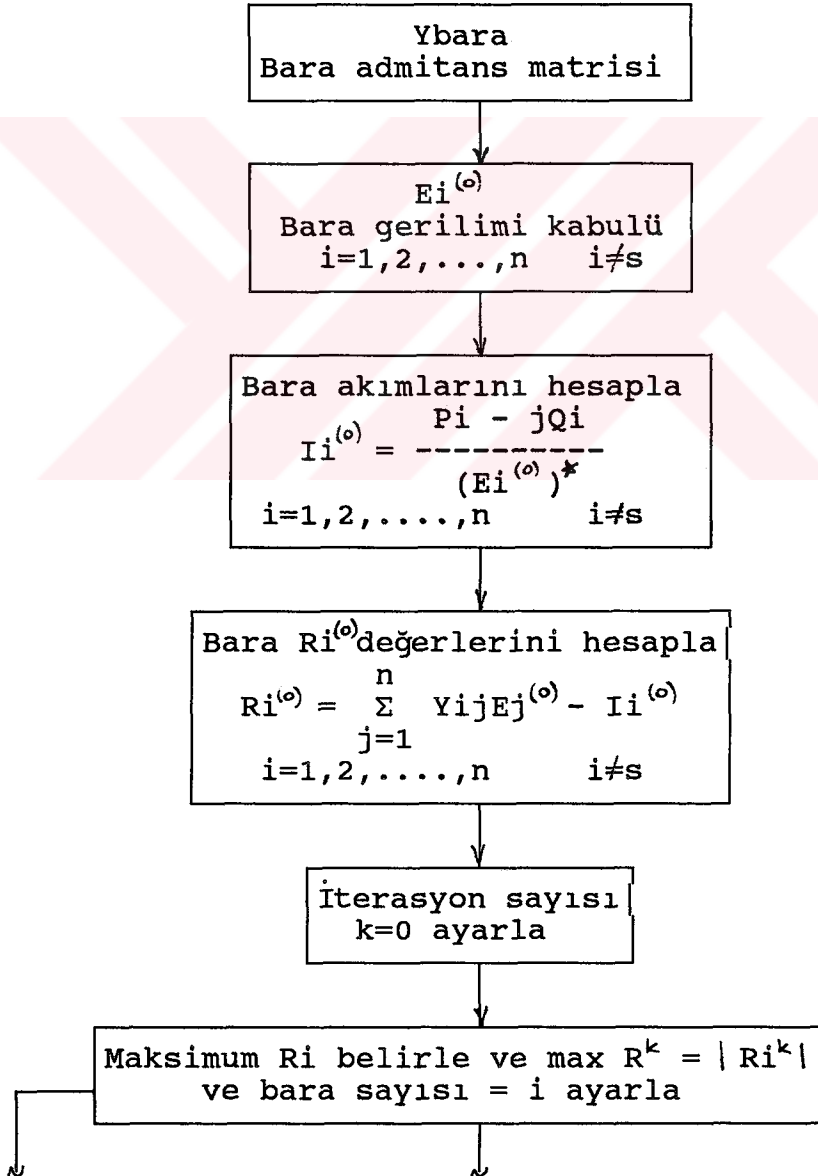
$$R_i^{k+1} = I_i^k - I_i^{k+1} \quad (3.26)$$

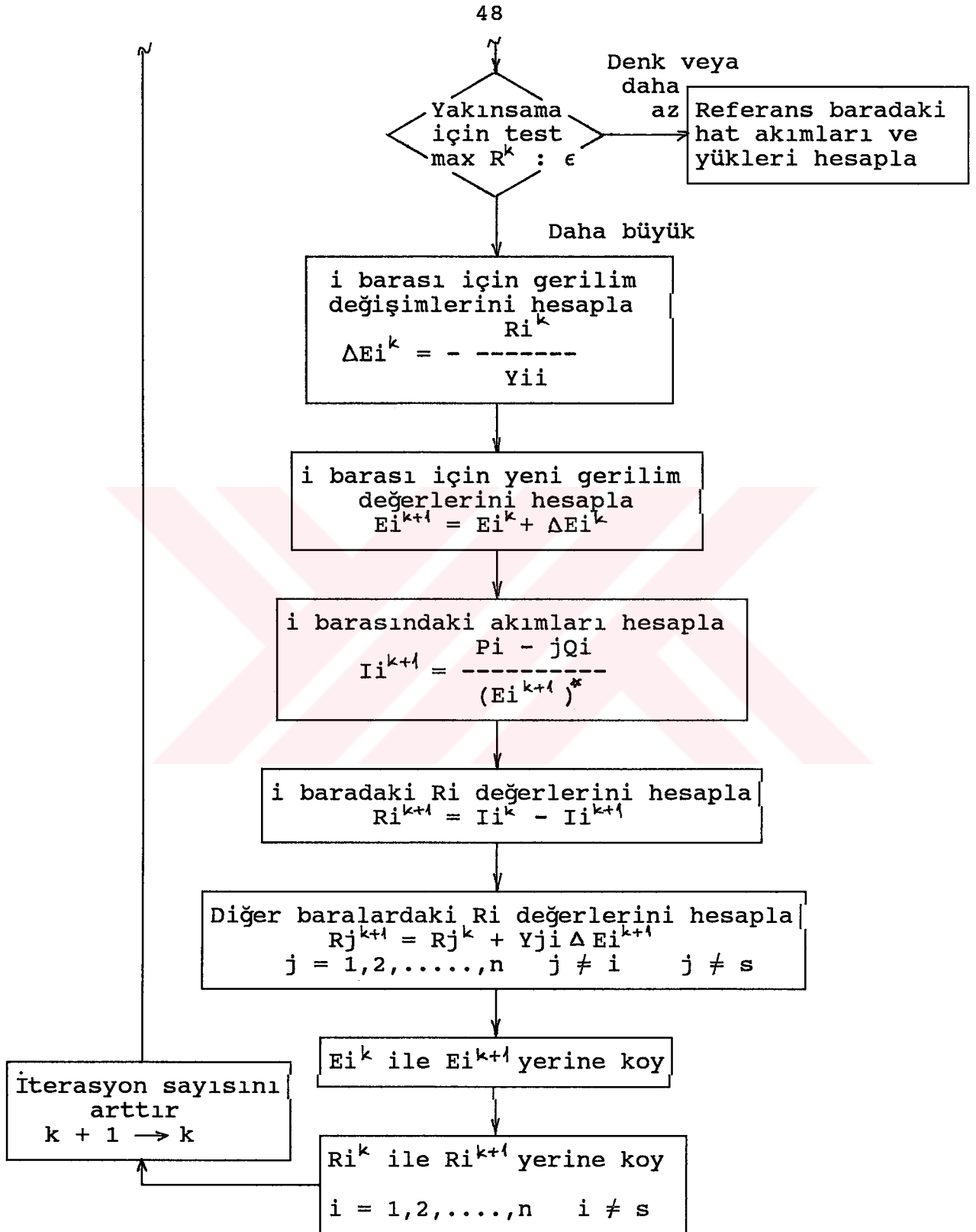
Ei gerilim değeri kullanılarak i' den sonraki baralar ve referans

bara için yeni rezidüer aşağıdaki formülden hesaplanabilir ;

$$R_j^{k+1} = R_j^k + Y_{ji} \Delta E_i^k \quad \begin{array}{l} j = 1, 2, \dots, n \\ j \neq i, j \neq s \end{array}$$

Bu işlem, en büyük rezidüye tekabül eden gerilime kadar her düzeltme için devam eder. Bütün rezidüer, belirtilen bir toleransa denk veya daha azdır. Yaklaşım metodu ile yük akış problemlerinin çözümüne ait akış diyagramı Şekil 3.4' te verilmiştir.





Şekil 3.4 Yaklaşım metodu kullanılarak yük akış çözümü

3.4.4 Newton - Raphson metodu kullanılarak Ybara bulunması

Yük akış problemleri, bara gerilimlerinin reel ve imajiner terimleri, aktif ve reaktif güçlerde ayrı ayrı ifade edilerek Newton - Raphson metodu kullanılarak da çözülebilir. i barasındaki güç ;

$$P_i - jQ_i = E_i^* I_i \quad (3.27)$$

(3.27)' deki denklemde I_i için, (3.10)' da verilen formüldeki tanım bağıntısı yerine konulursa ;

$$P_i - jQ_i = E_i^* \sum_{j=1}^n Y_{ij} E_j \quad (3.28)$$

Eğer $E_i = e_i + jf_i$ ve $Y_{ij} = G_{ij} - jB_{ij}$ dersek ;

$$P_i - jQ_i = (e_i - jf_i) \sum_{j=1}^n (G_{ij} - jB_{ij})(e_j + jf_j) \quad (3.29)$$

bulunur. Reel ve imajiner kısımları ayrı ayrı yazarsak :

$$P_i = \sum_{j=1}^n \{e_i(e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) + f_i(f_j G_{ij} - e_j B_{ij})\} \quad (3.30)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n \{f_i(e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) - e_i(f_j G_{ij} - e_j B_{ij})\} \quad (3.31)$$

elde edilir.

Bu formüllerden de görüldüğü gibi lineer olmayan eşzamanlı denklemlerin çözümü sonucunda sistemin her barası için iki lineer olmayan denklem elde edilir. Aktif güç P_i ve reaktif güç Q_i bilinmeyen ve gerilimin e_i ile f_i bileşenlerinin reel ve imajiner kısımlarıdır ki bu bileşenler referans baradan başka bütün baralar için bilinmeyendir. Burada referans baradaki gerilim açıkça belirtilir ve sabit tutulur. Bunlar bir yük akış problemi için

2(n-1) tane denklem oluştururlar.

