

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Güç Sist. SİM. ve AŞİ. ANİ. BİL. ANA.

Yüksek Lisans Tezi

Şerafettin Özbey

1987

5500
YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ SİSTEMLERİNDE
SİMETRİK VE
ASİMETRİK
ARIZALARIN
BİLGİSAYARLA ANALİZİ

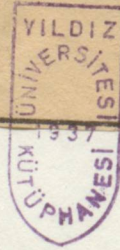
ELK. MÜH. SERAFETTİN ÖZBEY

İSTANBUL 1987

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
85284

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
GENEL KİTAPLIĞI

Kot : R 152
Alındığı Yer : Fen Bil Ens. 55
Tarih : 7.12.1988
Fatura :
Fiatı : 5500 TL.
Ayniyat No : 1/21
Kayıt No : 45740
UDC : 001.64
Ek : 378.242



ÖNSÖZ

1986 / 1987 öğretim yılında "Güç Sistemlerinde Simetrik ve Asimetrik Arızaların Bilgisayarla Analizi " adlı lisans üstü tezini bitirmiş bulunmaktayım. Bu tezi bana veren ve tez çalışmam esnasında bana yardımcı olan sayın hocam Doç. Dr. Hüseyin Çakır beye teşekkür eder saygılarımı sunarım. Tez çalışmalarımda bana yardımcı olan Araştırma Görevlisi Ferit Altar beye teşekkür ederim. Bu tezi hazırlamak için gerekli bilgi birikimini veren ders hocalarıma ve Elektrik Mühendisliği Bölümü hocalarının tümüne teşekkürü borç bilirim. Bana bilgisayarda çalışma izni veren sayın Prof. Dr. M. Yahya Karslıgil'e teşekkür ederim.

Tezde ilk önce bilgisayar programının yapılabilmesi için gerekli bilgiler en sonundada bilgisayar programı ve problemlere uygulanışı görülmektedir.

Yıldız - 1987

Şerafettin Özbey

ÖZET

Bu tezde Güç Sistemlerinde meydana gelen arızaların bilgisayara uygulanışı anlatılmaktadır.

Birinci bölümde temel matris işlemlerinden olan invers olma işlemi anlatılmıştır. Diğer matrislerle ilgili işlemler kaynaklarda anlatıldığından burada yer verilmiştir. İkinci bölümde devre matrislerinin eldesi ve bunun bilgisayara uygulanışı görülmektedir. Üçüncü bölümde üç fazlı devreler ele alındı ve son dördüncü bölümde ise buraya kadar anlatılanların Bilgisayar programı yazıldı ve neticeleri verildi.

Şerafettin Özbey

İÇİNDEKİLER

SUMMARY

Sayfa No Adı

1..... Bölüm 1

1..... Giriş

3.... This text presents techniques that have been applied successfully in solving power system problems with a digital computer.

16... Chapter 1 presents the basic principles of matrix algebra. Chapter 2 present algorithms which can be used in an alternative method for formation of certain network matrices. These algorithms have provided to be effective for use in computer calculation. The methods described in Chapter 2 are developed for single-phase representation of power systems. Chapter 3 extends these methods for three-phase representation. The application of network matrices to short circuit calculation is presented in Chapter 4. in the last Chapter, there are a sample system and the it's program for digital computer for calculation of short circuit voltages and current.

36..... Çözümler

49..... Bölüm 3

Şerafettin Özbey

49..... Üç fazlı devreler

49..... Üç fazlı devre elemanları

53..... Üç fazlı dengeli devre elemanları

56..... Dönüşüm matrisleri

59..... Üç fazlı dengesiz devre elemanları

İÇİNDEKİLER

Sayfa No	Adı
1.....	Bölüm 1
1.....	Giriş
3.....	Matris işlemleri
6.....	Matris işlemleriyle ilgili örnekler
14.....	Matris indirgenmesi
16.....	Bölüm 2
16.....	Devre matrisinin eldesi için algoritma
16.....	Bara empedans matrisinin eldesi
18.....	Dal ekleme
23.....	Çevre ekleme
28.....	Bara empedans matrisinin eldesi için özet
29.....	Bara empedans matrisinin devredeki değişiklikler nedeniyle yeniden düzenleme
32.....	Bara empedans matrisi modifikasyonunun basitleş- tirilmesi
35.....	Basitleştirilmiş bara empedans matrisinin eldesi özeti
36.....	Örnekler
49.....	Bölüm 3
49.....	Üç fazlı devreler
49.....	Üç fazlı devre elemanları
53.....	Üç fazlı dengeli devre elemanları
56.....	Dönüşüm matrisleri
59.....	Üç fazlı dengesiz devre elemanları

İÇİNDEKİLER

Sayfa No	Adı
59.....	Üç fazlı bara empedans matrisinin eldesi için algoritma
60.....	Dal ekleme
66.....	Çevre ekleme
71.....	Üç fazlı bara empedans matrisinin oluşturulması için özet
72.....	Bölüm 4
72.....	Sistemin temsili
74.....	Arıza akım ve gerilimi
79.....	Üç fazlı sistemlerde kısa devre hesabı
83.....	Arıza empedans ve admitans matrisleri
84.....	Üç faz toprak arızası
87.....	Tek faz toprak arızası
91.....	Kısa devre programının tanımı
95.....	Örnek problemler
110.....	Bilgisayar programları

Giriş Bilgisayarlar genişletmektedir. Bu nedenle bilgisayar, büyük

sistem Güç mühendislerinin çözmeleri gereken elektrik devreleri umumiyetle çok büyüktür. Bunun anlamı, elle çözümün hiç bir zaman düşünülemediği ve bilgisayarın mutlaka kullanılması zorunluluğudur. Genellikle, Bilgisayarla çözüm deyince akla sayısal bilgisayarlar gelmektedir. Bununla birlikte aynı devrenin çözümü laboratuvarında gerçek sistemin küçük bir modeli yapılarakta çözülebilir. Devre analizleri yıllarca çözümleri maddelerle yapmışlardır.

Sayısal bilgisayar ve devre modeli ile çözüm arasında çok önemli farklar vardır. Dijital bilgisayarla yalnızca denklemleri çözmek yeterlidir. Bu denklemleri sağlayan fiziksel devreyi gerçekleştirmeye çalışmalıyız. Devre modelleri ile çözümde devrenin fiziksel olarak gerçekleşmesi gerekir ve faz kaydırıcı trafolar gibi malzemelerin yapımı zor ve de pahalıdır. Sayısal çözümde biz bunlarla ilgilenmez yalnızca, denklemlerin tanımladığı, devrenin fiziksel modelindeki kavramlara dikkat ederiz.

Sayısal bilgisayarın diğer başka bir avantajıda büyük anlamda devre çözümünü sağlamasıdır. Devre analizatörleri yüz düğüm civarında bir devre çözümü ile sınırlanmıştır. Sayısal bilgisayarla çözümde de düğüm sayısı sınırlıdır. Bununla birlikte sayısal bilgisayarda bir kaç yüz düğümlü bir devre çözümü mümkündür. Tartışmayı biraz daha ileri götürürsek, bilgisayarda magnetik disk, teyp gibi yardımcı hafızaların akıllıca kullanılması, çözülecek problemin

boyutlarını genişletmektedir. Bu nedenle bilgisayar, büyük sistemlerin çözümü için esnek bir alettir.

Son olarak, Bilgisayar devre çözümlerinde hassasiyeti sağlar. Büyük devrenin elle çözümünde veya, hatta üç, dört düğümlü bir devrede bile dikkate değer yuvarlanma hatası yada hesap hatası bulunabilir. Bu tür problemler tam anlamıyla bilgisayarda da yok edilememiştir, fakat sistematik bir hata azaltma yoluyla minimuma indirgenebilir. Güç sistemi probleminde kesin kes hassasiyet gerekmez, fakat kabul edilebilir. Hatta sınırları içinde hesap yapmak, o hesabın güç sisteminde geçerliliğini sağlar ve, buda önemli bir husustur.

"Güç Sistemlerinde Simetrik ve Asimetrik Arızaların Bilgisayarla Analizi" adlı tez konusunda 1. bölümde tezde kullanacağımız matrislerle ilgili özet bilgiler verilecektir. Teferruatlı bilgiler tezin sonunda belirtilen kaynak kitaplarda vardır. 2. bölümde bara empedans matrisinin oluşturulması ve 3. bölümdede kısa devre analizi anlatılacaktır. Son olarak bara empedans matrisinin eldesi ve kısa devre hesabını yapan program ile bu programın örnek sistemlere uygulanıp elde edilen sonuçlar verilecektir.

Bu bölümde A matrisinin köşegen üzerindeki elemanlar sıfır ise 1. işlemi, diğer durumlarda da 2. ve 3. işlemi uygulanacaktır. Bu işlemi G_1 $i = 1, 2, \dots, n$ diyelim. Yani G_1 işlemi ya 1. yada 3. elemanlar işlemidir. 1. denklemini göz önüne alalım.

1. MATRİS İŞLEMLERİ

BİR MATRİSİN İNVERSİ

Bir matrisin inversini bilgisayarla alırken; invers olma işlemi zamanın minimum olması istenir. Anlatacağımız metot bu işlem için uygun olup hemde program yapma bakımından da kolaydır. Önce aşağıdaki denklemi göz önüne alalım.

$$\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \hline a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \\ \hline \end{array}
 \begin{array}{|c|} \hline x_1 \\ \hline x_2 \\ \hline \dots \\ \hline x_n \\ \hline \end{array}
 =
 \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 1 & 0 & \dots & 0 \\ \hline 0 & 1 & \dots & 0 \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline 0 & 0 & & 1 \\ \hline \end{array}
 \begin{array}{|c|} \hline y_1 \\ \hline y_2 \\ \hline \dots \\ \hline y_n \\ \hline \end{array}
 \quad 1.1$$

$$AX = Y$$

Yukardaki denklem sisteminin çözümünde uygulayacağımız metot katsayılar matrisine elemanter işlemleri uygulamaktır. Elemanter işlemleri önce yazalım.

Elemanter İşlemler:

- 1.) Bir matrisin paralel iki satırını bir biriyle değiştirmek.
- 2.) Bir satırın bütün elemanlarını sıfır olmayan ayrı bir sayıyla çarpmak.
- 3.) Bir satıra, buna paralel her hangi bir satırın keyfi bir katına eklemekten ibarettir.

Bu çözümde A matrisinin köşegen üzerindeki eleman sıfır ise 1. işlemi, diğer durumlarda da 2. ve 3. işlemi uygulayacağız. Bu işlemi $\emptyset_i$ $i = 1, 2, \dots, m$ diyelim. Yani $\emptyset_i$ işlemi ya 1. yada 3. elemanter işlemdir. 1. denklemi göz önüne alalım.

$$AX = UY$$

Buna m tane elemanter işlemi uygularsak

$$\emptyset_m \dots \emptyset_n \dots \emptyset_2 \emptyset_1 AX = \emptyset_m \dots \emptyset_n \dots \emptyset_2 \emptyset_1 UY \quad 1.2$$

2. denklemi elde ederiz. Bu elemanter işlemleri öyle uygulamalıyızki A matrisi bir bilim matrise, sağ taraftaki U matriside bir B matrisine dönüşsün. Bu söylediğimizi aşağıda yazalım.

$$UX = BY$$

$$U = \emptyset_m \dots \emptyset_n \dots \emptyset_2 \emptyset_1 A \quad 1.3$$

$$B = \emptyset_m \dots \emptyset_n \dots \emptyset_2 \emptyset_1 M \quad 1.4$$

görüldüğü gibi 3. denklem 1. denklemin çözümüdür. Yukarda yaptığımız işlemleri aşağıdaki çözümle karşılaştıralım.

$$AX = UY$$

$$A^{-1} AX = A^{-1} UY$$

$$UX = A^{-1} UY \quad 1.5$$

Görüldüğü gibi elemanter işlemlerle elde edilen B matrisi

$$B = A^{-1} U = A^{-1} \quad 1.6$$

A matrisinin inversi ve bu elemanter işlemlerde bir matrisin inversini vermektedir.

$\emptyset_i$ işlemini şöyle uyguluyoruz.

1.) Köşegen üzerindeki elemanı 1'e eşit yapıyoruz. Bunun için elemanter işlem köşegen üzerindeki elemanın tersi ile bütün satır elemanlarını çarpıyoruz. (2. elemanter işlem)
- 2.) Köşegenini 1'e eşitlediğimiz sütunun, köşegen haricindeki bütün elemanlarını sıfırlıyoruz. Bunun için köşegen üzerindeki sütunun sıfırlayacağımız elemanın negatifi (-)

ile köşegen satırını çarpıp sıfırlayacağımız eleman satırına ekliyoruz. (3. elemanter işlem). Bu iki olay aynı zamanda birim matrisinde de yapılmaktadır.

$\emptyset_i$ işlemini şekilde aşağıdaki gibi uyguluyoruz.

a_{11}	a_{12}	a_{13}	...	a_{1n}	1	0	0	...	0
a_{21}	a_{22}	a_{23}	...	a_{2n}	0	1	0	...	0
a_{31}	a_{32}	a_{33}	...	a_{3n}	0	0	1	...	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	...	a_{nn}	0	0	0	...	1

1.) Köşegen üzerindeki elemanı 1'e eşitliyoruz. Bunun için elemanter işlem köşegen üzerindeki elemanın tersi ile bütün satır elemanlarını çarpıyoruz. (2. elemanter işlem).

1. köşegen elemanını 1'e eşitlemek için 1. satırın her bir elemanını $\frac{1}{a_{11}}$ ile çarpıyoruz.

1	b_{12}	b_{13}	...	b_{1n}	$\frac{1}{a_{11}}$	0	0	...	0
a_{21}	a_{22}	a_{23}	...	a_{2n}	0	1	0	...	0
a_{31}	a_{32}	a_{33}	...	a_{3n}	0	0	1	...	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	...	a_{nn}	0	0	0	...	1

$$b_{12} = \frac{a_{12}}{a_{11}}, \quad b_{13} = \frac{a_{13}}{a_{11}}, \quad \dots, \quad b_{1n} = \frac{a_{1n}}{a_{11}}$$

2.) Köşegeni 1'e eşitlediğimiz sütunun köşegen haricindeki bütün elemanlarını sıfırlıyoruz. Bunun için sıfırlayacağımız elemanın negatifi ile köşegen satırını çarpıp bu eleman satırına ekliyoruz. (3. elemanter işlem).

a_{21} sıfırlamak istersek $-a_{21}$ ile 1. satırı çarpıyoruz 2. satıra ekliyoruz.

1	b_{12}	b_{13}	...	b_{1n}
0	b_{22}	b_{23}	...	b_{2n}
a_{31}	a_{32}	a_{33}	...	a_{3n}
...	...	...	...	...
a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	...	a_{nn}

$\frac{1}{a_{11}}$	0	0	...	0
$\frac{-a_{21}}{a_{11}}$	1	0	...	0
0	0	1	...	0
...	...	...	...	...
0	0	0	...	1

$b_{21} = a_{22} - b_{12} \cdot a_{21}$ $b_{23} = a_{23} - b_{13} \cdot a_{21}$ $b_{2n} = a_{2n} - b_{1n} \cdot a_{21}$
 a_{31} 'i sıfırlamak istersek 1. satır ile $-a_{31}$ 'i çarpıp 3. satıra ekliyoruz ve bu durumda aşağıdaki görülmektedir .

1	b_{12}	b_{13}	...	b_{1n}
0	b_{22}	b_{23}	...	b_{2n}
0	b_{32}	b_{33}	...	b_{3n}
...	...	...	...	...
a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	...	a_{nn}

$\frac{1}{a_{11}}$	0	0	...	0
$\frac{-a_{21}}{a_{11}}$	1	0	...	0
$\frac{-a_{31}}{a_{11}}$	0	1	...	0
...	...	...	...	...
0	0	0	...	1

Bu işlemi sütunun diğer elemanlarına uyguladıktan sonra 2. köşegen elemanına geçip aynı işlemleri bu köşegen sütun elemanlarına sıfırlamakta tekrarlıyoruz ve başka bir köşegeneye geçiyoruz.

Bunları örnekler üzerinde görelim.

Örnek 1

$$A = \begin{bmatrix} 5 & 2 \\ 4 & 3 \end{bmatrix}$$

$$U = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

1.) 1. köşegen elemanı 5'in tersi $\frac{1}{5}$ ile 1. satırı çarpıyoruz.

$$\begin{bmatrix} 1 & \frac{2}{5} \\ 4 & 3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{5} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2.) 1. köşegen ile sütun elemanının negatifi -4 ile 1. satırı çarpıp 2. satıra ekliyoruz.

$$\begin{bmatrix} 1 & \frac{2}{5} \\ 0 & \frac{7}{5} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{5} & 0 \\ -\frac{4}{5} & 1 \end{bmatrix}$$

1. köşegen elemanı ile yapılan işlem bitti. 2. köşegen elemanına geçelim.

1.) 2. köşegen elemanı $\frac{7}{5}$ in tersi $\frac{5}{7}$ ile 2. satırı çarpıyoruz.

1	$\frac{2}{5}$
0	1

$\frac{1}{5}$	0
$\frac{-20}{35}$	$\frac{5}{7}$

2.) 2. köşegen ilk sütun elemanının negatifi $\frac{-2}{5}$ ile 2. satırı çarpıp 1. satıra ekliyoruz.

1	0
0	1

$\frac{75}{175}$	$\frac{-10}{35}$
$\frac{-20}{35}$	$\frac{5}{7}$

Başka köşegen elemanı katmadığından

$$A^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{75}{175} & \frac{-10}{35} \\ \frac{-20}{35} & \frac{5}{7} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3}{7} & \frac{-2}{7} \\ \frac{-4}{7} & \frac{5}{7} \end{bmatrix}$$

elde edilir. Görüldüğü gibi bu metot programlama açısından çok iyidir.

Örnek 2

A matrisinin inversini alalım

$$A = \begin{bmatrix} 3 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 5 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad U = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

1.) 1. satırı 1. köşegen elemanı 3'ün tersi $\frac{1}{3}$ ile çarpalım.

1	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$
-1	0	5
1	1	2

$\frac{1}{3}$	0	0
0	1	0
0	0	1

2.) 1. köşegen sütununun köşegen haricindeki ilk eleman olan -1 in negatif $+1$ ile 1. satırı çarpıp 2. satıra ekliyoruz.

1	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$
0	$\frac{1}{3}$	$\frac{17}{3}$
1	1	2

$\frac{1}{3}$	0	0
$\frac{1}{3}$	1	0
0	0	1

1. köşegen sütununun köşegen haricindeki 2. elemanı 1'in negatif -1 ile 1 satırı çarpıp 3. satıra ekliyelim.

1	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$
0	$\frac{1}{3}$	$\frac{17}{3}$
0	$\frac{2}{3}$	$\frac{4}{3}$

$\frac{1}{3}$	0	0
$\frac{1}{3}$	1	0
$\frac{-1}{3}$	0	1

Şimdi sıra ikinci köşegen elemanında

1.) 2. satırı 2. köşegen elemanı $\frac{1}{3}$ ün tersi 3 ile çarpalım.

1	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$
0	1	17
0	$\frac{2}{3}$	$\frac{4}{3}$

$\frac{1}{3}$	0	0
1	3	0
$\frac{-1}{3}$	1	1

2.) 2. köşegen sütununun köşegen haricindeki ilk elemanının negatif -1 ile (1. satırın 2. elemanı $\frac{1}{3}$) $\frac{-1}{3}$ ile ikinci satırı çarpıp 1. satıra ekliyelim.

1	0	$\frac{-15}{3}$
0	1	17
0	$\frac{2}{3}$	$\frac{4}{3}$

$\frac{1}{3}$	0	0
1	3	0
$\frac{-2}{3}$	0	1

2. köşegen sütununun
köşegen haricindeki
2. elemanın negatifi
(3. satırın 2. elema-
nı) $\frac{-2}{3}$ ile 2. satırı
çarpıp 3. satıra ekle-
yelim.

1	0	$\frac{-15}{3}$
0	1	17
0	0	-10

$\frac{1}{3}$	0	0
1	3	0
$\frac{-4}{3}$	-2	1

1. köşegen elemanlarında sıfırlama işlemi tamamlandıñın-
dan 3. köşegen işlemine başlayabiliriz.

1.) 3. köşegen elemanına
3. satırın bütün
elemanlarını bölelim.

1	0	$\frac{-15}{3}$
0	1	17
0	0	1

$\frac{1}{3}$	0	0
1	3	0
$\frac{4}{30}$	$\frac{2}{10}$	$\frac{1}{10}$

2.) 3. köşegen sütununun
köşegen haricindeki
ilk elemanın negati-
fi (1. satırın 3. e-
lemanı) $\frac{15}{3}$ ile 3.
satırı çarpıp 1. sa-
tırı ekleyelim.

1	0	0
0	1	17
0	0	1

1	1	$\frac{1}{2}$
1	3	0
$\frac{4}{30}$	$\frac{2}{10}$	$\frac{1}{10}$

3. köşegen sütununun
2. elemanı (17) nin
negatifi -17 ile 3
satırı çarpıp 2 satı-
ra ekleyelim.

1	0	0
0	1	0
0	0	1

1	1	$\frac{1}{2}$
$\frac{-68}{30}$	$\frac{-34}{10}$	$\frac{-17}{10}$
$\frac{4}{30}$	$\frac{2}{10}$	$\frac{1}{10}$

Başka köşegen elemanı kalmadığından

$$A^{-1} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 1 & \frac{1}{2} \\ \hline \frac{-68}{30} & \frac{-34}{10} & \frac{-17}{10} \\ \hline \frac{4}{30} & \frac{2}{10} & \frac{1}{10} \\ \hline \end{array}$$

Örnek 3 Bir satırı köşegen elemanına bölme ve köşegen sütununu sıfırlama işlemi bu örnekte aynı anda yapılacaktır.

$$A = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 1 & 2 & -2 & 1 \\ \hline 2 & 5 & -2 & 3 \\ \hline -2 & -2 & 5 & 3 \\ \hline 1 & 3 & 3 & 2 \\ \hline \end{array}$$

$$U = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 1 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 1 & 2 & -2 & 1 \\ \hline 0 & 1 & 2 & 1 \\ \hline 0 & 2 & 1 & 5 \\ \hline 0 & 1 & 5 & 1 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline -2 & 1 & 0 & 0 \\ \hline 2 & 0 & 1 & 0 \\ \hline -1 & 0 & 0 & 1 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 1 & 0 & -6 & 1 \\ \hline 0 & 1 & 2 & 1 \\ \hline 0 & 0 & \frac{-3}{-3} & \frac{3}{-3} \\ \hline 0 & 0 & 3 & 0 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 5 & -2 & 0 & 0 \\ \hline -2 & 1 & 0 & 0 \\ \hline \frac{-6}{3} & \frac{2}{3} & \frac{-1}{3} & 0 \\ \hline 1 & -1 & 0 & 1 \\ \hline \end{array}$$

1	0	0	-7
0	1	0	3
0	0	1	-1
0	0	0	$\frac{3}{3}$

-7	2	-2	0
2	$\frac{-1}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
-2	$\frac{2}{3}$	$\frac{-1}{3}$	0
$\frac{7}{3}$	$\frac{-3}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$

1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0
0	0	0	1

$\frac{28}{3}$	-5	$\frac{1}{3}$	$\frac{7}{3}$
-5	$\frac{8}{3}$	$\frac{-1}{3}$	-1
$\frac{1}{3}$	$\frac{-1}{3}$	0	$\frac{1}{3}$
$\frac{7}{3}$	-1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$

$A^{-1} =$	$\frac{28}{3}$	-5	$\frac{1}{3}$	$\frac{7}{3}$
	-5	$\frac{8}{3}$	$\frac{-1}{3}$	-1
	$\frac{1}{3}$	$\frac{-1}{3}$	0	$\frac{1}{3}$
	$\frac{7}{3}$	-1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$

Matris inversi olma işleminin başka bir yoluda, Matrisi bölmelere ayırıp daha küçük boyutlu matris inversi olarak matris inversini elde etmektedir. Aşağıda bölümlere ayırma işlemi anlatılmayacaktır.

$$AA^{-1} = 1$$

ve

$$AB = 1$$

ise

$$B = A^{-1} \text{ olur.}$$

$$\begin{array}{|c|c|} \hline A_1 & A_2 \\ \hline A_3 & A_4 \\ \hline \end{array} \cdot \begin{array}{|c|c|} \hline B_1 & B_2 \\ \hline B_3 & B_4 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|} \hline 1 & 0 \\ \hline 0 & 1 \\ \hline \end{array} \quad 1.1$$

1. denklemden

$$A_1B_1 + A_2B_3 = 1 \quad 1.2$$

$$A_1B_2 + A_2B_4 = 0 \quad 1.3$$

$$A_3B_1 + A_4B_3 = 0 \quad 1.4$$

$$A_3B_2 + A_4B_4 = 1 \quad 1.5$$

elde edilir.

4. denklemden

$$A_3B_1 + A_4B_3 = 0 \quad B_3 = -A_4^{-1} A_3 B_1 \quad 1.6$$

2. ve 6. denklemlerinden

$$A_1B_1 - A_2A_4^{-1} A_3B_1 = 1 \quad B_1 = (A_1 - A_2A_4^{-1} A_3)^{-1} \quad 1.7$$

5. denklemden

$$A_3B_2 + A_4B_4 = 1$$

$$A^{-4} A_3B_2 + B_4 = A_4^{-1}$$

3. denklemde kullanarak

$$A_2A_4^{-1} A_3B_2 - A_1B_2 = A_2A_4^{-1}$$

$$(A_1 - A_2A_4^{-1} A_3) B_2 = -A_2A_4^{-1}$$

$$B_2 = -(A_1 - A_2A_4^{-1} A_3) A_2A_4^{-1}$$

$$7. \text{ denklemden} \quad B_2 = -B_1 A_2 A_4^{-1} \quad 1.8$$

5. denklemden

$$A_3 B_2 + A_4 B_4 = 1$$

$$A_4 B_4 = 1 - A_3 B_2$$

$$B_4 = A_4^{-1} - A_4^{-1} A_3 B_2 \quad 1.9$$

elde edilir.

Örnek:

$$Z = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline 0,6 & 0,2 & 0,1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0,2 & 0,4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0,1 & 0 & 0,5 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0,2 & 0,1 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0,1 & 0,3 \\ \hline \end{array}$$

$$A_1 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0,6 & 0,2 & 0,1 \\ \hline 0,2 & 0,4 & 0 \\ \hline 0,1 & 0 & 0,5 \\ \hline \end{array}$$

$$A_1^{-1} =$$

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline 2,0833 & -1,0417 & -0,4167 \\ \hline -1,0417 & 3,0208 & 0,2083 \\ \hline -0,4167 & 0,2083 & 2,0833 \\ \hline \end{array}$$

$$A_2 = A_3 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline \end{array}$$

$$A_4 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0,5 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0,2 & 0,1 \\ \hline 0 & 0,1 & 0,3 \\ \hline \end{array}$$

$$A_4^{-1} =$$

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline 2 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 6 & -2 \\ \hline 0 & -2 & 4 \\ \hline \end{array}$$

$$B_1 = (A_1 - A_2 A_4^{-1} A_3)^{-1} = A_1^{-1}$$

$$B_2 = -B_1 A_2 A_4^{-1} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline \end{array}$$

$$B_3 = -A_4^{-1} A_3 B_1$$

$$B_3 =$$

0	0	0
0	0	0
0	0	0

$$B_4 = A_4^{-1} - A_4^{-1} A_3 B_2 = A_4^{-1}$$

$$Z^{-1} = y = \begin{array}{|c|c|} \hline B_1 & B_2 \\ \hline B_3 & B_4 \\ \hline \end{array} =$$

2,0833	-1,0417	-0,4167	0	0	0
-1,0417	3,0208	0,2083	0	0	0
-0,4167	0,2083	2,0833	0	0	0
0	0	0	2	0	0
0	0	0	0	6	-2
0	0	0	0	-2	4

MATRİS İNDİRGE MESİ (Kron reduction)

Fiziksel problemlerde denklemlerin tekrar düzenlenmesinde aşağıdaki denklemler sık sık elde edilir.

$$\begin{array}{|c|} \hline C_1 \\ \hline 0 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|} \hline A_{11} & A_{12} \\ \hline A_{21} & A_{22} \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline D_1 \\ \hline D_2 \\ \hline \end{array}$$

1.10

Buna olduğu gibi problemin yapısından dolayı A_{22} tekil değildir ve D_2 istenmeyen değişkendir ve bu nedenle yok edilmesi gerekir. Bunun için denklemi aşağıdaki şekilde yazalım.

$$C_1 = A_{11} D_1 + A_{12} D_2$$

1.11

$$0 = A_{21} D_1 + A_{22} D_2$$

ve

$$A_{22} D_2 = -A_{21} D_1$$

olur. Denklemin her iki yanını A_{22}^{-1} ile çarparsak

$$D_2 = -A_{22}^{-1} A_{21} D_1$$

Bunu 1.11 denkleminin ilkinde yerine yazarak

$$C_1 = A_{11}D_1 - A_{12}A_{22}^{-1}A_{21}D_1$$

$$C_1 = (A_{11} - A_{12}A_{22}^{-1}A_{21}) D_1 \quad 1.12$$

Bu son denklem umumiyetle matris sağladığı kolaylıkların bir tanesidir. Bizim konuda kullanacağımız yok etme metodu A_{22} genellikle tek boyutlu olup buna göre matris indirgenmesi aşağıda verilecektir.

MATRİS İNDİRGENMESİ

$$Z_{\text{BARA}} = \begin{array}{|ccc|c|} \hline Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1\ell} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2\ell} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline Z_{\ell 1} & Z_{\ell 2} & \dots & Z_{\ell \ell} \\ \hline \end{array}$$

$$A_{11} = \begin{array}{|cc|c|} \hline Z_{11} & Z_{12} & \dots \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots \\ \hline \end{array}$$

$$A_{22} = Z_{\ell \ell} \quad A_{22}^{-1} = \frac{1}{Z_{\ell \ell}}$$

$$A_{21} = Z_{\ell 1} \ Z_{\ell 2} \ \dots$$

$$A_{12} = \begin{array}{|c|} \hline Z_{1\ell} \\ Z_{2\ell} \\ \vdots \\ \hline \end{array}$$

1.12. denkleminde

$$Z_{\text{BARn}} = A_{11} - \frac{1}{Z_{\ell \ell}} \cdot A_{12} \cdot A_{21} \quad 1.13$$

olur ve Bunun bilgisayar programı 4. bölümde Z_{BARA} Matrisinin eldesinde kullanılmıştır.

2. DEVRE MATRİSLERİNİN ELDESİ İÇİN

ALGORİTMA

2. 1 GİRİŞ

Bu bölümde devre matrislerinin eldesi algoritma ile anlatılacaktır. Bu metot kotlanan bara numaraları ve sistem parametrelerinden gidilerek direkt olarak bara empedans matrisi teşkil edilebilir. Bunada algoritma prensibi altında bara empedans matrisi adım adım şekillendirilmektedir. Şöyleki bir defa bir eleman ilave edilir ve benzetme ile devre teşkili yapılır.

2. 2 BARA EMPEDANS MATRİSİNİN ELDESİ

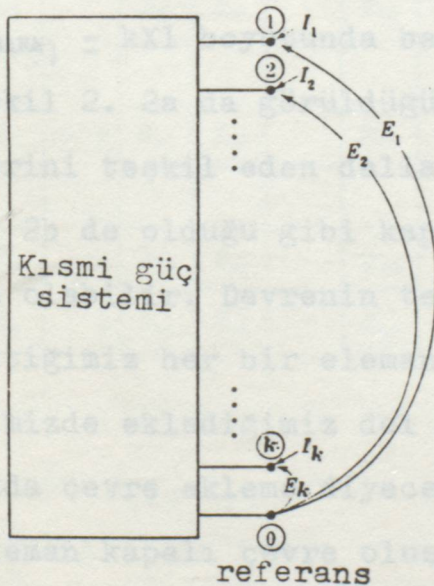
Devre denkleminin eldesi

k baralı bir devrenin bara empedans matrisi Z_{BARA} nın referans noktası o ya göre bulunduğunu farz edelim .

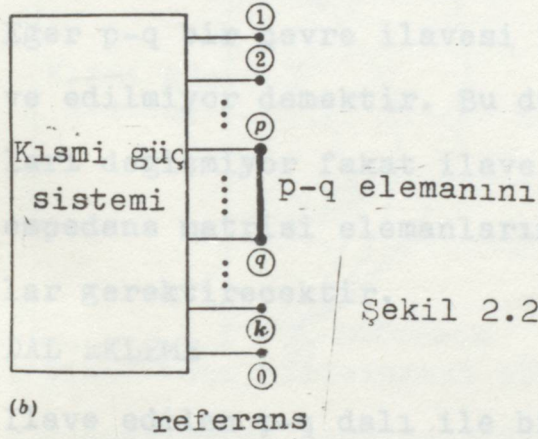
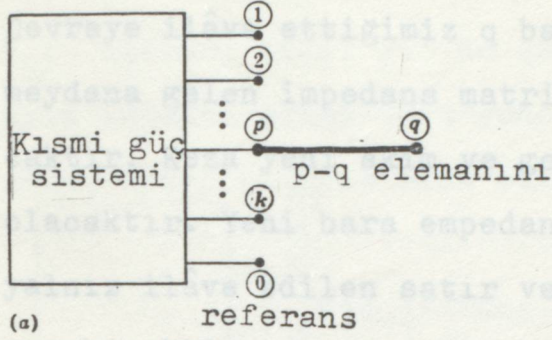
Şekil 2. 1 de görülen devrenin denklemi

$$E_{BARA} = Z_{BARA} \cdot I_{BARA}$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 2.1 Güç sistemi temsili



Şekil 2.2 Güç sistemine ilave edilen eleman temsili (a) dal ekleme (b) çevre ekleme

Burada:

$E_{BARA} = k \times l$ boyutunda referansa göre ifade edilen bara gerilim vektörü

$I_{BARA} = k \times l$ boyutunda bara akım vektörüdür.

Şekil 2. 2a da görüldüğü gibi eklenen eleman devre çevrelerini teşkil eden dallardan biri olabileceği gibi, Şekil 2. 2b de olduğu gibi kapalı çevreyi oluşturan son eleman da olabilir. Devrenin temsili için çizim yaparken ilave ettiğimiz her bir elemana dal ekleme ve bu işe devam ettiğimizde eklediğimiz dal bir kapalı çevre oluşturuyorsa burada çevre ekleme diyeceğiz. Yani devreye ilave ettiğimiz eleman kapalı çevre oluşturmuyorsa dal ekleme, ilave ettiğimiz eleman bir kapalı çevre oluşturuyorsa çevre ekleme

diyeceğiz.