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \dots \\ \Delta P_{n-1} \\ \hline \Delta Q_1 \\ \dots \\ \Delta Q_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial e_1} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial e_{n-1}} & \frac{\partial P_1}{\partial f_1} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial f_{n-1}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial P_{n-1}}{\partial e_1} & \dots & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial e_{n-1}} & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial f_1} & \dots & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial f_{n-1}} \\ \hline \frac{\partial Q_1}{\partial e_1} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial e_{n-1}} & \frac{\partial Q_1}{\partial f_1} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial f_{n-1}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial e_1} & \dots & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial e_{n-1}} & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial f_1} & \dots & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial f_{n-1}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta e_1 \\ \dots \\ \Delta e_{n-1} \\ \hline \Delta f_1 \\ \dots \\ \Delta f_{n-1} \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

Newton - Raphson metodu, aktif ve reaktif güçlerdeki değişimler ile bara gerilimlerinin bileşenlerinin arasındaki ilişkilerin oluşturduğu lineer denklemlerin düzenlenmiş bir şekilde ifadesini gerektirir ve yukardaki şekilde gösterilebilir. Burada matris elemanları Jakobyen'dır ve n. bara referanstır. (3.32)'deki denklemin matris formu şu şekildedir :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \hline \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ \hline J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta e \\ \hline \Delta f \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

Jakobyen'in elemanları tesbit etmek için, denklemler bara güç denklemlerinden türetilir. (3.31)'deki denklemden aktif güç ;

$$\begin{aligned}
P_i &= e_i(e_i G_{ii} + f_i B_{ii}) + f_i(f_i G_{ii} - e_i B_{ii}) \\
&+ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \{e_i(e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) + f_i(f_j G_{ij} - e_j B_{ij})\} \quad (3.34) \\
& \quad i = 1, 2, \dots, n-1
\end{aligned}$$

Kısmi türevini aldığımızda J_4 ' in diagonalde olmayan elemanları ;

$$\frac{\partial P_i}{\partial e_j} = e_i G_{ij} - f_i B_{ij} \quad j \neq i \quad (3.35)$$

ve J_4 ' in diagonalde olan elemanları ;

$$\frac{\partial P_i}{\partial e_j} = 2e_i G_{ii} + f_i B_{ii} - f_i B_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) \quad (3.36)$$

dir. Bununla birlikte, i barasındaki akım denklemi;

$$\begin{aligned}
I_i &= c_i + j d_i \\
&= (G_{ii} - j B_{ii})(e_i + j f_i) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (G_{ij} - j B_{ij})(e_j + j f_j) \quad (3.37)
\end{aligned}$$

olup, buradan akımın reel ve imajiner kısımlarını ayrı ayrı yazabiliriz;

$$c_i = e_i G_{ii} + f_i B_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) \quad (3.38)$$

$$\begin{aligned}
d_i &= f_i G_{ii} - e_i B_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (f_j G_{ij} - e_j B_{ij}) \\
& \quad i = 1, 2, \dots, n-1
\end{aligned}$$

Buradan, J_4 ' in diagonaldeki elemanları için akımın reel bileşeni c_i (3.36)'daki ifadede yerine konularak ifade basitleştirilebilir ve

$$\frac{\partial P_i}{\partial e_i} = e_i G_{ii} - f_i B_{ii} + c_i \quad (3.39)$$

elde edilir. (3.34)' teki ifadeden J_2 ' nin diagonalde olmayan elemanları ;

$$\frac{\partial P_i}{\partial f_j} = e_i B_{ij} + f_i B_{ij} \quad j \neq i \quad (3.40)$$

ve J_2 ' nin diagonalde olan elemanları ;

$$\frac{\partial P_i}{\partial f_i} = e_i B_{ii} + 2f_i G_{ii} - e_i B_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (f_j G_{ij} - e_j B_{ij}) \quad (3.41)$$

olup, (3.34)' teki ifadeden akımın imajiner kısmı olan d_i , (3.41)' de yerine konursa basitleştirilmiş ifade

$$\frac{\partial P_i}{\partial f_i} = e_i B_{ii} + f_i G_{ii} + d_i \quad (3.42)$$

bulunur. (3.31)' deki reaktif güç ifadesinden ;

$$Q_i = f_i(e_i G_{ii} + f_i B_{ii}) - e_i(f_i G_{ii} - e_i B_{ii}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \{f_i(e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) - e_i(f_j G_{ij} - e_j B_{ij})\} \quad (3.43)$$

$i = 1, 2, \dots, n-1$

yazılabilir. J_3 ' ün diagonalde olmayan elemanları için kısmi türev;

$$\frac{\partial Q_i}{\partial e_j} = e_i B_{ij} + f_i G_{ij} \quad j \neq i \quad (3.44)$$

ve J_3 ' ün diagonalde olan elemanları için ;

$$\frac{\partial Q_i}{\partial e_i} = f_i G_{ii} - f_i G_{ii} + 2e_i B_{ii} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (f_j G_{ij} - e_j B_{ij}) \quad (3.45)$$

olup, (3.38)' deki ifadeden akımın imajiner bileşeni d_i

(3.45)' deki ifadede yerine konulursa basitleştirilmiş ifade ;

$$\frac{\partial Q_i}{\partial e_i} = e_i B_{ii} + f_i G_{ii} - d_i \quad (3.46)$$

bulunur. (3.43) ifadesinden J_4 ' ün diagonalde olmayan elemanları ;

$$\frac{\partial Q_i}{\partial f_j} = -e_i G_{ij} + f_i B_{ij} \quad j \neq i \quad (3.48)$$

ve J_4 ' ün diagonalde olan elemanları için ;

$$\frac{\partial Q_i}{\partial f_i} = e_i G_{ii} + 2f_i B_{ii} - e_i G_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) \quad (3.49)$$

ifadeleri yazılır. (3.38)' deki ifadeden akımın reel bileşeni c_i

(3.49)' deki ifadede yerine konulursa basitleştirilmiş ifade ;

$$\frac{\partial Q_i}{\partial f_i} = -e_i G_{ii} + f_i B_{ii} + c_i \quad (3.50)$$

bulunur. Bara gerilimine bir başlangıç değeri verilerek, aktif ve reaktif güçler (3.30) ve (3.31)' deki ifadelerden hesaplanabilir. Güçteki değişimler ise listede verilen değerler ile hesaplanan değerler arasındaki fark bulunarak hesaplanır.

$$\begin{aligned} \Delta P_i^k &= P_i(\text{verilen}) - P_i^k \\ \Delta Q_i^k &= Q_i(\text{verilen}) - Q_i^k \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \end{aligned} \quad (3.51)$$

Kabul edilen gerilimler ve hesaplanan güçler, Jakobyen' in elemanlarını belirlemek için bara akımlarını hesaplamada kullanılır. (3.32)' deki lineer denklemler Δe_i ve Δf_i için, doğrudan veya iteratif bir metot ile $i = 1, 2, \dots, n-1$ değerleri için çözülebilir :

$$\begin{aligned} e_i^{k+1} &= e_i^k + \Delta e_i^k \\ f_i^{k+1} &= f_i^k + \Delta f_i^k \end{aligned} \quad (3.52)$$

Bu işlem belirtilen toleranslar içerisinde bütün baralar için ΔP_i ve ΔQ_i için tekrarlanır. Newton - Raphson metodu ile yük akış problemlerine ilişkin akış diyagramı Şekil 3.5' de verilmiştir.

Newton - Raphson metodu ile yük akış problemlerinin çözümüne, denklemlerin polar ifadeleri verildiği zaman da başvurulabilir. Aşağıdaki polar ifadeler ;

$$E_i = | E_i | \epsilon^{j\delta_i} \quad \text{ve} \quad Y_{ij} = | E_{ij} | \epsilon^{-j\theta_{ij}} \quad (3.53)$$

(3.28)'deki ifadede yerine konulursa, i barasındaki güç ;

53

$$P_i - jQ_i = \sum_{j=1}^n | E_i E_j Y_{ij} | \epsilon^{-j(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j)} \quad (3.54)$$

olup. Burada polar ifadeyi gücün reel ve imajiner kısımları olarak yazarsak ;

$$e^{-j(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j)} = \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) - j \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad (3.55)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n | E_i E_j Y_{ij} | \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad (3.56)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n | E_i E_j Y_{ij} | \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad i = 1, 2, \dots, n-1$$

elde edilir.

Jakobyen elemanları denklem (3.56)' dan hesaplanırsa ;

J_1 için ;

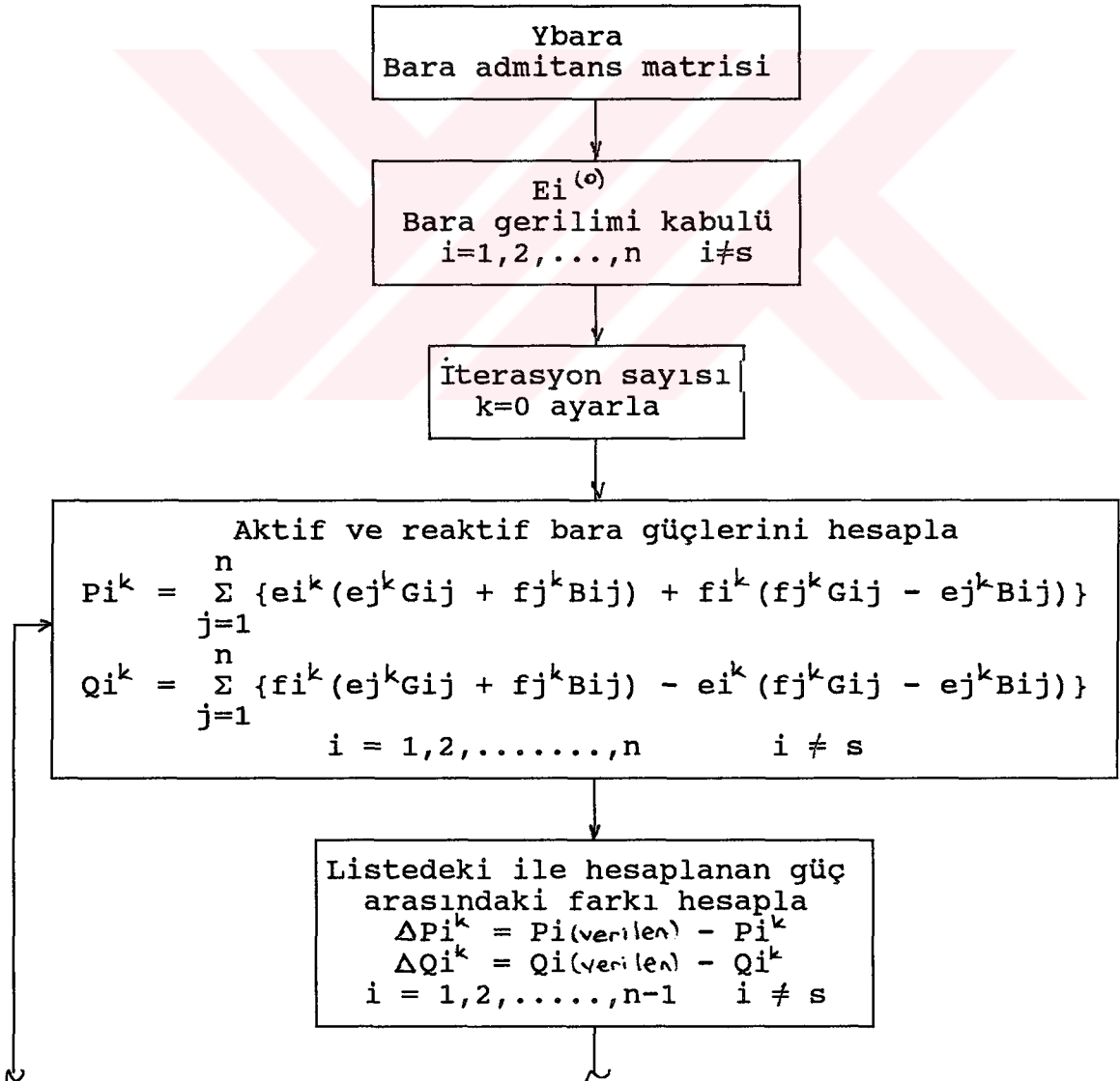
$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = | E_i E_j Y_{ij} | \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad j \neq i \quad (3.57.a)$$

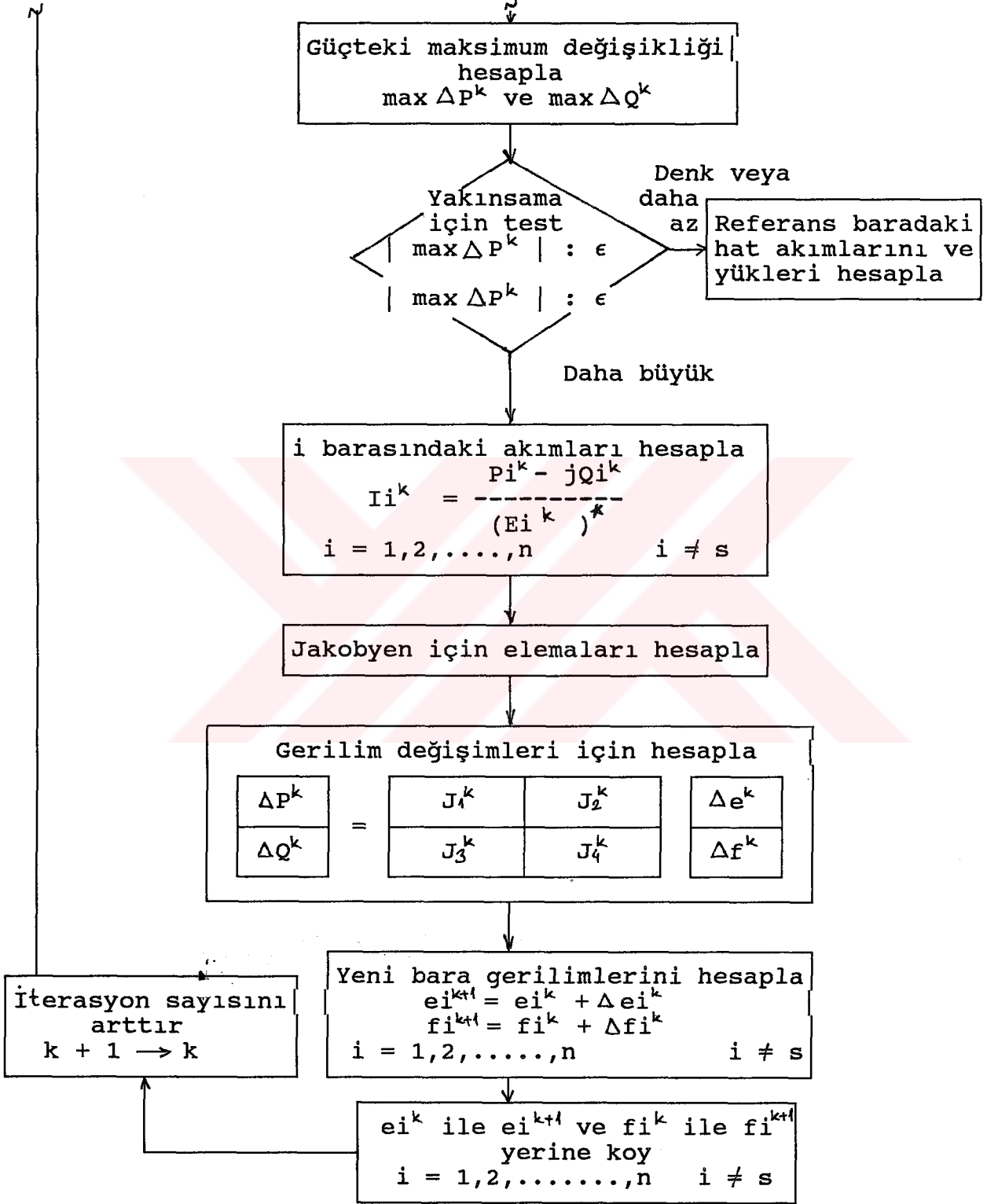
$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |E_i E_j Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad (3.57.b)$$

J_2 için ;

$$\frac{\partial P_i}{\partial |E_j|} = |E_i Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad j \neq i \quad (3.58)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |E_i|} = 2 |E_i Y_{ii}| \cos(\theta_{ii}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |E_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j)$$





Şekil 3.5 Newton - Raphson metodu kullanılarak yük akış çözümü

J_3 için ;

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = - | E_i E_j Y_{ij} | \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad j \neq i \quad (3.59)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n | E_i E_j Y_{ij} | \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j)$$

J_4 için ;

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |E_j|} = | E_i Y_{ij} | \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad j \neq i \quad (3.60)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |E_i|} = 2 | E_i Y_{ii} | \sin(\theta_{ii}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n | E_j Y_{ij} | \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j)$$

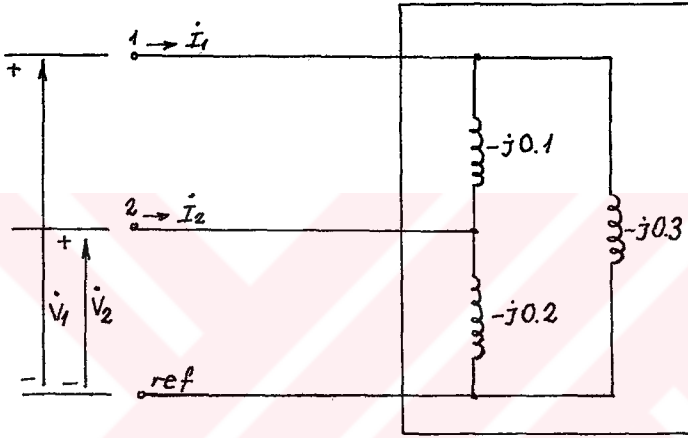
bulunur. Newton - Raphson metodu için gerilimlerdekideki faz açıları ve genliklerdeki değişimler ile güçlerdeki değişimlerin arasındaki bağlantıya ait Jakobyen şöyle yazılabilir ;

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |E| \end{bmatrix} \quad (3.61)$$

4. SAYISAL UYGULAMALAR

Uygulama 1: Şekilde görülen basit bir iletim hattını gözönüne alalım. [Ybara] :

- Devreyi iki uçlu olarak işleme tabi tutarak,
- Bilinen düğüm analizi uygulayarak elde edilecektir.



Şekil 4.1 Basit bir örnek iletim hattı

$$\text{Çözüm : a) } \dot{Y}_{11} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{V}_1} \Big|_{\dot{V}_2=0} = \frac{(-j0,1 - j0,3) \dot{V}_1}{\dot{V}_1} = -j0,4$$

$$\dot{Y}_{12} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{V}_2} \Big|_{\dot{V}_1=0} = \frac{-(-j0,1) \text{ V}}{\text{V}} = +j0,1$$

$$\dot{Y}_{21} = \frac{\dot{I}_2}{\dot{V}_1} \Big|_{\dot{V}_2=0} = \dot{Y}_{12} = +j0,1$$

$$\dot{Y}_{22} = \frac{\dot{I}_2}{\dot{V}_2} \Big|_{\dot{V}_1=0} = \frac{(-j0,1 - j0,2) \dot{V}_2}{\dot{V}_2} = -j0,3$$

$$[\dot{Y}_{\text{bara}}] = \begin{bmatrix} -j0,4 & +j0,1 \\ +j0,1 & -j0,3 \end{bmatrix}$$

$$b) \dot{I}_1 = (-j0,1 - j0,3) \dot{V}_1 - (-j0,1) \dot{V}_2$$

$$\dot{I}_2 = -(-j0,1) \dot{V}_1 + (-j0,1 - j0,2) \dot{V}_2$$

$$\therefore [Y_{\text{bara}}] = \begin{bmatrix} -j0,4 & +j0,1 \\ +j0,1 & -j0,3 \end{bmatrix}$$

Uygulama 2: (1.9)'daki denklemler kullanılarak Şekil 4.1'de görülen devre için $[Y_{\text{bara}}]$ bir kez daha hesaplanacaktır.

Çözüm :

$$[\dot{Y}_{\text{bara}}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ ile başlıyoruz.}$$

$-j0,1$ elemanını ekleyelim ;

$$[\dot{Y}_{\text{bara}}] = \begin{bmatrix} -j0,1 & +j0,1 \\ +j0,1 & -j0,1 \end{bmatrix}$$

$-j0,2$ elemanını ekleyelim ;

$$[\dot{Y}_{\text{bara}}] = \begin{bmatrix} -j0,1 & +j0,1 \\ +j0,1 & -j0,3 \end{bmatrix}$$

$-j0,3$ elemanını ekleyelim ;

$$[\dot{Y}_{\text{bara}}] = \begin{bmatrix} -j0,4 & +j0,1 \\ +j0,1 & -j0,3 \end{bmatrix}$$

Uygulama 3 : $x + \sin x - 2 = 0$ denklemi $x = 0$ ' dan başlayarak Gauss-Seidel iterasyon yöntemiyle çözülecektir.