Devreye ilâve ettiğimiz q barası eğer dal ise, neticede meydana gelen impedans matrisinin boyutu $(k+1) \times (k+1)$ olacaktır. Keza yeni akım ve gerilimlerin boyutuda $(k+1) \times 1$ olacaktır. Yeni bara empedans matrisinin eldesi içinde , yalnız ilâve edilen satır ve sütun elemanlarının hesabı gerekecektir.

Eğer $p-q$ bir çevre ilavesi ise devreye yeni bir bara ilave edilmiyor demektir. Bu durumda devre denkleminin boyutları değişmiyor fakat ilave edilen çevrenin, bütün bara empedans matrisi elemanlarına etkisi, yeniden hesaplamalar gerektirecektir.

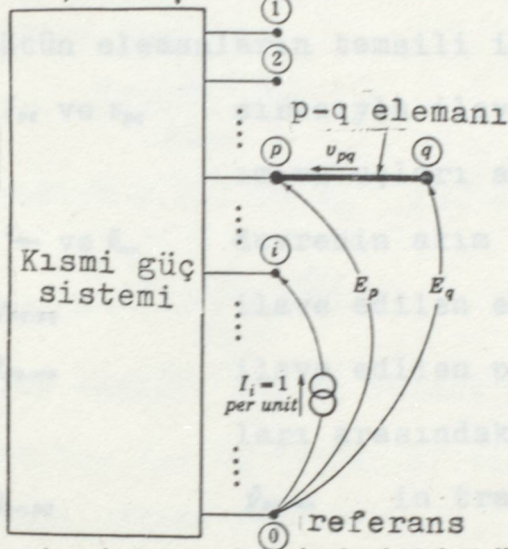
DAL EKLEME

İlave edilen $p-q$ dalı ile birlikte devre denklemi aşağıdaki gibidir.

		1		p		k	q		
E_1	1	Z_{11}	Z_{12}	...	Z_{1p}	...	Z_{1k}	Z_{1q}	I_1
E_2		Z_{21}	Z_{22}	...	Z_{2p}	...	Z_{2k}	Z_{2q}	I_2
...		...	...	...	...	...	...	...	...
E_p	= p	Z_{p1}	Z_{p2}	...	Z_{pp}	...	Z_{pk}	Z_{pq}	I_p
...		...	...	...	...	...	...	...	...
E_k	k	Z_{k1}	Z_{k2}	...	Z_{kp}	...	Z_{kk}	Z_{kq}	I_k
E_q	q	Z_{q1}	Z_{q2}	...	Z_{qp}	...	Z_{qk}	Z_{qq}	I_q

Devre elemanlarının iki uçlu olduklarını farz edelim. Buna göre $Z_{qi} = Z_{iq}$ Burada $i=1,2, \dots, k$ olup q haricindeki baraları ifade eder. İlave edilen $p-q$ dalı, devrenin

bir veya birkaç elemanı ile karşılıklı kuplajlı olabilir. Z_{qi} elemanı şekil 2.3 de görüldüğü gibi, i 'yinci baraya akım injekte etmek ve q 'yuncu bara gerilimini, referansa göre, hesap etmekle elde edilir.



Şekil 2.3 Z_{qi} hesaplamak için injekte edilen akım ve bara gerilimi

i 'yinci bara haricindeki bütün bara akımları sıfır iken 2.1 denklemini aşağıda olduğu gibi yazabiliriz.

$$E_1 = Z_{1i} I_i$$

$$E_2 = Z_{2i} I_i$$

$$\dots\dots\dots$$

$$E_p = Z_{pi} I_i$$

$$\dots\dots\dots$$

$$E_k = Z_{ki} I_i$$

$$E_q = Z_{qi} I_i$$

2.2.2

2.2.2 denkleminde $I_i = 1$ p.u olarak, E_q yu hesaplamakla Z_{qi} direkt olarak elde edilir.

Bara gerilimleri, ilave edilen eleman uçlarındaki gerilimde göz önüne alınarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$E_q = E_p - v_{pq}$$

Şekil 2.3 deki devre elemanlarının akım ve uçlarındaki gerilimler ile primitif admitanslar da göz önüne alınır

$$\begin{bmatrix} i_{pq} \\ i_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{pq,pq} & y_{pq,mn} \\ y_{mn,pq} & y_{mn,mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{pq} \\ v_{mn} \end{bmatrix}$$

2.2.4

2.2.4 denklemleri yazılabilir. pq sabit indis olup ilave edilen elemanın temsili için ve mn değişken indis olup diğer bütün elemanların temsili için kullanılmaktadır. Buna göre:

i_{pq} ve v_{pq} sırasıyla ilave edilen eleman içinde geçen akım ve uçları arasındaki gerilimi

i_{mn} ve v_{mn} devrenin akım ve gerilim vektörlerini

$y_{pq,pq}$ ilave edilen elemanın self admitansını

$y_{pq,mn}$ ilave edilen p-q elemanı ile m-n devre elemanları arasındaki karşılıklı admitansı

$y_{mn,pq}$ $y_{pq,mn}$ in transpozisini

$[y_{mn,mn}]$ devrenin primitif admitans matrisini

temsili ederler. Şekil 2.3 de görüldüğü gibi, ilave edilen elemanın akımı

$i_{pq} = 0$ 2.2.5

dir. Burada V_{pq} , eklen dal ile devrenin diğer elemanları arasındaki karşılıklı kuplaj nedeni sıfır değildir. Bir adım daha atarak 2.2.6 denklemini aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$\bar{v}_{mn} = \bar{E}_m - \bar{E}_n$$

2.2.6

E_m ve E_n devrenin bara gerilimleridir.

Denklem 2.2.4 ve 2.2.5 ten

$$i_{pq} = y_{pq,pq}v_{pq} + y_{pq,mn}\bar{v}_{mn} = 0$$

yazılır ve buradan

$$v_{pq} = - \frac{\tilde{y}_{pqmn} \tilde{v}_{mn}}{y_{pq.pq}}$$

elde edilir. Bu son yazdığımız eşitliği 2.2.6 denkleminde yerine yazalım.

$$v_{pq} = - \frac{\tilde{y}_{pqmn}(\tilde{E}_m - \tilde{E}_n)}{y_{pq.pq}} \quad 2.2.7$$

Denklem 2.2.7 de v_{pq} yu, 2.2.3 eşitliğine yerine yazarak

$$E_q = E_p + \frac{\tilde{y}_{pqmn}(\tilde{E}_m - \tilde{E}_n)}{y_{pq.pq}}$$

elde edilir. Z_{qi} yi bulmak için son olarak 2.2.2 eşitliğinden E_q , E_p , E_m ve E_n i $I_i = 1$ de alarak yukardaki denkleminde yerine yazarak

$$Z_{qi} = Z_{pi} + \frac{\tilde{y}_{pqmn}(Z_{mi} - Z_{ni})}{y_{pq.pq}} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, k \\ i \neq q \end{matrix} \quad 2.2.8$$

Z_{qq} elemanı q'yuncu baraya akım injekte etmek ve bu baranın gerilimini hesap etmek ile bulunur. 2.2.1 denklemini bütün bara akımları sıfır iken yeniden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} E_1 &= Z_{1q} I_q \\ E_2 &= Z_{2q} I_q \\ &\dots \dots \dots \\ E_p &= Z_{pq} I_q \\ &\dots \dots \dots \\ E_k &= Z_{kq} I_q \\ E_q &= Z_{qq} I_q \end{aligned}$$

2.2.9

2.2.9 denkleminde $I_q = 1$ olup, E_q yu hesaplarsak direkt olarak Z_{qq} bulunmuş olur.

p-q baraları 2.2.3 denkleminde görüldüğü gibi bir birine bağlıdır ve eklenen eleman içinden geçen akım

$$i_{pq} = -I_q = -1 \quad 2.2.10$$

dır. Devre elemanlarının gerilimleri denklem 2.2.6 da ve içinden geçen akım da 2.2.4 eşitliği ile verilmişti. Buna göre 2.2.4 ve 2.2.10 denklemlerini kullanarak aşağıdaki eşitliği yazabiliriz.

$$i_{pq} = y_{pq,pq}v_{pq} + \bar{y}_{pq,mn}\bar{v}_{mn} = -1$$

yukardaki denklemden

$$v_{pq} = -\frac{1 + \bar{y}_{pq,mn}\bar{v}_{mn}}{y_{pq,pq}} \quad 2.2.11$$

elde edilir. 2.2.11 denklemindeki V_{pq} 2.2.3 denkleminde yerine yazılırsa

$$E_q = E_p + \frac{1 + \bar{y}_{pq,mn}(\bar{E}_m - \bar{E}_n)}{y_{pq,pq}}$$

elde edilir. Son olarak 2.2.9 denklemindeki E_q , E_p , E_m , E_n değerlerini $I_q = 1$ alınarak yukardaki denklemde yerlerine yazılırsa Z_{qq} elde edilir.

$$Z_{qq} = Z_{pq} + \frac{1 + \bar{y}_{pq,mn}(Z_{mq} - Z_{nq})}{y_{pq,pq}} \quad 2.2.12$$

Eğer ilave edilen dal ile devrenin diğer elemanları arasında karşılıklı kuplaj yok ise $\bar{y}_{pq,mn}$ değeri sıfır olacaktır.

Buna göre

$$z_{pq,pq} = \frac{1}{y_{pq,pq}}$$

8. denklemi

$$Z_{qi} = Z_{pi} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, k \\ i \neq q \end{matrix}$$

2.12 denkleminde

$$Z_{qq} = Z_{pq} + z_{pq.pq}$$

olur. Bunlara ilaveten, karşılıklı kuplaj yok ve p de referans ise

$$Z_{pi} = 0 \quad i = 1, 2, \dots, k$$

$$Z_{qi} = 0 \quad i = 1, 2, \dots, k \quad i \neq q$$

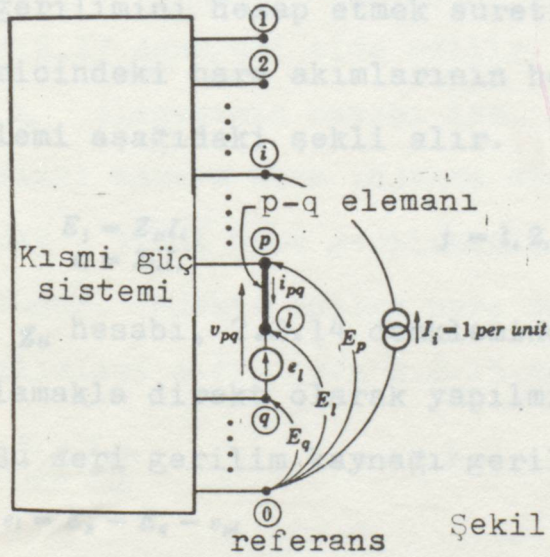
$$Z_{pq} = 0$$

$$Z_{qq} = z_{pq.pq}$$

olur.

ÇEVRE EKLEME

Eğer ilave edilen p-q elemanı bir kapalı çevre teşkil ediyorsa, bara empedans matrisinin elemanlarını yeniden hesaplamak için, şekil 2.4 de görüldüğü gibi, eklenecek elemana seri bir e_i gerilim kaynağı bağlanır.



Şekil 2.4 çevre ekleme Z_{ii} nin hesabı

için injekte edilen akım, gerilim kaynağı

Bu sonradan yok edilmek üzere zahiri bir i düğümü meydana getirir. Bu e_i gerilim kaynağı öyle seçilmelidir ki, ilave edilen çevredeki akım sıfır olsun.

e_l gerilim kaynağı ve $p-l$ ilave edilen eleman ile birlikte devre denklemi aşağıdaki gibidir.

		1	p				k	l		
E_1	$=$	1	Z_{11}	Z_{12}	$\dots$	Z_{1p}	$\dots$	Z_{1k}	Z_{1l}	I_1
E_2			Z_{21}	Z_{22}	$\dots$	Z_{2p}	$\dots$	Z_{2k}	Z_{2l}	I_2
$\dots$			$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
E_p		p	Z_{p1}	Z_{p2}	$\dots$	Z_{pp}	$\dots$	Z_{pk}	Z_{pl}	I_p
$\dots$			$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
E_k		k	Z_{k1}	Z_{k2}	$\dots$	Z_{kp}	$\dots$	Z_{kk}	Z_{kl}	I_k
e_l		l	Z_{l1}	Z_{l2}	$\dots$	Z_{lp}	$\dots$	Z_{lk}	Z_{ll}	I_l

2.2.13

$$e_l = E_l - E_q$$

yukardaki denklemlerin ışığı altında Z_{ii} elemanı i ' yinci baraya akım injekte etmek ve q ya göre l yinci nokta gerilimini hesap etmek suretiyle bulunur. i yinci bara haricindeki bara akımlarının hepsi sıfır iken, 2.2.13 denklemi aşağıdaki şekli alır.

$$\begin{aligned} E_j &= Z_{ji} I_i \\ e_l &= Z_{li} I_i \end{aligned} \quad j = 1, 2, \dots, k$$

Z_{ii} hesabı, 2.2.14 denkleminde $I_i = 1$ p.u alıp e_l i hesaplamakla direkt olarak yapılmış olur.

Bu seri gerilim kaynağı gerilimi

$$e_l = E_p - E_q - v_{pl}$$

dir. ilave edilen eleman içinden geçen akım

$$i_{pq} = 0$$

iken, $p-l$ elemanı bir dal olarak türetilebilir. Eleman akımı, primitif admitans ve uçlarındaki gerilim farkları da göz önüne alınırsa

$$i_{pl} = y_{pl,pl} v_{pl} + \bar{y}_{pl,mn} \bar{v}_{mn}$$

olurki burada

$$i_{pl} = i_{pq} = 0$$

dır. Bu nedenle

$$v_{pl} = - \frac{y_{pl,mn} \bar{v}_{mn}}{y_{pl,pl}}$$

yazılır.

$$y_{pl,mn} = y_{pq,ma}$$

ve

$$y_{pl,pl} = y_{pq,pq}$$

iken

$$v_{pl} = - \frac{\bar{y}_{pq,mn} \bar{v}_{mn}}{y_{pq,pq}}$$

2.2.16

olur. Denklem 2.2.16, 2.2.6, 2.2.14 ü $I_i = 1$ alınarak

2.2.15 te yerlerine yazıp, gerekli sadeleştirme yapılırsa

$$Z_{ii} = Z_{pi} - Z_{qi} + \frac{\bar{y}_{pq,mn}(Z_{mi} - Z_{ni})}{y_{pq,pq}} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, k \\ i \neq l \end{matrix} \quad 2.2.17$$

2.2.17 denklemi elde edilir.

Z_{ii} elemanının hesabı ise, q barası referans alınarak i yinci baraya akım injekte etmek, ve yine q referans alınarak l yinci bara geriliminin hesabı ile, direkt olarak bulunur. İnjekte edilen bara akımları dışındaki bütün bara akımları sıfır iken 2.2.13 denklemi

$$\begin{matrix} E_i = Z_{ii} I_i \\ e_i = Z_{li} I_i \end{matrix} \quad i = 1, 2, \dots, k \quad 2.2.18$$

şeklinde yazılabilir. 2.2.18 denklemine, $I_l = 1$ alıp, e_i hesaplamakla, Z_{li} doğrudan elde edilmiş olur. $p-l$ elemanı içinden geçen akım

$$i_{pl} = -I_l = -1$$

dir. Eleman uçlarındaki gerilim ve primitif admitanslarda

göz önüne alınırsa, i_{pl} akımı aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$i_{pl} = y_{pl,pl}v_{pl} + y_{pl,mn}v_{mn} = -1$$

ve

$$\bar{y}_{pl,mn} = y_{pq,ma} \quad y_{pl,pl} = y_{pq,pq}$$

iken

$$v_{pl} = - \frac{1 + \bar{y}_{pq,mn}\bar{v}_{mn}}{y_{pq,pq}} \quad 2.2.19$$

olur. 2.2.19, 2.2.6, 2.2.18 denklemleri $I_l = 1$ alıp 2.2.15

denkleminde yerlerine yazılırsa

$$Z_{il} = Z_{pl} - Z_{ql} + \frac{1 + \bar{y}_{pq,mn}(Z_{ml} - Z_{nl})}{y_{pq,pq}} \quad 2.2.20$$

elde edilir.

Eğer ilave edilen eleman ile devrenin diğer elemanları arasında karşılıklı kuplaj yoksa $y_{pq,mn}$ elemanı sıfır olur.

Buna göre

$$z_{pq,pq} = \frac{1}{y_{pq,pq}}$$

2.17 denklemi

$$Z_{li} = Z_{pi} - Z_{qi} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, k \\ i \neq l \end{matrix}$$

olur. 2.20 denklemide

$$Z_{il} = Z_{pl} - Z_{ql} + z_{pq,pq}$$

şeklini alır. Karşılıklı kuplaj olmaması ve p noktasıda referans ise aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$Z_{pi} = 0 \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, k \\ i \neq l \end{matrix}$$

$$Z_{li} = -Z_{qi} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, k \\ i \neq l \end{matrix}$$

$$Z_{ml} = 0$$

$$Z_{il} = -Z_{ql} + z_{pq,pq}$$

Yukardaki denklemlerdeki i zahiri noktası matrislerde indirgeme metoduna göre yok edilerek Z_{BARA} elemanları elde edilir.

Tablo 2.1. Yarı envanier matrisin eldeşi için kışet

Eklenen $p-q$	Kırpılıklı kupafla		Kupafla	
	p referans barası detil	p referans barası	p referans barası detil	p referans barası
Baş	$Z_{ii} = Z_{ii} + \frac{Z_{ii}(Z_{ii} - Z_{ii})}{Z_{ii}}$ $i = 1, 2, \dots, n$	$Z_{ii} = \frac{Z_{ii}(Z_{ii} - Z_{ii})}{Z_{ii}}$ $i = 1, 2, \dots, n$	$Z_{ii} = Z_{ii}$ $i = 1, 2, \dots, n$	$Z_{ii} = 0$ $i = 1, 2, \dots, n$
	$Z_{ii} = Z_{ii} + \frac{1 + Z_{ii}(Z_{ii} - Z_{ii})}{Z_{ii}}$ $i = 1, 2, \dots, n$	$Z_{ii} = \frac{1 + Z_{ii}(Z_{ii} - Z_{ii})}{Z_{ii}}$ $i = 1, 2, \dots, n$	$Z_{ii} = Z_{ii} + Z_{ii}$ $i = 1, 2, \dots, n$	$Z_{ii} = Z_{ii}$ $i = 1, 2, \dots, n$
	$Z_{ii} = Z_{ii} - Z_{ii} + \frac{Z_{ii}(Z_{ii} - Z_{ii})}{Z_{ii}}$ $i = 1, 2, \dots, n$	$Z_{ii} = -Z_{ii} + \frac{Z_{ii}(Z_{ii} - Z_{ii})}{Z_{ii}}$ $i = 1, 2, \dots, n$	$Z_{ii} = Z_{ii} - Z_{ii}$ $i = 1, 2, \dots, n$	$Z_{ii} = -Z_{ii}$ $i = 1, 2, \dots, n$
Çevre	$Z_{ii} = Z_{ii} - Z_{ii} + \frac{Z_{ii}(Z_{ii} - Z_{ii})}{Z_{ii}}$ $i = 1, 2, \dots, n$	$Z_{ii} = -Z_{ii} + \frac{Z_{ii}(Z_{ii} - Z_{ii})}{Z_{ii}}$ $i = 1, 2, \dots, n$	$Z_{ii} = Z_{ii} - Z_{ii}$ $i = 1, 2, \dots, n$	$Z_{ii} = -Z_{ii}$ $i = 1, 2, \dots, n$
	$Z_{ii} = Z_{ii} - Z_{ii} + \frac{1 + Z_{ii}(Z_{ii} - Z_{ii})}{Z_{ii}}$ $i = 1, 2, \dots, n$	$Z_{ii} = -Z_{ii} + \frac{1 + Z_{ii}(Z_{ii} - Z_{ii})}{Z_{ii}}$ $i = 1, 2, \dots, n$	$Z_{ii} = Z_{ii} - Z_{ii} + Z_{ii}$ $i = 1, 2, \dots, n$	$Z_{ii} = -Z_{ii} + Z_{ii}$ $i = 1, 2, \dots, n$
	$Z_{ii} = Z_{ii} - Z_{ii} + \frac{Z_{ii}(Z_{ii} - Z_{ii})}{Z_{ii}}$ $i = 1, 2, \dots, n$	$Z_{ii} = -Z_{ii} + \frac{Z_{ii}(Z_{ii} - Z_{ii})}{Z_{ii}}$ $i = 1, 2, \dots, n$	$Z_{ii} = Z_{ii} - Z_{ii}$ $i = 1, 2, \dots, n$	$Z_{ii} = -Z_{ii}$ $i = 1, 2, \dots, n$

Tablo 2.1 'uara empedans matrisin eldesi için özet

eklenen $p-q$	Karşılıklı kuplajlı		Kuplajsız	
	p referans barası değil	p referans barası	p referans barası değil	p referans barası
Dal	$Z_{qi} = Z_{pi} + \frac{\bar{y}_{pq,mn}(\bar{Z}_{mi} - \bar{Z}_{ni})}{y_{pq,pq}}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq q$ $Z_{qq} = Z_{pq} + \frac{1 + \bar{y}_{pq,mn}(\bar{Z}_{mq} - \bar{Z}_{nq})}{y_{pq,pq}}$	$Z_{qi} = \frac{\bar{y}_{pq,mn}(\bar{Z}_{mi} - \bar{Z}_{ni})}{y_{pq,pq}}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq q$ $Z_{qq} = \frac{1 + \bar{y}_{pq,mn}(\bar{Z}_{mq} - \bar{Z}_{nq})}{y_{pq,pq}}$	$Z_{qi} = Z_{pi}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq q$ $Z_{qq} = Z_{pq} + z_{pq,pq}$	$Z_{qi} = 0$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq q$ $Z_{qq} = z_{pq,pq}$
Çevre	$Z_{li} = Z_{pi} - Z_{qi} + \frac{\bar{y}_{pq,mn}(\bar{Z}_{mi} - \bar{Z}_{ni})}{y_{pq,pq}}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq l$ $Z_{ll} = Z_{pl} - Z_{ql} + \frac{1 + \bar{y}_{pq,mn}(\bar{Z}_{ml} - \bar{Z}_{nl})}{y_{pq,pq}}$	$Z_{li} = -Z_{qi} + \frac{\bar{y}_{pq,mn}(\bar{Z}_{mi} - \bar{Z}_{ni})}{y_{pq,pq}}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq l$ $Z_{ll} = -Z_{ql} + \frac{1 + \bar{y}_{pq,mn}(\bar{Z}_{ml} - \bar{Z}_{nl})}{y_{pq,pq}}$	$Z_{li} = Z_{pi} - Z_{qi}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq l$ $Z_{ll} = Z_{pl} - Z_{ql} + z_{pq,pq}$	$Z_{li} = -Z_{qi}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq l$ $Z_{ll} = -Z_{ql} + z_{pq,pq}$

2.3 BARA EMPEDANS MATRİSİNİ DEVREDEKİ DEĞİŞKENLER NEDENİYLE YENİDEN DÜZENLEME

Z_{BARA} matrisi, devredeki değişiklikler düşünülerek tekrar düzenlenebilir. Bu değişiklikler bir elemanı ekleme, bir elemanı kaldırma, veya elemanların empedansını değiştirme olabilir.

Bölüm 2.2 de bara empedans matrisini oluşturma algoritması, eğer eleman devreye ekleniyorsa, uygulanabilir. Öyleyse, değişkenlikten önceki bara empedans matrisi Z_{BARA} , değişiklikten sonraki bara empedans matrisi Z_{BARA} olarak arzedilebilir.

Elemanların kaldırılması yada empedanslarının değiştirilmesindeki yöntem aynıdır. Eğer kaldırılan eleman diğerleri ile kuplajlı değilse, bara empedans matrisinin eldesi, kaldırılan elemanın empedansı negatif farzedilip, mevcut elemana paralel bir çevre ekleme olarak düşünülerek elde edilir. Eğer kuplajsız bir elemanın değeri değiştirilmek istenirse, yeni bara empedans matrisinin eldesi, istenen değerlerdeiki elemanın eşdeğerinde bir eleman, paralel bir eleman olarak, devreye çevre ekleme olarak düşünülerek elde edilir.

Kuplajlı elemanların kaldırılması veya değiştirilmesinde, yeni bara empedans matrisinin eldesi, bölüm 2.2 de anlatıldığı gibi çevre ekleme yoluyla elde edilemez. Bununla birlikte, Z_{BARA} elemanlarının eldesi için bir denklem elde edilebilir. Bunun için kaldırılan eleman yada eleman empedansının değişimi nedeniyle orijinal devre ba-

ra akımlarında meydana gelen değişiklikleri hesaba katmak yeter. Yeni bara akımları nedeniyle devre denklemi

$$\vec{E}'_{BARA} = Z_{BARA} (\vec{I}_{BARA} + \Delta \vec{I}_{BARA}) \quad 2.3.1$$

şeklini alır. Burada $\Delta \vec{I}_{BARA}$ bara akım farkı vektörleri olup, devrede istenen değişiklikler neticesi $\vec{E}'_{BARA}$ nın değişmesi neticesi meydana gelmiştir.

Yeni bara empedans matrisinin her hangi bir Z'_{ij} elemanı , yeni devrede j baraya akım injekte edip i yinci bara gerilimini hesaplamakla elde edilir. Bu, orjinal devrede j yinci baraya, son değişiklik nedeniyle, akımda meydana gelen değişim kadar akım injekte etmek, i yinci bara gerilimini hesaplamakla eşdeğerdir.

Eğer $\rho-\sigma$ elemanları ile kuplajlı olan $\mu-\nu$ elemanları kaldırılır veya empedansları değiştirilirse, Bu nedenle akımda meydana gelen değişimler aşağıdaki gibi olur.

$$\begin{aligned} \Delta I_k &= \Delta i_{\mu}, & k &= \mu \\ \Delta I_k &= -\Delta i_{\nu}, & k &= \nu \\ \Delta I_k &= \Delta i_{\rho\sigma}, & k &= \rho \\ \Delta I_k &= -\Delta i_{\rho\sigma}, & k &= \sigma \\ \Delta I_k &= 0 \end{aligned} \quad 2.3.2$$

diğer bütün k ler için

j yinci baraya injekte edilen akımı bir per unit alalım ,

$$\begin{aligned} I &= 1 \\ I_k &= 0 \end{aligned} \quad \begin{aligned} k &= 1, 2, \dots, n \\ k &\neq j \end{aligned}$$

2.3.1 denkleminde

$$E'_i = \sum_{k=1}^n Z_{ik} (I_k + \Delta I_k) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

yazılabilir. Denklem 2.3.2 ve 2.33 deki ΔI_k ve I_k değerleri yukardaki denklemde yerlerine yazılırsa

$$\begin{aligned} E'_i &= Z_{ij} + Z_{i\mu} \Delta i_{\mu} - Z_{i\nu} \Delta i_{\nu} + Z_{i\rho} \Delta i_{\rho\sigma} - Z_{i\sigma} \Delta i_{\rho\sigma} \\ E'_i &= Z_{ij} + (Z_{i\mu} - Z_{i\nu}) \Delta i_{\mu} + (Z_{i\rho} - Z_{i\sigma}) \Delta i_{\rho\sigma} \end{aligned}$$

$\mu-\nu$ ve $\rho-\sigma$ indisleri yerine $\alpha\beta$ indislerini yazarsak

$$E'_i = Z_{ij} + (Z_{ia} - Z_{ib})\bar{\Delta}i_{\alpha\beta} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad 2.3.4$$

primitif devre denkleminde

$$\bar{\Delta}i_{\alpha\beta} = ([y_s] - [y'_s])\bar{v}'_{\gamma s} \quad 2.3.5$$

yazılabilir. Burada $[y_s]$ ve $[y'_s]$ sırasıyla

orijinal ve değişime uğramış devrelerin primitif admitans

alt matrisleridir. Alt matrislerin satır ve sütunları $\mu-\nu$

ve $\rho-\sigma$ ile uyum halindedir. $([y_s] - [y'_s])$ elemanlarının in -

disleri $\alpha\beta, \gamma\delta$ dir. 2.3.5 denklemindeki gerilim vektörü

$$\bar{v}'_{\gamma s} = \bar{E}'_{\gamma} - \bar{E}'_s$$

2.3.4 denkleminde $\bar{E}'_{\gamma}$, $\bar{E}'_s$ yukardaki denklemlerde yerlerine yazılırsa

$$\bar{v}'_{\gamma s} = Z_{\gamma j} - Z_{sj} + ([Z_{\gamma a}] - [Z_{sa}] - [Z_{\gamma b}] + [Z_{sb}])\bar{\Delta}i_{\alpha\beta} \quad 2.3.6$$

2.3.6 denklemindeki $\bar{v}'_{\gamma s}$ yi 2.3.5 denkleminde yerine yazarsak

$$\bar{\Delta}i_{\alpha\beta} = ([y_s] - [y'_s])\{Z_{\gamma j} - Z_{sj} + ([Z_{\gamma a}] - [Z_{sa}] - [Z_{\gamma b}] + [Z_{sb}])\bar{\Delta}i_{\alpha\beta}\} \quad 2.3.7$$

2.3.7 denklemini $\bar{\Delta}i_{\alpha\beta}$ ye göre çözerek

$$\bar{\Delta}i_{\alpha\beta} = \{U - ([y_s] - [y'_s])([Z_{\gamma a}] - [Z_{sa}] - [Z_{\gamma b}] + [Z_{sb}])\}^{-1} ([y_s] - [y'_s])(Z_{\gamma j} - Z_{sj}) \quad 2.3.8$$

ve

$$[M] = \{U - [\Delta y_s]([Z_{\gamma a}] - [Z_{sa}] - [Z_{\gamma b}] + [Z_{sb}])\}$$

2.3.8 denklemi yukardaki ifadelere göre düzenlenirse

$$\bar{\Delta}i_{\alpha\beta} = [M]^{-1}[\Delta y_s](Z_{\gamma j} - Z_{sj}) \quad 2.3.9$$

2.3.9 denklemindeki $\bar{\Delta}i_{\alpha\beta}$ değeri 2.3.4 te yerine konursa

$$E'_i = Z_{ij} + (Z_{ia} - Z_{ib})[M]^{-1}[\Delta y_s](Z_{\gamma j} - Z_{sj})$$

$\mu-\nu$ elemanlarındaki değişim nedeniyle μ, ν, ρ, σ baralarında

meydana gelen akım değişimi nedeniyle i barası gerilim, bu

olaya eşdeğer olan olayda j barasına aynı değişiklikleri meydana getirecek akım injekte etme ve bunun neticesi i barası gerilimi yukardaki denklemde görülmektedir. Buradan, tanımlı bara empedans matrisinden, yeni bara matrisinin i yinci elemanı aşağıdaki gibi olur.

$$Z'_{ij} = Z_{ij} + (Z_{ia} - Z_{ib})[M]^{-1}[\Delta y_i](Z_{ji} - Z_{bj}) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Z'_{BARA} değerleri $j = 1, 2, \dots, n$ nın her bir değeri için aynı yöntem tekrarlanarak bulunur.

2.4 BARA EMPEDANS MATRİSİ MODİFİKASYONUNUN BASİTLEŞTİRİLMESİ

Pratikte çok karşılaşılan bir durum sistemde karşılıklı kuplajın en çok iki hat arasında olmasıdır ve üçüncü bir hat'ın bu iki kuplajlı hat'ın her hangi biri ile karşılıklı kuplaja sahip olmaması durumudur. Bara empedans matrisi teşkilinde anlatıldığı gibi ilave edilen p-q elemanı mevcut başka bir m-n elemanı ile karşılıklı kuplajlı olsun.

2.2.4 denklemini tekrar yazalım.

$$\begin{bmatrix} i_{pq} \\ i_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{pq,pq} & y_{pq,mn} \\ y_{mn,pq} & y_{mn,mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{pq} \\ v_{mn} \end{bmatrix}$$

2.4.1

yukardaki denklemden gerilimleri çözerek

$$\begin{bmatrix} v_{pq} \\ v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{pq,pq} & z_{pq,mn} \\ z_{mn,pq} & z_{mn,mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{pq} \\ i_{mn} \end{bmatrix}$$

2.4.2

2.4.2 denklemi elde edilir. 2.4.1 denklemindeki admitans matrisi 2.4.2 denklemindeki empedans matrisinin inversidir.

Buna göre

$$\begin{bmatrix} Y_{pq,pq} & Y_{pq,mn} \\ Y_{mn,pq} & Y_{mn,mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{pq,pq} & Z_{pq,mn} \\ Z_{mn,pq} & Z_{mn,mn} \end{bmatrix}^{-1}$$

dır. Yukardaki empedans matrisinin inversinde

$$\Delta = Z_{pq,pq} Z_{mn,mn} - Z_{mn,pq} Z_{pq,mn}$$

olduğuna göre

$$\begin{bmatrix} Y_{pq,pq} & Y_{pq,mn} \\ Y_{mn,pq} & Y_{mn,mn} \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} Z_{mn,mn} & -Z_{mn,pq} \\ -Z_{pq,mn} & Z_{pq,pq} \end{bmatrix}$$

2.4.3

2.4.3 denklemi elde edilir.

Tablo 2.1 deki değerleri aşağıdaki kabullerle tekrar yazalım.

$$Z_{pq,pq} = Z_{pq}$$

p-q elemanı self empedansı

$$Z_{pq,mn} = Z_{mn,pq} = Z_m$$

p-q elemanı ile m-n elemanı arasındaki karşılıklı kuplaj

$$Z_{mn,mn} = Z_{mn}$$

m-n elemanı self empedansı

Yukardaki kabullerle 2.4.3 denklemi aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} Y_{pq,pq} & Y_{pq,mn} \\ Y_{mn,pq} & Y_{mn,mn} \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} Z_{mn} & -Z_m \\ -Z_m & Z_{pq} \end{bmatrix}$$

2.4.4

2.4.4 denkleminde matrislerin eşit olma kuralı hatırlanırsa aşağıdaki ifadeler yazılabilir.

$$\Delta = Z_{pq} Z_{mn} - Z_m^2$$

$$Y_{pq,pq} = \frac{Z_{mn}}{\Delta}$$

$$Y_{mn,mn} = \frac{Z_{pq}}{\Delta}$$

$$y_{mn,pq} = y_{pq,mn} = -\frac{z_m}{\Delta}$$

Bu ifadelerden aşağıdaki oranları yazmak mümkündür.

$$\frac{\bar{y}_{pq,mn}}{y_{pq,pq}} = \frac{-\frac{z_m}{\Delta}}{\frac{z_{mn}}{\Delta}} = -\frac{z_m}{z_{mn}}$$

$$\frac{1 + \bar{y}_{pq,mn} A}{y_{pq,pq}} = \frac{1}{\frac{z_{mn}}{\Delta}} - \frac{z_m A}{z_{mn}} = z_{pq} - \frac{z_m^2}{z_{mn}} - \frac{z_m A}{z_{mn}} = z_{pq} - \frac{z_m}{z_{mn}} (z_m + A)$$

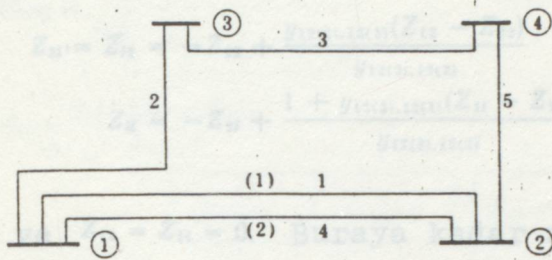
Bu oranları kullanarak tablo2.1 den tablo2.2 elde edilir.

Tablo 2.2 Basitleştirilmiş bra empedans matrisinin eldesi özeti

eklenen $p-q$	Karşılıklı kuplajlı		Kuplajsız	
	p referans barası değil	p referans barası	p referans barası değil	p referans barası
Dal	$Z_{qi} = Z_{pi} - \frac{z_m (\tilde{Z}_{mi} - \tilde{Z}_{ni})}{z_{mn}}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq q$ $Z_{qq} = Z_{pq} + \frac{z_m (\tilde{Z}_{mq} + \tilde{Z}_{mq} - \tilde{Z}_{ni})}{z_{mn}}$	$Z_{qi} = Z_{pi}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq q$ $Z_{qq} = Z_{pq} + z_{pq}$	$Z_{qi} = 0$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq q$ $Z_{qq} = z_{pq}$	
Qevre	$Z_{li} = Z_{pi} - \frac{z_m (\tilde{Z}_{mi} - \tilde{Z}_{ni})}{z_{mn}}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq l$ $Z_{ll} = Z_{pl} + z_{pq} - \frac{z_m (\tilde{Z}_{ml} + \tilde{Z}_{ml} - \tilde{Z}_{ni})}{z_{mn}}$	$Z_{li} = -Z_{qi} - \frac{(z_m (\tilde{Z}_{mi} - \tilde{Z}_{ni}))}{z_{mn}}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq l$ $Z_{ll} = -Z_{ql} + z_{pq}$	$Z_{li} = -Z_{qi}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq l$ $Z_{ll} = -Z_{ql} + z_{pq}$	

Örnek 1.

Aşağıda şekli ve empedans değerleri verilen sistemin Z_{BARA} matrisini elde ediniz.



Örnek sistem

Örnek sistemin veri tablosu

Eleman numarası	Self		Karşılıklı	
	Bara kodu p-q	empedans $Z_{pq,pq}$	Bara kodu m-n	empedans $Z_{pq,mn}$
1	1-2(1)	0,6		
4	1-2(2)	0,4	1-2(1)	0,2
2	1-3	0,5	1-2(1)	0,1
3	3-4	0,5		
5	2-4	0,2		

Çözüm: Burada 1. eleman hem 4. eleman hemde 2. eleman ile karşılıklı kuplajlı olduğundan tablo 2.1 deki formülleri kullanabiliriz. 1 numaralı barayı referans barası olarak seçelim.

1. adım $p = 1$ den $q = 2$ ye 1. eleman bir dal teşkil eder, buna göre

$$Z_{\text{BARA}} = \textcircled{2} \begin{bmatrix} 0.6 \end{bmatrix}$$

2. adım $p = 1$ den $q = 2$ ye 4. eleman bir çevre teşkil eder ve bu eleman birinci eleman ile karşılıklı kuplajlıdır.

	②	l
②	0.6	Z_{21}
l	Z_{12}	Z_{11}

$$Z_{21} = Z_{12} = -Z_{22} + \frac{y_{12(2),12(1)}(Z_{12} - Z_{22})}{y_{12(2),12(2)}}$$

$$Z_{11} = -Z_{21} + \frac{1 + y_{12(2),12(1)}(Z_{11} - Z_{21})}{y_{12(2),12(2)}}$$

ve $Z_{12} = Z_{11} = 0$. Buraya kadar meydana gelen kısmi devrenin primitif empedans matrisinin inversi alınarak primitif admitans matrisi elde edilir.

$$[Z_{mn,mn}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1-2(1) & 1-2(2) \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1-2(1) \\ 1-2(2) \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.6 & 0.2 \\ 0.2 & 0.4 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$[Z_{mn,mn}]^{-1} = [Y_{mn,mn}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1-2(1) & 1-2(2) \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1-2(1) \\ 1-2(2) \end{matrix} & \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 3 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

yukardaki ifadelerden

$$Z_{21} = Z_{12} = -0.6 + \frac{(-1)(-0.6)}{3} = -0.4$$

$$Z_{11} = 0.4 + \frac{1-1(0.4)}{3} = 0.6$$

buradan

	②	l
②	0.6	-0.4
l	-0.4	0.6

l yinci düğümü yok edersek

$$Z_{\text{BARA}} = \textcircled{2} \begin{bmatrix} 0.3333 \end{bmatrix}$$

elde edilir.

3. adım $p = 1$ den $q = 3$ e 2. eleman bir dal ilavesidir ve bu eleman 1. eleman ile karşılıklı kuplajlıdır. Buna göre

$$Z_{BARA} = \begin{array}{c} \textcircled{2} \quad \textcircled{3} \\ \begin{array}{|c|c|} \hline \textcircled{2} & 0.3333 \quad Z_{23} \\ \hline \textcircled{3} & Z_{32} \quad Z_{33} \\ \hline \end{array} \end{array}$$

$$Z_{qi} = \frac{y_{pqmn}(Z_{mi} - Z_{ni})}{y_{pq,pq}}$$

$$Z_{32} = Z_{23} = \frac{\begin{array}{|c|c|} \hline y_{13,12(1)} & y_{13,12(2)} \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline Z_{12} - Z_{22} \\ \hline Z_{12} - Z_{22} \\ \hline \end{array}}{y_{13,13}}$$

$$Z_{33} = \frac{1 + \begin{array}{|c|c|} \hline y_{13,12(1)} & y_{13,12(2)} \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline Z_{13} - Z_{23} \\ \hline Z_{13} - Z_{23} \\ \hline \end{array}}{y_{13,13}}$$

Yukardaki primitif admitans değerleri primitif empedans matrisinin inversi alınarak bulunur.

$$[z_{mn,mn}] = \begin{array}{c} \begin{array}{|c|c|c|} \hline & 1-2(1) & 1-2(2) & 1-3 \\ \hline 1-2(1) & 0.6 & 0.2 & 0.1 \\ \hline 1-2(2) & 0.2 & 0.4 & \\ \hline 1-3 & 0.1 & & 0.5 \\ \hline \end{array} \end{array}$$

$$[z_{mn,mn}]^{-1} = [y_{mn,mn}] = \begin{array}{c} \begin{array}{|c|c|c|} \hline & 1-2(1) & 1-2(2) & 1-3 \\ \hline 1-2(1) & 2.0833 & -1.0417 & -0.4167 \\ \hline 1-2(2) & -1.0417 & 3.0208 & 0.2083 \\ \hline 1-3 & -0.4167 & 0.2083 & 2.0833 \\ \hline \end{array} \end{array}$$

olduğu hatırlanarak

$$Z_{32} = Z_{23} = \frac{\begin{array}{|c|c|} \hline -0.4167 & 0.2083 \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline -0.3333 \\ \hline -0.3333 \\ \hline \end{array}}{2.0833} = 0.0333$$

$$Z_{33} = \frac{1 + \begin{array}{|c|c|} \hline -0.4167 & 0.2083 \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline -0.0333 \\ \hline -0.0333 \\ \hline \end{array}}{2.0833} = 0.4833$$

Buradan

$$Z_{\text{BARA}} = \begin{array}{|c|c|} \hline \textcircled{2} & \textcircled{3} \\ \hline \textcircled{2} & 0.3333 & 0.0333 \\ \hline \textcircled{3} & 0.0333 & 0.4833 \\ \hline \end{array}$$

elde edilir.

4. adım $p = 3$ den $q = 4$ yeni bir dal eklenmesi karşılıklı kuplaj yoktur.

$$Z_{qi} = Z_{pi}$$

$$Z_{21} = Z_{42} = Z_{32} = 0.0333$$

$$Z_{31} = Z_{43} = Z_{33} = 0.4833$$

$$Z_{41} = Z_{34} + z_{14,34} = 0.4833 + 0.5 = 0.9833$$

Buradan aşağıdaki bara ifadesi elde edilir.

$$Z_{\text{BARA}} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline & \textcircled{2} & \textcircled{3} & \textcircled{4} \\ \hline \textcircled{2} & 0.3333 & 0.0333 & 0.0333 \\ \hline \textcircled{3} & 0.0333 & 0.4833 & 0.4833 \\ \hline \textcircled{4} & 0.0333 & 0.4833 & 0.9833 \\ \hline \end{array}$$

5. adım $p = 2$ den $q = 4$ e 5 eleman bir çevre teşkil eder.

Bu eleman ile diğer elemanlar arasında karşılıklı kuplaj yoktur.

$$Z_{li} = Z_{pi} - Z_{qi}$$

$$Z_{21} = Z_{12} = Z_{22} - Z_{42} = 0.3333 - 0.0333 = 0.3000$$

$$Z_{31} = Z_{13} = Z_{23} - Z_{43} = 0.0333 - 0.4833 = -0.4500$$

$$Z_{41} = Z_{14} = Z_{24} - Z_{44} = 0.0333 - 0.9833 = -0.9500$$

$$Z_{ii} = Z_{pi} - Z_{qi} + z_{pq.pq}$$

$$Z_{ii} = Z_{21} - Z_{41} + z_{24.24} = 0.3000 + 0.9500 + 0.2 = 1.4500$$

Buradan istenen matris

	②	③	④	l
②	0.3333	0.0333	0.0333	0.3000
③	0.0333	0.4833	0.4833	-0.4500
④	0.0333	0.4833	0.9833	-0.9500
l	0.3000	-0.4500	-0.9500	1.4500

Matris indirgenmesi yöntemiyle 1 yinci satır ve sütun

1.12 denklemine göre indirgenir. Buna göre

$$A_{yeni} = A_{11} - A_{12} A_{22}^{-1} A_{21}$$

$$A_{12} = \begin{bmatrix} 0.3000 \\ -0.4500 \\ -0.9500 \end{bmatrix}$$

$$A_{22}^{-1} = \frac{1}{1.45} A_{21} = \begin{bmatrix} 0.3000 & -0.4500 & -0.9500 \end{bmatrix}$$

$$A_{12} A_{22}^{-1} A_{21} = \begin{bmatrix} 0.3000 \\ -0.4500 \\ -0.9500 \end{bmatrix} \frac{1}{1.45} \begin{bmatrix} 0.3000 & -0.4500 & -0.9500 \end{bmatrix}$$

$$A_{12} A_{22}^{-1} A_{21} = \frac{1}{1.45}$$

0.09	-0.135	-0.285
-0.135	0.2025	0.4275
-0.285	0.4275	0.9025

Buradan

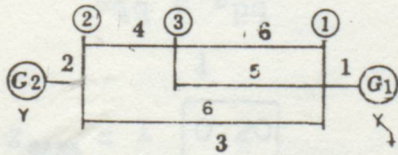
$$A_{yeni} = \begin{bmatrix} 0.3333 & 0.0333 & 0.0333 \\ 0.0333 & 0.4833 & 0.4833 \\ 0.0333 & 0.4833 & 0.9833 \end{bmatrix} - \frac{1}{145} \begin{bmatrix} 0.0900 & -0.1350 & -0.2850 \\ -0.1350 & 0.2025 & 0.4275 \\ -0.2850 & 0.4275 & 0.9025 \end{bmatrix}$$

$$A_{yeni} = \begin{bmatrix} 0.2712 & 0.1263 & 0.2298 \\ 0.1263 & 0.3436 & 0.1885 \\ 0.2298 & 0.1885 & 0.3609 \end{bmatrix}$$

elde edilir. Yukarda elde edilen A_{yeni} değeri 2 düğümü yok edilen bara empedans matrisidir.

$$Z_{BARA} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 2 & 3 & 4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.2712 & 0.1263 & 0.2298 \\ 0.1263 & 0.3436 & 0.1885 \\ 0.2298 & 0.1885 & 0.3609 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Örnek 2 Aşağıda şekli ve empedans değerleri verilen sistemin pozitif sequence devre için Z_{BARA} matrisini ediniz



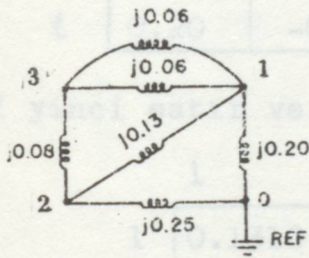
örnek sistem

$$Z_{BARA} = \begin{bmatrix} 0.20 & 0 \\ 0 & 0.25 \end{bmatrix}$$

Örnek sistemin veri tablosu

eleman numarası	Bara kodu p-q	Self empedans			sıfır sequence	
		pozitif	negatif	sıfır	karşılıklı empedans	kuplajlı elemanlar
1	Generatör 1	0.20	0.12	0.02		
2	Generatör 2	0.25	0.15	0.03		
3	1-2	0.13	0.13	0.17		
4	2-3	0.08	0.08	0.14		
5	1-3	0.06	0.06	0.12	0.05	6
6	1-3	0.06	0.06	0.10	0.05	5

Çözüm



Örnek sistemin pozitif sequence devresi

Yukardaki pozitif eşdeğer devrenin çözümünde tablo 2.2 yi kullanabiliriz.

1. adım $p = 0$ $q = 1$ 1. eleman bir dal teşkil eder.

$$Z_{qi} = 0$$

$$Z_{10} = 0$$

$$Z_{qq} = z_{pq}$$

$$Z_{11} = z_{01} = 0.20$$

1

$$Z_{\text{BARA}} = 1 \begin{bmatrix} 0.20 \end{bmatrix}$$

2. adım $p = 0$ $q = 2$, 2 eleman bir dal teşkil eder.

$$Z_{qi} = 0$$

$$Z_{20} = 0$$

$$Z_{21} = 0$$

$$Z_{qq} = z_{pq}$$

$$Z_{22} = z_{02} = 0.25$$

$$Z_{\text{BARA}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0.25 \end{bmatrix}$$

3. adım $p = 1$ den $q = 2$ ye 3. eleman bir çevre teşkil eder ve bu eleman diğer elemanlarla kuplajlı değildir.

$$Z_{li} = Z_{pi} - Z_{qi} = Z_{1i} - Z_{2i}$$

$$Z_{l1} = Z_{11} - Z_{21} = 0.20 - 0 = 0.20$$

$$Z_{l2} = Z_{12} - Z_{22} = 0 - 0.25 = -0.25$$

$$Z_{ll} = Z_{pl} - Z_{ql} + Z_{pq}$$

$$Z_{ll} = Z_{1l} - Z_{2l} + z_{12} = 0.20 + 0.25 + 0.13 = 0.58$$

	1	2	l
1	0.20	0	0.20
2	0	0.25	-0.25
l	0.20	-0.25	0.58

l yinci satır ve sütun yok edilirse

	1
1	0.1310
2	0.0862

elde edilir.

4. adım $p = 2$ den $q = 3$ e 4 eleman bir dal teşkil eder.

Bu eleman diğer elemanlarla kuplajsızdır.

$$Z_{qi} = Z_{pi} \quad Z_{ji} = Z_{2i}$$

$$Z_{13} = Z_{31} = Z_{21} = 0.0862$$

$$Z_{23} = Z_{32} = Z_{22} = 0.1422$$

$$Z_{qq} = Z_{pq} + Z_{pq}$$

$$Z_{33} = Z_{23} + z_{23} = 0.1422 + 0.08 = 0.2222$$

	1	2	3
1	0.1310	0.0862	0.0862
2	0.0862	0.1422	0.1422
3	0.0862	0.1422	0.2222

5. adım $p = 1$ den $q = 3$ e 5. eleman bir çevre teşkil eder. ve mevcut elemanlarla arasında bir kuplaj yoktur.

$$Z_{li} = Z_{pi} - Z_{qi}$$

$$Z_{li} = Z_{li} - Z_{3i}$$

$$Z_{1l} = Z_{l1} = Z_{11} - Z_{31} = 0.1310 - 0.0862 = 0.0448$$

$$Z_{2l} = Z_{l2} = Z_{12} - Z_{32} = 0.0862 - 0.1422 = -0.0560$$

$$Z_{3l} = Z_{l3} = Z_{13} - Z_{33} = 0.0862 - 0.2222 = -0.136$$

$$Z_{ll} = Z_{ol} - Z_{ql} + z_{pq}$$

$$Z_{ll} = Z_{1l} - Z_{3l} + z_{13}$$

$$Z_{ll} = 0.0448 + 0.136 + 0.06 = 0.2408$$

	1	2	3	l
1	0.1310	0.0862	0.0862	0.0448
2	0.0862	0.1422	0.1422	-0.0560
3	0.0862	0.1422	0.2222	-0.136
l	0.0448	-0.0560	-0.136	0.2408

yukardaki ifadede l. satır ve sütun indirgenirse

	1	2	3
1	0.1227	0.0966	0.1115
2	0.0966	0.1292	0.1106
3	0.1115	0.1106	0.1454

elde edilir.

6. adım $p = 1$ den $q = 3$ e 6. eleman bir çevre oluşturur ve bu elemanda pozitif sequence elemanlar arasında kuplaj olmaması nedeniyle diğer elemanlarla kuplajlı değildir.

$$Z_{li} = Z_{li} - Z_{3i}$$

$$Z_{1l} = Z_{l1} = Z_{11} - Z_{31} = 0.1227 - 0.1115 = 0.0112$$

$$Z_{2\ell} = Z_{12} = Z_{12} - Z_{32} = 0.0966 - 0.1106 = -0.0140$$

$$Z_{3\ell} = Z_{13} = Z_{13} - Z_{33} = 0.1115 - 0.1454 = -0.0339$$

$$Z_{\ell\ell} = Z_{1\ell} - Z_{3\ell} + z_{13} = 0.0112 + 0.0339 + 0.06 = 0.1051$$

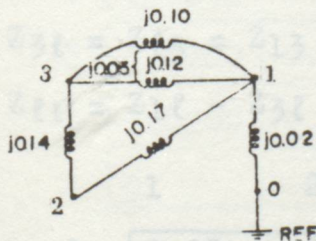
	1	2	3	ℓ
1	0.1227	0.0966	0.1115	0.0112
2	0.0966	0.1292	0.1106	-0.0140
3	0.1115	0.1106	0.1454	-0.0339
ℓ	0.0112	-0.0140	-0.0339	0.1051

Yukardaki matriste ℓ . satır ve sütun yok edilerek.

	1	2	3
1	0.1215	0.0981	0.1151
2	0.0981	0.1273	0.1061
3	0.1151	0.1061	0.1345

elde edilir ve modifikasyon tamamlanmıştır.

Örnek 3. Örnek 2 de verilen örnek sistemin sıfır sequence devre elemanları için Z_{BARA} matrisini elde ediniz.



Örnek sistem için sıfır sequence devre

1. adım $p = 0$ dan $q = 1$ eleman bir dal teşkil eder.

	1
$Z_{\text{BARA}} = 1$	0.02

2. adım 2. elemanın bir ucu baraya diğer ucu başka olduğu için sıfır sequence devre elemanı olarak gözükmez.

3. adım $p = 1$ den $q = 2$ ye 3. eleman bir dal teşkil eder

$$Z_{\text{BARA}} = \begin{array}{c} 1 \\ 2 \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline 0.02 & 0.02 \\ \hline 0.02 & 0.19 \\ \hline \end{array} \begin{array}{l} Z_{qi} = Z_{pi} \\ Z_{2i} = Z_{1i} \\ Z_{12}=Z_{21}=Z_{11}= 0.02 \\ Z_{22} = Z_{12} + z_{12} = 0.02 + 0.17 = 0.19 \end{array}$$

4. adım $p = 2$ den $q = 3$ e 4 eleman bir dal oluşturur.

$$Z_{\text{BARA}} = \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0.02 & 0.02 & 0.02 \\ \hline 0.02 & 0.19 & 0.19 \\ \hline 0.02 & 0.19 & 0.33 \\ \hline \end{array} \begin{array}{l} Z_{qi} = Z_{pi} \\ Z_{3i} = Z_{2i} \\ Z_{13}=Z_{31}=Z_{21}= 0.02 \\ Z_{32}=Z_{23}=Z_{22}= 0.19 \\ Z_{33}=Z_{23} + z_{23} = 0.19 + 0.14 = 0.33 \end{array}$$

5. adım $p = 1$ den $q = 3$ e 5 eleman bir çevre oluşturur ve bu eleman devrede şimdiye kadar ilave edilen hiç bir elemanla kuplajlı değildir.

$$Z_{li} = Z_{pi} - Z_{qi} = Z_{li} - Z_{3i}$$

$$Z_{1l} = Z_{l1} = Z_{11} - Z_{31} = 0.02 - 0.02 = 0$$

$$Z_{2l} = Z_{l2} = Z_{12} - Z_{32} = 0.02 - 0.19 = -0.17$$

$$Z_{3l} = Z_{l3} = Z_{13} - Z_{33} = 0.02 - 0.33 = -0.31$$

$$Z_{ll} = Z_{1l} - Z_{3l} + z_{13} = 0 + 0.31 + 0.12 = 0.43$$

	1	2	3	l
1	0.02	0.02	0.02	0
2	0.02	0.19	0.19	-0.17
3	0.02	0.19	0.33	-0.31
l	0	-0.17	-0.31	0.43

Yukardaki matrisin ℓ . satır ve sütununu yok edersek

	1	2	3
1	0.0200	0.0200	0.0200
$Z_{BARA'} = 2$	0.0200	0.1228	0.0674
3	0.0200	0.0674	0.1065

elde edilir.

6. adım $p = 1$ den $q = 3$ e 6. eleman bir çevre oluşturur ve devrede mevcut 5 eleman ile kuplajlıdır.

$$5. \text{ eleman } m = 1 \quad n = 3 \quad z_{mn} = z_{13} = 0.12$$

$$Z_{\ell i} = Z_{pi} - Z_{qi} - \frac{z_m(Z_{mi} - Z_{ni})}{z_{mn}} = Z_{1i} - Z_{3i} - \frac{0.05(Z_{1i} - Z_{3i})}{0.12}$$

$$Z_{\ell i} = Z_{1i} - Z_{3i} - 0.4167 (Z_{1i} - Z_{3i})$$

$$Z_{1\ell} = Z_{\ell 1} = Z_{11} - Z_{31} - 0.4167 (Z_{11} - Z_{31}) = 0$$

$$Z_{2\ell} = Z_{\ell 2} = Z_{12} - Z_{32} - 0.4167 (Z_{12} - Z_{32}) = -0.0276$$

$$Z_{3\ell} = Z_{\ell 3} = Z_{13} - Z_{33} - 0.4167 (Z_{13} - Z_{33}) = -0.0505$$

$$Z_{\ell\ell} = Z_{1\ell} - Z_{3\ell} + z_{13} - \frac{0.05 (z_m + Z_{11} - Z_{31})}{0.12}$$

$$Z_{\ell\ell} = 0 + 0.0505 + 0.10 - 0.4167(0.05 + 0 + 0.0505) = 0.1086$$

	1	2	3	ℓ
1	0.0200	0.0200	0.0200	0
2	0.0200	0.1228	0.0674	-0.0276
3	0.0200	0.0674	0.1065	-0.0505
ℓ	0	-0.0276	-0.0505	0.1086

ℓ . satır ve sütuna göre matrisi indirgersek

		1	2	3
$Z_{\text{BARA}} =$	1	0.0200	0.0200	0.0200
	2	0.0200	0.1158	0.0546
	3	0.0200	0.0546	0.0830

elde edilir. Başka eleman olmadığından son denklem istenen sıfır sequence bara empedans matrisidir.

uyarın varsa, devre çözüm problemi iki metottan biri ile devreyi analiz etmektir. İkinci metot, dengesiz faz bileşenlerinin dengeli sequence bileşenlere transformasyonunu ihtiva eder. Simetrik bileşenler ve Clark bileşenleri iki önemli sequence bileşenlerdir. Simetrik bileşenler için, dönen ve hareket eden elemanların her ikisi içinde dengeli sequence empedanslar kuplajsızdır. Clark bileşenleri için yalnızca duran elemanlarda dengeli sequence empedanslar kuplajsızdır. Dengesiz devrelerin transformasyonu, genellikle, kuplajsız sequence empedanslar vermez.

5.2 ÜÇ FAZLI DEVRE ELEMANLARI

Bir üç fazlı devre bileşenlerinin empedanslarla tanınması şekil 3.1 de gösterilmiştir. Bu bileşenlerin admitansları ile tanınması ise şekil 3.2 göstermektedir. Şurada değişken ve parametreler aşağıdaki gibidir.

şekil 3.1
sıra ile a, b ve c fazları için p-q elemanlarındaki gerilimlerdir.

şekil 3.2
sıra ile a, b ve c fazları p-q elemanlarına seri kaynak gerilimleridir.

3 ÜÇ FAZLI DEVRELER

3.1 GİRİŞ

Umumiyetli güç sistemleri, dengeli üç fazlı üretim ve tüketim şartlarında işletilir. Dengeli bir devre iletim hatlarının tranpozisi ile elde edilir. Bu, tek-faz bazına göre, pek çok üç-fazlı güç sistemi probleminin türetilmesini mümkün kılar. Eğer dengeli bir devrede dengesiz bir uyarım varsa, devre çözüm problemi iki metottan biri ile devreyi analiz etmektir. İkinci metot, dengesiz faz bileşenlerinin dengeli sequence bileşenlere transformasyonunu ihtiva eder. Simetrili bileşenler ve Clark bileşenleri iki önemli sequence bileşenlerdir. Simetrili bileşenler için, dönen ve hareket eden elemanların her ikisi içinde dengeli sequence empedanslar kuplajsızdır. Clark bileşenleri için yalnızca duran elemanlarda dengeli sequence empedanslar kuplajsızdır. Dengesiz devrelerin transformasyonu, genellikle, kuplajsız sequence empedanslar vermez.

3.2 ÜÇ FAZLI DEVRE ELEMANLARI

Bir üç fazlı devre bileşenlerinin empedanslarla tanımı şekil 3.1 de gösterilmiştir. Bu bileşenlerin admitanslarla tanımı ise şekil 3.2 göstermektedir. Buradaki değişken ve parametreler aşağıdaki gibidir.

$$v_{pq}^a, v_{pq}^b, v_{pq}^c$$

sırasıyla a, b ve c fazları için p-q elemanı uçlarındaki gerilimlerdir.

$$e_{pq}^a, e_{pq}^b, e_{pq}^c$$

sırasıyla a, b ve c fazları p-q elemanlarına seri kaynak gerilimleridir.

$i_{pq}^a, i_{pq}^b, i_{pq}^c$

sırasıyla a, b ve c fazları için p-q elemanı içinden geçen akımlardır.

 $j_{pq}^a, j_{pq}^b, j_{pq}^c$

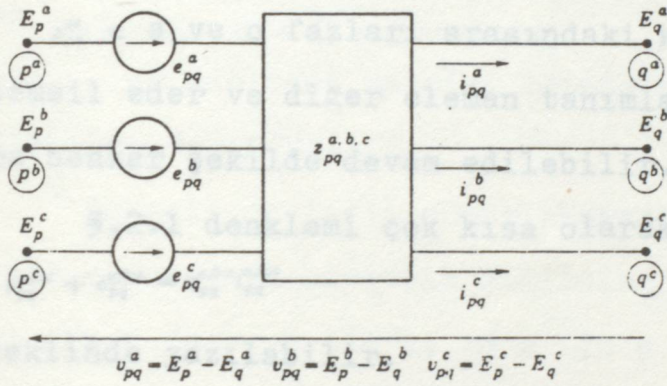
sırasıyla a, b ve c fazları için p-q elemanına paralel kaynak akımlarıdır.

 $z_{pq}^{a,b,c}$

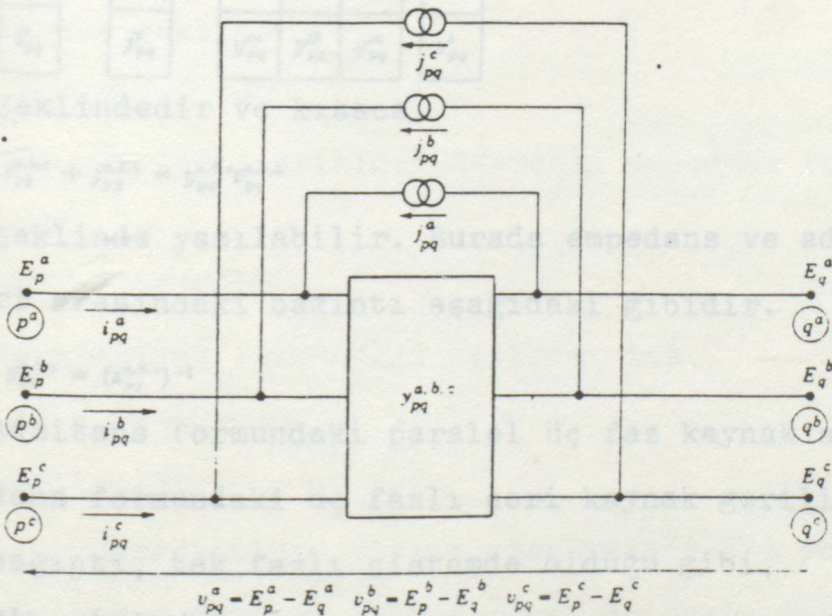
p-q elemanı için üç fazlı empedans matrisidir.

 $y_{pq}^{a,b,c}$

p-q elemanı için üç fazlı admitans matrisidir.



Şekil:3.1 Empedans formunda üç-fazlı devre temsili



Şekil:3.2 Admitans formunda üç-fazlı devre temsili

Üç fazlı elemanın empedans formundaki denklemi

$$\begin{bmatrix} v_{pq}^a \\ v_{pq}^b \\ v_{pq}^c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{pq}^a \\ e_{pq}^b \\ e_{pq}^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{pq}^{aa} & z_{pq}^{ab} & z_{pq}^{ac} \\ z_{pq}^{ba} & z_{pq}^{bb} & z_{pq}^{bc} \\ z_{pq}^{ca} & z_{pq}^{cb} & z_{pq}^{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{pq}^a \\ i_{pq}^b \\ i_{pq}^c \end{bmatrix} \quad 3.2.1$$

dır. Burada

z_{pq}^{aa} = p ve q noktaları arasındaki üç fazlı devre elemanının a fazı self empedans

z_{pq}^{ab} = a ve b fazları arasındaki karşılıklı empedansı

z_{pq}^{ac} = a ve c fazları arasındaki karşılıklı empedansı

temsil eder ve diğer eleman tanımlarına yukardaki tanımlara benzer şekilde devam edilebilir.

3.2.1 denklemi çok kısa olarak

$$v_{pq}^{a,b,c} + e_{pq}^{a,b,c} = z_{pq}^{a,b,c} i_{pq}^{a,b,c} \quad 3.2.2$$

şeklinde yazılabilir.

Admitans formundaki denklemde

$$\begin{bmatrix} i_{pq}^a \\ i_{pq}^b \\ i_{pq}^c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} j_{pq}^a \\ j_{pq}^b \\ j_{pq}^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{pq}^{aa} & y_{pq}^{ab} & y_{pq}^{ac} \\ y_{pq}^{ba} & y_{pq}^{bb} & y_{pq}^{bc} \\ y_{pq}^{ca} & y_{pq}^{cb} & y_{pq}^{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{pq}^a \\ v_{pq}^b \\ v_{pq}^c \end{bmatrix}$$

Şeklindedir ve kısaca

$$i_{pq}^{a,b,c} + j_{pq}^{a,b,c} = y_{pq}^{a,b,c} v_{pq}^{a,b,c}$$

şeklinde yazılabilir. Burada empedans ve admitans matrisleri arasındaki bağıntı aşağıdaki gibidir.

$$y_{pq}^{a,b,c} = (z_{pq}^{a,b,c})^{-1}$$

Admitans formundaki paralel üç faz kaynak akımı ile empedans formundaki üç fazlı seri kaynak gerilimi arasındaki bağıntı, tek fazlı sistemde olduğu gibi,

$$j_{pq}^{a,b,c} = -y_{pq}^{a,b,c} e_{pq}^{a,b,c}$$

şeklinde yazılabilir.

İki uçlu sabit elemanların matrisleri $z_{pq}^{a,b,c}$ ve $y_{pq}^{a,b,c}$ birer simetrik matristirler. Eğer üç faz elemanları dengeli ise, z_{pq}^s şeklinde düzenlenen $z_{pq}^{a,b,c}$ nin köşegen elemanları eşit, köşegen dışındaki z_{pq}^m şeklinde düzenlenen elemanları da eşit olur, şöyleki

$$z_{pq}^{aa} = z_{pq}^{bb} = z_{pq}^{cc} = z_{pq}^s$$

ve $z_{pq}^{ab} = z_{pq}^{ac} = z_{pq}^{ba} = z_{pq}^{bc} = z_{pq}^{ca} = z_{pq}^{cb} = z_{pq}^m$ dir. $y_{pq}^{a,b,c}$ admitans matrisi içinde buna karşılık gelen bağıntılar doğrudur.

Dengeli üç fazlı döner elemanların empedans ve admitans matrisleri simetrik değildir. Bununla birlikte, a fazı ile b fazı, b ile c, ve c ile a arasındaki karşılıklı kuplajdan oluşan faz bileşenleri a,b,c fazı için özdeştir. Şöyleki

$$z_{pq}^{ab} = z_{pq}^{bc} = z_{pq}^{ca} = z_{pq}^{m1}$$

benzer şekilde

$$z_{pq}^{ac} = z_{pq}^{ba} = z_{pq}^{cb} = z_{pq}^{m2}$$

dir. Üç fazlı primitif devrenin empedans formundaki denklemi.

$$\bar{v}^{a,b,c} + \bar{e}^{a,b,c} = [z^{a,b,c}] \bar{i}^{a,b,c}$$

ve admitans formundaki denklemi ise

$$\bar{i}^{a,b,c} + \bar{j}^{a,b,c} = [y^{a,b,c}] \bar{v}^{a,b,c}$$

şeklindedir.

Değişkenleri temsil eden vektör 3×1 boyutunda alt matrislerden meydana gelmiş olup, üç fazlı devre parçası ele-

manlarının değişkenlerine karşılık gelir. Parametreler matrisi ise 3X3 lük alt matrislerden oluşmuştur. Bu alt matrisler, devre admitans ve empedans matrislerinin self ve karşılıklı elemanlarına karşılık gelmektedir.