Çözüm : x' 'e göre çözüm için;

$$x = 2 - \sin x$$

$x^0 = 0$ dan başlayarak,

$$x^1 = 2 - \sin(0) = 2$$

Tablo 4.1 Uygulama 3 için yaklaşım tablosu

Yaklaşım	x
0	0
1	2
2	1,09
3	1,113
4	1,103
5	1,1075
6	1,1054
7	1,10634
8	1,10593
9	1,10612
10	1,10603
11	1,10607
12	1,10606
13	1,10606

$x = 2$ yi bundan sonraki yaklaşım için kullanacağız x' in i . yaklaşımı için i indisini kullanacağız.

$$x^2 = 2 - \sin(2) = 1,09$$

x' teki değişimlerin önemsiz olmasına kadar devam ediyoruz.

Yukarıdaki tabloda 14 yaklaşım görülmektedir.

Uygulama 4 : Önceki örnek bu kez Newton - Raphson yöntemiyle çözülecektir.

$$\text{Çözüm : } f(x) = x + \sin x - 2 = 0$$

$$f_x = 1 + \cos x$$

Recursion bağıntısı ;

$$x^{k+1} = x^k - \frac{f^k}{f_x^k} = x^k - \frac{x^k + \sin x^k - 2}{1 + \cos x^k}$$

Tablo 4.2 Uygulama 4 için yaklaşım tablosu

Yaklaşım (k)	x^k
0	0
1	1
2	1,103
3	1,10606

Yük akış örneğinin çözümü :

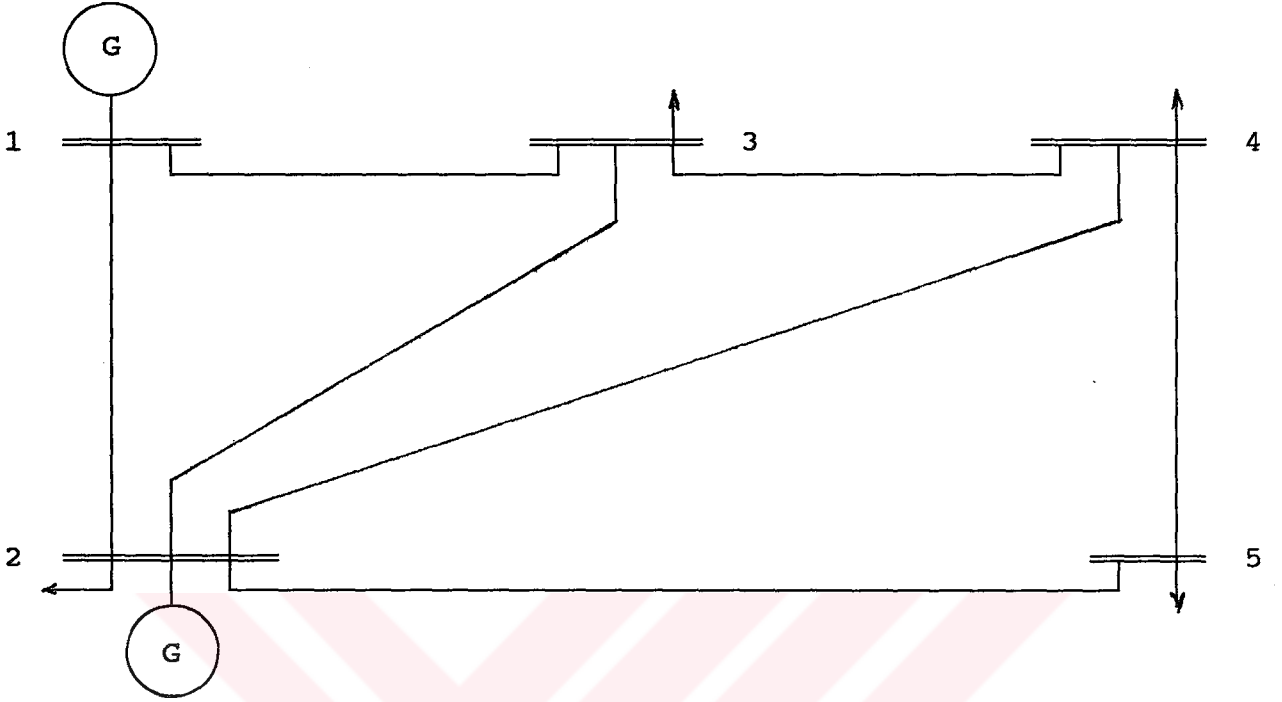
Yük akış probleminin çözümü için yöntemler Şekil 4.2' de verilen örnek güç sistemi için aşağıda çözümlerle açıklanmıştır.

Uygulama 5 :

1 barası referans bara olarak kabul edilerek aşağıdaki metodları kullanılarak yük akışı problemi çözülecektir :

a. Gauss - Seidel ile Ybara bulunması metodu kullanılarak gerilimin reel ve imajiner bileşenleri, ± 0.0001 tolerans ile ve hızlandırma faktörü 1.4 için per-unit olarak bulunacaktır.

b. Newton - Raphson ile Ybara bulunması metodu kullanılarak aktif ve reaktif bara güçlerindeki değişimler, ± 0.01 tolerans ile bulunacaktır.



Şekil 4.2 Yük akış çözümü için örnek sistem

Çözüm :

İletim hatları empedansları ve hat şönt admitansları per-unit olarak $S_{baz} = 100$ MVA için Tablo 4.3' de verilmiştir. Verilen yük ve üretim güçleri ile bara gerilimlerinin kabul edilen değerleri per-unit olarak Tablo 4.4' te verilmiştir.

Tablo 4.3 Sistemin z_{ij} ve $y_{ij}'/2$ değerleri

Bara kodu $i - j$	Empedans z_{ij}	$y_{ij}'/2$
1 - 2	$0.02 + j0.06$	$0.0 + j0.030$
1 - 3	$0.08 + j0.24$	$0.0 + j0.025$
2 - 3	$0.06 + j0.18$	$0.0 + j0.020$
2 - 4	$0.06 + j0.18$	$0.0 + j0.020$
2 - 5	$0.04 + j0.12$	$0.0 + j0.015$
3 - 4	$0.01 + j0.03$	$0.0 + j0.010$
4 - 5	$0.08 + j0.24$	$0.0 + j0.025$

a. Gauss - Seidel iteratif çözümü için ifadeler, Şekil 4.2' da verilen bara kod numaraları kullanılarak şöyle yazılabilir ;

Tablo 4.4 Sistemin verilen üretim, yük ve gerilim değerleri

Bara i	Gerilim V	Megawat Pg	Megavar Qg	Megawat Pl	Megavar Ql
1	1.06 + j0.0	0	0	0	0
2	1.0 + j0.0	40	30	20	20
3	1.0 + j0.0	0	0	45	15
4	1.0 + j0.0	0	0	40	5
5	1.0 + j0.0	0	0	60	10

$$E_1 = 1.06 + j0.0$$

$$E_2^{k+1} = \frac{KL_2}{(E_2^k)^*} - YL_{21} E_1 - YL_{23} E_3^k - YL_{24} E_4^k - YL_{25} E_5^k$$

$$E_3^{k+1} = \frac{KL_3}{(E_3^k)^*} - YL_{31} E_1 - YL_{32} E_2^{k+1} - YL_{34} E_4^k$$

$$E_4^{k+1} = \frac{KL_4}{(E_4^k)^*} - YL_{42} E_2^{k+1} - YL_{43} E_3^{k+1} - YL_{45} E_5^k$$

$$E_5^{k+1} = \frac{KL_5}{(E_5^k)^*} - YL_{52} E_2^{k+1} - YL_{54} E_4^{k+1}$$

Bu ifadelere göre parametreler sıra ile hesaplanır, önce top-
rak referans iken iletim hattı ve hat şönt admitanslarından bara
admitans matrisinin elemanları belirlenir. Hat empedanslarının
inversi alınarak elde edilen iletim hattının admitansları ile
bunun yanı sıra, her baradaki toprağa olan toplam şönt admitanslar
Tablo 4.5' te gösterilmiştir. Burada sistemde karşılıklı kuplaj
etkisi olmadığı kabul edilmiştir. 1 no'lu bara için bara admitans
matrisinin diagonal elemanları ;

$$Y_{11} = y_{12} + y_{13} + y_1$$

Burada y_1 , 1 barasından toprağa olan şönt admitansın toplamıdır.

Böylece, Y_{ii} ;

$$\begin{array}{r} 5.00000 - j15.00000 \\ 1.25000 - j 3.75000 \\ 0.0 \quad + j 0.05500 \end{array}$$

$$6.25000 - j18.69500$$

Diagonal olmayan elemanlar ise;

$$Y_{12} = Y_{21} = - y_{12} = - 5.00000 + j15.00000$$

$$Y_{13} = Y_{31} = - y_{13} = - 1.25000 + j 3.75000$$

olacaktır.

Tablo 4.5 Sistemdeki baralar ile toprak arasındaki admitans ve hat admitansları

Bara kodu i - j	Hat admitansları y_{ij}
1 - 2	5.00000 + j15.00000
1 - 3	1.25000 + j 3.75000
2 - 3	1.66667 + j 5.00000
2 - 4	1.66667 + j 5.00000
2 - 5	2.50000 + j 7.50000
3 - 4	10.00000 + j30.00000
4 - 5	1.25000 + j 3.75000

Bara i	Toprağa olan admitans y_i
1	0.0 + j0.05500
2	0.0 + j0.08500
3	0.0 + j0.05500
4	0.0 + j0.05500
5	0.0 + j0.04000

Örnek sistem için referans toprak iken bara admitans matrisi aşağıdaki gibidir.

$$Y_{\text{dev}} = \begin{bmatrix} 6.25-j18.69 & -5.00+j15.00 & -1.25+j 3.75 & & \\ -5.00+j15.00 & 10.83-j32.41 & -1.67+j 5.00 & -1.67+j5.00 & -2.50+j7.50 \\ -1.25+j 3.75 & -1.67+j 5.00 & 12.92-j38.69 & -10.0+j30.0 & \\ & -1.67+j 5.00 & -10.0+j30.0 & 12.92-j38.6 & -1.25+j3.75 \\ & -2.50+j7.50 & & -1.25+j3.75 & 3.75-j11.21 \end{bmatrix}$$

KLi değerlerini aşağıdaki ifadeden bulabiliriz ;

$$KLi = (Pi - jQi)Li = (Pi - jQi) \frac{1}{Yii} \quad i = 1,2,\dots,n$$

Burada $Pi - jQi$ değeri i barasındaki verilen net yükün per-unit değeridir. 2 no'lu bara için ;

$$KL_2 = (0.20 - j0.20) \frac{1}{10.83334 - j32.41500}$$

$$= 0.00740 + j0.00370$$

Bulunan bütün KLi değerleri Tablo 4.6' te verilmiştir.

Tablo 4.6 KLi değerleri

Bara i	KLi
1	0.0 + j0.0
2	0.00740 + j0.00370
3	-0.00698 - j0.00930
4	-0.00427 - j0.00891
5	-0.02413 - j0.04545

YLij değerlerini aşağıdaki ifadeden bulabiliriz.

$$YLij = YijLi = Yij \frac{1}{Yii} \quad i,j = 1,2,\dots,n$$

1-2 hattı için ;

$$Y_{L12} = (-5.00000 + j15.00000) \frac{1}{6.25000 - j18.69500}$$

$$= -0.80212 + j0.00071$$

Bulunan bütün Y_{Lij} değerleri Tablo 4.7' da verilmiştir.

Tablo 4.7 Y_{Lij} değerleri

Bara kodu i - j	Y_{Lij}
1 - 2	-0.80212 + j0.00071
1 - 3	-0.20053 + j0.00018
2 - 1	-0.46263 + j0.00036
2 - 3	-0.15421 + j0.00012
2 - 4	-0.15421 + j0.00012
2 - 5	-0.23131 + j0.00018
3 - 1	-0.09690 + j0.00004
3 - 2	-0.12920 + j0.00006
3 - 4	-0.77518 + j0.00033
4 - 2	-0.12920 + j0.00006
4 - 3	-0.77518 + j0.00033
4 - 5	-0.09690 + j0.00004
5 - 2	-0.66881 + j0.00072
5 - 4	-0.33440 + j0.00036

Özel bir yük akış probleminin çözümü için referans bara ile K_{Li} ve Y_{Lij} parametrelerinin bileştirilerek hesaplanması gereksizdir. Gerçek bir planlama ve işletme çalışmaları için, yine de, referans bara sonraki yük akış çözümü durumlarında sık sık değişmektedir. Eğer bütün baraların parametreleri hesaplanıp uygun data listelerinde saklanırsa, bu tip değişiklik kolayca yapılabilir.

İteratif çözümdeki ilk adım, 2 no'lu bara için gerilimin yeni (kaba) değerinin hesaplanmasıdır. Bu değer aşağıdaki ifadeden hesaplanır ;

$$E_2^{(4)} = \frac{KL_2}{(E_2^{(0)})^*} - YL_{21} E_1 - YL_{23} E_3^{(0)} - YL_{24} E_4^{(0)} - YL_{25} E_5^{(0)}$$

$$\begin{aligned} E_2^{(4)} &= \frac{0.00740 + j0.00370}{1.0 - j0.0} - (-0.46263 + j0.00036)(1.06 + j0.0) \\ &\quad - (-0.15421 + j0.00012)(1.0 + j0.0) \\ &\quad - (-0.15421 + j0.00012)(1.0 + j0.0) \\ &\quad - (-0.23131 + j0.00018)(1.0 + j0.0) \\ &= 1.03752 + j0.00290 \end{aligned}$$

Gerilimdeki değişim ise ;

$$\Delta E_2^{(4)} = 0.03752 + j0.00290$$

şeklindedir. Aşağıdaki ifadeden gerilimin hızlandırılmış değeri bulunur ;

$$E_2^{(4)}(\text{hızlandırılmış}) = E_2^{(0)} + \alpha \Delta E_2^{(4)}$$

$$\begin{aligned} E_2^{(4)}(\text{hızlandırılmış}) &= 1.0 + j0.0 + 1.4(0.03752 + j0.00290) \\ &= 1.05253 + j0.00406 \end{aligned}$$

Bu değer 2 no'lu bara için ilk kaba değerin yerine konur ve öbürki baralar için diğer gerilimlerin hesaplanmasında kullanılır. Aşağıdaki ifadeden 3 no'lu baradaki gerilimin yeni (kaba) değerini bulabiliriz.

$$E_3^{(4)} = \frac{KL_3}{(E_3^{(0)})^*} - YL_{31} E_1 - YL_{32} E_2^{(4)} - YL_{34} E_4^{(0)}$$

$$\begin{aligned} E_3^{(4)} &= \frac{-0.00698 - j0.00930}{1.0 - j0.0} - (-0.09690 + j0.00004)(1.06 + j0.0) \\ &\quad - (-0.12920 + j0.00006)(1.05253 + j0.00406) \\ &\quad - (-0.77518 + j0.00033)(1.0 + j0.0) \\ &= 1.00690 - j0.00921 \end{aligned}$$

Gerilimdeki değişim ise ;

$$\Delta E_3^{(1)} = 0.00690 - j0.00921$$

olur. Aşağıdaki ifadeden gerilimin hızlandırılmış değeri bulunur ;

$$E_3^{(1)} = E_3^{(0)} + \alpha \Delta E_3^{(1)}$$

$$E_3^{(1)} = 1.0 + j0.0 + 1.4(0.00690 - j0.00921)$$

$$= 1.00966 - j0.01289$$

Bu değer 3 no'lu bara için ilk (kaba) değerin yerine konur ve öbürki baralar için diğer gerilimlerin hesaplanmasında kullanılır. Bu işlem bir iterasyon sonuçlanıncaya kadar, öbür baralar için devam eder. Eğer işlem yakınsamazsa, gerilimin yeni kaba değerleri 2 no'lu bara ile tekrar başlayarak bütün baralar için hesaplanır. Bütün iterasyonlar için bara gerilimleri Tablo 4.8' de verilmiştir ve gerilimlerdeki değişimler Tablo 4.9' de verilmiştir.

Tablo 4.8 Gauss-Seidel iteratif çözümü kullanılarak bulunan bara gerilimleri

İterasyon k	Bara Gerilimleri							
	Bara 2		Bara 3		Bara 4		Bara 5	
0	1.0	+j0.0	1.0	+j0.0	1.0	+j0.0	1.0	+j0.0
1	1.0525	+j0.0040	1.0096	-j0.0128	1.0157	-j0.0263	1.0272	-j0.0737
2	1.0452	-j0.0301	1.0215	-j0.0422	1.0245	-j0.0635	1.0102	-j0.0893
3	1.0473	-j0.0361	1.0263	-j0.0715	1.0239	-j0.0832	1.0171	-j0.0982
4	1.0496	-j0.0473	1.0239	-j0.0828	1.0226	-j0.0907	1.0157	-j0.1078
5	1.0474	-j0.0501	1.0230	-j0.0869	1.0214	-j0.0939	1.0131	-j0.1078
6	1.0470	-j0.0505	1.0219	-j0.0887	1.0203	-j0.0947	1.0131	-j0.1087
7	1.0467	-j0.0512	1.0210	-j0.0890	1.0197	-j0.0949	1.0125	-j0.1090
8	1.0463	-j0.0512	1.0207	-j0.0891	1.0194	-j0.0950	1.0122	-j0.1089
9	1.0463	-j0.0512	1.0204	-j0.0891	1.0192	-j0.0950	1.0121	-j0.1090
10	1.0462	-j0.0512	1.0203	-j0.0891	1.0192	-j0.0950	1.0121	-j0.1090

Tablo 4.9 Gauss-Seidel iteratif çözümü kullanılarak bulunan bara gerilimleri değişimleri

İterasyon k	Bara Gerilimleri Değişimleri							
	Bara 2		Bara 3		Bara 4		Bara 5	
0	0.0	+j0.0	0.0	+j0.0	0.0	+j0.0	0.0	+j0.0
1	0.0525	+j0.0040	0.0096	-j0.0128	0.0157	-j0.0263	0.0272	-j0.0737
2	-0.0072	-j0.0342	0.0118	-j0.0293	0.0087	-j0.0371	-0.0710	-j0.0155
3	0.0020	-j0.0060	0.0048	-j0.0292	-0.0005	-j0.0197	0.0068	-j0.0089
4	0.0023	-j0.0111	-0.0024	-j0.0113	-0.0012	-j0.0075	-0.0013	-j0.0096
5	-0.0021	-j0.0028	-0.0009	-j0.0040	-0.0012	-j0.0031	-0.0026	+j0.0000
6	-0.0004	-j0.0004	-0.0010	-j0.0018	-0.0011	-j0.0008	0.0000	-j0.0009
7	-0.0003	-j0.0007	-0.0008	-j0.0002	-0.0005	-j0.0002	-0.0006	-j0.0003
8	-0.0003	+j0.0000	-0.0003	-j0.0001	-0.0003	-j0.0000	-0.0003	+j0.0001
9	-0.0000	-j0.0000	-0.0002	-j0.0000	-0.0001	-j0.0000	-0.0000	-j0.0001
10	-0.0000	-j0.0000	-0.0001	+j0.0000	-0.0000	-j0.0000	-0.0000	+j0.0000

Hat yüklenmeleri verilen hat admitansları, şönt admitanslar ve son bara gerilimleri ile hesaplanır. 1 no'lu baradan, 1 - 2 hattındaki yükü aşağıdaki ifadeden bulursak ;

$$P_{1j} - jQ_{1j} = E_i(E_i - E_j)y_{ij} + E_i E_j \frac{y_{ij}'}{2}$$

$$\begin{aligned} P_{12} - jQ_{12} &= (1.06 - j0.0)\{1.06 + j0.0 \\ &\quad - (1.04623 - j0.05126)\}(5.0 - j15.0) \\ &\quad + (1.06 - j0.0)(1.06 + j0.0)(0.0 + j0.03) \\ &= 0.888 + j0.086 \end{aligned}$$

Bulunan bu değerler per-unit cinsindedir. Bunları S_{baz} ile çarptığımızda yük megawat ve megavar olarak bulunur.

$$P_{12} - jQ_{12} = 88.8 + j8.6$$

2 no'lu baradan 2 - 1 baraları yönündeki yük akışı ;

$$\begin{aligned} P_{21} - jQ_{21} &= (1.04623 + j0.05126)\{1.04623 - j0.05126 \\ &\quad - (1.06 + j0.0)\}(5.0 - j15.0) \\ &\quad + (1.04623 + j0.05126)(1.04623 - j0.05126)(0.0 + j0.3) \\ &= - 0.874 - j0.062 \end{aligned}$$

Bu değeri S_{baz} ile çarptığımızda, megawat ve megavar değeri ;

$$P_{21} - jQ_{21} = -87.4 - j6.2$$

Bulunan bütün yük akışları Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10 Hesaplanan yük değerleri