3.3 ÜÇ FAZLI DENGELİ DEVRE ELEMANLARI

DENGELİ UYARIM

Kaynak gerilimlerinin veya akımlarının mutlak değeri eşit ve aralarındaki açı 120° olacak şekilde yapılan üç fazlı bir eleman uyarımı dengelidir denir. Dengeli uyarım için

$$e_{pq}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} e_{pq}^a \\ e_{pq}^b \\ e_{pq}^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} e_{pq}^a \quad \text{ve} \quad j_{pq}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} j_{pq}^a \\ j_{pq}^b \\ j_{pq}^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} j_{pq}^a$$

yazılır. Burada

$$a = e^{j(2\pi/3)} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

bunu $a^3 = 1, a^2 + a + 1 = 0$ ve $a^* = a^2$ takip eder.

Üç fazlı dengeli eleman uyarımı dengeli ise faz gerilimleri ve faz akımları dengelidir. Bu cümleden olarak, duran eleman için empedans formunda devre denklemi

$$\begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} v_{pq}^a + \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} e_{pq}^a = \begin{bmatrix} z_{pq}^s & z_{pq}^m & z_{pq}^m \\ z_{pq}^m & z_{pq}^s & z_{pq}^m \\ z_{pq}^m & z_{pq}^m & z_{pq}^s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} i_{pq}^a \quad 3.3.1$$

denklemine indirgenir. Yukarıda a, a^2 ve a^3 değeri pozitif sequence empedanstır.

ve döner elemanlar için

$$\begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline a^2 \\ \hline a \\ \hline \end{array} v_{pq}^a + \begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline a^2 \\ \hline a \\ \hline \end{array} e_{pq}^a = \begin{array}{|c|c|c|} \hline z_{pq}^s & z_{pq}^{m1} & z_{pq}^{m2} \\ \hline z_{pq}^{m2} & z_{pq}^s & z_{pq}^{m1} \\ \hline z_{pq}^{m1} & z_{pq}^{m2} & z_{pq}^s \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline a^2 \\ \hline a \\ \hline \end{array} i_{pq}^a$$

3.3.2

şeklinde yazılabilir.

Denklem 3.3.1 in her iki yanı önden

$$\begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline a^2 \\ \hline a \\ \hline \end{array}$$

nın eşleniğinin transpozesi ile çarpılırsa
yani

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & a & a^2 \\ \hline \end{array}$$

ile aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$3v_{pq}^a + 3e_{pq}^a = 3(z_{pq}^s - z_{pq}^m)i_{pq}^a \quad 3.3.3$$

3.3.3 denklemi 3 ile bölünerek de aşağıdaki denklem elde edilir.

$$v_{pq}^a + e_{pq}^a = (z_{pq}^s - z_{pq}^m)i_{pq}^a$$

yukarda $(z_{pq}^s - z_{pq}^m)$ ifadesi pozitif sequence empedanstır ve $z_{pq}^{(1)}$ şeklinde yazılır. Buradan, dengeli üç fazlı bir elemanın dengeli uyarımı ile tek fazlı devre eleman problemleri türetebilmektedir. Elemanın gücü her bir fazın gücünün üç katına eşittir.

Benzer yolla 3.3.2 denklemi

$$v_{pq}^a + e_{pq}^a = (z_{pq}^s + a^2 z_{pq}^{m1} + az_{pq}^{m2})i_{pq}^a$$

denkleminde indirgenir. Yukarda $z_{pq}^s + a^2 z_{pq}^{m1} + az_{pq}^{m2}$ değeri pozitif sequence empedanstır.

Admitans formunda çalışma denklemi:

duran elemanlar için,

$$i_{pq}^a + j_{pq}^a = (y_{pq}^s - y_{pq}^m)v_{pq}^a$$

dönen elemanlar için,

$$i_{pq}^a + j_{pq}^a = (y_{pq}^s + a^2 y_{pq}^{m1} + a y_{pq}^{m2})v_{pq}^a$$

dır.

DENGESİZ UYARIM

Uyarımın dengesiz olduğu zamanlarda, $z_{pq}^{a,b,c}$ empedans matrisinin köşegenleştirilmesi ile üç fazlı eleman denklemi üç tane bağımsız denkleme indirgenir. Kompleks T dönüşüm matrisinin kullanılışı ile, faz değişkenlerinin yeni faz takımı ile ifade edilişi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} y_{pq}^{a,b,c} &= T y_{pq}^{i,j,k} \\ e_{pq}^{a,b,c} &= T e_{pq}^{i,j,k} \\ i_{pq}^{a,b,c} &= T i_{pq}^{i,j,k} \end{aligned}$$

3.3.4

Elemanın komplek gücü

$$S_{pq} = P_{pq} + jQ_{pq} = \{(i_{pq}^{a,b,c})^* \} i_{pq}^{a,b,c}$$

Denklem 3.3.4 deki değer yerine konarak

$$S_{pq} = \{(i_{pq}^{i,j,k})^* \} (T^*)^t T e_{pq}^{i,j,k}$$

3.3.5

elde edilir. i,j,k sequence değişkenleri durumunda kompleks güç 3.3.6 denklemi şeklinde yazılır.

$$S'_{pq} = \{(i_{pq}^{i,j,k})^* \} e_{pq}^{i,j,k}$$

3.3.6

Eğer S_{pq} ve S'_{pq} kompleks güçleri eşitse, yani, seçilen T dönüşümünde güç korunuyor ise, 3.3.5 ve 3.3.6 denklemlerinden

$$(T^*)^t T = U = T(T^*)^t$$

yazılır. Burada T bir birimsel matristir.

Denklem 3.3.4 deki değerler göz önüne alınırsa, 3.2.2 denklemi aşığıdaki gibi olur.

$$T(v_{pq}^{i,j,k} + e_{pq}^{i,j,k}) = z_{pq}^{a,b,c} T_i^{i,j,k} \quad 3.3.7$$

3.3.7 nin her iki tarafı önden (T^*) ile çarpılarak

$$v_{pq}^{i,j,k} + e_{pq}^{i,j,k} = (T^*) z_{pq}^{a,b,c} T_i^{i,j,k}$$

ve buradanda

$$z_{pq}^{i,j,k} = (T^*) z_{pq}^{a,b,c} T \quad 3.3.8$$

yazılır. Benzer dönüşümler, admitans formundaki devre denklemleri içinde elde edilebilir.

4.4 DÖNÜŞÜM MATRİSLERİ

SİMETRİLİ BİLEŞENLER

Üç fazlı dengeli elemanlar için, iki tane özel dönüşümle ilgileneceğiz. Bunlardan birincisi, faz bileşenleri sıfır pozitif ve negatif sequence bileşenler olan, simetrik bileşenlerdir.

Bu dönüşüm için matris

$$T_s = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

dir ve bu bir birimsel matristir, şöyleki $(T_s^*) T_s = U$, bundan başka bu matris simetriktir de, $(T_s^*) = T_s^{-1}$. Bu dönüşümü denklem 3.3.8 de empedans matrisinin $z_{pq}^{i,j,k}$ sabit elemanları için uygularsak

$$z_{pq}^{0,1,2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_{pq}^s & z_{pq}^m & z_{pq}^m \\ z_{pq}^m & z_{pq}^s & z_{pq}^m \\ z_{pq}^m & z_{pq}^m & z_{pq}^s \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

olur. Buradan

$$z_{pq}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} z_{pq}^s + 2z_{pq}^m & & \\ & z_{pq}^s - z_{pq}^m & \\ & & z_{pq}^s - z_{pq}^m \end{bmatrix}$$

elde edilir. Sıfır sequence empedans

$$z_{pq}^{(0)} = z_{pq}^s + 2z_{pq}^m$$

pozitif sequence empedans

$$z_{pq}^{(1)} = z_{pq}^s - z_{pq}^m$$

negatif sequence empedans

$$z_{pq}^{(2)} = z_{pq}^s - z_{pq}^m$$

dir ve $z_{pq}^{0,1,2}$ dönüştürülmüş empedans matrisini ifade eder; üç fazlı dengeli eleman için de köşegendir.

$z_{pq}^{a,b,c}$ döner elemanlar için empedans matrisi simetrik olmasına rağmen, T_s dönüşüm matrisi ile köşegen matris şeklinde getirilebilmektedir. Bu köşegen matris aşağıdadır.

$$z_{pq}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} z_{pq}^s + z_{pq}^{m1} + z_{pq}^{m2} & & \\ & z_{pq}^s + a^2 z_{pq}^{m1} + a z_{pq}^{m2} & \\ & & z_{pq}^s + a z_{pq}^{m1} + a^2 z_{pq}^{m2} \end{bmatrix}$$

Burada

$$\begin{aligned} z_{pq}^{(0)} &= z_{pq}^s + z_{pq}^{m1} + z_{pq}^{m2} \\ z_{pq}^{(1)} &= z_{pq}^s + a^2 z_{pq}^{m1} + a z_{pq}^{m2} \\ z_{pq}^{(2)} &= z_{pq}^s + a z_{pq}^{m1} + a^2 z_{pq}^{m2} \end{aligned}$$

dır.

CLARK BİLEŞENLERİ

Diğer bir dönüşüm matrisi, üç faz bileşenlerini sıfır, alfa ve beta sequence bileşenlerle dönüştürülür ve Clark bileşenleri olarak bilinir. Bu dönüşüm için matris aşağıdadır.

$$T_c = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & \sqrt{2} & 0 \\ 1 & -\sqrt{1/2} & \sqrt{3/2} \\ 1 & -\sqrt{1/2} & -\sqrt{3/2} \end{bmatrix}$$

Bu ortogonal bir matristir, şöyleki $T_c' T_c = U$. Bu nedenle $T_c' = T_c^{-1}$ dir. Bu dönüşüm kullanılarak, duran elemanları için empedans matrisinin $z_{pq}^{i,j,k}$ elemanları, denklem 3.3.8 den aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$z_{pq}^{0,\alpha,\beta} = \begin{bmatrix} z_{pq}^e + 2z_{pq}^m & & \\ & z_{pq}^e - z_{pq}^m & \\ & & z_{pq}^e - z_{pq}^m \end{bmatrix}$$

Burada köşegen elemanlar sırasıyla sıfır, alfa, beta empedans bileşenleridir ve $z_{pq}^{0,\alpha,\beta}$ dönüştürülmüş empedans matrisini ifade eden ve bu köşegen olup dengeli üç fazlı elemandır.

T_c dönüşüm matrisi, dönen elemanların simetrik olmayan $z_{pq}^{a,b,c}$ matrisi köşegen yapamaz. Bu dönüşümle aşağıdaki netice elde edilmiştir.

$$z_{pq}^{0,\alpha,\beta} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline z_{pq}^s + z_{pq}^{m1} + z_{pq}^{m2} & & \\ \hline & z_{pq}^s - \frac{1}{2}(z_{pq}^{m1} + z_{pq}^{m2}) & \frac{\sqrt{3}}{2}(z_{pq}^{m1} - z_{pq}^{m2}) \\ \hline & \frac{\sqrt{3}}{2}(z_{pq}^{m2} - z_{pq}^{m1}) & z_{pq}^s - \frac{1}{2}(z_{pq}^{m1} + z_{pq}^{m2}) \\ \hline \end{array}$$

3.5 ÜÇ FAZLI DENGESİZ DEVRE ELEMANLARI

Üç fazlı eleman dengesiz olduğunda, $z_{pq}^{a,b,c}$ nin T_S veya T_C ile transformasyonunda, kuplajsız sequence empedans - lar vermez. Hatta $z_{pq}^{a,b,c}$ nin köşegen yapılmasına rağmen, farklı elemanların dengesizliği, umumiyetle, belirtilmemesi nedeniyle, devre elemanları için empedans matrisinin köşegenleştirilmesi için hiç bir tekil dönüşüm mevcut değildir. Bu nedenle, devre probleminin çözümünde orijinal üç fazlı devre bileşenlerinin muhafazası istenebilir. T_S transformasyonu kullanıldığında, sequence devreler birbirinden bağımsız olarakda türetilemezler.

3.6 ÜÇ FAZLI BARA EMPEDANS MATRİSİNİN

ELDESİ İÇİN ALGORİTMA

ÜÇ-FAZLI KISMİ DEVRE DENKLEMİ

Referans bara çerçevesi içinde üç fazlı devre denkleminin empedans formunda temsili aşağıda görülmektedir.

$$\bar{E}_{BARA}^{a,b,c} = Z_{BARA}^{a,b,c} \bar{I}_{BARA}^{a,b,c}$$

Burada

$\bar{E}_{BARA}^{a,b,c}$ = referans baraya göre ölçülen üç fazlı bara gerilimleri vektörüdür.

$\bar{I}_{\text{BARA}}^{a,b,c} =$ Üç fazlı bara akım vektörüdür.

$Z_{\text{BARA}}^{a,b,c} =$ Üç fazlı bara empedans matrisidir.

Üç fazlı devre elemanları dengeli olduğunda, bunların empedansları veya admitansları T_s veya T_c ile köşegen duruma getirilebilir. Bu durumda üç sequence devre birbirinden bağımsız olarak türetilebilir. Bölüm 2 de birbirinden bağımsız sequence matris eldesi için algoritma anlatılmıştır.

Üç fazlı devre elemanları dengesiz olduğunda, Bara empedans matrisinin 3×3 boyutlu alt matrisleri $Z_{ij}^{a,b,c}$ ve $Z_{ji}^{a,b,c}$ eşit değildirler. Üç fazlı bara empedans matrisi denkleminin algoritma ile eldesi tek fazlı devrelerde olduğuna benzer bir düşünce tarzı ile çıkarılacaktır.

DAL EKLEME

İlave edilen p-q dalı ile birlikte devre denklemi (denkleminin elemanları ise üç fazlı olduğuna göre) aşağıdaki şekilde ifade edilir.

		1	2	p	k	q			
$E_1^{a,b,c}$	1	$Z_{11}^{a,b,c}$	$Z_{12}^{a,b,c}$	$\dots$	$Z_{1p}^{a,b,c}$	$\dots$	$Z_{1k}^{a,b,c}$	$Z_{1q}^{a,b,c}$	$I_1^{a,b,c}$
$E_2^{a,b,c}$	2	$Z_{21}^{a,b,c}$	$Z_{22}^{a,b,c}$	$\dots$	$Z_{2p}^{a,b,c}$	$\dots$	$Z_{2k}^{a,b,c}$	$Z_{2q}^{a,b,c}$	$I_2^{a,b,c}$
$\dots$		$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
$E_p^{a,b,c}$	$= p$	$Z_{p1}^{a,b,c}$	$Z_{p2}^{a,b,c}$	$\dots$	$Z_{pp}^{a,b,c}$	$\dots$	$Z_{pk}^{a,b,c}$	$Z_{pq}^{a,b,c}$	$I_p^{a,b,c}$
$\dots$		$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
$E_m^{a,b,c}$	k	$Z_{k1}^{a,b,c}$	$Z_{k2}^{a,b,c}$	$\dots$	$Z_{kp}^{a,b,c}$	$\dots$	$Z_{kk}^{a,b,c}$	$Z_{kq}^{a,b,c}$	$I_k^{a,b,c}$
$E_q^{a,b,c}$	q	$Z_{q1}^{a,b,c}$	$Z_{q2}^{a,b,c}$	$\dots$	$Z_{qp}^{a,b,c}$	$\dots$	$Z_{qk}^{a,b,c}$	$Z_{qq}^{a,b,c}$	$I_q^{a,b,c}$

3.6.1

$Z_{qi}^{a,b,c}$ elemanının tayini için, i yinci baraya üç fazlı akım injekte etmek ve q yuncu bara gerilimini referansa göre ölçmekle olur. Bu durum şekil 3.3 te görülmektedir. Benzer şekilde $Z_{iq}^{a,b,c}$ yu bulmak içinde, şekil 3.4 te görüldüğü gibi, q yuncu baraya üç fazlı akım injekte etmek ve i yinci baraya gerilimini referansa göre ölçmek yeterlidir.

$Z_{qi}^{a,b,c}$ yi hesaplamak için i yinci bara akımını $I_i^{a,b,c}$ alalım ve diğer bara akımları ise sıfır olsun p-q elemanın uçlarındaki gerilimler

$$V_{pq}^{a,b,c} = E_p^{a,b,c} - E_q^{a,b,c} \quad 3.6.2$$

olsun. Kısmi devre parçasının m-n elemanları arasındaki gerilim vektörleride aşağıda görüldüğü gibidir.

$$\bar{V}_{mn}^{a,b,c} = \bar{E}_m^{a,b,c} - \bar{E}_n^{a,b,c} \quad 3.6.3$$

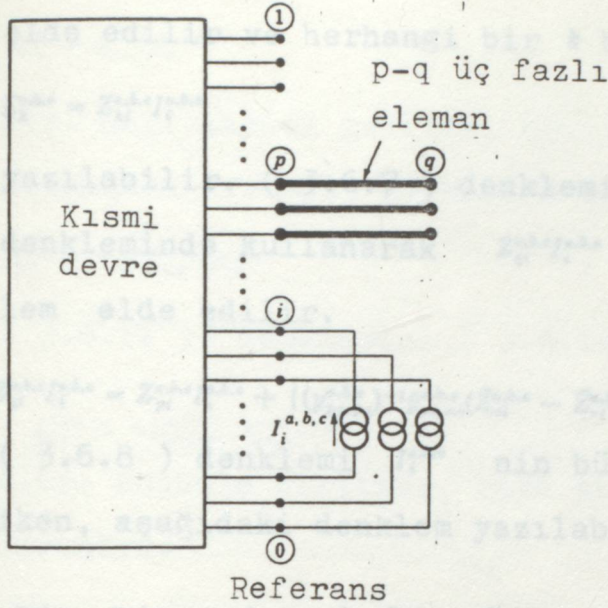
p-q elemanının içindeki akım, pirimitif admitans ve eleman uçlarındaki gerilim farkları göz önünde tutularak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$I_{pq}^{a,b,c} = Y_{pq,pq}^{a,b,c} V_{pq}^{a,b,c} + \bar{Y}_{pq,mn}^{a,b,c} \bar{V}_{mn}^{a,b,c} \quad 3.6.4$$

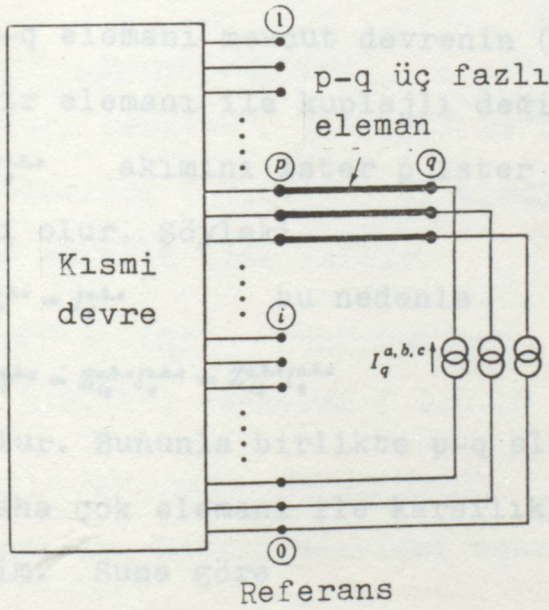
$$I_{pq}^{a,b,c} = 0 \quad \text{iken } 3.6.4 \text{ denklemi}$$

$$V_{pq}^{a,b,c} = -(Y_{pq,pq}^{a,b,c})^{-1} \bar{Y}_{pq,mn}^{a,b,c} \bar{V}_{mn}^{a,b,c} \quad 3.6.5$$

Şeklini alır. (3.6.2) ve (3.6.3) denklemini 3.6.5 te kullanılarak



Şekil 3.3 $Z_q^{a,b,c}$ yi hesaplamak için enjekte edilen üç fazlı akım



Şekil 3.4 $Z_{iq}^{a,b,c}$ ve $Z_{id}^{a,b,c}$ yi hesaplamak için enjekte edilen üç fazlı akım

$$E_p^{a,b,c} - E_q^{a,b,c} = -(Y_{pq,pq}^{a,b,c})^{-1} \bar{Y}_{pq,mn}^{a,b,c} (\bar{E}_m^{a,b,c} - \bar{E}_n^{a,b,c}) \quad 3.6.6$$

elde edilir. Denklem (3.6.1) den

$$\begin{aligned} E_p^{a,b,c} &= Z_{pi}^{a,b,c} I_i^{a,b,c} \\ E_q^{a,b,c} &= Z_{qi}^{a,b,c} I_i^{a,b,c} \end{aligned} \quad 3.6.7$$

elde edilir ve herhangi bir k barası için

$$E_k^{a,b,c} = Z_{ki}^{a,b,c} I_i^{a,b,c}$$

yazılabilir. (3.6.7) denklemindeki bağıntıları (3.6.6) denkleminde kullanarak $Z_{qi}^{a,b,c} I_i^{a,b,c}$ çözülürse aşağıdaki denklem elde edilir.

$$Z_{qi}^{a,b,c} I_i^{a,b,c} = Z_{pi}^{a,b,c} I_i^{a,b,c} + \{ (y_{pq,pq}^{a,b,c})^{-1} \bar{y}_{pq,mn}^{a,b,c} (Z_{mi}^{a,b,c} - Z_{ni}^{a,b,c}) \} I_i^{a,b,c} \quad 3.6.8$$

(3.6.8) denklemini $I_i^{a,b,c}$ nin bütün değerleri için geçerli iken, aşağıdaki denklem yazılabilir.

$$Z_{qi}^{a,b,c} = Z_{pi}^{a,b,c} + (y_{pq,pq}^{a,b,c})^{-1} \bar{y}_{pq,mn}^{a,b,c} (Z_{mi}^{a,b,c} - Z_{ni}^{a,b,c}) \quad 3.6.9$$

$Z_{iq}^{a,b,c}$ yu hesaplamak için q yuncu bara akımı $I_q^{a,b,c}$ var olsun ve diğer bütün akımlar ise sifıra eşit olsun. Eğer eklenen $p-q$ elemanı mevcut devrenin (kısmi devrenin) her hangi bir elemanı ile kuplajlı değilse, i yinci bara gerilimi , $I_q^{a,b,c}$ akımını ister p ister q barasına injekte edelim aynı olur. Şöyleki

$$I_p^{a,b,c} = I_q^{a,b,c} \quad \text{bu nedenle}$$

$$E_i^{a,b,c} = Z_{iq}^{a,b,c} I_q^{a,b,c} = Z_{ip}^{a,b,c} I_q^{a,b,c}$$

olur. Bununla birlikte $p-q$ elemanı kısmi devrenin bir veya daha çok elemanı ile karşılıklı kuplajlı olduğunu farzedelim. Buna göre

$$E_i^{a,b,c} = Z_{iq}^{a,b,c} I_q^{a,b,c} = Z_{ip}^{a,b,c} I_q^{a,b,c} + \Delta E_i^{a,b,c} \quad 3.6.10$$

Burada $\Delta E_i^{a,b,c}$ karşılıklı kuplaj nedeniyle i barasındaki gerilim değişimidir. $m-n$ elemanlarında indüklenen gerilim vektöründe

$$\bar{e}_{mn}^{a,b,c} = z_{mn,pq}^{a,b,c} I_q^{a,b,c} \quad 3.6.11$$

dir. Seri kaynak gerilimi $\bar{e}_{mn}^{a,b,c}$ ile paralel kaynak akımı $j_{mn}^{a,b,c}$ aşağıdaki ifadeyle birbirine bağlıdır.

$$j_{mn}^{a,b,c} = -[z_{mn,mn}^{a,b,c}]^{-1} \bar{e}_{mn}^{a,b,c} \quad 3.6.12$$

(3.6.11) denklemini (3.6.12) de kullanırsak

$$j_{mn}^{a,b,c} = -[z_{mn,mn}^{a,b,c}]^{-1} z_{mn,pq}^{a,b,c} I_q^{a,b,c} \quad 3.6.13$$

olur. Bununla birlikte, bara akımları ile ifade edilmek istenirse

$$j_{mn}^{a,b,c} = \bar{I}_m^{a,b,c} = -\bar{I}_n^{a,b,c} \quad 3.6.14$$

yazılabilir ve karşılıklı kuplaj nedeniyle i yinci baradaki gerilim değişimi

$$\Delta E_i^{a,b,c} = Z_{im}^{a,b,c} \bar{I}_m^{a,b,c} + Z_{in}^{a,b,c} \bar{I}_n^{a,b,c} \quad 3.6.15$$

olur. Denklem (3.6.13) ve (3.6.14) deki $\bar{I}_m^{a,b,c}$ ve $\bar{I}_n^{a,b,c}$ değerleri (3.6.15) denkleminde yerine yazılarak aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\Delta E_i^{a,b,c} = -(Z_{im}^{a,b,c} - Z_{in}^{a,b,c})[z_{mn,mn}^{a,b,c}]^{-1} z_{mn,pq}^{a,b,c} I_q^{a,b,c} \quad 3.6.16$$

(3.6.16) denklemini (3.6.10) denkleminde kullanılarak

$$Z_{iq}^{a,b,c} = Z_{ip}^{a,b,c} - (Z_{im}^{a,b,c} - Z_{in}^{a,b,c})[z_{mn,mn}^{a,b,c}]^{-1} z_{mn,pq}^{a,b,c} \quad 3.6.17$$

yazılır. Matris denklemini aşağıdaki şekilde ifade edilirse

$z_{pq,pq}^{a,b,c}$	$z_{pq,mn}^{a,b,c}$
$z_{mn,pq}^{a,b,c}$	$z_{mn,mn}^{a,b,c}$

$y_{pq,pq}^{a,b,c}$	$y_{pq,mn}^{a,b,c}$
$y_{mn,pq}^{a,b,c}$	$y_{mn,mn}^{a,b,c}$

 $=$

U	
	U

buradan

$$z_{mn,pq}^{a,b,c} y_{pq,pq}^{a,b,c} = -[z_{mn,mn}^{a,b,c}] \bar{y}_{mn,pq}^{a,b,c} \quad 3.6.18$$

yazılır. (3.6.18) denklemini önden $[z_{mn,mn}^{a,b,c}]^{-1}$ ve sağdan

$(y_{pq,pq}^{a,b,c})^{-1}$ ile çarparak

$$[z_{mn,mn}^{a,b,c}]^{-1} z_{mn,pq}^{a,b,c} = -\bar{y}_{mn,pq}^{a,b,c} (y_{pq,pq}^{a,b,c})^{-1} \quad 3.6.19$$

elde ederiz. (3.6.19) denklemini (3.6.17) denkleminde yerine yazarsak $Z_{iq}^{a,b,c}$ elde edilir.

$$Z_{iq}^{a,b,c} = Z_{ip}^{a,b,c} + (\bar{Z}_{im}^{a,b,c} - \bar{Z}_{in}^{a,b,c}) \bar{y}_{mn,pq}^{a,b,c} (y_{pq,pq}^{a,b,c})^{-1} \quad 3.6.20$$

$Z_{qq}^{a,b,c}$ elemanı, q yuncu baraya bir üç fazlı akım injekte edilir ve bu bara gerilimi referans noktaya göre ölçülerek tayin edilir. q yuncu bara akımı $I_q^{a,b,c}$ ve diğer bara akımlarını sıfıra eşit alalım. $i_{pq}^{a,b,c} = -I_q^{a,b,c}$ iken, (3.6.4) denkleminde $i_{pq}^{a,b,c}$ yi yerine yazıp $v_{pq}^{a,b,c}$ yi çözersek aşağıdaki eşitlik elde edilmiş olur.

$$v_{pq}^{a,b,c} = -(y_{pq,pq}^{a,b,c})^{-1} (I_q^{a,b,c} + \bar{y}_{mn,pq}^{a,b,c} \bar{v}_{mn}^{a,b,c}) \quad 3.6.21$$

(3.6.2) ve (3.6.3) denklemlerini (3.6.21) denkleminde yerine yazılarak (3.6.22) ifadesi elde edilir.

$$E_p^{a,b,c} - E_q^{a,b,c} = -(y_{pq,pq}^{a,b,c})^{-1} \{ I_q^{a,b,c} + \bar{y}_{pq,mn}^{a,b,c} (\bar{E}_m^{a,b,c} - \bar{E}_n^{a,b,c}) \} \quad 3.6.22$$

(3.6.1) denkleminde

$$\begin{aligned} E_p^{a,b,c} &= Z_{pq}^{a,b,c} I_q^{a,b,c} \\ E_q^{a,b,c} &= Z_{qq}^{a,b,c} I_q^{a,b,c} \end{aligned} \quad 3.6.23$$

yazılır ve her hangi bir k barası için de aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$E_k^{a,b,c} = Z_{kq}^{a,b,c} I_q^{a,b,c}$$

(3.6.23) denklemini (3.6.22) denkleminde yerine yazı-

rak $Z_{qq}^{a,b,c} I_q^{a,b,c}$ bulunur. Nihai denklem $I_q^{a,b,c}$ nin bütün değerleri için geçerli ise, buna göre aşağıdaki denklem kolayca yazılabilir.

$$Z_{qq}^{a,b,c} = Z_{pq}^{a,b,c} + (y_{pq,pq}^{a,b,c})^{-1} \{ U + \bar{y}_{pq,mn}^{a,b,c} (\bar{Z}_{mq}^{a,b,c} - \bar{Z}_{nq}^{a,b,c}) \} \quad 3.6.24$$

Eklenen eleman ile kısmi devre elemanları arasında karşılıklı kuplaj yok ise $\bar{y}_{pq,mn}^{a,b,c}$ sıfır olur ve $(y_{pq,pq}^{a,b,c})^{-1} = z_{pq,pq}^{a,b,c}$ olur. (3.6.9) , (3.6.20) ve (3.6.24) denklemleri aşağıdaki şekle indirgenir.

$$\begin{aligned} Z_{qi}^{a,b,c} &= Z_{pi}^{a,b,c} \\ Z_{iq}^{a,b,c} &= Z_{ip}^{a,b,c} \\ Z_{qq}^{a,b,c} &= Z_{pq}^{a,b,c} + z_{pq,pq}^{a,b,c} \end{aligned}$$

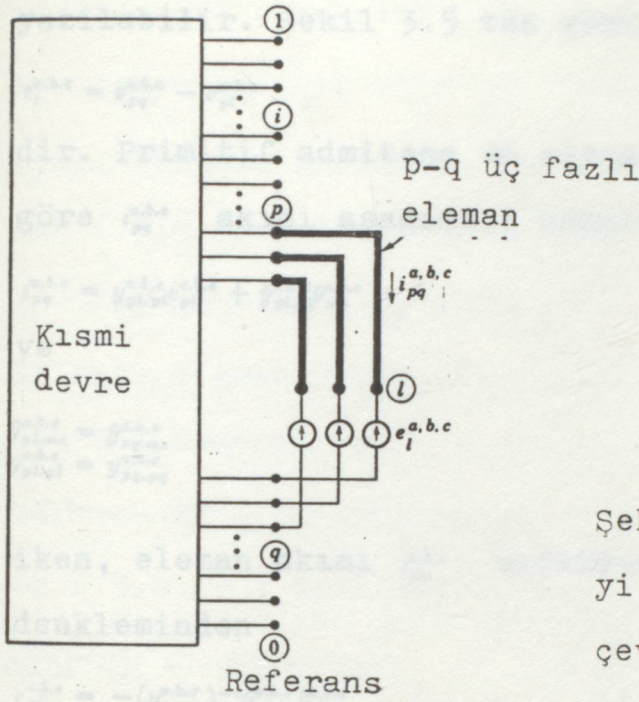
p nin referans nokta olması durumunda $Z_{qi}^{a,b,c}$ ve $Z_{iq}^{a,b,c}$ sıfır olur ve

$$Z_{qq}^{a,b,c} = z_{pq,pq}^{a,b,c}$$

dur. Eğer devre elemanları dengeli ise $Z_{qi}^{a,b,c} = Z_{iq}^{a,b,c}$ ve (3.6.9) veya (3.6.20) denkleminde her biri kullanılabilir.

ÇEVRE EKLEME

Tek fazlı devrelerde olduğu gibi, yeni eleman bir çevre oluşturursa, şekil 3.5 te görüldüğü gibi, bu elemana seri gerilim kaynağına bağlanır. Bu üç fazlı $e_i^{a,b,c}$ gerilim kaynağı öyle seçilirki eklenen kapalı çevre içinden geçen akım sıfır olsun. l zahiri düğüm olmak üzere, p-l elemanı sanki bir dal oluşturuyormuş gibi türetilmiş olur. p-l eklenen çevre ile birlikte devre denkleminde aşağıdaki gibi olur.



Şekil 3.5 $Z_{ii}^{a,b,c}$ $Z_{ii}^{a,b,c}$ ve $Z_{ii}^{a,b,c}$ yi hesaplamak için eklenen çevreye seri gerilim kaynağının bağlanması.

		1	2	p	k	l		
$E_1^{a,b,c}$	1	$Z_{11}^{a,b,c}$	$Z_{12}^{a,b,c}$	$\dots$	$Z_{1p}^{a,b,c}$	$\dots$	$Z_{1k}^{a,b,c}$ $Z_{1l}^{a,b,c}$	$I_1^{a,b,c}$
$E_2^{a,b,c}$	2	$Z_{21}^{a,b,c}$	$Z_{22}^{a,b,c}$	$\dots$	$Z_{2p}^{a,b,c}$	$\dots$	$Z_{2k}^{a,b,c}$ $Z_{2l}^{a,b,c}$	$I_2^{a,b,c}$
$\dots$		$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
$E_p^{a,b,c}$	= p	$Z_{p1}^{a,b,c}$	$Z_{p2}^{a,b,c}$	$\dots$	$Z_{pp}^{a,b,c}$	$\dots$	$Z_{pk}^{a,b,c}$ $Z_{pl}^{a,b,c}$	$I_p^{a,b,c}$
$\dots$		$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
$E_k^{a,b,c}$	m	$Z_{k1}^{a,b,c}$	$Z_{k2}^{a,b,c}$	$\dots$	$Z_{kp}^{a,b,c}$	$\dots$	$Z_{km}^{a,b,c}$ $Z_{kl}^{a,b,c}$	$I_k^{a,b,c}$
$E_l^{a,b,c}$	l	$Z_{l1}^{a,b,c}$	$Z_{l2}^{a,b,c}$	$\dots$	$Z_{lp}^{a,b,c}$	$\dots$	$Z_{lk}^{a,b,c}$ $Z_{ll}^{a,b,c}$	$I_l^{a,b,c}$

3.6.25

$Z_{ii}^{a,b,c}$ elemanı, i yinci baraya bir üç fazlı akım injekte etmek ve q barasına göre, l zahiri noktasının gerilimini ölçmekte tayin edilebilir. i yinci bara akımını $I_i^{a,b,c}$ alalım ve bunun haricindeki bütün bara akımları sıfır olsun. Öyleyse, (3.6.25) denkleminde

$$e_l^{a,b,c} = Z_{li}^{a,b,c} I_i^{a,b,c}$$

3.6.26

yazılabilir. Şekil 3.5 ten görüldüğü gibi

$$e_l^{a,b,c} = v_{pq}^{a,b,c} - v_{pl}^{a,b,c} \quad 3.6.27$$

dir. Primitif admitans ve eleman uçlarındaki gerilimlere göre $i_{pq}^{a,b,c}$ akımı aşağıdaki şekilde yazılır.

$$i_{pq}^{a,b,c} = y_{pl,pl}^{a,b,c} v_{pl}^{a,b,c} + \bar{y}_{pl,mn}^{a,b,c} v_{mn}^{a,b,c} \quad 3.6.28$$

ve

$$\begin{aligned} \bar{y}_{pl,mn}^{a,b,c} &= \bar{y}_{pq,mn}^{a,b,c} \\ y_{pl,pl}^{a,b,c} &= y_{pq,pq}^{a,b,c} \end{aligned}$$

iken, eleman akımı $i_{pq}^{a,b,c}$ sıfırdır. $v_{pl}^{a,b,c}$ gerilimi (3.6.28) denkleminde

$$v_{pl}^{a,b,c} = -(y_{pq,pq}^{a,b,c})^{-1} \bar{y}_{pq,mn}^{a,b,c} v_{mn}^{a,b,c} \quad 3.6.29$$

olur. 3.6.29 denklemini (3.6.27) denkleminde kullanırsak

$$e_l^{a,b,c} = v_{pq}^{a,b,c} + (y_{pq,pq}^{a,b,c})^{-1} \bar{y}_{pq,mn}^{a,b,c} v_{mn}^{a,b,c} \quad (3.6.30)$$

yazılır. $i_{pq}^{a,b,c}$ ve $\bar{v}_{mn}^{a,b,c}$ ifadelerini (3.6.2) , (3.6.3) ve (3.6.7) denkleminde çekip (3.6.30) denkleminde yerine yazarak (3.6.31) denklemi elde edilir.

$$e_l^{a,b,c} = (Z_{pi}^{a,b,c} - Z_{qi}^{a,b,c}) I_i^{a,b,c} + (y_{pq,pq}^{a,b,c})^{-1} \bar{y}_{pq,mn}^{a,b,c} (Z_{mi}^{a,b,c} - Z_{ni}^{a,b,c}) I_i^{a,b,c} \quad 3.6.31$$

3.6.26 denklemindeki $e_l^{a,b,c}$ ifadesini (3.6.31) denkleminde kullanarak

$$Z_{li}^{a,b,c} = Z_{pi}^{a,b,c} - Z_{qi}^{a,b,c} + (y_{pq,pq}^{a,b,c})^{-1} \bar{y}_{pq,mn}^{a,b,c} (Z_{mi}^{a,b,c} - Z_{ni}^{a,b,c}) \quad 3.6.32$$

elde edilir.