Bara kodu i - j	P1	Q1
1 - 2	88.8	-8.6
1 - 3	40.7	1.1
2 - 1	-87.4	6.2
2 - 3	24.7	3.5
2 - 4	27.9	3.0
2 - 5	54.8	7.4
3 - 1	-39.5	-3.0
3 - 2	-24.3	-6.8
3 - 4	18.9	-5.1
4 - 2	-27.5	-5.9
4 - 3	-18.9	3.2
4 - 5	6.3	-2.3
5 - 2	-53.7	-7.2
5 - 4	-6.3	-2.8

Referans bara yükü, baraya ait hatlardaki yüklerin toplanmasıyla bulunur. Referans baranın aktif gücü 129.5 megawat ve reaktif gücü -7.5 megavardır.

b. Newton-Raphson metodu ile bir yük akış probleminin çözümü için matris ifadesi aşağıdaki gibiydi ;

$$\begin{bmatrix} \Delta P^k \\ \Delta Q^k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1^k & J_2^k \\ J_3^k & J_4^k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta e^k \\ \Delta f^k \end{bmatrix}$$

Bu ifade referans barayı içermez. Bara yüklerindeki değişimler şu denklemlerden bulunabilir ;

$$\Delta P_i^k = P_i(\text{verilen}) - P_i^k$$

$$\Delta Q_i^k = Q_i(\text{verilen}) - Q_i^k$$

burada $P_i(\text{verilen})$ ve $Q_i(\text{verilen})$ per-unit olarak net güçlerdir ve Tablo 4.4' ten elde edilmiştir. Bara güçlerini, Tablo 4.4'te verilen ilk bara gerilimleri ve bara admitans matrisinin elemanlarını kullanarak aşağıdaki ifadelerden hesaplırsak ;

$$P_i^k = \sum_{j=1}^n \{e_i^k (e_j^k G_{ij} + f_j^k B_{ij}) + f_i^k (f_j^k G_{ij} - e_j^k B_{ij})\}$$

$$Q_i^k = \sum_{j=1}^n \{f_i^k (e_j^k G_{ij} + f_j^k B_{ij}) - e_i^k (f_j^k G_{ij} - e_j^k B_{ij})\}$$

2 no'lu bara için aktif ve reaktif yükler ;

$$\begin{aligned} P_2^{(0)} &= 1.0\{1.06(-5.00000) + 0.0(-15.00000)\} \\ &\quad + 0.0\{0.0(-5.00000) - 1.06(-15.00000)\} \\ &\quad + 1.0\{1.0(10.83334) + 0.0(32.41500)\} \\ &\quad + 0.0\{0.0(10.83334) - 1.0(32.41500)\} \\ &\quad + 1.0\{1.0(-1.66667) + 0.0(-5.00000)\} \\ &\quad + 0.0\{0.0(-1.66667) - 1.0(-5.00000)\} \\ &\quad + 1.0\{1.0(-1.66667) + 0.0(-5.00000)\} \\ &\quad + 0.0\{0.0(-1.66667) - 1.0(-5.00000)\} \\ &\quad + 1.0\{1.0(-2.50000) + 0.0(-7.50000)\} \\ &\quad + 0.0\{0.0(-2.50000) - 1.0(-7.50000)\} \\ &= - 0.30000 \quad \text{ve ;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_2^{(0)} &= 0.0\{1.06(-5.00000) + 0.0(-15.00000)\} \\ &\quad - 1.0\{0.0(-5.00000) - 1.06(-15.00000)\} \\ &\quad + 0.0\{1.0(10.83334) + 0.0(32.41500)\} \\ &\quad - 1.0\{0.0(10.83334) - 1.0(32.41500)\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 0.0\{1.0(-1.66667) + 0.0(-5.00000)\} \\
& - 1.0\{0.0(-1.66667) - 1.0(-5.00000)\} \\
& + 0.0\{1.0(-1.66667) + 0.0(-5.00000)\} \\
& - 1.0\{0.0(-1.66667) - 1.0(-5.00000)\} \\
& + 0.0\{1.0(-2.50000) + 0.0(-7.50000)\} \\
& - 1.0\{0.0(-2.50000) - 1.0(-7.50000)\} \\
& = - 0.98500
\end{aligned}$$

Hesaplanan diğer bara yükleri ise ;

$$P_3^{(e)} = - 0.07500$$

$$P_4^{(e)} = 0.0$$

$$P_5^{(e)} = 0.0$$

$$Q_3^{(e)} = - 0.28000$$

$$Q_4^{(e)} = - 0.05500$$

$$Q_5^{(e)} = - 0.04000$$

2 no'lu bara için aktif ve reaktif yüklerdeki değişimler ;

$$\Delta P_2^{(e)} = 0.20000 - (-0.30000) = 0.50000$$

$$\Delta Q_2^{(e)} = 0.98500 - (-0.30000) = 1.18500$$

Hesaplanan diğer bara yüklerindeki değişimler ise ;

$$\Delta P_3^{(e)} = - 0.37500$$

$$\Delta P_4^{(e)} = - 0.40000$$

$$\Delta P_5^{(e)} = - 0.60000$$

$$\Delta Q_3^{(e)} = 0.13000$$

$$\Delta Q_4^{(e)} = 0.00500$$

$$\Delta Q_5^{(e)} = - 0.06000$$

Jakobyenin elemanları belirlemek için aşağıdaki ifade kullanılarak bara akımları bulunur.

$$I_i^k = \frac{P_i^k - jQ_i^k}{(E_i^k)^*}$$

2 no'lu bara için ;

$$\begin{aligned} I_2^{(0)} &= \frac{-0.30000 - j(-0.98500)}{1.0 - j0.0} \\ &= -0.30000 + j0.98500 \end{aligned}$$

2 no'lu baranın ci ve di bileşenleri ;

$$c_2^{(0)} = -0.30000 \quad , \quad d_2^{(0)} = 0.98500$$

Hesaplanan diğer akımların ci ve di bileşenleri ;

$$\begin{aligned} c_3^{(0)} &= -0.07500 \quad , \quad d_3^{(0)} = 0.28000 \\ c_4^{(0)} &= 0.0 \quad , \quad d_4^{(0)} = 0.05500 \\ c_5^{(0)} &= 0.0 \quad , \quad d_5^{(0)} = 0.04000 \end{aligned}$$

Jakobyenin elemanları, bara gerilimleri, akımlar ve bara admitans matrisinin elemanları kullanılarak hesaplanabilir. Önce J_1^k 'nin diagonaldeki elemanları aşağıdaki ifadeden bulunur ;

$$\frac{\partial P_i}{\partial e_i} = e_i^k G_{ii} - f_i^k B_{ii} + c_i^k$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_2}{\partial e_2} &= 1.0(10.83334) - 0.0(32.41500) + (-0.30000) \\ &= 10.53334 \end{aligned}$$

ve diagonalde olmayan elemanlar ;

$$\frac{\partial P_i}{\partial e_j} = e_i^k G_{ij} - f_i^k B_{ij}$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial e_3} = 1.0(-1.66667) - 0.0(-5.00000) = -1.66667$$

$$\frac{P_2}{e_4} = 1.0(-1.66667) - 0.0(-5.00000) = -1.66667$$

$$\frac{P_2}{e_5} = 1.0(-2.50000) - 0.0(-7.50000) = -2.50000$$

J_2^k ' nın diagonalde olan elemanları ;

$$\frac{\partial P_i}{\partial f_i} = e_i^k B_{ii} + f_i^k G_{ii} + d_i^k$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_2}{\partial f_2} &= 1.0(32.41500) + 0.0(10.83334) + 0.98500 \\ &= 33.40000 \end{aligned}$$

ve diagonalde olmayan elemanları ;

$$\frac{\partial P_i}{\partial f_j} = e_i^k B_{ij} + f_i^k G_{ij}$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial f_3} = 1.0(-5.00000) + 0.0(-1.66667) = -5.00000$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial f_4} = 1.0(-5.00000) + 0.0(-1.66667) = -5.00000$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial f_5} = 1.0(-7.50000) + 0.0(-2.50000) = -7.50000$$

J_3^k ' nın diagonalde olan elemanları ;

$$\frac{\partial Q_i}{\partial e_i} = e_i^k B_{ii} + f_i^k G_{ii} - d_i^k$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_2}{\partial e_2} &= 1.0(32.41500) + 0.0(10.83334) - 0.98500 \\ &= 31.43000 \end{aligned}$$

ve diagonalde olmayan elemanları ;

$$\frac{\partial Q_i}{\partial e_j} = f_i^k G_{ij} + e_i^k B_{ij}$$

$$\frac{\partial Q_1}{\partial e_3} = 0.0(-1.66667) + 1.0(-5.00000) = - 5.00000$$

$$\frac{\partial Q_1}{\partial e_4} = 0.0(-1.66667) + 1.0(-5.00000) = - 5.00000$$

$$\frac{\partial Q_1}{\partial e_5} = 0.0(-2.50000) + 1.0(-7.50000) = - 7.50000$$

J_4^k ' nın diagonalde olan elemanları ;

$$\frac{\partial Q_i}{\partial f_i} = -e_i^k G_{ii} + f_i^k B_{ii} + c_i^k$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_1}{\partial f_1} &= -1.0(10.83334) + 0.0(32.41500) + (-0.30000) \\ &= -11.13334 \end{aligned}$$

ve diagonalde olmayan elemanları ;

$$\frac{\partial Q_i}{\partial f_j} = f_i^k B_{ij} - e_i^k G_{ij}$$

$$\frac{\partial Q_1}{\partial f_3} = 0.0(-5.00000) - 1.0(-1.66667) = 1.66667$$

$$\frac{\partial Q_1}{\partial f_4} = 0.0(-5.00000) - 1.0(-1.66667) = 1.66667$$

$$\frac{\partial Q_1}{\partial f_5} = 0.0(-7.50000) - 1.0(-2.50000) = 2.50000$$

Bu işlemler tekrarlanırsa $k = 0$ olduğu zaman Jakobyenin öbür elemanları da bulunmuş olur.

$$J_1 = \begin{bmatrix} 10.53334 & -1.66667 & -1.66667 & -2.50000 \\ -1.66667 & 12.84167 & -10.00000 & 0.0 \\ -1.66667 & -10.00000 & 12.91667 & -1.25000 \\ -2.50000 & 0.0 & -1.25000 & 3.75000 \end{bmatrix}$$

$$J_2 = \begin{bmatrix} 33.40000 & -5.00000 & -5.00000 & -7.50000 \\ -5.00000 & 38.97500 & -30.00000 & 0.0 \\ -5.00000 & -30.00000 & 38.75000 & -3.75000 \\ -7.50000 & 0.0 & -3.75000 & 11.25000 \end{bmatrix}$$

$$J_3 = \begin{bmatrix} 31.43000 & -5.00000 & -5.00000 & -7.50000 \\ -5.00000 & 38.41500 & -30.00000 & 0.0 \\ -5.00000 & -30.00000 & 38.64000 & -3.75000 \\ -7.50000 & 0.0 & -3.75000 & 11.17000 \end{bmatrix}$$

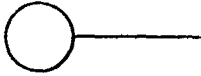
$$J_4 = \begin{bmatrix} -11.13334 & 1.66667 & 1.66667 & 2.50000 \\ 1.66667 & -12.99167 & 10.00000 & 0.0 \\ 1.66667 & 10.00000 & -12.91667 & 1.25000 \\ 2.50000 & 0.0 & 1.25000 & -3.75000 \end{bmatrix}$$

KAYNAKLAR

1. Bennet, J. M : Digital Computer and the Load Flow Program, Proc. Brit. Inst. Elec. Engrs., vol. 103, 1956.
2. Brown, H. E., G. K. Carter, H.H. Happ, and C. E. Person : Power Flow Solution by Impedans Matrix Iterative Method, 1963
3. Cronin, J. H., and M. B. Newman : Digital Load Flow Program for 1,000 Bus Systems, 1964.
4. Dunstan, L. A.: Digital Load Flow Studies, 1954.
5. El-Abiad, A.H., M. Watson, and G. W. Stagg : The Load Flow Problem - Its Formulation and Solution, 1961.
6. Glimn, P. P., and M. W. Humphrey-Davies : Digital Computers in Power System Analysis, 1961.
7. Henderson, J. M.: Automatic Digital Computer Solution of Load Flow Studies, 1954.
8. Stagg, Glenn W, El-Abiad, Ahmet H, Computer Methods in Power System Analysis, 1985.
9. Van Ness, James E., and John H. Griffin : Elimination Methods for Load Flow Studies, 1961.
10. Yükseler, Nusret, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Ders Notları, 1992.

EK-1

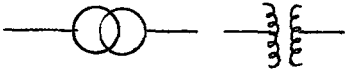
GÖSTERİM (ŞEMA) LİSTESİ



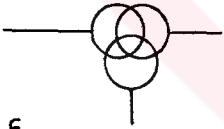
Döner makina



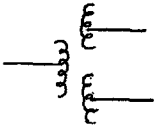
Bara



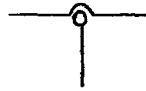
2 sargılı trans.



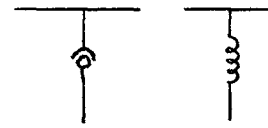
3 sargılı trans.



Statik yük



Akım transf.



Gerilim transf.



Kapasitör



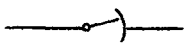
İletim hattı



(Delta) Üçgen



(Wye) Yıldız



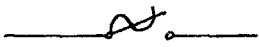
Ayırıcı



Toprak



Sigorta



Sigortalı ayırıcı



Kesici

EK - 2 :

GAUSS-SEIDEL YÖNTEMİ İLE VE NEWTON - RAPHSON YÖNTEMİ İLE
YBARA DEĞERLERİNİ BULMAYA İLİŞKİN BASIC PROGRAM DİLİ YAZILIMI

```
10 REM *****
20 REM *** GAUSS - SEIDEL YONTEMI ILE VE NEWTON - RAPHSON ***
30 REM ***** YONTEMI ILE YBARA DEGERLERINI BULMAYA *****
40 REM ***** ILISKIN PROGRAM*****
50 REM *****
60 INPUT "BARA SAYISI      : ";BARA
70 INPUT "HAT SAYISI      : ";HAT
80 INPUT "TRANSF. SAYISI   : ";TRF
90 INPUT "BAZ GUCU        : ";SBAZ
100 INPUT "ALFA SAYISI     : ";A
110 FOR I=1 TO HAT
120 INPUT "HAT KODU 1      : ";HK1(I)
130 INPUT "HAT KODU 2      : ";HK2(I)
140 INPUT "EMPEDANS (REEL) : ";EMPR(I)
150 INPUT "EMPEDANS (IMAJINER): ";EMPI(I)
160 INPUT "SONT ADMITTANS (RE): ";ADMR(I)
170 INPUT "SONT ADMITTANS (IM): ";ADMI(I)
180 ADMMR(HK1(I),HK2(I))=ADMR(I)
190 ADMMI(HK1(I),HK2(I))=ADMI(I)
200 ADMMR(HK2(I),HK1(I))=ADMR(I)
210 ADMMI(HK2(I),HK1(I))=ADMI(I)
220 NEXT I
230 PRINT " HAT KODU          HAT EMPEDANSI      HAT DEGISIMI"
240 PRINT "  p - q              z pq              y'pq/2  "
250 FOR H=1 TO HAT
260 PRINT HK1(H);"-";HK2(H);"          ";EMPR(H);" " ";EMPI(H);"          ";ADMR(H);" " ";A
DMI(H)
270 NEXT H
280 FOR J=1 TO BARA
290 PRINT J;:INPUT ". BARA GER. (REEL): ";ER(J,0)
300 PRINT J;:INPUT ". BARA GER. (IM.) : ";EI(J,0)
310 PRINT J;:INPUT ". GENERATOR PG      : ";PG(J)
320 PRINT J;:INPUT ". GENERATOR QG      : ";QG(J)
330 PRINT J;:INPUT ". YUK PL          : ";PL(J)
340 PRINT J;:INPUT ". YUK QL          : ";QL(J)
350 NEXT J
360 PRINT "BARA KODU      BARA GERILIMI      PG      QG      PL      QL"
370 PRINT "  p                      "
380 FOR G=1 TO BARA
390 PRINT "  ";G;" " ";ER(G,0);" " ";EI(G,0);" " ";PG(G);" " ";QG(G);" " ";PL(G);
" " ";QL(G)
400 NEXT G
410 FOR I=1 TO HAT
420 LADMR(I)=EMPR(I)/((EMPR(I)*EMPR(I))+EMPI(I)*EMPI(I)))
```

```

430 LADMI(I)=(-1)*EMPI(I)/((EMPR(I)*EMPR(I))+(EMPI(I)*EMPI(I)))
440 NEXT I
450 FOR I=1 TO HAT
460 LADMMR(HK1(I),HK2(I))=LADMR(I)
470 LADMMI(HK1(I),HK2(I))=LADMI(I)
480 LADMMR(HK2(I),HK1(I))=LADMR(I)
490 LADMMI(HK2(I),HK1(I))=LADMI(I)
500 NEXT I
510 REM **** TOPRAK ADM. DEGERLERINI HESAPLAMA ****
520 FOR T=1 TO HAT
530 TADMR(T)=0:TADMI(T)=0
540 NEXT
550 FOR J=1 TO BARA
560 FOR K=1 TO HAT
570 IF HK1(K)=J OR HK2(K)=J THEN 580 ELSE 590
580 TADMR(J)=TADMR(J)+ADMR(K)*100:TADMI(J)=TADMI(J)+ADMI(K)*100
590 NEXT K,J
600 FOR J=1 TO BARA
610 TADMR(J)=TADMR(J)/100:TADMI(J)=TADMI(J)/100
620 NEXT J
630 REM **** HAT VE TOPRAK ADM. DEG. YAZILMASI ****
640 PRINT " HAT KODU HAT ADMITTANSI"
650 PRINT " p - q y pq "
660 FOR I=1 TO HAT
670 PRINT HK1(I);"-";HK2(I);" ";LADMR(I);" j";LADMI(I)
680 NEXT I
690 PRINT "BARA KODU TOP. ADMITTANSI"
700 PRINT " p y p "
710 FOR J=1 TO BARA
720 PRINT J;" ";TADMR(J);" j";TADMI(J)
730 NEXT
740 REM **** YBARA DEG. HESAPLANMASI ****
750 FOR I=1 TO BARA
760 FOR J=1 TO BARA
770 IF I=J THEN 780 ELSE 830
780 FOR T=1 TO HAT
790 IF HK1(T)=I OR HK2(T)=I THEN 800 ELSE 810
800 YR(I,J)=YR(I,J)+LADMR(T):YI(I,J)=YI(I,J)+LADMI(T)
810 NEXT T
820 YR(I,J)=YR(I,J)+TADMR(I):YI(I,J)=YI(I,J)+TADMI(I)
830 NEXT J,I
840 FOR E=1 TO HAT
850 YR(HK1(E),HK2(E))=(-1)*LADMR(E)
860 YI(HK1(E),HK2(E))=(-1)*LADMI(E)
870 YI(HK2(E),HK1(E))=(-1)*LADMI(E)
880 YR(HK2(E),HK1(E))=(-1)*LADMR(E)