$Z_{li}^{a,b,c}$ elemanın tayini için q ve l arasına bir üç fazlı akım injekte etmek ve i yinci bara gerilimini ölçmekle elde edilir. q ve l arasındaki akımı $I_i^{a,b,c}$ ve diğer bara akımlarını sıfıra eşit olarak alalım. Eğer eklenen eleman ile

kısmi devre elemanları arasında karşılıklı kuplaj yok ise

$$E_i^{a,b,c} = (Z_{ip}^{a,b,c} - Z_{iq}^{a,b,c}) I_l^{a,b,c}$$

olur. Bununla birlikte, karşılıklı kuplaj etkisi düşünülerek (3.6.33) denklemini yazılabilir.

$$E_i^{a,b,c} = Z_{il}^{a,b,c} I_l^{a,b,c} = (Z_{ip}^{a,b,c} - Z_{iq}^{a,b,c}) I_l^{a,b,c} + \Delta E_i^{a,b,c} \quad 3.6.33$$

Eklenen elemanın bir dal olması durumunda olduğu yolu aynen takibederek

$$\Delta E_i^{a,b,c} = -(Z_{im}^{a,b,c} - Z_{in}^{a,b,c}) [Z_{mn,nn}^{a,b,c}]^{-1} Z_{mn,pq}^{a,b,c} I_l^{a,b,c} \quad 3.6.34$$

ve (3.6.19) denkleminde

$$[Z_{mn,nn}^{a,b,c}]^{-1} Z_{mn,pq}^{a,b,c} = -\bar{y}_{mn,pq}^{a,b,c} (y_{pq,pq}^{a,b,c})^{-1}$$

yazılır. (3.6.34) denklemini (3.6.33) denkleminde yerine yazıp gerekli kısaltmalar yapılarak, bütün $I_l^{a,b,c}$ değerleri için geçerli olan aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$Z_{il}^{a,b,c} = Z_{ip}^{a,b,c} - Z_{iq}^{a,b,c} + (Z_{im}^{a,b,c} - Z_{in}^{a,b,c}) \bar{y}_{mn,pq}^{a,b,c} (y_{pq,pq}^{a,b,c})^{-1} \quad 3.6.35$$

$Z_{il}^{a,b,c}$ elemanı, q ve l arasına bir üç fazlı akım injekte etmek ve q barasına göre l noktasının gerilimi ölçülerek tayin edilebilir. q ve l arasındaki akımı $I_l^{a,b,c}$ olarak ve diğer bara akımlarında sıfır olarak alalım. $i_{pq}^{a,b,c} = -I_l^{a,b,c}$

olduğuna göre, 3.6.28 denkleminde $i_{pq}^{a,b,c}$ değerini yazıp

$v_{pl}^{a,b,c}$ yi çekersek

$$v_{pl}^{a,b,c} = -(y_{pq,pq}^{a,b,c})^{-1} (I_l^{a,b,c} + \bar{y}_{pq,mn}^{a,b,c} \bar{v}_{mn}^{a,b,c}) \quad 3.6.36$$

olur. (3.6.36) denklemini (3.6.27) de yerine yazarakta

$$e_l^{a,b,c} = v_{pq}^{a,b,c} + (y_{pq,pq}^{a,b,c})^{-1} (I_l^{a,b,c} + \bar{y}_{pq,mn}^{a,b,c} \bar{v}_{mn}^{a,b,c}) \quad 3.6.37$$

elde edilir. (3.6.2) , (3.6.3) ve (3.6.7) denklemlerinden $v_{pq}^{a,b,c}$ ve $\bar{v}_{mn}^{a,b,c}$ alınıp (3.6.37) denkleminde yerine

yazarak (3.6.38) denklemi elde edilir.

$$e_l^{a,b,c} = (Z_{pl}^{a,b,c} - Z_{ql}^{a,b,c})I_l^{a,b,c} + (y_{pq,pq}^{a,b,c})^{-1}\{I_l^{a,b,c} + \bar{y}_{pq,ma}^{a,b,c}(Z_{ml}^{a,b,c} - \bar{Z}_{nl}^{a,b,c})I_l^{a,b,c}\} \quad 3.6.38$$

(3.6.25) denkleminde

$$e_l^{a,b,c} = Z_{ll}^{a,b,c}I_l^{a,b,c} \quad 3.6.39$$

yazılır. (3.6.39) denklemini (3.6.38) denkleminde yerine yazıp gerekli kısaltmalar yapılırsa bütün $I_l^{a,b,c}$ nin değerleri için geçerli olan denklem yazılır.

$$Z_{ll} = (Z_{pl}^{a,b,c} - Z_{ql}^{a,b,c}) + (y_{pq,pq}^{a,b,c})^{-1}\{U + \bar{y}_{pq,ma}^{a,b,c}(Z_{ml}^{a,b,c} - \bar{Z}_{nl}^{a,b,c})\} \quad 3.6.40$$

Eklenen eleman ile kısmi devre elemanları arasında karşılık - lıklı kuplaj yok ise (3.6.32) , (3.6.35) ve (3.6.40) denklemleri aşağıdaki şekle indirgenir.

$$\begin{aligned} Z_{li}^{a,b,c} &= Z_{pi}^{a,b,c} - Z_{qi}^{a,b,c} \\ Z_{il}^{a,b,c} &= Z_{ip}^{a,b,c} - Z_{iq}^{a,b,c} \\ Z_{ll}^{a,b,c} &= Z_{pl}^{a,b,c} - Z_{ql}^{a,b,c} + z_{pq,pq}^{a,b,c} \end{aligned}$$

Eğer p referans noktası ise bu durumda

$$\begin{aligned} Z_{li}^{a,b,c} &= -Z_{qi}^{a,b,c} \\ Z_{il}^{a,b,c} &= -Z_{iq}^{a,b,c} \\ Z_{ll}^{a,b,c} &= -Z_{ql}^{a,b,c} + z_{pq,pq}^{a,b,c} \end{aligned}$$

Biraz daha ilerlersek, eğer elemanlar dengeliyse

$$Z_{li}^{a,b,c} = Z_{il}^{a,b,c}$$

olur.

Tablo 3.1 Üç fazlı bara empedans matrisinin oluşturulması için özet

Karşılıklı kuplajlı		
Eklenen	p referans barası değil	p referans barası
p-q		
Dal	$Z_{pq}^{abc} = Z_{pq}^{abc} + (y_{pq,pq}^{abc})^{-1} y_{pq,mn}^{abc} (Z_{mi}^{abc} - Z_{ni}^{abc})$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq q$ $Z_{iq}^{abc} = Z_{ip}^{abc} + (Z_{im}^{abc} - Z_{in}^{abc}) y_{mn,pq}^{abc} (y_{pq,pq}^{abc})^{-1}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq q$ $Z_{qq}^{abc} = Z_{pq}^{abc} + (y_{pq,pq}^{abc})^{-1} U + y_{pq,mn}^{abc} (Z_{mi}^{abc} - Z_{ni}^{abc}) $	$Z_{qi}^{abc} = (y_{pq,pq}^{abc})^{-1} y_{pq,mn}^{abc} (Z_{mi}^{abc} - Z_{ni}^{abc})$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq q$ $Z_{iq}^{abc} = (Z_{im}^{abc} - Z_{in}^{abc}) y_{mn,pq}^{abc} (y_{pq,pq}^{abc})^{-1}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq q$ $Z_{qq}^{abc} = (y_{pq,pq}^{abc})^{-1} U + y_{pq,mn}^{abc} (Z_{mi}^{abc} - Z_{ni}^{abc}) $
Çevre	$Z_{li}^{abc} = Z_{li}^{abc} - Z_{li}^{abc} + (y_{pq,pq}^{abc})^{-1} y_{pq,mn}^{abc} (Z_{mi}^{abc} - Z_{ni}^{abc})$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq l$ $Z_{il}^{abc} = Z_{li}^{abc} - Z_{li}^{abc} + (Z_{im}^{abc} - Z_{in}^{abc}) y_{mn,pq}^{abc} (y_{pq,pq}^{abc})^{-1}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq l$ $Z_{ll}^{abc} = Z_{li}^{abc} - Z_{li}^{abc} + (y_{pq,pq}^{abc})^{-1} U + y_{pq,mn}^{abc} (Z_{mi}^{abc} - Z_{ni}^{abc}) $	$Z_{li}^{abc} = -Z_{li}^{abc} + (y_{pq,pq}^{abc})^{-1} y_{pq,mn}^{abc} (Z_{mi}^{abc} - Z_{ni}^{abc})$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq l$ $Z_{il}^{abc} = -Z_{li}^{abc} + (Z_{im}^{abc} - Z_{in}^{abc}) y_{mn,pq}^{abc} (y_{pq,pq}^{abc})^{-1}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq l$ $Z_{ll}^{abc} = -Z_{li}^{abc} + (y_{pq,pq}^{abc})^{-1} U + y_{pq,mn}^{abc} (Z_{mi}^{abc} - Z_{ni}^{abc}) $
Eklenen	Karşılıklı kuplajsız	
p-q	p referans barası değil	p referans barası
Dal	$Z_{pq}^{abc} = Z_{pq}^{abc}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq q$ $Z_{iq}^{abc} = Z_{ip}^{abc}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq q$ $Z_{qq}^{abc} = Z_{pq}^{abc} + z_{pq,pq}^{abc}$	$Z_{qi}^{abc} = 0$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq q$ $Z_{iq}^{abc} = 0$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq q$ $Z_{qq}^{abc} = z_{pq,pq}^{abc}$
Çevre	$Z_{li}^{abc} = Z_{li}^{abc} - Z_{li}^{abc}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq l$ $Z_{il}^{abc} = Z_{li}^{abc} - Z_{li}^{abc}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq l$ $Z_{ll}^{abc} = Z_{li}^{abc} - Z_{li}^{abc} + z_{pq,pq}^{abc}$	$Z_{li}^{abc} = -Z_{li}^{abc}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq l$ $Z_{il}^{abc} = -Z_{li}^{abc}$ $i = 1, 2, \dots, k$ $i \neq l$ $Z_{ll}^{abc} = -Z_{li}^{abc} + z_{pq,pq}^{abc}$

4 KISA DEVRE HESABI

4.1 GİRİŞ

Kısa devre hesabı, kısa devre vukuunda bize akım ve gerilimi verir. Bu bilgiler, devrenin her bir açılıp kapanmasında, yeterli geciktirici sistem ve devre kesicilerinin dizaynı için gereklidir. Geciktiriciler arıza varlığının tayini ve devre kesici sistemin harekete geçmesini sağlar. Bu hareket, elektrik kesintilerini minimuma indirmek ve arızalı malzemenin minimum hasarla kurtarmak için gereklidir. Bütün güç sisteminin çeşitli yerlerinde çeşitli tip arızaların vuku bulması ve bunun neticesi akım ve gerilim verilerinin yeteri kadar hesaplanması, geciktirici ve anahtarlar sisteminin geliştirilmesi için gereklidir.

Başlangıçta bilgisayarla kısa devre hesapları çok uzun iteratif işlemler gerektirirdi. Bilgisayarla bara empedans matrisi eldesi tekniğinin gelişmesi, Thevenin teoremini kısa devre hesaplarına uygulama imkânını mümkün kıldı. Bu kısa devre akım ve geriliminin hesabında çok büyük kolaylıklar sağlıyordu. Çünkü bara empedans matrisinin ilgili bölümünden alınan değerle birkaç aritmetik işlem gerekli verilerin eldesi için yeterliydi.

4.2 Z_{BARA} yi kullanarak kısa devre hesabı

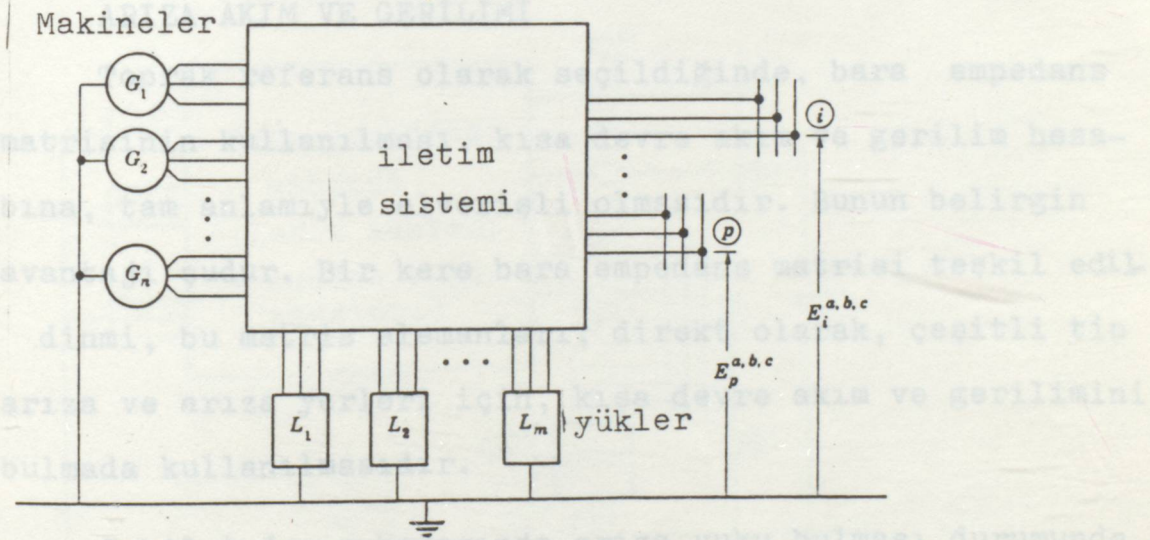
SİSTEMİN TEMSİLİ

Kararlı hal durumunda, güç sisteminin temsili şekil 4.1 de görülmektedir. Umumiyetle, kısa devre incelemelerinde yeterli hassasiyetin sağlanması basitleştirilmiş temsil-

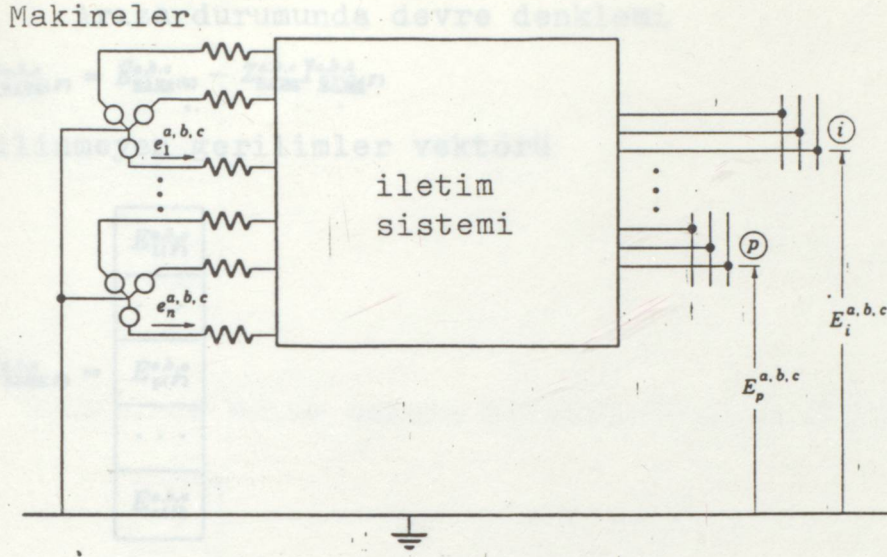
lerle elde edilir. Şekil 4.2 de basitleştirilmiş üç fazlı temsil aşağıdaki kabullerle elde edilir.

1. Her bir makine sabit voltajda ve önünde transient yada subtransient reaktansla temsil edilir.
2. Şönt hat kapasitesi ve yükü ihmal edilmiştir.
3. Bütün transformatörler nominal çevirme arasında çalışmaktadır.

Pek çok kısa devre incelemelerinde, özellikle yüksek gerilimli sistemlerde, transformatör ve hat empedansları uygun reaktans değerlerine eşit alınır ve real sayılarla ifade edilir.



Şekil 4.1 Güç sisteminin üç fazlı temsili



Şekil 4.2 Kısa devre hesabı için

güç sisteminin üç fazlı gösterilişi

ARIZA AKIM VE GERİLİMİ

Toprak referans olarak seçildiğinde, bara empedans matrisinin kullanılması, kısa devre akım ve gerilim hesabına, tam anlamıyla elverişli olmasıdır. Bunun belirgin avantajı şudur. Bir kere bara empedans matrisi teşkil edildiğinde, bu matris elemanları, direkt olarak, çeşitli tip arıza ve arıza yerleri için, kısa devre akım ve gerilimini bulmada kullanılmasıdır.

Şekil 4.3, p barasında arıza vuku bulması durumunda, sistemin temsili göstermektedir. Bu temsilden, Thevenin teoremindeki büyüklükler elde edilebilir. Thevenin empedansı makine reaktansıda dahil olmak üzere bara empedans matrisinide görülmekte, açık devre geriliminde, kısa devreden önceki bara gerilimidir.

Arıza durumunda devre denklemi

$$\bar{E}_{BARA(F)}^{a,b,c} = \bar{E}_{BARA(0)}^{a,b,c} - Z_{BARA}^{a,b,c} \bar{I}_{BARA(F)}^{a,b,c}$$

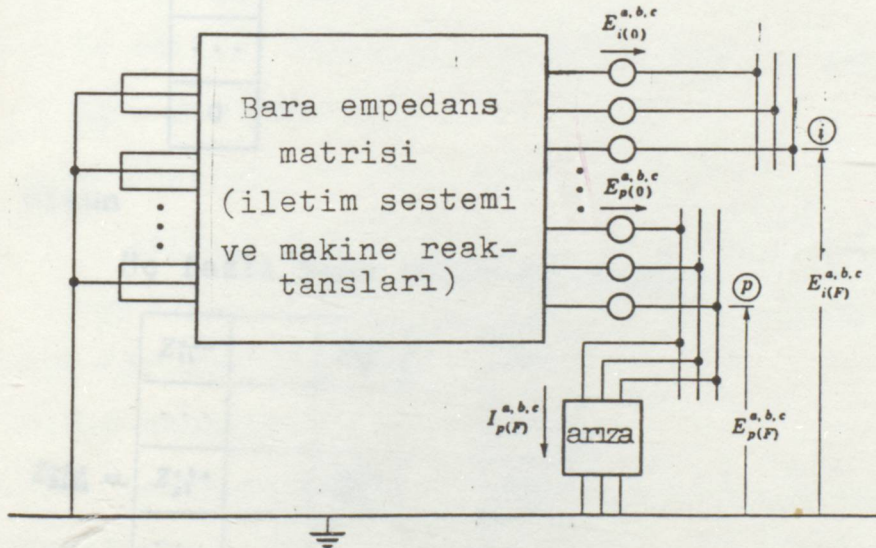
4.2.1

Bilinmeyen gerilimler vektörü

$$\bar{E}_{BARA(F)}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} E_{1(F)}^{a,b,c} \\ \vdots \\ E_{p(F)}^{a,b,c} \\ \vdots \\ E_{n(F)}^{a,b,c} \end{bmatrix}$$

dir. Burada, $\bar{E}_{BARA(F)}^{a,b,c}$ nin elemanları üç fazlı gerilim vektörleri olup aşağıdaki gibi yazılır.

$$E_{i(F)}^{a,b,c} \quad i = 1, 2, \dots, n$$



Şekil 4.3 p barasında arıza olduğunda güç sisteminin üç fazlı temsili

Arıza öncesi voltajları bilinen gerilim vektörleri

$$\bar{E}_{\text{BARA}(0)}^{a,b,c} = \begin{array}{|c|} \hline E_{1(0)}^{a,b,c} \\ \hline \dots \\ \hline E_{p(0)}^{a,b,c} \\ \hline \dots \\ \hline E_{n(0)}^{a,b,c} \\ \hline \end{array}$$

dir.

p barasında arıza anında bilinmeyen akım vektörleri

$$\bar{I}_{\text{BARA}(F)}^{a,b,c} = \begin{array}{|c|} \hline 0 \\ \hline \dots \\ \hline 0 \\ \hline I_{p(F)}^{a,b,c} \\ \hline 0 \\ \hline \dots \\ \hline 0 \\ \hline \end{array}$$

olsun

Üç fazlı bara impedans matrisi

$$Z_{\text{BARA}}^{a,b,c} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline Z_{11}^{a,b,c} & \dots & Z_{1p}^{a,b,c} & \dots & Z_{1n}^{a,b,c} \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline Z_{p1}^{a,b,c} & \dots & Z_{pp}^{a,b,c} & \dots & Z_{pn}^{a,b,c} \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline Z_{n1}^{a,b,c} & \dots & Z_{np}^{a,b,c} & \dots & Z_{nn}^{a,b,c} \\ \hline \end{array}$$

dir.

Yukardaki $Z_{\text{BARA}}^{a,b,c}$ nin elemanları 3×3 boyutundadır. 4.2.1 denklemini aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{aligned}
E_{1(F)}^{a,b,c} &= E_{1(0)}^{a,b,c} - Z_{1p}^{a,b,c} I_{p(F)}^{a,b,c} \\
E_{2(F)}^{a,b,c} &= E_{2(0)}^{a,b,c} - Z_{2p}^{a,b,c} I_{p(F)}^{a,b,c} \\
&\dots\dots\dots \\
E_{p(F)}^{a,b,c} &= E_{p(0)}^{a,b,c} - Z_{pp}^{a,b,c} I_{p(F)}^{a,b,c} \\
&\dots\dots\dots \\
E_{n(F)}^{a,b,c} &= E_{n(0)}^{a,b,c} - Z_{np}^{a,b,c} I_{p(F)}^{a,b,c}
\end{aligned}$$

4.2.2

Şekil 4.3 ten de görüldüğü gibi arızalı p barasında üç fazlı gerilim vektörü:

$$E_{p(F)}^{a,b,c} = Z_F^{a,b,c} I_{p(F)}^{a,b,c}$$

4.2.3

olup, $Z_F^{a,b,c}$ üç fazlı arıza için impedans matrisidir. Bu 3X3 boyutunda matrisin elemanları arıza tipi ve arıza empedansına bağlıdır. 4.2.3 deki $E_{p(F)}^{a,b,c}$, değeri 4.2.2 de yerine yazılırsa:

$$Z_F^{a,b,c} I_{p(F)}^{a,b,c} = E_{p(0)}^{a,b,c} - Z_{pp}^{a,b,c} I_{p(F)}^{a,b,c}$$

4.2.4

elde edilir. Yukardaki denklemi $I_{p(F)}^{a,b,c}$ ye göre çözerek

$$I_{p(F)}^{a,b,c} = (Z_F^{a,b,c} + Z_{pp}^{a,b,c})^{-1} E_{p(0)}^{a,b,c}$$

4.2.5

elde ederiz.

Arızalı barada üç fazın gerilimi, yukarıda bulduğumuz

$I_{p(F)}^{a,b,c}$ akımı 4.2.3 denkleminde yerine yazılarak

$$E_{p(F)}^{a,b,c} = Z_F^{a,b,c} (Z_F^{a,b,c} + Z_{pp}^{a,b,c})^{-1} E_{p(0)}^{a,b,c}$$

4.2.6

4.2.6 denklemindeki gibi olur.

Benzer şekilde p barası haricindeki baralarda üç faz gerilimleri ise, 4.2.5 denklemindeki $I_{p(F)}^{a,b,c}$ akımını 4.2.2 denkleminde yerine yazarak

$$E_{i(F)}^{a,b,c} = E_{i(0)}^{a,b,c} - Z_{ip}^{a,b,c} (Z_F^{a,b,c} + Z_{pp}^{a,b,c})^{-1} E_{p(0)}^{a,b,c} \quad i \neq p$$

4.2.7

elde edilir.

Arızalı devrede parametreleri admitans şeklinde ifade etmek istersek, arızalı p barası akımını

$$I_{p(F)}^{a,b,c} = Y_F^{a,b,c} E_{p(F)}^{a,b,c} \quad 4.2.8$$

şeklinde yazılabilir. Burada $Y_F^{a,b,c}$ üç-faz arıza admitans matrisidir. 4.2.8 denklemindeki $I_{p(F)}^{a,b,c}$ değerini 4.2.2 eşitliğinin p yinci denkleminde yerine yazarak

$$E_{p(F)}^{a,b,c} = E_{p(0)}^{a,b,c} - Z_{pp}^{a,b,c} Y_F^{a,b,c} E_{p(F)}^{a,b,c} \quad 4.2.9$$

4.2.9 denklemini, bundanda $E_{p(F)}^{a,b,c}$ yi çözersek

$$E_{p(F)}^{a,b,c} = (U + Z_{pp}^{a,b,c} Y_F^{a,b,c})^{-1} E_{p(0)}^{a,b,c} \quad 4.2.10$$

4.2.10 denklemini, buradaki $E_{p(F)}^{a,b,c}$ yi 4.2.8 de yerine yazarak

$$I_{p(F)}^{a,b,c} = Y_F^{a,b,c} (U + Z_{pp}^{a,b,c} Y_F^{a,b,c})^{-1} E_{p(0)}^{a,b,c} \quad 4.2.11$$

4.2.11 eşitliğini elde ederiz. Buradaki akım değeri 4.2.2 denkleminde yerine yazılırsa, p haricindeki bara gerilim - leri:

$$E_{i(F)}^{a,b,c} = E_{i(0)}^{a,b,c} - Z_{ip}^{a,b,c} Y_F^{a,b,c} (U + Z_{pp}^{a,b,c} Y_F^{a,b,c})^{-1} E_{p(0)}^{a,b,c} \quad i \neq p \quad 4.2.12$$

4.2.12 denklemi ile ifade edilir.

Devre elemanlarından akan arıza akımı, 4.2.6 ve 4.2.7 de, veya 4.2.10 ve 4.2.12 de görülen bara gerilimleri ile hesaplanabilir. Bu akım, devre eleman uçlarındaki gerilimler düşünülerek aşağıda yazılmıştır.

$$I_{i(F)}^{a,b,c} = [Y^{a,b,c}]_{ij} E_{j(F)}^{a,b,c}$$

Yukardaki, akım vektörünün elemanları:

$$I_{ij(F)}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} I_{ij(F)}^a \\ I_{ij(F)}^b \\ I_{ij(F)}^c \end{bmatrix}$$

gerilim vektörünün vektörünün elemanları:

$$v_{ij(F)}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} v_{ij(F)}^a \\ v_{ij(F)}^b \\ v_{ij(F)}^c \end{bmatrix}$$

ve primitif admitans matrisinin elemanları:

$$y_{ij,kl}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} y_{ij,kl}^{aa} & y_{ij,kl}^{ab} & y_{ij,kl}^{ac} \\ y_{ij,kl}^{ba} & y_{ij,kl}^{bb} & y_{ij,kl}^{bc} \\ y_{ij,kl}^{ca} & y_{ij,kl}^{cb} & y_{ij,kl}^{cc} \end{bmatrix}$$

dir. Burada ifade edilen $y_{ij,kl}^{bc}$, b fazındaki i-j elemanı ile, c fazındaki k-l elemanları arasındaki karşılıklı admitans'tır. i-j devre elemanındaki üç faz akımı

$$i_{ij(F)}^{a,b,c} = \bar{y}_{ij,mn}^{a,b,c} \bar{v}_{mn(F)}^{a,b,c} \quad 4.2.13$$

denkleminde hesaplanabilir. mn, i-j elemanı ile karşılıklı kuplajlı elemanları ifade eder.

$$\bar{y}_{mn(F)}^{a,b,c} = \bar{E}_{m(F)}^{a,b,c} - \bar{E}_{n(F)}^{a,b,c}$$

iken, 4.2.13 denklemi

$$i_{ij(F)}^{a,b,c} = \bar{y}_{ij,mn}^{a,b,c} (\bar{E}_m^{a,b,c} - \bar{E}_n^{a,b,c}) \quad 4.2.14$$

olur.

Bu bölümde elde ettiğimiz arıza akım ve gerilim formülleri, dengeli ve dengesiz üç-faz kısa devre analizlerinde kullanılabilir.

4.3 Z_{BARA} YI KULLANARAK DENGELİ ÜÇ FAZLI SİSTEMLERDE KISA DEVRE HESABI

Simetrili bileşenlerde dönüşümler

Dengeli üç fazlı bir sistemde, bir önceki bölümde

çıkarılan arıza akım ve gerilim förmülleri, simetrik bileşenler kullanılarak basitleştirilebilir.

Sabit dengeli üç faz elemanın primitif empedans matrisi

$$z_{pq}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} z_{pq}^s & z_{pq}^m & z_{pq}^m \\ z_{pq}^m & z_{pq}^s & z_{pq}^m \\ z_{pq}^m & z_{pq}^m & z_{pq}^s \end{bmatrix}$$

ise, bu $(T_s^*)^t z_{pq}^{a,b,c} T_s$

dönüşümü ile aşağıdaki şekilde

yazılır.

$$z_{pq}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} z_{pq}^{(0)} & & \\ & z_{pq}^{(1)} & \\ & & z_{pq}^{(2)} \end{bmatrix}$$

Burada $z_{pq}^{(0)}$, $z_{pq}^{(1)}$, $z_{pq}^{(2)}$ sırasıyla sıfır, pozitif ve negatif sequence empedanslardır. Sabit dengeli üç fazlı bir sistemde pozitif ve negatif sequence empedanslar eşittir. Kısa devre hesaplarında, dönen elemanların pozitif ve negatif sequence empedanslarında eşit kabul edilebilir.

Benzer bir düşünce ile, her bir $y_{ij,kl}^{a,b,c}$ primitif admittans matrisi ve empedans matrisindeki her bir $Z_{ij}^{a,b,c}$, T_s dönüşüm matrisi ile köşegen matris şekline getirilerek sırasıyla

$$y_{ij,kl}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} y_{ij,kl}^{(0)} & & \\ & y_{ij,kl}^{(1)} & \\ & & y_{ij,kl}^{(2)} \end{bmatrix}$$

ve

$$Z_{ij}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} Z_{ij}^{(0)} & & \\ & Z_{ij}^{(1)} & \\ & & Z_{ij}^{(2)} \end{bmatrix}$$

eşitlikleri elde edilir.

Geleneksel bir durumda, arıza öncesi bütün bara gerilimlerinin mutlak değerleri ve açıları eşit farzedilmesidir

$E_{i(0)}$ toprağa göre bara geriliminin mutlak değeri, arıza öncesinde bir per-unit farzedilsin. Bu kabule göre i yinci bara gerilimi:

$$E_{i(0)}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix}$$

olur. Simetrili bileşenlerle dönüşüm yapılırsa, yani

$$E_{i(0)}^{0,1,2} = (T_s^*)^t E_{i(0)}^{a,b,c}$$

Buradan

$$E_{i(0)}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix}$$

olur.

$Z_F^{a,b,c}$ Arıza empedans matrisi T_s ile $Z_F^{0,1,2}$ matrisine dönüştürülebilir ve bu matris arıza dengeliyse diyagonaldir. Üç fazlı bir sistemde arıza empedans ve admitans matrisleri ile bunların simetrili bileşenleri tablo 4.1 de verilmiştir.

Benzer şekilde, arıza akım ve gerilimi simetrili bileşenleri cinsinden yazılabilir. p arızalı barası akımı:

$$I_{p(F)}^{0,1,2} = (Z_F^{0,1,2} + Z_{pp}^{0,1,2})^{-1} E_{p(0)}^{0,1,2} \quad 4.3.1$$

veya

$$I_{p(F)}^{0,1,2} = Y_F^{0,1,2}(U + Z_{pp}^{0,1,2}Y_F^{0,1,2})^{-1}E_{p(0)}^{0,1,2}$$

4.3.2

p arızalı bara gerilimi :

$$E_{p(F)}^{0,1,2} = Z_F^{0,1,2}(Z_F^{0,1,2} + Z_{pp}^{0,1,2})^{-1}E_{p(0)}^{0,1,2}$$

4.3.3

veya

$$E_{p(F)}^{0,1,2} = (U + Z_{pp}^{0,1,2}Y_F^{0,1,2})^{-1}E_{p(0)}^{0,1,2}$$

4.3.4

p haricindeki bara gerilimleri :

$$E_{i(F)}^{0,1,2} = E_{i(0)}^{0,1,2} - Z_{ip}^{0,1,2}(Z_F^{0,1,2} + Z_{pp}^{0,1,2})^{-1}E_{p(0)}^{0,1,2}$$

4.3.5

veya

$$E_{i(F)}^{0,1,2} = E_{i(0)}^{0,1,2} - Z_{ip}^{0,1,2}Y_F^{0,1,2}(U + Z_{pp}^{0,1,2}Y_F^{0,1,2})^{-1}E_{p(0)}^{0,1,2}$$

4.3.6

üç fazlı i-j elemanındaki akım :

$$i_{ij(F)}^{0,1,2} = g_{ij,mn}^{0,1,2}(\bar{E}_m^{0,1,2} - \bar{E}_n^{0,1,2})$$

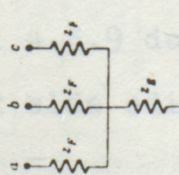
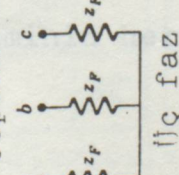
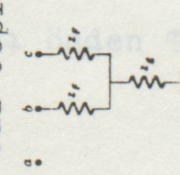
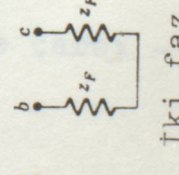
4.3.7

olur.