```

```

890 NEXT E
900 CLS
910 FOR I=1 TO BARA
920 FOR J=1 TO BARA
930 LOCATE 2+I,J*15-13:PRINT YR(I,J);" ";YI(I,J)
940 NEXT J,I
950 REM **** KLp DEGERLERININ BULLUNMASI ****
960 FOR T=1 TO BARA
970 KLR(T)=(PL(T)*YR(T,T)/SBAZ-QL(T)*YI(T,T)/SBAZ)/(YR(T,T)*YR(T,T)+YI(T,T)*YI(T,T))
980 KLI(T)=(-1)*(PL(T)/SBAZ*YI(T,T)+QL(T)*YR(T,T)/SBAZ)/(YR(T,T)*YR(T,T)+YI(T,T)*YI(T,T))
990 IF T>2 THEN KLR(T)=-1*KLR(T):KLI(T)=-1*KLI(T)
1000 NEXT T
1010 PRINT "BARA KODU          KLp"
1020 FOR T=1 TO BARA
1030 PRINT T;"          ";KLR(T);" ";KLI(T)
1040 NEXT T
1050 REM **** YLpq DEGERLERININ BULLUNMASI ****
1060 FOR I=1 TO BARA
1070 FOR J=1 TO BARA
1080 IF I=J THEN 1120
1090 IF YR(I,J)=0 AND YI(I,J)=0 THEN 1120
1100 YLR(I,J)=(YR(I,J)*YR(I,I)+YI(I,J)*YI(I,I))/(YR(I,I)*YR(I,I)+YI(I,I)*YI(I,I))
1110 YLI(I,J)=(YI(I,J)*YR(I,I)-YR(I,J)*YI(I,I))/(YR(I,I)*YR(I,I)+YI(I,I)*YI(I,I))
1120 NEXT J,I
1130 PRINT "BARA KODU          YLpq"
1140 FOR I=1 TO BARA
1150 FOR J=1 TO BARA
1160 IF YLR(I,J)=0 AND YLI(I,J)=0 THEN 1180
1170 PRINT I;"-";J;"          ";YLR(I,J);" ";YLI(I,J)
1180 NEXT J,I
1190 REM *** GAUSS-SEIDEL ILE E VE DELTA E DEG. BULLUNMASI ****
1200 FOR I=1 TO 10
1210 FOR B=2 TO BARA
1220 ER(B,I)=(KLR(B)*ER(B,I-1)-KLI(B)*EI(B,I-1))/(ER(B,I-1)*ER(B,I-1)+EI(B,I-1)*EI(B,I-1))
1230 EI(B,I)=(KLI(B)*ER(B,I-1)+KLR(B)*EI(B,I-1))/(ER(B,I-1)*ER(B,I-1)+EI(B,I-1)*EI(B,I-1))
1240 IF YLR(B,1)=0 AND YLI(B,1)=0 THEN 1270
1250 ER(B,I)=ER(B,I)-(YLR(B,1)*ER(1,0)-YLI(B,1)*EI(1,0))
1260 EI(B,I)=EI(B,I)-(YLR(B,1)*EI(1,0)+YLI(B,1)*ER(1,0))
1270 FOR J=2 TO BARA
1280 IF YLR(B,J)=0 AND YLI(B,J)=0 THEN 1330
1290 IF B=J THEN 1330
1300 IF J<B THEN M=1 ELSE M=0
1310 ER(B,I)=ER(B,I)-(YLR(B,J)*ER(J,I-1+M)-YLI(B,J)*EI(J,I-1+M))
1320 EI(B,I)=EI(B,I)-(YLR(B,J)*EI(J,I-1+M)+YLI(B,J)*ER(J,I-1+M))
1330 NEXT J
1340 DER(B,I)=ER(B,I)-ER(B,I-1)

```

```

1350 DEI(B,I)=EI(B,I)-EI(B,I-1)
1360 ERA(B,I)=ER(B,I-1)+A*DER(B,I)
1370 EIA(B,I)=EI(B,I-1)+A*DEI(B,I)
1380 ER(B,I)=ERA(B,I)
1390 EI(B,I)=EIA(B,I)
1400 NEXT B
1410 NEXT I
1420 FOR I=1 TO 10
1430 FOR B=2 TO BARA
1440 PRINT "ERA";B;"-";I;" "ERA(B,I);"          EIA";EIA(B,I)
1450 NEXT B
1460 NEXT I
1470 REM *** GAUSS-SEIDEL ILE E DEG. BULLUNMASI ***
1480 FOR I=1 TO 10
1490 FOR B=1 TO BARA
1500 DERA(B,I)=ER(B,I)-ER(B,I-1)
1510 DEIA(B,I)=EI(B,I)-EI(B,I-1)
1520 NEXT B,I
1530 FOR I=1 TO 10
1540 FOR B=2 TO BARA
1550 PRINT "DERA";B;"-";I;" "DERA(B,I);"          DEIA";DEIA(B,I)
1560 NEXT B,I
1570 REM *** HAT YUKLENMELERININ BULLUNMASI ***
1580 FOR I=1 TO BARA
1590 FOR J=1 TO BARA
1600 IF I=J THEN 1730
1610 IF I=1 THEN ER(I,10)=ER(I,0):EI(I,10)=EI(I,1)
1620 NR=ER(I,10)-ER(J,10)
1630 NI=EI(I,10)-EI(J,10)
1640 CR=ER(I,10)*NR+EI(I,10)*NI
1650 CI=ER(I,10)*NI-EI(I,10)*NR
1660 P(I,J)=CR*LADMMR(I,J)-CI*LADMMI(I,J)
1670 Q(I,J)=CR*LADMMI(I,J)+CI*LADMMR(I,J)
1680 FR=ER(I,10)*ER(I,10)+EI(I,10)*EI(I,10)
1690 P(I,J)=P(I,J)+FR*ADMMR(I,J)
1700 Q(I,J)=Q(I,J)+FR*ADMMI(I,J)
1710 P(I,J)=P(I,J)*SBAZ
1720 Q(I,J)=(-1)*Q(I,J)*SBAZ
1730 NEXT J,I
1740 FOR I=1 TO BARA
1750 FOR J=1 TO BARA
1760 IF P(I,J)=0 AND Q(I,J)=0 THEN 1780
1770 PRINT I;"-";J;" "P(I,J);"          ";Q(I,J)
1780 NEXT J,I
1790 FOR I=1 TO BARA
1800 FOR J=1 TO BARA

```

```

1810 SBP=SBP+P(I,J)
1820 SBQ=SBQ+Q(I,J)
1830 NEXT J,I
1840 FOR I=1 TO BARA
1850 SBP=SBP+PL(I)-PG(I)
1860 SBQ=SBQ+QL(I)-QG(I)
1870 NEXT I
1880 PRINT "SLACK BUS POWER =" ; SBP
1890 PRINT "REACTIVE POWER =" ; SBQ
1900 REM *****NEWTON-RAPHSON ILE JAKOBIAN MATRISI OLUSTURULMASI *****
1910 FOR I=2 TO BARA
1920 FOR J=1 TO BARA
1930 PP(I)=PP(I)+ER(I,0)*(ER(J,0)*YR(I,J)+EI(J,0)*YI(I,J))+EI(I,0)*(EI(J,0)*YR(I,
J)-ER(J,0)*YI(I,J))
1940 QP(I)=QP(I)+EI(I,0)*(ER(J,0)*YR(I,J)+EI(J,0)*YI(I,J))-ER(I,0)*(EI(J,0)*YR(I,
J)-ER(J,0)*YI(I,J))
1950 NEXT J,I
1960 FOR I=2 TO BARA
1970 PRINT "PP(" ; I ; ")=" ; PP(I) ; "          " ;
1980 PRINT "QP(" ; I ; ")=" ; QP(I)
1990 NEXT I
2000 FOR I=2 TO BARA
2010 DPP(I)=(-1)*(PL(I)/SBAZ-PP(I))
2020 DQP(I)=(-1)*(QL(I)/SBAZ-QP(I))
2030 NEXT I
2040 FOR I=2 TO BARA
2050 PRINT "DPP(" ; I ; ")=" ; DPP(I) ;
2060 PRINT "DQP(" ; I ; ")=" ; DQP(I)
2070 NEXT I
2080 FOR I=2 TO BARA
2090 C(I)=(PP(I)*ER(I,0)+QP(I)*EI(I,0))/(ER(I,0)*ER(I,0)+EI(I,0)*EI(I,0))
2100 D(I)=(-1)*(PP(I)*EI(I,0)-QP(I)*ER(I,0))/(ER(I,0)*ER(I,0)+EI(I,0)*EI(I,0))
2110 NEXT I
2120 FOR I=2 TO BARA
2130 PRINT "C(" ; I ; ")=" ; C(I) ;
2140 PRINT "D(" ; I ; ")=" ; D(I)
2150 NEXT I
2160 REM ***** JACOBIAN' IN OLUSTURULMASI *****
2170 FOR I=2 TO BARA
2180 FOR J=2 TO BARA
2190 IF I=J THEN 2200 ELSE 2240
2200 PE(I,J)=ER(I,0)*YR(I,J)-EI(I,0)*YI(I,J)+C(I)
2210 PF(I,J)=(-1)*(ER(I,0)*YI(I,J)+EI(I,0)*YR(I,J)+D(I))
2220 QE(I,J)=(-1)*(ER(I,0)*YI(I,J)+EI(I,0)*YR(I,J)-D(I))
2230 QF(I,J)=(-1)*ER(I,0)*YR(I,J)+EI(I,0)*YI(I,J)+C(I):GOTO 2280
2240 PE(I,J)=ER(I,0)*YR(I,J)-EI(I,0)*YI(I,J)
2250 PF(I,J)=(-1)*(ER(I,0)*YI(I,J)+EI(I,0)*YR(I,J))
2260 QE(I,J)=(-1)*(ER(I,0)*YI(I,J)+EI(I,0)*YR(I,J))

```

```
2270 QF(I,J)=(-1)*ER(I,0)*YR(I,J)+EI(I,0)*YI(I,J)
2280 Z(I-1,J-1)=PE(I,J)
2290 Z(I-1,J-2+BARA)=QE(I,J)
2300 Z(I-2+BARA,J-1)=PF(I,J)
2310 Z(I-2+BARA,J-2+BARA)=GF(I,J)
2320 NEXT J,I
2330 PRINT "***** K=0 ICIN J1 DEGERLERI *****"
2340 FOR I=2 TO BARA
2350 FOR J=2 TO BARA
2360 PRINT PE(I,J);
2370 NEXT J
2380 PRINT
2390 NEXT I
2400 PRINT "***** K=0 ICIN J2 DEGERLERI *****"
2410 FOR I=2 TO BARA
2420 FOR J=2 TO BARA
2430 PRINT QE(I,J);
2440 NEXT J
2450 PRINT
2460 NEXT I
2470 PRINT "***** K=0 ICIN J3 DEGERLERI *****"
2480 FOR I=2 TO BARA
2490 FOR J=2 TO BARA
2500 PRINT PF(I,J);
2510 NEXT J
2520 PRINT
2530 NEXT I
2540 PRINT "***** K=0 ICIN J4 DEGERLERI *****"
2550 FOR I=2 TO BARA
2560 FOR J=2 TO BARA
2570 PRINT GF(I,J);
2580 NEXT J
2590 PRINT
2600 NEXT I
2610 FOR I=1 TO 2*BARA-2
2620 FOR J=1 TO 2*BARA-2
2630 PRINT Z(I,J);
2640 NEXT J
2650 PRINT
2660 NEXT I
```

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	19.Şubat.1967
Doğum Yeri	Adapazarı
İlk ve Ortaokul	Adapazarı
Lise	Adap. End. Meslek Lisesi (1981)
Üniversiteye Başlangıç	Anadolu Üniversitesi M.M.F. Elk.-Elektronik Böl. (1984)
Yatay Geçiş	İ.T.Ü. Sakarya Müh. Fak. (1986)
Yüksek Lisans	Yıldız Teknik Ün. Fen Bilimleri Enstitüsü (1991)