Simetrikli bileşenler

Üç faz bileşenleri

Arıza tipi

Arıza tipi	$Z_F^{a,b,c}$	$Y_F^{a,b,c}$	$Z_F^{0,1,2}$	$Y_F^{0,1,2}$																																				
 Üç faz o-toprak	<table border="1"> <tr><td>$z_F + z_0$</td><td>z_0</td><td>z_0</td></tr> <tr><td>z_0</td><td>$z_F + z_0$</td><td>z_0</td></tr> <tr><td>z_0</td><td>z_0</td><td>$z_F + z_0$</td></tr> </table>	$z_F + z_0$	z_0	z_0	z_0	$z_F + z_0$	z_0	z_0	z_0	$z_F + z_0$	<table border="1"> <tr><td>$y_0 + 2y_F$</td><td>$y_0 - y_F$</td><td>$y_0 - y_F$</td></tr> <tr><td>$y_0 - y_F$</td><td>$y_0 + 2y_F$</td><td>$y_0 - y_F$</td></tr> <tr><td>$y_0 - y_F$</td><td>$y_0 - y_F$</td><td>$y_0 + 2y_F$</td></tr> </table>	$y_0 + 2y_F$	$y_0 - y_F$	$y_0 - y_F$	$y_0 - y_F$	$y_0 + 2y_F$	$y_0 - y_F$	$y_0 - y_F$	$y_0 - y_F$	$y_0 + 2y_F$	<table border="1"> <tr><td>$z_F + 3z_0$</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>z_F</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>z_F</td></tr> </table>	$z_F + 3z_0$	0	0	0	z_F	0	0	0	z_F	<table border="1"> <tr><td>y_0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>y_F</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>y_F</td></tr> </table>	y_0	0	0	0	y_F	0	0	0	y_F
$z_F + z_0$	z_0	z_0																																						
z_0	$z_F + z_0$	z_0																																						
z_0	z_0	$z_F + z_0$																																						
$y_0 + 2y_F$	$y_0 - y_F$	$y_0 - y_F$																																						
$y_0 - y_F$	$y_0 + 2y_F$	$y_0 - y_F$																																						
$y_0 - y_F$	$y_0 - y_F$	$y_0 + 2y_F$																																						
$z_F + 3z_0$	0	0																																						
0	z_F	0																																						
0	0	z_F																																						
y_0	0	0																																						
0	y_F	0																																						
0	0	y_F																																						
Burada $y_0 = \frac{1}{z_F + 3z_0}$																																								
 Üç faz	<table border="1"> <tr><td>z_F</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>∞</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>∞</td></tr> </table>	z_F	0	0	0	∞	0	0	0	∞	<table border="1"> <tr><td>2</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>2</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>2</td></tr> </table>	2	-1	-1	-1	2	-1	-1	-1	2	<table border="1"> <tr><td>∞</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>z_F</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>z_F</td></tr> </table>	∞	0	0	0	z_F	0	0	0	z_F	<table border="1"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	0	0	0	0	1	0	0	0	1
z_F	0	0																																						
0	∞	0																																						
0	0	∞																																						
2	-1	-1																																						
-1	2	-1																																						
-1	-1	2																																						
∞	0	0																																						
0	z_F	0																																						
0	0	z_F																																						
0	0	0																																						
0	1	0																																						
0	0	1																																						
Tanımsız																																								
 Tek faz toprak	<table border="1"> <tr><td>∞</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>$z_F + z_0$</td><td>z_0</td></tr> <tr><td>0</td><td>z_0</td><td>$z_F + z_0$</td></tr> </table>	∞	0	0	0	$z_F + z_0$	z_0	0	z_0	$z_F + z_0$	<table border="1"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>$\frac{z_F + z_0}{z_F^2 + 2z_F z_0}$</td><td>$\frac{-z_0}{z_F^2 + 2z_F z_0}$</td></tr> <tr><td>0</td><td>$\frac{-z_0}{z_F^2 + 2z_F z_0}$</td><td>$\frac{z_F + z_0}{z_F^2 + 2z_F z_0}$</td></tr> </table>	0	0	0	0	$\frac{z_F + z_0}{z_F^2 + 2z_F z_0}$	$\frac{-z_0}{z_F^2 + 2z_F z_0}$	0	$\frac{-z_0}{z_F^2 + 2z_F z_0}$	$\frac{z_F + z_0}{z_F^2 + 2z_F z_0}$	<table border="1"> <tr><td>$2z_F$</td><td>$-z_F$</td><td>$-z_F$</td></tr> <tr><td>$-z_F$</td><td>$2z_F + 3z_0$</td><td>$-(z_F + 3z_0)$</td></tr> <tr><td>$-z_F$</td><td>$-(z_F + 3z_0)$</td><td>$2z_F + 3z_0$</td></tr> </table>	$2z_F$	$-z_F$	$-z_F$	$-z_F$	$2z_F + 3z_0$	$-(z_F + 3z_0)$	$-z_F$	$-(z_F + 3z_0)$	$2z_F + 3z_0$	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
∞	0	0																																						
0	$z_F + z_0$	z_0																																						
0	z_0	$z_F + z_0$																																						
0	0	0																																						
0	$\frac{z_F + z_0}{z_F^2 + 2z_F z_0}$	$\frac{-z_0}{z_F^2 + 2z_F z_0}$																																						
0	$\frac{-z_0}{z_F^2 + 2z_F z_0}$	$\frac{z_F + z_0}{z_F^2 + 2z_F z_0}$																																						
$2z_F$	$-z_F$	$-z_F$																																						
$-z_F$	$2z_F + 3z_0$	$-(z_F + 3z_0)$																																						
$-z_F$	$-(z_F + 3z_0)$	$2z_F + 3z_0$																																						
1	1	1																																						
1	1	1																																						
1	1	1																																						
Tanımsız																																								
 İki faz toprak	<table border="1"> <tr><td>∞</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>$z_F + z_0$</td><td>z_0</td></tr> <tr><td>0</td><td>z_0</td><td>$z_F + z_0$</td></tr> </table>	∞	0	0	0	$z_F + z_0$	z_0	0	z_0	$z_F + z_0$	<table border="1"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>1</td></tr> </table>	0	0	0	0	1	-1	0	-1	1	<table border="1"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>1</td></tr> </table>	0	0	0	0	1	-1	0	-1	1	<table border="1"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>1</td></tr> </table>	0	0	0	0	1	-1	0	-1	1
∞	0	0																																						
0	$z_F + z_0$	z_0																																						
0	z_0	$z_F + z_0$																																						
0	0	0																																						
0	1	-1																																						
0	-1	1																																						
0	0	0																																						
0	1	-1																																						
0	-1	1																																						
0	0	0																																						
0	1	-1																																						
0	-1	1																																						
Tanımsız																																								

ÜÇ FAZ-TOPRAK ARIZASI

Üç faz-toprak arızasında arıza akım ve gerilimi, uygun bileşen arıza empedans matrislerini denklem 4.3.1, 4.3.3 ve 4.3.5 denklemlerinde yerine yazarak elde edilir. Maydana gelen denklemleri önden T_S ile çarpılarakta faz bileşenleri elde edilir.

Tablo 4.1 de üç faz-toprak arızası için arıza empedans matrisi

$$Z_p^{0,1,2} = \begin{bmatrix} z_F + 3z_g & & \\ & z_F & \\ & & z_F \end{bmatrix} \quad 4.3.8$$

ve 4.3.8 denklemindeki $Z_p^{0,1,2}$ değerini 4.3.1, 4.3.3 ve 4.3.5 te yerlerine yazalım. Arızalı p barası akımı

$$\begin{bmatrix} I_{p(F)}^{(0)} \\ I_{p(F)}^{(1)} \\ I_{p(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} z_F + 3z_g + Z_{pp}^{(0)} & & \\ & z_F + Z_{pp}^{(1)} & \\ & & z_F + Z_{pp}^{(1)} \end{pmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix}$$

olur ve gerekli işlemlerden sonra

$$\begin{bmatrix} I_{p(F)}^{(0)} \\ I_{p(F)}^{(1)} \\ I_{p(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \\ 0 \end{bmatrix} \quad 4.3.9$$

denklemine indirgenir. p barası arıza akımının faz bileşenleri 4.3.9 denkleminin her iki yanını önden T_S ile çarpılarak elde edilir.

$$\begin{bmatrix} I_{p(F)}^a \\ I_{p(F)}^b \\ I_{p(F)}^c \end{bmatrix} = \frac{1}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix}$$

Arızalı p barası gerilimi

$$\begin{bmatrix} E_{p(F)}^{(0)} \\ E_{p(F)}^{(1)} \\ E_{p(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_F + 3z_g & & \\ & z_F & \\ & & z_F \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \\ 0 \end{bmatrix}$$

dir ve bu aşağıdaki denkleme indirgenir.

$$\begin{bmatrix} E_{p(F)}^{(0)} \\ E_{p(F)}^{(1)} \\ E_{p(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\sqrt{3} z_F}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \\ 0 \end{bmatrix}$$

arıza geriliminin faz bileşenleri:

$$\begin{bmatrix} E_{p(F)}^a \\ E_{p(F)}^b \\ E_{p(F)}^c \end{bmatrix} = \frac{z_F}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix}$$

p haricindeki bara gerilimleri

$$\begin{bmatrix} E_{i(F)}^{(0)} \\ E_{i(F)}^{(1)} \\ E_{i(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_{ip}^{(0)} & & \\ & Z_{ip}^{(1)} & \\ & & Z_{ip}^{(2)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \\ 0 \end{bmatrix}$$

buradan gerekli işlemlerle

$$\begin{array}{|c|} \hline E_{i(F)}^{(0)} \\ \hline E_{i(F)}^{(1)} \\ \hline E_{i(F)}^{(2)} \\ \hline \end{array} = \sqrt{3} \begin{array}{|c|} \hline 0 \\ \hline 1 - \frac{Z_{ip}^{(1)}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \\ \hline 0 \\ \hline \end{array}$$

elde edilir.

Faz bileşenleri

$$\begin{array}{|c|} \hline E_{i(F)}^a \\ \hline E_{i(F)}^b \\ \hline E_{i(F)}^c \\ \hline \end{array} = \left(1 - \frac{Z_{ip}^{(1)}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}}\right) \begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline a^2 \\ \hline a \\ \hline \end{array}$$

dir.

Tablo 4.2 P BARASINDA ÜÇ FAZ-TOPRAK ARIZASI DURUMUNDA AKIM VE GERİLİMLER

Üç faz bileşenleri	Simetrikli bileşenleri
$I_{p(F)}^{a,b,c} = \frac{E_{p(0)}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \begin{array}{ c } \hline 1 \\ \hline a^2 \\ \hline a \\ \hline \end{array}$	$I_{p(F)}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3} E_{p(0)}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \begin{array}{ c } \hline 0 \\ \hline 1 \\ \hline 0 \\ \hline \end{array}$
$E_{p(F)}^{a,b,c} = \frac{z_F E_{p(0)}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \begin{array}{ c } \hline 1 \\ \hline a^2 \\ \hline a \\ \hline \end{array}$	$E_{p(F)}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3} z_F E_{p(0)}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \begin{array}{ c } \hline 0 \\ \hline 1 \\ \hline 0 \\ \hline \end{array}$
$E_{i(F)}^{a,b,c} = \left(E_{i(0)} - \frac{Z_{ip}^{(1)} E_{p(0)}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}}\right) \begin{array}{ c } \hline 1 \\ \hline a^2 \\ \hline a \\ \hline \end{array} \quad i \neq p$	$E_{i(F)}^{0,1,2} = \sqrt{3} \left(E_{i(0)} - \frac{Z_{ip}^{(1)} E_{p(0)}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}}\right) \begin{array}{ c } \hline 0 \\ \hline 1 \\ \hline 0 \\ \hline \end{array} \quad i \neq p$

Bu bölümde çıkarılan formüller tablo 4.2 de özetlenmiştir. Formüller çıkarılırken faz-toprak gerilimi bir per-unit farzedildi. Tablo 4.2 de faz-toprak gerilimi arzu edilen per-unit değer olarak alınabilir.

Arıza esnasında, devre elemanlarının akımları 4.3. 7 denkleminde hesaplanabilir. Üç-faz arızası ve pozitif sequence devrede karşılıklı kuplaj yok iken, yani $mn = ij$ haricindeki $y_{ij,mn}^{(1)} = 0$ iken negatif ve sıfır sequence bara gerilimleri sıfır olur. 4.2.7 denkleminde aşağıdaki şekle indirgenir.

$$\begin{bmatrix} i_{ij(P)}^{(0)} \\ i_{ij(P)}^{(1)} \\ i_{ij(P)}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ y_{ij,ij}^{(1)}(E_{i(P)}^{(1)} - E_{j(P)}^{(1)}) \\ 0 \end{bmatrix}$$

faz bileşenleride aşağıdaki gibi olur. 11 denkleminde her

$$\begin{bmatrix} i_{ij(P)}^a \\ i_{ij(P)}^b \\ i_{ij(P)}^c \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} y_{ij,ij}^{(1)}(E_{i(P)}^{(1)} - E_{j(P)}^{(1)}) \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix}$$

TEK FAZ-TOPRAK ARIZASI

a fazı-toprak arızası durumunda arıza admitans matrisi tablo 4.1 den yazar.

$$Y_F^{0,1,2} = \frac{Y_F}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

4.3.10

4.3.10 denklemindeki $Y_F^{0,1,2}$ değerini 4.3.2, 4.3.4 ve 4.3.6 da yerine yazarak arıza akımı ve bara gerilimi elde edilir
p arıza bara akımı :

$$\begin{bmatrix} I_{p(F)}^{(0)} \\ I_{p(F)}^{(1)} \\ I_{p(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{Y_F}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 + Z_{pp}^{(0)} \frac{Y_F}{3} & Z_{pp}^{(0)} \frac{Y_F}{3} & Z_{pp}^{(0)} \frac{Y_F}{3} \\ Z_{pp}^{(1)} \frac{Y_F}{3} & 1 + Z_{pp}^{(1)} \frac{Y_F}{3} & Z_{pp}^{(1)} \frac{Y_F}{3} \\ Z_{pp}^{(2)} \frac{Y_F}{3} & Z_{pp}^{(2)} \frac{Y_F}{3} & 1 + Z_{pp}^{(2)} \frac{Y_F}{3} \end{pmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix}$$

ve bu aşağıdaki şekle indirgenir.

$$\begin{bmatrix} I_{p(F)}^{(0)} \\ I_{p(F)}^{(1)} \\ I_{p(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{3}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3Z_F} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad 4.3.11$$

p barası arıza akımı bileşenleri, 4.3.11 denkleminin her iki yanını T_s ile önden çarparak elde edilir. Bu değer aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} I_{p(F)}^a \\ I_{p(F)}^b \\ I_{p(F)}^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3Z_F} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

p arızalı bara gerilimi :

$$\begin{bmatrix} E_{p(F)}^{(0)} \\ E_{p(F)}^{(1)} \\ E_{p(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 1 + Z_{pp}^{(0)} \frac{y_F}{3} & Z_{pp}^{(0)} \frac{y_F}{3} & Z_{pp}^{(0)} \frac{y_F}{3} \\ Z_{pp}^{(1)} \frac{y_F}{3} & 1 + Z_{pp}^{(1)} \frac{y_F}{3} & Z_{pp}^{(1)} \frac{y_F}{3} \\ Z_{pp}^{(1)} \frac{y_F}{3} & Z_{pp}^{(1)} \frac{y_F}{3} & 1 + Z_{pp}^{(1)} \frac{y_F}{3} \end{pmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix}$$

olup aşağıdaki şekle indirgenir.

$$\begin{bmatrix} E_{p(F)}^{(0)} \\ E_{p(F)}^{(1)} \\ E_{p(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{3}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \begin{bmatrix} -Z_{pp}^{(0)} \\ Z_{pp}^{(0)} + Z_{pp}^{(1)} + 3z_F \\ -Z_{pp}^{(1)} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} E_{p(F)}^a \\ E_{p(F)}^b \\ E_{p(F)}^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3z_F}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \\ a^2 - \frac{Z_{pp}^{(0)} - Z_{pp}^{(1)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \\ a - \frac{Z_{pp}^{(0)} - Z_{pp}^{(1)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \end{bmatrix}$$

p haricindeki bara gerilimleri :

$$\begin{bmatrix} E_{i(F)}^{(0)} \\ E_{i(F)}^{(1)} \\ E_{i(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_{ip}^{(0)} & & \\ & Z_{ip}^{(1)} & \\ & & Z_{ip}^{(1)} \end{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

ve gerekli işlemler yapılırsa

$$\begin{bmatrix} E_{i(F)}^{(0)} \\ E_{i(F)}^{(1)} \\ E_{i(F)}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix} - \frac{\sqrt{3}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \begin{bmatrix} Z_{ip}^{(0)} \\ Z_{ip}^{(1)} \\ Z_{ip}^{(1)} \end{bmatrix}$$

elde edilir. Faz bileşenleri de aşağıdaki gibi olur.

$$\begin{bmatrix} E_{i(p)}^a \\ E_{i(p)}^b \\ E_{i(p)}^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} - \frac{1}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \begin{bmatrix} Z_{ip}^{(0)} + 2Z_{ip}^{(1)} \\ Z_{ip}^{(0)} - Z_{ip}^{(1)} \\ Z_{ip}^{(0)} - Z_{ip}^{(1)} \end{bmatrix}$$

Tablo 4.3 P BARASINDA TEK FAZ TOPRAK ARIZASI DURU - MUNDA AKIM VE GERİLİM FORMÜLLERİ

Üç faz bileşenleri	Simetrikli bileşenleri
$I_{p(p)}^{a,b,c} = \frac{3E_{p(0)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$	$I_p^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3} E_{p(0)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$
$E_{p(p)}^{a,b,c} = E_{p(0)} \begin{bmatrix} \frac{3z_F}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \\ a^2 - \frac{Z_{pp}^{(0)} - Z_{pp}^{(1)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \\ a - \frac{Z_{pp}^{(0)} - Z_{pp}^{(1)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \end{bmatrix}$	$E_p^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3} E_{p(0)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \begin{bmatrix} -Z_{pp}^{(0)} \\ Z_{pp}^{(0)} + Z_{pp}^{(1)} + 3z_F \\ -Z_{pp}^{(1)} \end{bmatrix}$
$E_{i(p)}^{a,b,c} = E_i \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} - E_{p(0)} \begin{bmatrix} \frac{Z_{ip}^{(0)} + 2Z_{ip}^{(1)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \\ \frac{Z_{ip}^{(0)} - Z_{ip}^{(1)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \\ \frac{Z_{ip}^{(0)} - Z_{ip}^{(1)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \end{bmatrix} \quad i \neq p$	$E_{i(p)}^{0,1,2} = E_{i(0)} \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix} - \frac{\sqrt{3} E_{p(0)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \begin{bmatrix} Z_{ip}^{(0)} \\ Z_{ip}^{(1)} \\ Z_{ip}^{(1)} \end{bmatrix} \quad i \neq p$

Bu bölümde çıkarılan formüller tablo 4.3 de özetlenmiştir. Formül çıkarılırken faz-toprak gerilimi bir per-unit farzedilmiştir. Tablo 4.3 deki formüllerde faz-toprak gerilimi arzu edilen per-unit değerde alınabilir.

Arıza esnasında devre eleman akımları 4.3.7 denkleminde hesaplanılabilir.

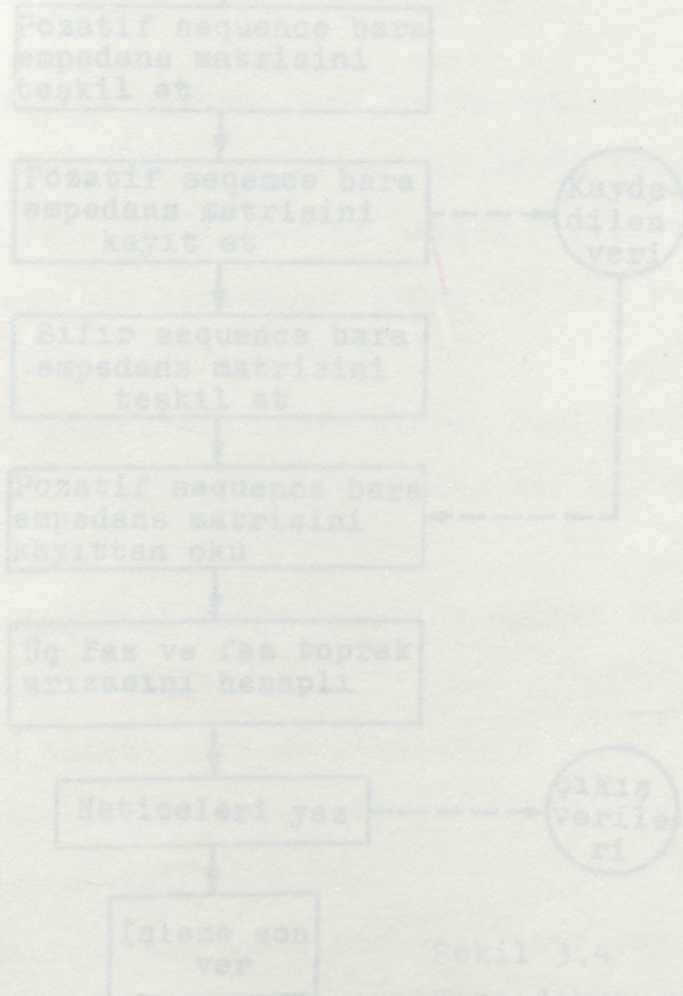
4.4 KISA DEVRE PROGRAMININ TANIMI

Çoğunlukla kısa devre analizleri, yalnızca üç faz ve faz-toprak arızalarını ihtiva eder. Bu arızaların hesabı ile gerçekleştirilen Amerikan Elektrik Güç Sistemi kısa devre programında, bölüm 4.2 de anlatılan basitleştirilmiş güç sistemi ve bölüm 4.3 de anlatılan sıfır ve pozitif sequence bara empedans matrisleri kullanılır.

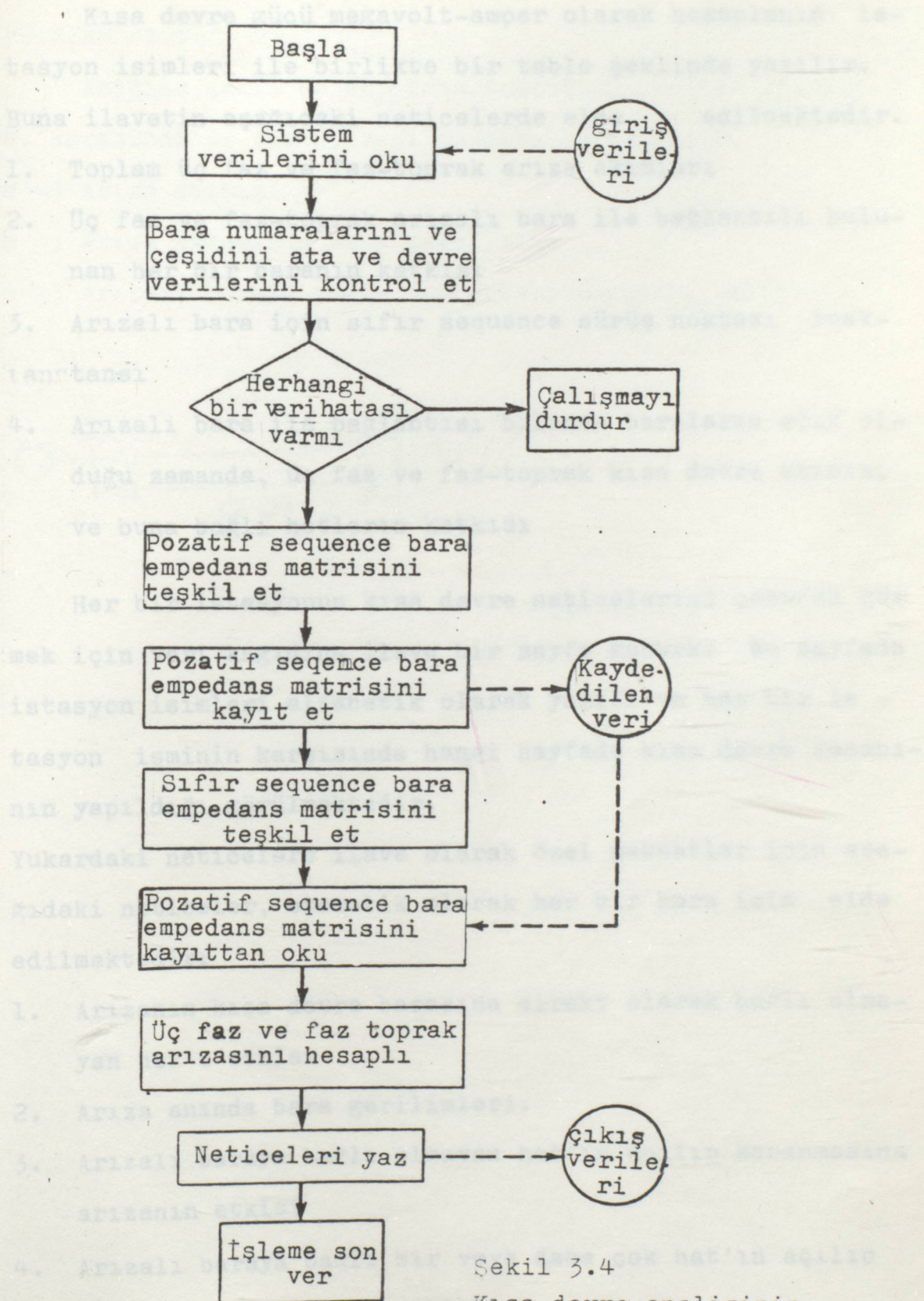
Sistemi tanımlayan giriş verilerinde güç sistemi ve alt sistem isimleri belirtilir. Generatörlerin, senkron kondansatörlerin ve terminal noktalarının verilerinde istasyon adları ile bunların pozitif ve sıfır sequence empedansları ifade edilir. Taşıma hatlarının ifadesi ise uçlarındaki terminal isimleri ve hattın reaktansı ile temsil edilir. Karşılıklı kuplajlı hatların belirtilmesi kuplajlı hatların terminal noktaları ve kuplaj reaktansı ile olur. Transformator verilerinde istasyon isimleri çevirme oranları ile bağlantı durumu ve pozitif, sıfır sequence empedansları belirtilir. Giriş verilerinde yukardaki verilere ilaveten analizin adı, durum sayısı ve işaretlerin isimleri belirtilir.

Programda ilkönce eşdeğer devrede baralar numaralandırılır, bundan sonra, pozitif ve sıfır sequence bara empedans matrislerinin teşkilini kolaylaştırmak için devre verileri tekrar düzenlenir. Bu durum esnasında bütün bara verilerinin kontrolü yapılır. Bunu takiben pozitif sequence bara empedans matrisi teşkil edilir. Bu matris geçici ola-

rak, yardımcı hafızada ayrılan yere, başka program dilimlerinde kullanılmak üzere, kaydedilir. Sonra sıfır sequence bara empedans matrisi elde edilir. Ve, kısa devre hesabında kullanılmak üzere pozitif sequence bara empedans matrisi önceden kaydedilen yardımcı hafızadan okunur. Eğer bu matrislerde simetrik ise köşegen üzerindeki elemanlar ile köşegenin altındaki elemanlar elde edilir ve hafızaya kaydedilir. Kısa devre programı adım adım şekil 4.4 de görülmektedir.



Şekil 3.4
Kısa devre analizinin
kısaltılmış akış diyagramı



Şekil 3.4

Kısa devre analizinin
kısaltılmış akış diyagramı

Kısa devre gücü megavolt-amper olarak hesaplanıp istasyon isimleri ile birlikte bir tablo şeklinde yazılır.

Buna ilavetin aşağıdaki neticelerde elde edilmektedir.

1. Toplam üç faz ve faz-toprak arıza akımları
2. Üç faz ve faz-toprak arızalı bara ile bağlantılı bulunan her bir baranın katkısı
3. Arızalı bara için sıfır sequence sürüş noktası reaktansı
4. Arızalı bara ile bağlantısı bulunan baraların açık olduğu zamanda, üç faz ve faz-toprak kısa devre akımını ve buna bağlı hatların katkısı

Her bir istasyonun kısa devre neticelerini çabucak görmek için veri kağıdına ilave bir sayfa konurki bu sayfada istasyon isimleri alfabetik olarak yazılı ve her bir istasyon isminin karşısında hangi sayfada kısa devre hesabının yapıldığı görülmektedir.

Yukardaki neticelere ilave olarak özel maksatlar için aşağıdaki neticeler, otomatik olarak her bir bara için elde edilmektedir:

1. Arızanın kısa devre barasına direkt olarak bağlı olmayan hat'a etkisi
2. Arıza anında bara gerilimleri.
3. Arızalı baraya bağlı olmayan hat'ın açılıp kapanmasına arızanın etkisi
4. Arızalı baraya bağlı bir veya daha çok hat'ın açılıp kapanmasına arızanın etkisi.

PROBLEM 4.1

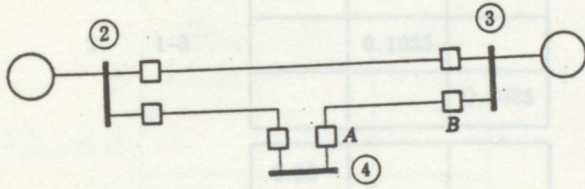
Aşağıda şekli ve empedans değerleri verilen sistemin

4. barasında üç faz arızası meydana gelmektedir.

a -) Arıza akımını

b -) Arıza esnasında bara gerilimini

c -) Arızalı baraya bağlı hatlardaki akımları bulunuz.



Örnek sistem

1.00			
	0.50		
		0.40	
1.50			
	0.60		
		0.60	

0.60		
0.50		

Çözüm: pozitif sequence barâ matrisinin elde:

1. adım 1. eleman $p = 1$ den $q = 2$ ye bir üsl oluşturur.

Örnek sistemin pozitif, negatif, sıfır sequence empedansları

Eleman numarası	Bara kodu $p-q$	Self		Karşılıklı	
		Empedans $Z_{pq,rs}^{0,1,2}$		Bara kodu $r-s$	Empedans $Z_{pq,rs}^{0,1,2}$
1	1-2	0.035			
			0.1025		
					0.1025
2	1-3	0.035			
			0.1025		
					0.1025
3	2-3	2.50			
			1.00		
					1.00
4	2-4	1.00			
			0.40		
					0.40
5	4-3	1.50			
			0.60		
					0.60
	2-3			0.60	
	2-3			0.90	

Çözüm: pozitif sequence bara matrisinin eldesi:

1. adım 1. eleman $p = 1$ den $q = 2$ ye bir dal oluşturur.

$$Z_{BARA}^{(1)} = \textcircled{2} \begin{bmatrix} 0.1025 \end{bmatrix}$$

2. adım 2. eleman $p = 1$ den $q = 3$ e bir dal oluşturur.

$$Z_{BABA}^{(1)} =$$

	②	③
②	0.1025	
③		0.1025

3. adım $p = 2$ den $q = 4$ e 4. eleman bir dal oluşturur.

$$Z_{24} = Z_{42} = Z_{22}$$

$$Z_{34} = Z_{43} = 0$$

$$Z_{44} = Z_{24} + z_{24,24}$$

$$Z_{BABA}^{(1)} =$$

	②	③	④
②	0.1025		0.1025
③		0.1025	
④	0.1025		0.5025

4. adım $p = 4$ den $q = 3$ e 5. eleman bir çevre oluşturur.

$$Z_{12} = Z_{21} = Z_{42} - Z_{32}$$

$$Z_{13} = Z_{31} = Z_{43} - Z_{33}$$

$$Z_{14} = Z_{41} = Z_{44} - Z_{34}$$

$$Z_{11} = Z_{41} - Z_{31} + z_{43,43}$$

ve istenen matris aşağıdadır.

	②	③	④	1
②	0.1025		0.1025	0.1025
③		0.1025		-0.1025
④	0.1025		0.5025	0.5025
1	0.1025	-0.1025	0.5025	1.2050

matris l yinci satıra göre indirgenirse

$$Z_{BARA}^{(1)} = \begin{array}{c|cc} & \textcircled{2} & \textcircled{3} & \textcircled{4} \\ \hline \textcircled{2} & 0.0938 & 0.0087 & 0.0598 \\ \hline \textcircled{3} & 0.0087 & 0.0938 & 0.0427 \\ \hline \textcircled{4} & 0.0598 & 0.0427 & 0.2930 \end{array}$$

olur.

5. adım $p = 2$ den $q = 3$ e 3. eleman bir çevre oluşturur. Bir önceki adımda yapılanları tekrarlırsak aşağıdaki matris elde edilir.

$$Z_{12} = Z_{21} = Z_{22} - Z_{32}$$

$$Z_{13} = Z_{31} = Z_{23} - Z_{33}$$

$$Z_{14} = Z_{41} = Z_{24} - Z_{34}$$

$$Z_{11} = Z_{21} - Z_{31} + z_{23,23}$$

$$Z_{BARA}^{(2)} = \begin{array}{c|ccc} & \textcircled{2} & \textcircled{3} & \textcircled{4} & l \\ \hline \textcircled{2} & 0.0938 & 0.0087 & 0.0598 & 0.0851 \\ \hline \textcircled{3} & 0.0087 & 0.0938 & 0.0427 & -0.0851 \\ \hline \textcircled{4} & 0.0598 & 0.0427 & 0.2930 & 0.0171 \\ \hline l & 0.0851 & -0.0851 & 0.0171 & 1.1702 \end{array}$$

l yinci satıra göre matrisi indirgeyerek bara matrisini elde ederiz.

$$Z_{BARA}^{(1)} = \begin{array}{c|cc} & \textcircled{2} & \textcircled{3} & \textcircled{4} \\ \hline \textcircled{2} & 0.0876 & 0.0149 & 0.0586 \\ \hline \textcircled{3} & 0.0149 & 0.0876 & 0.0439 \\ \hline \textcircled{4} & 0.0586 & 0.0439 & 0.2928 \end{array}$$

Pozitif ve negatif primitif elemanları eşit olduğundan bara empedans matrisleride eşit olur.

Sıfır sequence bara empedans matrisinin eldesi: "Üçüncü elemana gelinceye kadar bara empedans matrisi aşağıda görülmektedir.

	②	③	④
②	0.0345	0.0005	0.0209
③	0.0005	0.0345	0.0141
④	0.0209	0.0141	0.6182

5. adım $p = 2$ den $q = 3$ e 3. eleman bir çevre teşkil eder. Üçüncü eleman 4. ve 5. eleman ile karşılıklı kuplajlıdır.

$$Z_{12} = Z_{22} - Z_{32} + \frac{y_{23,24}(Z_{22} - Z_{42}) + y_{23,43}(Z_{42} - Z_{32})}{y_{23,23}}$$

$$Z_{13} = Z_{23} - Z_{33} + \frac{y_{23,24}(Z_{23} - Z_{43}) + y_{23,43}(Z_{43} - Z_{33})}{y_{23,23}}$$

$$Z_{14} = Z_{24} - Z_{34} + \frac{y_{23,24}(Z_{24} - Z_{44}) + y_{23,43}(Z_{44} - Z_{34})}{y_{23,23}}$$

$$Z_{11} = Z_{21} - Z_{31} + \frac{1 + y_{23,24}(Z_{21} - Z_{41}) + y_{23,43}(Z_{41} - Z_{31})}{y_{23,23}}$$

Sıfır sequence primitif empedans matrisi aşağıdaki gibi olur.

	1-2	1-3	2-3	2-4	4-3
1-2	0.035				
1-3		0.035			
2-3			2.500	0.600	0.900
2-4			0.600	1.000	
4-3			0.900		1.500

3. eleman 4. ve 5. elemanla kuplajlı olduğundan yukardaki matrisin alt matrisinin inversini almak yeter.

	2-3	2-4	4-3
2-3	2.500	0.600	0.900
$[z_{\rho\sigma,\rho\sigma}^{(0)}] = 2-4$	0.600	1.000	
4-3	0.900		1.500

Buradan

	2-3	2-4	4-3
2-3	0.625	-0.375	-0.375
$[y_{\rho\sigma,\rho\sigma}^{(0)}] = 2-4$	-0.375	1.225	0.225
4-3	-0.375	0.225	0.892

elde edilir ve istenen matris aşağıdaki gibi olur.

	②	③	④	l
②	0.0345	0.0005	0.0209	0.0136
③	0.0005	0.0345	0.0141	-0.0136
④	0.0209	0.0141	0.6182	0.0027
l	0.0136	-0.0136	0.0027	1.6109

l yinci satıra göre matrisi indirgersek aşağıdaki bara empedans matrisini elde ederiz.

	②	③	④
②	0.0344	0.0006	0.0209
$Z_{BARA}^{(0)} = ③$	0.0006	0.0344	0.0141
④	0.0209	0.0141	0.6182

Üç tane sequence empedans matrisi birleşik alarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

	0	② 1	2	0	③ 1	2	0	④ 1	2
0	0.0344			0.0006			0.0209		
② 1		0.0876			0.0149			0.0586	
2			0.0876			0.0149			0.0586
0	0.0006			0.0344			0.0141		
③ 1		0.0149			0.0876			0.0439	
2			0.0149			0.0876			0.0439
0	0.0209			0.0141			0.6182		
④ 1		0.0586			0.0439			0.2928	
2			0.0586			0.0439			0.2928

a -)

Arıza empedansını sifıra eşit alalım.

4. barada üç-faz arızası için akım.

$$I_{4(F)}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{Z_{44}^{(1)} + z_F} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{0.2928} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 3.42 \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix}$$

olur. Arıza akımının faz bileşenleri aşağıda görülmektedir.

$$I_{4(F)}^{a,b,c} = T_s I_{4(F)}^{0,1,2} = 3.42 \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix}$$

b -)

Arıza esnasında bara gerilimleri aşağıdaki gibi olur.

$$E_{4(F)}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$E_{2(F)}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} - \frac{Z_{24}^{(1)} \sqrt{3}}{Z_{44}^{(1)} + z_F} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} - \frac{0.0586}{0.2928} \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ 0.80 \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$E_{3(F)}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} - \frac{Z_{34}^{(1)} \sqrt{3}}{Z_{44}^{(1)} + z_F} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} - \frac{0.0439}{0.2928} \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ 0.85 \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix}$$

Gerilimin faz bileşenleri

$$E_{4(F)}^{a,b,c} = T \cdot E_{4(F)}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$E_{2(F)}^{a,b,c} = T_2 E_{2(F)}^{0,1,2} = 0.80$$

1
a^2
a

$$E_{3(F)}^{a,b,c} = T_3 E_{3(F)}^{0,1,2} = 0.85$$

1
a^2
a

dir.

c -)

Arızalı baraya bağlı hat akımları

$$I_{43(F)}^{0,1,2} = \frac{\begin{array}{|c|} \hline 0 \\ \hline y_{43,43}^{(1)} (E_{4(F)}^{(1)} - E_{3(F)}^{(1)}) \\ \hline 0 \\ \hline \end{array}}{\begin{array}{|c|} \hline 0 \\ \hline \frac{1}{0.60} (0 - 0.85 \sqrt{3}) \\ \hline 0 \\ \hline \end{array}} =$$

$$= \frac{\begin{array}{|c|} \hline 0 \\ \hline -1.42 \sqrt{3} \\ \hline 0 \\ \hline \end{array}}$$

$$I_{24(F)}^{0,1,2} = \frac{\begin{array}{|c|} \hline 0 \\ \hline y_{24,24}^{(1)} (E_{2(F)}^{(1)} - E_{4(F)}^{(1)}) \\ \hline 0 \\ \hline \end{array}}{\begin{array}{|c|} \hline 0 \\ \hline \frac{1}{0.40} (0.80 \sqrt{3} - 0) \\ \hline 0 \\ \hline \end{array}} =$$

$$= \frac{\begin{array}{|c|} \hline 0 \\ \hline 2.00 \sqrt{3} \\ \hline 0 \\ \hline \end{array}}$$

olur ve Bunların faz bileşenleri ise aşağıdaki gibidir.

$$I_{43(F)}^{a,b,c} = T_{43(F)}^{0,1,2} = -1.42 \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix}$$

$$I_{24(F)}^{a,b,c} = T_{24(F)}^{0,1,2} = 2.00 \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix}$$

PROBLEM 4.2

Problem 4.1 i tek faz toprak arızası için çözüünüz

Çözüm

a -)

Arıza empedansı sıfır olduğuna göre, akım

$$I_{4(F)}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3}}{Z_{44}^{(0)} + 2Z_{44}^{(1)} + 3Z_F} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{3}}{0.6182 + 0.5856} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.83 \sqrt{3} \\ 0.83 \sqrt{3} \\ 0.83 \sqrt{3} \end{bmatrix}$$

Akımın faz bileşenleri ise aşağıdaki gibi olur.

$$I_{4(F)}^{a,b,c} = T_{4(F)}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} 2.49 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

b -) Arıza esnasında bara gerilimi aşağıdaki gibi olur.

$$E_{4(F)}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3}}{Z_{44}^{(0)} + 2Z_{44}^{(1)} + 3z_F} \begin{bmatrix} -Z_{44}^{(0)} \\ Z_{44}^{(0)} + Z_{44}^{(1)} \\ -Z_{44}^{(1)} \end{bmatrix} = 0.83 \sqrt{3} \begin{bmatrix} -0.6182 \\ 0.9110 \\ -0.2928 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -0.5131 \sqrt{3} \\ 0.7561 \sqrt{3} \\ -0.2430 \sqrt{3} \end{bmatrix}$$

$$E_{2(F)}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix} - \frac{\sqrt{3}}{Z_{44}^{(0)} + 2Z_{44}^{(1)} + 3z_F} \begin{bmatrix} Z_{42}^{(0)} \\ Z_{42}^{(1)} \\ Z_{42}^{(1)} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix} - 0.83 \sqrt{3} \begin{bmatrix} 0.0209 \\ 0.0586 \\ 0.0586 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -0.0173 \sqrt{3} \\ 0.9514 \sqrt{3} \\ -0.0486 \sqrt{3} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 E_{3(F)}^{0,1,2} &= \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix} - \frac{\sqrt{3}}{Z_{44}^{(0)} + 2Z_{44}^{(1)} + 3z_F} \begin{bmatrix} Z_{43}^{(0)} \\ Z_{43}^{(1)} \\ Z_{43}^{(1)} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix} - 0.83 \sqrt{3} \begin{bmatrix} 0.0141 \\ 0.0439 \\ 0.0439 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} -0.0117 \sqrt{3} \\ 0.9636 \sqrt{3} \\ -0.0364 \sqrt{3} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Gerilimlerin faz bileşenleri

$$\begin{aligned}
 E_{4(F)}^{a,b,c} &= \begin{bmatrix} \frac{3z_F}{Z_{44}^{(0)} + 2Z_{44}^{(1)} + 3z_F} \\ a^2 - \frac{Z_{44}^{(0)} - Z_{44}^{(1)}}{Z_{44}^{(0)} + 2Z_{44}^{(1)} + 3z_F} \\ a - \frac{Z_{44}^{(0)} - Z_{44}^{(1)}}{Z_{44}^{(0)} + 2Z_{44}^{(1)} + 3z_F} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ a^2 - \frac{0.6182 - 0.2928}{0.6182 + 0.5856} \\ a - \frac{0.6182 - 0.2928}{0.6182 + 0.5856} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 0 \\ -0.77 - j0.866 \\ -0.77 + j0.866 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$E_{2(F)}^{a,b,c} = \begin{array}{c|c} 1 & \frac{Z_{42}^{(0)} + 2Z_{42}^{(1)}}{Z_{44}^{(0)} + 2Z_{44}^{(1)} + 3z_F} \\ \hline a^2 & - \frac{Z_{42}^{(0)} - Z_{42}^{(1)}}{Z_{44}^{(0)} + 2Z_{44}^{(1)} + 3z_F} \\ \hline a & \frac{Z_{42}^{(0)} - Z_{42}^{(1)}}{Z_{44}^{(0)} + 2Z_{44}^{(1)} + 3z_F} \end{array}$$

$$= \begin{array}{c|c} 1 & \frac{0.0209 + 0.1172}{0.6182 + 0.5856} \\ \hline a^2 & - \frac{0.0209 - 0.0586}{0.6182 + 0.5856} \\ \hline a & \frac{0.0209 - 0.0586}{0.6182 + 0.5856} \end{array} = \begin{array}{c} 0.8853 + j0 \\ -0.4687 - j0.866 \\ -0.4687 + j0.866 \end{array}$$

$$E_{3(F)}^{a,b,c} = \begin{array}{c|c} 1 & \frac{Z_{43}^{(0)} + 2Z_{43}^{(1)}}{Z_{44}^{(0)} + 2Z_{44}^{(1)} + 3z_F} \\ \hline a^2 & - \frac{Z_{43}^{(0)} - Z_{43}^{(1)}}{Z_{44}^{(0)} + 2Z_{44}^{(1)} + 3z_F} \\ \hline a & \frac{Z_{43}^{(0)} - Z_{43}^{(1)}}{Z_{44}^{(0)} + 2Z_{44}^{(1)} + 3z_F} \end{array} = \begin{array}{c|c} 1 & \frac{0.0141 + 0.0878}{0.6182 + 0.5856} \\ \hline a^2 & - \frac{0.0141 - 0.0439}{0.6182 + 0.5856} \\ \hline a & \frac{0.0141 - 0.0439}{0.6182 + 0.5856} \end{array}$$

$$= \begin{array}{c} 0.9154 + j0 \\ -0.4752 - j0.866 \\ -0.4752 + j0.866 \end{array}$$

c -) Arızalı baraya bağlı akımlar.

$$\begin{aligned}
 i_{43(F)}^{0,1,2} &= \frac{y_{43,43}^{(0)}(E_{4(F)}^{(0)} - E_{3(F)}^{(0)}) + y_{43,23}^{(0)}(E_{2(F)}^{(0)} - E_{3(F)}^{(0)}) + y_{43,24}^{(0)}(E_{2(F)}^{(0)} - E_{4(F)}^{(0)})}{y_{43,43}^{(1)}(E_{4(F)}^{(1)} - E_{3(F)}^{(1)})} \\
 &\quad y_{43,43}^{(2)}(E_{4(F)}^{(2)} - E_{3(F)}^{(2)}) \\
 &= \sqrt{3} \frac{0.892(-0.5131 + 0.0117) + (-0.375)(-0.0173 + 0.0117) + 0.225(-0.0173 + 0.5131)}{0.6(0.7561 - 0.9636)} \\
 &\quad \frac{1}{0.6}(-0.2430 + 0.0364) \\
 &= \begin{array}{c} -0.33 \sqrt{3} \\ -0.34 \sqrt{3} \\ -0.34 \sqrt{3} \end{array}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 i_{24(F)}^{0,1,2} &= \frac{y_{24,24}^{(0)}(E_{2(F)}^{(0)} - E_{4(F)}^{(0)}) + y_{24,43}^{(0)}(E_{4(F)}^{(0)} - E_{3(F)}^{(0)}) + y_{24,23}^{(0)}(E_{2(F)}^{(0)} - E_{3(F)}^{(0)})}{y_{24,24}^{(1)}(E_{2(F)}^{(1)} - E_{4(F)}^{(1)})} \\
 &\quad y_{24,24}^{(2)}(E_{2(F)}^{(2)} - E_{4(F)}^{(2)}) \\
 &= \sqrt{3} \frac{1.225(-0.0173 + 0.5131) + 0.225(-0.5131 + 0.0117) + (-0.375)(-0.0173 + 0.0117)}{0.4(0.9514 - 0.7561)} \\
 &\quad \frac{1}{0.4}(-0.0486 + 0.2430) \\
 &= \begin{array}{c} 0.50 \sqrt{3} \\ 0.49 \sqrt{3} \\ 0.49 \sqrt{3} \end{array}
 \end{aligned}$$

Not: Problem 4.4 ve problem 4.5'ün çözümleri bilgisayarla yapılmıştır.

Faz bileşenleri ise

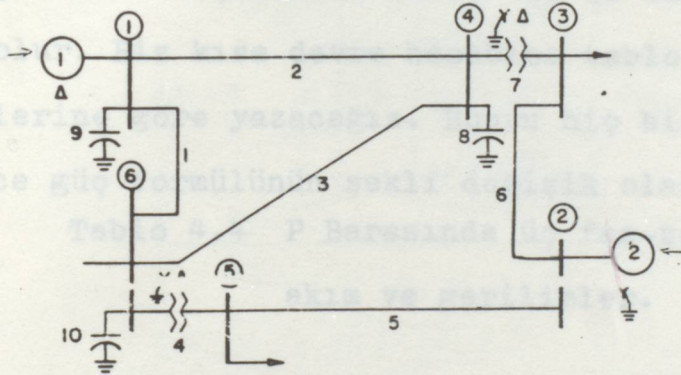
$$i_{43(F)}^{a,b,c} = T_i i_{43(F)}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} -1.02 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{and} \quad i_{24(F)}^{a,b,c} = T_i i_{24(F)}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} 1.47 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

olur.

PROBLEM 4.3

Aşağıda şekli verilen sistemin arıza analizini yapın.

Sistemin verileri 50 MVA bazına göre dir. Bunu 100 MVA bazına çevirerek çözünüz.



eleman numarası	Bara kodu p-q	Self empedans		karşılıklı empedans	
		$Z_1 = Z_2$	Z_0	Z_M	dal
1	1-6	0.123 + j0.518	0.492 + j1.042	...	...
2	1-4	0.080 + j0.370	0.400 + j0.925	0.250 + j0.475	3
3	4-6	0.097 + j0.407	0.450 + j1.030	0.250 + j0.475	2
4	5-6	0.000 + j0.300	0.000 + j0.300	...	...
5	2-5	0.282 + j0.640	1.410 + j1.920	...	...
6	2-3	0.723 + j1.050	1.890 + j2.630	...	...
7	3-4	0.000 + j0.133	0.000 + j0.133	...	...
8	0-4	0.000 - j34.100	...	...	...
9	0-1	0.000 - j29.500	...	...	...
10	0-6	0.000 - j28.500	...	...	...
11	Gen 1	0.010 + j0.032	0.000 + j0.032	...	...
12	Gen 2	0.015 + j0.240	0.010 + j0.080	...	...

Not: Problem 4.4 ve problem 4.3 ün çözümü bilgisayarla yapılmıştır.

$$T_s = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

şeklinde değil

$$T_s = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

Şeklinde düşünürsek tablo 4.2 ve tablo 4.3 aşağıdaki şekilde olur. Biz kısa devre hesabını tablo 4.4 ve tablo 4.5 formüllerine göre yazacağız. Bunun hiç bir sakıncası yoktur. Sadece güç formülünün şekli değişik olacaktır.

Tablo 4.4 P Barasında üç faz-toprak arızası durumunda akım ve gerilimler.

Üç faz bileşenleri

Simetrikli bileşenleri

$$I_{p(F)}^{a,b,c} = \frac{E_{p(0)}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix}$$

$$I_{p(F)}^{0,1,2} = \frac{E_{p(0)}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$E_{p(F)}^{a,b,c} = \frac{z_F E_{p(0)}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix}$$

$$E_{p(F)}^{0,1,2} = \frac{z_F E_{p(0)}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$E_{i(F)}^{a,b,c} = \left(E_{i(0)} - \frac{Z_{ip}^{(1)} E_{p(0)}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \right) \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} \quad i \neq p$$

$$E_{i(F)}^{0,1,2} = \left(E_{i(0)} - \frac{Z_{ip}^{(1)} E_{p(0)}}{z_F + Z_{pp}^{(1)}} \right) \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad i \neq p$$

Tablo 4.5 P Barasında tek faz toprak arızası durumunda
akım ve gerilim formülleri

Üç faz bileşenleri

Simetrikli bileşenleri

$$I_{p(P)}^{a,b,c} = \frac{3E_{p(0)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$I_{p(P)}^{0,1,2} = \frac{E_{p(0)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$E_{p(P)}^{a,b,c} = E_{p(0)} \begin{bmatrix} \frac{3z_F}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \\ a^2 - \frac{Z_{pp}^{(0)} - Z_{pp}^{(1)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \\ a - \frac{Z_{pp}^{(0)} - Z_{pp}^{(1)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \end{bmatrix}$$

$$E_{p(P)}^{0,1,2} = \frac{E_{p(0)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \begin{bmatrix} -Z_{pp}^{(0)} \\ Z_{pp}^{(0)} + Z_{pp}^{(1)} + 3z_F \\ -Z_{pp}^{(1)} \end{bmatrix}$$

$$E_{i(P)}^{a,b,c} = E_i \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} - E_{p(0)} \begin{bmatrix} \frac{Z_{ip}^{(0)} + 2Z_{ip}^{(1)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \\ \frac{Z_{ip}^{(0)} - Z_{ip}^{(1)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \\ \frac{Z_{ip}^{(0)} - Z_{ip}^{(1)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \end{bmatrix}$$

$i \neq p$

$$E_{i(P)}^{0,1,2} = E_{i(0)} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} - \frac{E_{p(0)}}{Z_{pp}^{(0)} + 2Z_{pp}^{(1)} + 3z_F} \begin{bmatrix} Z_{ip}^{(0)} \\ Z_{ip}^{(1)} \\ Z_{ip}^{(1)} \end{bmatrix}$$

$i \neq p$

Not: T_S 'in $\sqrt{3}$ 'lü ifadesi kaynaklarda belirtilen 3. kitap-
ta, T_S 'in $\sqrt{3}$ 'süz ifadesi kaynaklarda belirtilen 1., 4., 5.
kitaplarda kullanılmıştır.

NEGATIF SEQUENCE VERILENI

BARA SAYISI		ELEMAN AYISI									
=====		=====									
6	9										
***** SELF ***** KARSILIKLI KUPLAJ*****											
ELM	BARA	SELF EMPEDANS	ELM BARA	KUP EMPEDANS	ISARET						
NJ	P	Q	NO	M	N	W	ZMN	PRMT			
=====											
1	0	2	0	0.0000	0.0320	0	0	0	0.0000	0.0000	1
2	0	4	0	0.0000	0.2660	0	0	0	0.0000	0.0000	1
3	0	6	0	0.0000	0.6000	0	0	0	0.0000	0.0000	1
4	2	3	0	3.7800	5.2600	0	0	0	0.0000	0.0000	1
5	2	5	0	2.8200	3.8400	0	0	0	0.0000	0.0000	1
6	4	1	0	0.8000	1.8500	7	4	6	0.5000	0.5000	1
7	4	6	0	0.9000	2.0600	8	1	4	0.5000	0.5000	1
8	6	1	0	0.9640	2.0840	9	7	0	0.0000	0.0000	1

HESAPLANAN NEGATIF BARA EMPEDANS MATRISI

BARA NO		K		X	
P	Q	=====		=====	
1	1	0.36016	1.04401		
1	2	0.00000	0.00000		
1	3	0.00000	0.00000		
1	4	0.01224	0.21115		
1	5	0.00000	0.00000		
1	6	-0.02762	0.12373		
2	2	0.00000	0.03200		
2	3	0.00000	0.00000		
2	4	0.00000	0.03200		
2	5	0.00000	0.03200		
2	6	0.00000	0.00000		
3	3	3.78000	5.29200		
3	4	0.00000	0.00000		
3	5	0.00000	0.03200		
3	6	0.00000	0.00000		
4	4	0.00790	0.22784		
4	5	0.00000	0.00000		
4	6	-0.01791	0.08600		
5	5	2.82000	3.87200		
5	6	0.00000	0.00000		
6	6	0.04017	0.40587		

KISA DÖVRE HESABI

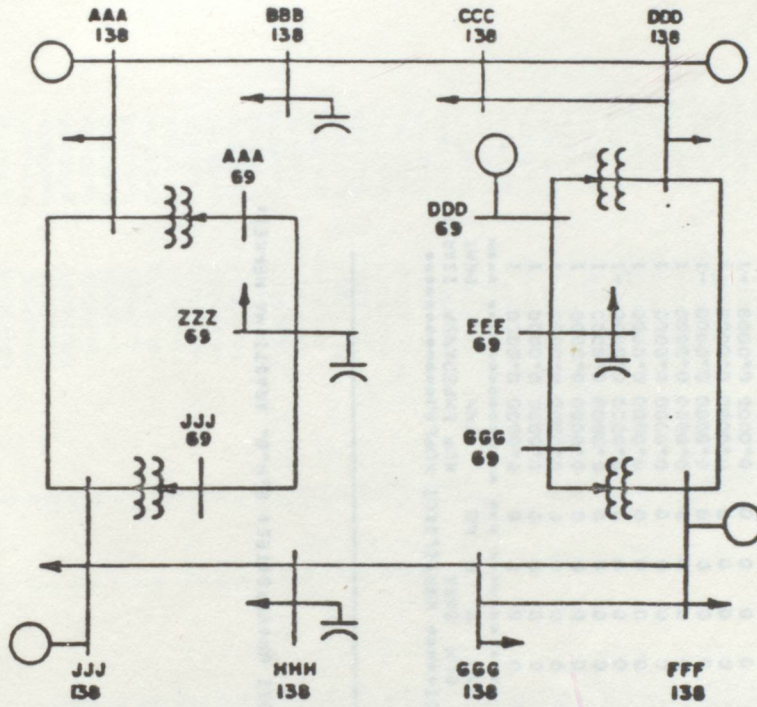
BARA VERİLERİ									
BARA NO	UC_FAZ AKIM	TEK FAZ TOPRAK GERİLİM ACI	BARA NO	UC_FAZ GERİLİM ACI	HAT AKISI AKIM ACI	TEK FAZ TOPRAK GERİLİM ACI	AKIM	ACI	AKIM ACI
1	4.625	-84.0	1	1.962	-74.6T	1.000	0.0	4.152	-85.2
		0.861 -1.5		0.654 -74.6P	0.000	0.0			
		0.141 -170.5		0.654 -74.6N	0.000	0.0			
		0.722 176.3		0.654 -74.6Z	0.000	0.0			
			0	0	1.000	0.0	4.152	-85.2	
			4	0	0.196	6.0	0.259	-71.5	
					0.867 -1.0	0.037			
					0.114 -172.1	0.037			
					0.138 -167.9	0.371			
			6	0	0.238	1.3	0.223	-75.4	
					0.594 -1.1	0.032			
					0.108 -171.0	0.032			
					0.383 -152.0	0.283			
2	2.608	-63.4	2	3.756	-83.6T	1.000	0.0	2.079	-66.4
		0.520 0.2		1.252 -83.6P	0.000	0.0			
		0.480 179.7		1.252 -83.6N	0.806 -3.0				
		0.040 -173.5		1.252 -83.6Z	0.198 -167.9				
			3	0	0.604	-6.4	0.237	-63.5	
					0.040 -173.4	0.040			
			5	0	0.433	-11.3	0.309	-77.6	
					0.725 -3.1	0.279			
					0.279 -171.9	0.040			
					0.040 -173.6	0.000			

[illegible]

BARA VERİLERİ				HAT AKISI				TEK FAZ TOPRAK			
BARA NO	UC_FAZ AKIM	ACI GERİLİM AKI	TEK FAZ TOPRAK GERİLİM AKI	BARA NO	UC_FAZ GERİLİM AKI	AKIM ACI	AKIM ACI	BARA NO	UC_FAZ GERİLİM AKI	AKIM ACI	AKIM ACI
FILE: ZB6 DATA A YILDIZ ÜNİVERSİTESİ E.H.B. ARASTIRMA MERKEZİ											
PAGE 004											
5	1.215	-75.4	0.577 -2.7 0.130 -161.7 0.757 173.8	2	0	0.739	-4.9	0.528	-71.1	0.970 -1.1 0.035 -149.3 0.005 -150.1	0.295 -56.7T 0.069 -52.6P 0.069 -52.6N 0.156 -60.1Z
				6	0	0.416	6.1	0.694	-63.9	0.926 -1.1 0.076 -166.0 0.000 0.0	0.181 -65.7T 0.090 -65.7P 0.090 -65.7N 0.000 0.0Z
6	1.600	-78.0	0.623 1.0 0.377 178.4 0.246 -175.2	0	0	1.000	0.0	0.000	0.0	1.000 0.0 0.000 0.0 0.000 0.0	0.411 -85.2T 0.000 0.0P 0.000 0.0N 0.411 -85.2Z
				1	0	0.736	-2.0	0.693	-76.7	0.901 -0.5 0.100 -175.9 0.077 -156.9	0.598 -78.7T 0.262 -80.2P 0.262 -80.2N 0.076 -67.8Z
				4	0	0.434	-1.1	0.518	-77.7	0.786 0.2 0.214 179.3 0.053 -157.8	0.513 -76.5T 0.196 -79.2P 0.196 -79.2N 0.124 -67.9Z
				5	0	0.232	12.9	0.399	-77.1	0.710 2.2 0.292 174.6 0.000 0.0	0.294 -78.7T 0.147 -78.7P 0.147 -78.7N 0.000 0.0Z

PROBLEM 4.4

Aşağıda şekli verilen 14 baralı sistemin arıza analizini yapın.



Örnek sistem

POZITIF SEQUENCE VERİLERİ

BARA SAYISI	ELEMAN AYISI
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12
13	13
14	14
15	15
16	16
17	17
18	18
19	19
20	20
21	21
22	22
23	23
24	24
25	25
26	26
27	27
28	28
29	29
30	30
31	31
32	32
33	33
34	34
35	35
36	36
37	37
38	38
39	39
40	40
41	41
42	42
43	43
44	44
45	45
46	46
47	47
48	48
49	49
50	50
51	51
52	52
53	53
54	54
55	55
56	56
57	57
58	58
59	59
60	60
61	61
62	62
63	63
64	64
65	65
66	66
67	67
68	68
69	69
70	70
71	71
72	72
73	73
74	74
75	75
76	76
77	77
78	78
79	79
80	80
81	81
82	82
83	83
84	84
85	85
86	86
87	87
88	88
89	89
90	90
91	91
92	92
93	93
94	94
95	95
96	96
97	97
98	98
99	99
100	100

14

ISARAT	KUP EMPENDANS	KUPALAN	ISARAT
PRMT	ZMN		
1	0	0.0000	0.0000
2	0	0.0000	0.0000
3	0	0.0000	0.0000
4	0	0.0000	0.0000
5	0	0.0000	0.0000
6	0	0.0000	0.0000
7	0	0.0000	0.0000
8	0	0.0000	0.0000
9	0	0.0000	0.0000
10	0	0.0000	0.0000
11	0	0.0000	0.0000
12	0	0.0000	0.0000
13	0	0.0000	0.0000
14	0	0.0000	0.0000
15	0	0.0000	0.0000
16	0	0.0000	0.0000
17	0	0.0000	0.0000
18	0	0.0000	0.0000
19	0	0.0000	0.0000
20	0	0.0000	0.0000
21	0	0.0000	0.0000
22	0	0.0000	0.0000

HESAPLANAN POZITIF BARA EMPEDANS MATRISI

P		Q		R		X		P		Q		R		X	
1	1	0.00016	0.00344	0.00016	0.00344	5	8	-0.00012	0.00118	5	8	-0.00012	0.00118		
1	1	0.00043	0.00890	0.00043	0.00890	5	9	-0.00039	0.00026	5	9	-0.00039	0.00026		
1	1	-0.00036	0.00020	-0.00036	0.00020	5	10	-0.00012	0.00036	5	10	-0.00012	0.00036		
1	1	0.00035	0.00019	0.00035	0.00019	5	11	-0.00011	0.00067	5	11	-0.00011	0.00067		
1	1	-0.00034	0.00007	-0.00034	0.00007	5	12	0.00003	0.00049	5	12	0.00003	0.00049		
1	1	-0.00035	0.00008	-0.00035	0.00008	5	13	0.00000	0.00531	5	13	0.00000	0.00531		
1	1	-0.00053	0.00291	-0.00053	0.00291	5	14	0.00011	0.00733	5	14	0.00011	0.00733		
1	1	-0.00080	0.00345	-0.00080	0.00345	6	6	0.00700	0.01660	6	6	0.00700	0.01660		
1	1	0.00005	0.00482	0.00005	0.00482	6	7	-0.00012	0.00118	6	7	-0.00012	0.00118		
1	1	-0.00031	0.00251	-0.00031	0.00251	6	6	-0.00026	0.00110	6	6	-0.00026	0.00110		
1	1	-0.00019	0.00017	-0.00019	0.00017	6	9	-0.00031	0.00052	6	9	-0.00031	0.00052		
1	1	0.00035	0.00013	0.00035	0.00013	6	10	-0.00044	0.00009	6	10	-0.00044	0.00009		
1	1	-0.00026	0.00149	-0.00026	0.00149	6	11	-0.00008	0.00063	6	11	-0.00008	0.00063		
1	1	-0.00016	0.00078	-0.00016	0.00078	6	12	0.00003	0.00640	6	12	0.00003	0.00640		
2	2	0.00035	0.011926	0.00035	0.011926	6	13	0.007025	0.00491	6	13	0.007025	0.00491		
2	2	-0.00026	0.00020	-0.00026	0.00020	6	14	0.00044	0.00677	6	14	0.00044	0.00677		
2	2	-0.00036	0.00019	-0.00036	0.00019	7	7	0.00089	0.00599	7	7	0.00089	0.00599		
2	2	-0.00011	0.00013	-0.00011	0.00013	7	8	0.01090	0.05226	7	8	0.01090	0.05226		
2	2	0.00011	0.00016	0.00011	0.00016	7	9	-0.00029	0.00114	7	9	-0.00029	0.00114		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	7	10	-0.00019	0.00081	7	10	-0.00019	0.00081		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	7	11	0.00018	0.00295	7	11	0.00018	0.00295		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	7	12	-0.00012	0.00069	7	12	-0.00012	0.00069		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	7	13	0.00039	0.02913	7	13	0.00039	0.02913		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	7	14	0.00207	0.01119	7	14	0.00207	0.01119		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	8	8	0.01854	0.15846	8	8	0.01854	0.15846		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	8	9	-0.00043	0.00179	8	9	-0.00043	0.00179		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	8	10	0.00025	0.00095	8	10	0.00025	0.00095		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	8	11	0.00025	0.00787	8	11	0.00025	0.00787		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	8	12	-0.00003	0.00005	8	12	-0.00003	0.00005		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	8	13	0.00542	0.02673	8	13	0.00542	0.02673		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	8	14	0.00262	0.01395	8	14	0.00262	0.01395		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	9	9	0.00369	0.10479	9	9	0.00369	0.10479		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	9	10	0.01675	0.05478	9	10	0.01675	0.05478		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	9	11	-0.00012	0.000317	9	11	-0.00012	0.000317		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	9	12	0.00001	0.00251	9	12	0.00001	0.00251		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	9	13	-0.00019	0.00069	9	13	-0.00019	0.00069		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	9	14	-0.00014	0.00057	9	14	-0.00014	0.00057		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	10	10	0.00257	0.00891	10	10	0.00257	0.00891		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	10	11	-0.00009	0.00156	10	11	-0.00009	0.00156		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	10	12	0.00001	0.00370	10	12	0.00001	0.00370		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	10	13	-0.00015	0.00059	10	13	-0.00015	0.00059		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	10	14	-0.00013	0.00047	10	14	-0.00013	0.00047		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	11	11	0.00000	0.00000	11	11	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	11	12	0.00009	0.00041	11	12	0.00009	0.00041		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	11	13	0.00205	0.01531	11	13	0.00205	0.01531		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	11	14	0.00095	0.00798	11	14	0.00095	0.00798		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	12	12	0.00000	0.00000	12	12	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	12	13	0.00000	0.00000	12	13	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	12	14	0.00000	0.00000	12	14	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	12	15	0.00000	0.00000	12	15	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	13	13	0.00000	0.00000	13	13	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	13	14	0.00000	0.00000	13	14	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	13	15	0.00000	0.00000	13	15	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	14	0.00000	0.00000	14	14	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	15	0.00000	0.00000	14	15	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	16	0.00000	0.00000	14	16	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	17	0.00000	0.00000	14	17	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	18	0.00000	0.00000	14	18	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	19	0.00000	0.00000	14	19	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	20	0.00000	0.00000	14	20	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	21	0.00000	0.00000	14	21	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	22	0.00000	0.00000	14	22	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	23	0.00000	0.00000	14	23	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	24	0.00000	0.00000	14	24	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	25	0.00000	0.00000	14	25	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	26	0.00000	0.00000	14	26	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	27	0.00000	0.00000	14	27	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	28	0.00000	0.00000	14	28	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	29	0.00000	0.00000	14	29	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	30	0.00000	0.00000	14	30	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	31	0.00000	0.00000	14	31	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	32	0.00000	0.00000	14	32	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	33	0.00000	0.00000	14	33	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	34	0.00000	0.00000	14	34	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	35	0.00000	0.00000	14	35	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	36	0.00000	0.00000	14	36	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	37	0.00000	0.00000	14	37	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	38	0.00000	0.00000	14	38	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	39	0.00000	0.00000	14	39	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	40	0.00000	0.00000	14	40	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	41	0.00000	0.00000	14	41	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	42	0.00000	0.00000	14	42	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	43	0.00000	0.00000	14	43	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	44	0.00000	0.00000	14	44	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	45	0.00000	0.00000	14	45	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	46	0.00000	0.00000	14	46	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	47	0.00000	0.00000	14	47	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	48	0.00000	0.00000	14	48	0.00000	0.00000		
2	2	-0.00011	0.00016	-0.00011	0.00016	14	49								

NEGATIF SEQUENCE VERILERI

BARA SAYISI ELEMEN AYISI
=====

***** KARSILIKLI KUPLAJ*****													
***** SELF *****				***** KARSILIKLI *****				***** KUP EMPEDANS *****					
ELM BARA		SELF EMPEDANS		ELM BARA		KARSILIKLI		KUP EMPEDANS		ISARET			
NO	P	Q	NO	ZPU	NO	M	N	NO	ZMN	PRMT			
1	0	1	0	0.0010	0.0600	0	0	0	0.0000	0.0000	1		
2	0	2	0	0.0030	0.1200	0	0	0	0.0000	0.0000	1		
3	0	3	0	0.0010	0.0700	0	0	0	0.0000	0.0000	1		
4	0	4	0	0.0100	0.3000	0	0	0	0.0000	0.0000	1		
5	0	5	0	0.0010	0.0500	0	0	0	0.0000	0.0000	1		
6	0	6	0	0.0150	0.3500	0	0	0	0.0000	0.0000	1		
7	0	8	0	0.0000	0.1200	0	0	0	0.0000	0.0000	1		
8	1	7	0	0.1350	0.6500	0	0	0	0.0000	0.0000	1		
9	1	9	0	0.1340	0.6000	0	0	0	0.0000	0.0000	1		
10	2	11	0	0.1340	0.6000	0	0	0	0.0000	0.0000	1		
11	3	5	0	0.1700	0.8000	0	0	0	0.0000	0.0000	1		
12	3	10	0	0.1500	0.7000	13	3	10	0.0000	0.0000	1		
13	3	10	1	0.1500	0.7000	12	3	10	0.0000	0.0000	1		
14	4	12	0	0.7000	1.2000	0	0	0	0.0000	0.0000	1		
15	5	14	0	0.1500	0.6500	15	5	14	0.0000	0.0000	1		
16	5	14	0	0.1750	0.7000	15	5	14	0.0000	0.0000	1		
17	6	12	0	0.7500	1.2000	0	0	0	0.0000	0.0000	1		
18	7	13	0	0.1500	0.6500	0	0	0	0.0000	0.0000	1		
19	8	11	0	0.7000	1.2500	0	0	0	0.0000	0.0000	1		
20	9	10	0	0.0250	0.3500	0	0	0	0.0000	0.0000	1		
21	13	14	0	0.0750	0.3000	0	0	0	0.0000	0.0000	1		

P	Q	K	X	P	Q	K	X
1	1	0.00160	0.05622	6	6	0.00000	0.00000
1	2	0.00000	0.00000	6	9	0.00000	0.00000
1	3	-0.00036	0.00248	6	10	0.00000	0.00000
1	4	0.00000	0.00000	6	11	0.00000	0.00000
1	5	-0.00024	0.00137	6	12	0.00000	0.00000
1	6	0.00000	0.00000	6	13	0.00000	0.00000
1	7	0.00114	0.03687	6	14	0.00000	0.00000
1	8	0.00000	0.00000	7	7	0.09463	0.47554
1	9	0.00046	0.03314	7	8	0.00000	0.00000
1	10	-0.00046	0.01963	7	9	0.00023	0.02350
1	11	0.00000	0.00000	7	10	-0.00047	0.01451
1	12	0.00000	0.00000	7	11	0.00000	0.00000
1	13	0.00031	0.02132	7	12	0.00000	0.00000
1	14	-0.00023	0.01325	7	13	0.04823	0.26051
2	2	0.00237	0.11406	7	14	0.02491	0.16200
2	3	0.00000	0.00000	8	8	0.00237	0.11406
2	4	0.00000	0.00000	8	9	0.00000	0.00000
2	5	0.00000	0.00000	8	10	0.00000	0.00000
2	6	0.00000	0.00000	8	11	-0.00759	0.03831
2	7	-0.00000	0.00000	8	12	0.00000	0.00000
2	8	-0.00237	0.00594	8	13	0.00000	0.00000
2	9	0.00000	0.00000	8	14	0.00000	0.00000
2	10	0.00000	0.00000	9	9	0.07391	0.37365
2	11	0.00759	0.08169	9	10	0.03562	0.22231
2	12	0.00000	0.00000	9	11	0.00000	0.00000
2	13	0.00000	0.00000	9	12	0.00000	0.00000
2	14	0.00000	0.00000	9	13	0.00000	0.00000
3	3	0.00266	0.06093	9	14	-0.00021	0.01376
3	4	0.00000	0.00000	10	10	0.00050	0.00928
3	5	-0.00085	0.00441	10	11	0.05895	0.34063
3	6	0.00000	0.00000	10	12	0.00000	0.00000
3	7	-0.00052	0.00309	10	13	0.00059	0.00933
3	8	0.00000	0.00000	10	14	-0.00070	0.00695
3	9	0.00126	0.02758	11	11	0.13678	0.48166
3	10	0.00246	0.04227	11	12	0.00000	0.00000
3	11	0.00000	0.00000	11	13	0.00000	0.00000
3	12	0.00000	0.00000	11	14	0.00000	0.00000
3	13	-0.00067	0.00371	12	12	0.36837	0.76236
3	14	-0.00074	0.00400	12	13	0.00000	0.00000
4	4	0.01996	0.27534	12	14	0.00000	0.00000
4	5	0.00000	0.00000	13	13	0.10164	0.50156
4	6	-0.01135	0.02889	13	14	0.05342	0.31201
4	7	0.00000	0.00000	14	14	0.06791	0.38077
4	8	0.00000	0.00000				
4	9	0.00000	0.00000				
4	10	0.00000	0.00000				
4	11	0.00000	0.00000				
4	12	0.00633	0.15301				
4	13	0.00000	0.00000				
4	14	0.00000	0.00000				
5	5	0.00179	0.04570				
5	6	0.00000	0.00000				
5	7	0.00031	0.01540				
5	8	-0.00000	0.00000				
5	9	-0.00049	0.00268				
5	10	-0.00062	0.07345				
5	11	0.00000	0.00000				
5	12	0.00000	0.00000				
5	13	0.00115	0.02956				
5	14	0.00166	0.03610				
6	6	0.02792	0.31616				
6	7	0.00000	0.00000				

KISA DEVRE HESABI									
BARA VERILERI					MAY AKISI				
BARA NO	UC_FAZ AKIM	TEK FAZ TOPRAK GERILIM ACI	BARA NO	UC_FAZ GERILIM ACI	AKIM	BARA NO	UC_FAZ GERILIM ACI	AKIM	TEK FAZ TOPRAK GERILIM ACI
1	105.903	-89.1	35.931	-88.5T	0	0	1.000	0.0	100.000 -90.0
		0.874 -0.1	13.310	-88.5P					
		0.126 -179.5	13.310	-88.5N					
		0.749 179.3	13.310	-88.5Z					
2	8.373	-87.0	8.501	-87.6T	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
		0.652 0.3	2.834	-87.6P					
		0.338 179.4	2.834	-87.6N					
		0.323 -178.7	2.834	-87.6Z					
3	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
4	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
5	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
6	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
7	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
8	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
9	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
10	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
11	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
12	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
13	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
14	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
15	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
16	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
17	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
18	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
19	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
20	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
21	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
22	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
23	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
24	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
25	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
26	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
27	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
28	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
29	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
30	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
31	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0
32	10.000	-90.0	10.000	-90.0	0	0	1.000	0.0	0.000 0.0

4 8.418 86.6

BAKA VERİLERİ									
BARA					HAT AKISI				
BARA NO	UC_FAZ	TEK FAZ_TOPRAK	BARA NO	UC_FAZ	TEK FAZ_TOPRAK	BARA NO	UC_FAZ	TEK FAZ_TOPRAK	BARA NO
AKIM	ACI	GERİLİM ACI	AKIM	ACI	GERİLİM ACI	AKIM	ACI	GERİLİM ACI	AKIM
7	17.338	-81.1	0	0	1.000	0.0	9.998	-88.9	1.922
	0.904	-0.2							0.961
	0.096	-178.1							0.961
	0.808	179.5							0.000
									0.000
									1.982
									0.434
									0.434
									1.121
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071
									0.000
									0.989
									0.223
									0.223
									0.545
									0.142
									0.071
									0.071

BARA VERILEKİ				BARA				MAY AKISI				TEK FAZ TOPRAK			
BARA NO	UC_FAZ AKIM	UC_FAZ ACI	GERILIM ACI	BARA NO	NC	UC_FAZ GERILIM ACI	AKIM ACI	AKIM ACI	AKIM ACI	GERILIM ACI	AKIM ACI	BARA NO	UC_FAZ AKIM	UC_FAZ ACI	GERILIM ACI
9	9.085	-72.2	0.617 0.9 0.133 175.6 0.635 -177.6	1	0	0.958	-0.8	4.543	-72.3	0.992 -0.1 0.009 -167.0 0.055 -167.2	2.611 -76.3T 0.833 -76.5P 0.833 -76.5N 0.944 -76.02				
				10	0	0.480	-0.9	4.542	-72.1	0.905 0.4 0.095 176.6 0.375 -175.5	2.388 -76.5T 0.833 -76.3P 0.833 -76.3N 0.722 -76.92				
10	11.797	-72.7	0.836 1.0 0.165 175.0 0.672 -177.5	3	0	0.920	-1.4	4.364	-72.9	0.987 -0.2 0.014 -168.9 0.082 -171.1	2.086 -78.3T 0.719 -78.0P 0.719 -78.0N 0.647 -79.02				
				3	1	0.920	-1.4	4.364	-72.9	0.987 -0.2 0.014 -168.9 0.082 -171.1	2.086 -78.3T 0.719 -78.0P 0.719 -78.0N 0.647 -79.02				
				9	0	0.324	-0.7	3.070	-71.9	0.889 0.6 0.111 175.3 0.438 -176.8	1.663 -76.3T 0.506 -77.0P 0.506 -77.0N 0.551 -75.22				
11	2.958	-58.4	0.713 2.7 0.290 173.3 0.429 -171.0	2	0	0.837	-7.4	1.530	-57.6	0.948 -1.5 0.059 -154.2 0.070 -160.4	1.472 -66.7T 0.444 -64.3P 0.444 -64.3N 0.585 -70.42				
				8	0	0.781	-9.1	1.428	-59.3	0.930 -1.7 0.075 -158.4 0.033 -143.6	1.102 -62.9T 0.414 -66.0P 0.414 -66.0N 0.279 -53.92				

BARA VERILERI				HAT AKISI				TEK FAZ_TOPRAK			
BARA NO	UC_FAZ AKIM	ACI	GERILIM ACI	BARA NO	UC_FAZ GERILIM ACI	AKIM	ACI	BARA NO	UC_FAZ GERILIM ACI	AKIM	ACI
12	3.069	-57.5	0.783 1.1 0.218 176.2 0.556 -177.1	4	0	0.839	-7.3	1.534	-57.5	0.962 -1.2 0.043 -151.3 0.102 -153.7	1.010 0.334 0.334 0.341
				6	0	0.839	-7.3	1.534	-57.5	0.962 -1.2 0.043 -151.3 0.115 -153.3	0.996 0.334 0.334 0.327
13	8.158	-73.0	0.838 0.7 0.162 176.3 0.677 -178.2	7	0	0.763	-2.6	3.618	-74.1	0.961 -0.2 0.039 -175.3 0.350 -177.2	1.659 0.586 0.586 0.466
				14	0	0.480	-0.9	4.542	-72.1	0.916 0.3 0.084 177.1 0.419 -176.5	2.309 0.736 0.736 0.837
14	11.345	-73.0	0.844 0.9 0.157 175.3 0.686 -177.8	5	0	0.920	-1.4	4.364	-72.9	0.987 -0.1 0.013 -168.6 0.064 -173.4	2.095 0.684 0.684 0.727
				5	1	0.920	-1.4	4.364	-72.9	0.987 -0.1 0.013 -168.6 0.064 -173.4	2.016 0.584 0.684 0.648
				13	0	0.277	-2.1	2.618	-73.3	0.887 0.5 0.113 176.1 0.563 -177.5	1.225 0.410 0.410 0.404

TIME: 09:44:24

OPTIONS IN EFFECT: NOLIST NOMAP NOXREF NOGOSTMT NODECK SOURCE TERM OBJECT FIXED NCTEST
OPT(2) LONGLVL(77) NOFIPS FLAG(1) NAME(1MAIN) LINECOUNT(60) CHAR

ISN	1	IMPLICIT COMPLEX(A,E,I,S-Z),INTEGER(J-Q),REAL(B-D,H)	ZBA00010
	C	DOUBLEPRECISION YPR1,YPRO,ELG0,ELG1,ELG2,FLGA,ETG0,ETG1,ETG2,ETGA,	ZBA00020
	C	*ITGA,ILGA,ILG012,ILG1,ILG2,ILG0	ZBA00030
ISN	2	COMPLEX LG1,LG2	ZBA00040
ISN	3	DIMENSION YPR1(0:25,0:25),YPRO(0:25,0:25)	ZBA00050
ISN	4	COMMON/AD/NBAR,NELSY	ZBA00060
ISN	5	COMMON/AD1/ZB(0:25,0:25),ZPR(0:25,0:25),YB(-5:25,-5:25)	ZBA00070
ISN	6	COMMON/AD2/ZL(0:30),ZELMN(0:30)	ZBA00080
ISN	7	COMMON/AD3/MAGEL(0:25),EO(0:15)	ZBA00090
ISN	8	COMMON/AD4/ZBARO(0:15,0:15),ZBAR1(0:15,0:15)	ZBA00100
ISN	9	COMMON/AD5/PBAR1(25),QBAR1(25),PBARO(25),QBARO(25)	ZBA00110
ISN	10	COMMON/AD6/ETG0(0:15),ETG1(0:15),ETG2(0:15),ETGA(0:15)	ZBA00120
ISN	11	COMMON/AD7/ELG0(0:15),ELG1(0:15),ELG2(0:15),ELGA(0:15)	ZBA00130
ISN	12	COMMON/AD8/ITGA,ILGA,ILG012,ILG1,ILG2,ILG0	ZBA00140
	C	*****	ZBA00150
ISN	13	K=0	ZBA00160
ISN	14	NELSO=0	ZBA00170
ISN	15	NELSI=0	ZBA00180
	C	*****	ZBA00190
ISN	16	DO 30 K11=1,2	ZBA00200
ISN	17	READ(5,150)NBAR,NELSY	ZBA00210
ISN	18	WRITE(6,150)NBAR,NELSY	ZBA00220
ISN	19	150 FORMAT(1X,T10,I2,T20,I2)	ZBA00230
ISN	20	CALL BSLG0(1)	ZBA00240
ISN	21	DO 5 J=1,NELSY	ZBA00250
ISN	22	READ(5,120)NOEL,P,Q,NO,ZSELF,MEL,M,N,MNO,ZMUT,PRMT	ZBA00260
ISN	23	WRITE(6,120)NOEL,P,Q,NO,ZSELF,MEL,M,N,MNO,ZMUT,PRMT	ZBA00270
ISN	24	IF(K11.EQ.1)THEN	ZBA00280
ISN	25	NELSI=NELSY	ZBA00290
ISN	26	PBAR1(J)=P	ZBA00300
ISN	27	QBAR1(J)=Q	ZBA00310
ISN	28	ELSE IF(K11.EQ.2)THEN	ZBA00320
ISN	29	NELSO=NELSY	ZBA00330
ISN	30	PBARO(J)=P	ZBA00340
ISN	31	QBARO(J)=Q	ZBA00350
ISN	32	MAGEL(NOEL)=MEL	ZBA00360
ISN	33	ENDIF	ZBA00370
ISN	34	120 FORMAT(1X,T2,2(4(I2,2X),2F7.4,2X),I2)	ZBA00380
ISN	35	K=MAX(P,Q,K)	ZBA00390
ISN	36	ZELMN(NOEL)=ZSELF	ZBA00400
ISN	37	ZPR(NOEL,NOEL)=ZSELF	ZBA00410
ISN	38	ZPR(NOEL,MEL)=ZMUT	ZBA00420
ISN	39	ZPR(MEL,NOEL)=ZMUT	ZBA00430
ISN	40	BZ=CABS(ZELMN(MEL))	ZBA00440
ISN	41	IF(BZ.GE.0.001)THEN	ZBA00450
ISN	42	ZMDMN=ZMUT/ZELMN(MEL)	ZBA00460
ISN	43	ELSE	ZBA00470
ISN	44	ZMDMN=CMPLX(0.,0.)	ZBA00480
ISN	45	ENDIF	ZBA00490
ISN	46	NGT=2-PRMT	ZBA00500
	C	=====6=>CEVKE EKLEMEYE=====6=>DAL EKLEMEYE	ZBA00510
ISN	47	IF(NGT.EQ.3)GOTO 6	ZBA00520
	C	=====6=>DAL EKLEME	ZBA00530

LEVEL 1.3.1 (FEB 1984)

VS FORTRAN

DATE: FEB 24, 1987

TIME: 09:44:24

N

```

#.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
ISN      48      6 QNN=N                                ZBA00540
ISN      49      DO 10 J11=1,QNN                        ZBA00550
ISN      50      IF(J11.EQ.Q)GOTO 10                     ZBA00560
ISN      51      ZB(Q,J11)=ZB(P,J11)-ZMDMN*(ZB(M,J11)-ZB(N,J11)) ZBA00570
ISN      52      ZB(J11,Q)=ZB(Q,J11)                     ZBA00580
ISN      53      10 CONTINUE                             ZBA00590
ISN      54      ZB(Q,Q)=ZB(P,Q)+ZSELF-ZMDMN*(ZMUT+ZB(M,Q)-ZB(N,Q)) ZBA00600
ISN      55      C WRITE(6,130)((ZB(K1,L1),K1=1,NBAR),L1=1,NBAR) ZBA00610
ISN      55      GOTO 5                                   ZBA00620
ISN      55      C=====9=>CEVRE EKLEME                ZBA00630
ISN      56      6 QNN=N                                ZBA00640
ISN      57      DO 15 JJ1=1,QNN                        ZBA00650
ISN      58      ZL(JJ1)=ZB(P,JJ1)-ZB(Q,JJ1)-ZMDMN*(ZB(M,JJ1)-ZB(N,JJ1)) ZBA00660
ISN      59      15 CONTINUE                             ZBA00670
ISN      60      ZLL=ZL(P)-ZL(Q)+ZSELF-ZMDMN*(ZMUT+ZL(M)-ZL(N)) ZBA00680
ISN      61      DO 20 J2=1,QNN                        ZBA00690
ISN      62      ZFAK=ZL(J2)                            ZBA00700
ISN      63      DO 25 J3=1,QNN                        ZBA00710
ISN      64      X=ZFAK*ZL(J3)/ZLL                     ZBA00720
ISN      65      ZB(J2,J3)=ZB(J2,J3)-X                 ZBA00730
ISN      66      25 CONTINUE                             ZBA00740
ISN      67      20 CONTINUE                             ZBA00750
ISN      68      5 CONTINUE                             ZBA00760
ISN      69      WRITE(6,132)                            ZBA00770
ISN      70      132 FORMAT(1X,120(' ',' '))             ZBA00780
ISN      71      MNBR7=1+NBAR                            ZBA00790
ISN      72      DO 37 KK2=1,MNBR7                      ZBA00800
ISN      73      KK1=KK2-1                              ZBA00810
ISN      74      DO 37 LL2=1,MNBR7                      ZBA00820
ISN      75      LL1=LL2-1                              ZBA00830
ISN      76      IF(KK1.EQ.1)THEN                       ZBA00840
ISN      77      ZBAR1(KK1,LL1)=ZB(KK1,LL1)             ZBA00850
ISN      78      ELSE                                   ZBA00860
ISN      79      ZBAR0(KK1,LL1)=ZB(KK1,LL1)             ZBA00870
ISN      80      ENDIF                                  ZBA00880
ISN      81      37 CONTINUE                             ZBA00890
ISN      82      DO 73 KK1=1,NBAR                        ZBA00900
ISN      83      DO 73 LL1=KK1,NBAR                    ZBA00910
ISN      84      73 WRITE(6,130)KK1,LL1,ZB(KK1,LL1)     ZBA00920
ISN      85      WRITE(6,132)                            ZBA00930
ISN      86      130 FORMAT(1X,I2,5X,I2,10X,F6.5,4X,F6.5) ZBA00940
ISN      87      IF(KK1.EQ.1)CALL MATINV(NELSY,ZPR,YPR1) ZBA00950
ISN      88      IF(KK1.EQ.2)CALL MATINV(NELSY,ZPR,YPRO) ZBA00960
ISN      89      30 CONTINUE                             ZBA00970
ISN      90      C*****ZBA00980
ISN      91      C*****KISA DEVRE HESABI *****ZBA00990
ISN      92      C DO 58 PPP3=1,NBAR                    ZBA01000
ISN      92      C READ(5,258)EQ(PPP3)                  ZBA01010
ISN      92      C EQ(0)=CMPLX(1.0,0.0)                 NOT:BARA GERILIMLEKI BURADAN ZBA01020
ISN      92      C 58 CONTINUEOKUTULACAK                OKUTULACAKTIP ZBA01030
ISN      92      C 258 FORMAT(1X,T10,F6.4,5X,F6.4)      ZBA01040
ISN      92      ZF=CMPLX(0.0,0.0)                     ZBA01050
ISN      92      C*****BARA VERILERI HESABI *****ZBA01060
ISN      93      C*****ZBA01070
ISN      94      M=1.0                                   ZBA01080
ISN      94      DO 9 P1=1,NBAR                          ZBA01090

```


LEVEL 1.3.1 (FEB 1984)

VS FORTRAN

DATE: FEB 24, 1987

TIME: 09:44:24

A

*.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....F

```

C***** UCFAZ TOPRAK ARIZASI *****ZBA01100
ISN    95      TG1=ZBAR1(P1,P1)                ZBA01110
ISN    96      TG2=EO(P1)/TG1                  ZPA01120
ISN    97      ITG1=TG2                        ZBA01130
ISN    98      ETG1(P1)=TG2*ZF                 ZBA01140
ISN    99      ITGA=TG2                        ZBA01150
ISN   100      ETGA(P1)=TG2*ZF                 ZBA01160
C***** TEKFAZ TOPRAK AFIZASI *****ZBA01170
ISN   101      LG1=ZBARO(P1,P1)+2*ZBAR1(P1,P1)+3*ZF ZBA01180
ISN   102      LG2=EO(P1)/LG1                  ZBA01190
ISN   103      ILG012=LG2                      ZBA01200
ISN   104      ELG0(P1)=-LG2*ZBARO(P1,P1)       ZBA01210
ISN   105      ELG1(P1)=LG2*(ZBARO(P1,P1)+ZBAR1(P1,P1)+3*ZF) ZBA01220
ISN   106      ELG2(P1)=-LG2*ZBAR1(P1,P1)       ZBA01230
ISN   107      ILGA=3*LG2                      ZBA01240
ISN   108      EFLGA=3*ZF*LG2                  ZBA01250
C***** YAZIM *****ZBA01260
ISN   109      CALL BRYZM1(P1)                  ZBA01270
C***** YAZIM *****ZBA01280
ISN   110      CALL PLKR2(YAZ1,YAZ2,YAZ3,YAZ4)  ZBA01290
C***** BARA GERILIMLERI MESABI *****ZBA01300
ISN   111      NAA=NBAR+1                      ZBA01310
ISN   112      DO 21 N21=1,NAA                  ZBA01320
ISN   113      N22=N21-1                        ZBA01330
ISN   114      IF(N22.EQ.P1)GOTO 21             ZBA01340
ISN   115      ETG1(N22)=EO(N22)-ZBAR1(N22,P1)*TG2 ZBA01350
ISN   116      ETGA(N22)=ETG1(N22)             ZBA01360
C*****XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXZBA01370
ISN   117      ELG0(N22)=-LG2*ZBARO(N22,P1)     ZBA01380
ISN   118      ELG1(N22)=EO(N22)-LG2*ZBAR1(N22,P1) ZBA01390
ISN   119      ELG2(N22)=-LG2*ZBAR1(N22,P1)     ZBA01400
ISN   120      ELGA(N22)=EO(N22)-LG2*(ZBARO(N22,P1)+2*ZBAR1(N22,P1)) ZBA01410
ISN   121      21 CONTINUE                      ZBA01420
C***** SON *****ZBA01430
C***** HAT AHISI ICIN YPK BUMA *****ZBA01440
ISN   122      NAA=NBAR+1                      ZBA01450
ISN   123      DO 19 QN2=1,NAA                  ZBA01460
ISN   124      NISELO=0                         ZBA01470
ISN   125      NISEL1=0                         ZBA01480
ISN   126      P2=QN2-1                         ZBA01490
ISN   127      IF(P1.EQ.P2)GOTO 19              ZBA01500
ISN   128      NBSD=1                           ZBA01510
ISN   129      NBS1=1                           ZBA01520
ISN   130      DO 45 PJ1=1,2                     ZBA01530
ISN   131      KONT=PJ1-1                       ZBA01540
ISN   132      P11=P1                           ZBA01550
ISN   133      Q11=P2                           ZBA01560
ISN   134      NISELO=0                         ZBA01570
ISN   135      NISEL1=0                         ZBA01580
ISN   136      CALL BARAWA(P11,Q11,NELS1,PBAR1,QBAR1,NBS1,NISEL1) ZBA01590
ISN   137      NBS1=NISEL1                     ZBA01600
ISN   138      NBS1=NBS1+1                      ZBA01610
ISN   139      CALL BARAWA(P11,Q11,NELSO,PBARO,QBARO,NBSO,NISELO) ZBA01620
ISN   140      NBSD=NISELO                      ZBA01630
ISN   141      NBSD=NBSO+1                      ZBA01640
ISN   142      IF(NISEL1.EQ.0.AND.NISELO.EQ.0)GOTO 19 ZBA01650

```


LEVEL 1.3.1 (FEB 1964) VS FORTRAN DATE: FEB 24, 1967 TIME: 09:44:24 N

```

      *...1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
      (*****ZBA01600
      (***** HAT AKISI HESAP *****ZBA01670
      (***** UC_FAZ TOPRAK ARIZASI *****ZBA01690
      (***** ITG1=YPR1(NISEL1,NISEL1)*(ETG1(P2)-ETG1(P1)) ZBA01700
      (***** ITGA=ITG1 ZBA01710
      (***** TEK_FAZ TOPRAK ARIZASI *****ZBA01720
      (***** ILG1=YPR1(NISEL1,NISEL1)*(ELG1(P2)-ELG1(P1)) ZBA01730
      (***** ILG2=YPR1(NISEL1,NISEL1)*(ELG2(P2)-ELG2(P1)) ZBA01740
      (***** NBVX=MAGEL(NISELC) ZBA01750
      (***** IF(NBVX.NE.C)GOTO 33 ZBA01760
      (***** ILGO=YPR0(NISELC,NISELC)*(ELGO(P2)-ELGO(P1)) ZBA01770
      (***** GOTO 34 ZBA01780
      (***** 32 CONTINUE ZBA01790
      (***** X33=CMPLX(0.,0.) ZBA01800
      (***** DO 36 P8=1,NELSO ZBA01810
      (***** PJ1=MAX(PBARO(P8),QBARC(P8)) ZBA01820
      (***** QJ1=MIN(QBARC(P8),PBARO(P8)) ZBA01830
      (***** X33=X33+YPR0(NISELC,P8)*(ELGO(PJ1)-ELGO(QJ1)) ZBA01840
      (***** 35 CONTINUE ZBA01850
      (***** IF(P1.GT.P2)X33=-X33 ZBA01860
      (***** ILGO=X33 ZBA01870
      (***** 34 CONTINUE ZBA01880
      (***** ILGA=ILGO+ILG1+ILG2 ZBA01890
      (***** C***** YAZIM ***** ZBA01900
      (***** CALL BRYZM2(P1,P2,KONT) ZBA01910
      (***** *****ZBA01920
      (***** 45 CONTINUE ZBA01930
      (***** 19 CONTINUE ZBA01940
      (***** WRITE(6,132) ZBA01950
      (***** 9 CONTINUE ZBA01960
      (***** *****ZBA01970
      (***** 97 STOP ZBA01980
      (***** END ZBA01990

```


ISN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
ISN	1	BLOCK DATA																		ZBA02200
ISN	2	IMPLICIT COMPLEX(A,E,I,S-Z),INTEGER(J-Q),REAL(B-D,H)																		ZBA02200
ISN	3	COMPLEX LG1,LG2																		ZBA02200
ISN	4	DIMENSION YPA1(0:25,0:25),YPRO(0:25,0:25)																		ZBA02200
ISN	5	COMMON/AD/NBAR,NELSY																		ZBA02200
ISN	6	COMMON/AD1/ZB(0:25,0:25),ZPR(0:25,0:25),YB(-5:25,-5:25)																		ZBA02200
ISN	7	COMMON/AD2/ZL(0:30),ZELMN(0:30)																		ZBA02200
ISN	8	COMMON/AD3/MAGEL(0:25),EG(0:15)																		ZBA02200
ISN	9	COMMON/AD4/ZBARO(0:15,0:15),ZBAR1(J:15,0:15)																		ZBA02200
ISN	10	COMMON/AD5/PBAR1(25),OBAR1(25),PBARO(25),OBARO(25)																		ZBA02200
ISN	11	COMMON/AD6/ETG0(0:15),ETG1(0:15),ETG2(0:15),ETGA(0:15)																		ZBA02200
ISN	12	COMMON/AD7/ELG0(0:15),ELG1(0:15),ELG2(0:15),ELGA(0:15)																		ZBA02200
ISN	13	COMMON/AD8/ITGA,ILGA,ILG012,ILG1,ILG2,ILG0																		ZBA02200
ISN	14	DATA EU/16*(1.,0.)/,MAGEL/26*0/																		ZBA02200
ISN	15	DATA ZBAR1/256*(0.,0.)/,ZBARO/256*(0.,0.)/,ETG0/16*(0.,0.)/																		ZBA02200
ISN	16	DATA ETG1/16*(0.,0.)/,ETG2/16*(0.,0.)/,ETGA/16*(0.,0.)/																		ZBA02200
ISN	17	DATA ELG0/16*(0.,0.)/,ELG1/16*(0.,0.)/,ELG2/16*(0.,0.)/																		ZBA02200
ISN	18	DATA ELGA/16*(0.,0.)/,YPRO/676*(0.,0.)/,YPR1/676*(0.,0.)/																		ZBA02200
ISN	19	END																		ZBA02200
ISN	1	SUBROUTINE BSLGDI(NN1)																		ZBA02230
ISN	2	IMPLICIT COMPLEX(A,E,I,S-Z),INTEGER(J-Q),REAL(B-D,H)																		ZBA02230
ISN	3	COMMON/AD/NBAR,NELSY																		ZBA02230
ISN	4	COMMON/AD1/ZB(0:25,0:25),ZPR(0:25,0:25),YB(-5:25,-5:25)																		ZBA02230
ISN	5	COMMON/AD2/ZL(0:30),ZELMN(0:30)																		ZBA02230
ISN	6	DO 5 J1=1,26																		ZBA02230
ISN	7	M1=J1-1																		ZBA02230
ISN	8	ZL(M1)=CMPLX(0.,0.)																		


```

C***** 2 DEGISEKENLI KARTEZYEN POLAR DONUSUMU *****ZBA03490
ISN      1      SUBROUTINE PLKR2(YAZ1,YAZ2,YAZ3,YAZ4)      ZBA03700
ISN      2      IMPLICIT COMPLEX(A,E,I,S-Z),INTEGER(J-Q),REAL(B-D)      ZBA03710
ISN      3      REAL X1,X2,X3,X4,Y1,Y2,Y3,Y4,ACI,RR1,RR2      ZBA03720
C*****ZBA03730
ISN      4      BKAT=57.2957E      ZBA03740
ISN      5      YAZ3=CMPLX(0.,0.)      ZBA03750
ISN      6      X1=REAL(YAZ1)      ZBA03760
ISN      7      Y1=IMAG(YAZ1)      ZBA03770
ISN      8      RR1=SQRT(X1*X1+Y1*Y1)      ZBA03780
ISN      9      IF(RR1.LT.0.00001)GOTO 15      ZBA03790
ISN     10      ACI=BKAT*ACOS(X1/RR1)      ZBA03800
ISN     11      IF(Y1.LT.0.)ACI=-ACI      ZBA03810
ISN     12      YAZ3=CMPLX(RR1,ACI)      ZBA03820
ISN     13      15 CONTINUE      ZBA03830
C*****ZBA03840
ISN     15      YAZ4=CMPLX(0.,0.)      ZBA03850
ISN     16      X2=REAL(YAZ2)      ZBA03860
ISN     17      Y2=IMAG(YAZ2)      ZBA03870
ISN     18      RR2=SQRT(X2*X2+Y2*Y2)      ZBA03880
ISN     19      IF(RR2.LT.0.00001)GOTO 25      ZBA03890
ISN     20      ACI=BKAT*ACOS(X2/RR2)      ZBA03900
ISN     21      IF(Y2.LT.0.)ACI=-ACI      ZBA03910
ISN     22      YAZ4=CMPLX(RR2,ACI)      ZBA03920
ISN     23      25 CONTINUE      ZBA03930
ISN     24      RETURN      ZBA03940
ISN     25      END      ZBA03950
C*****ZBA03960
ISN      1      SUBROUTINE PLKR1(YAZ5,YAZ6)      ZBA03970
ISN      2      IMPLICIT COMPLEX(A,E,I,S-Z),INTEGER(J-Q),REAL(B-D)      ZBA03980
ISN      3      REAL X5,X6,Y5,Y6,ACI,RR5      ZBA03990
C*****ZBA04000
ISN      4      BKAT=57.2957E      ZBA04010
ISN      5      YAZ6=CMPLX(0.,0.)      ZBA04020
ISN      6      X5=REAL(YAZ5)      ZBA04030
ISN      7      Y5=IMAG(YAZ5)      ZBA04040
ISN      8      RR5=SQRT(X5*X5+Y5*Y5)      ZBA04050
ISN      9      IF(RR5.LT.0.00001)GOTO 15      ZBA04060
ISN     10      ACI=BKAT*ACOS(X5/RR5)      ZBA04070
ISN     11      IF(Y5.LT.0.)ACI=-ACI      ZBA04080
ISN     12      YAZ6=CMPLX(RR5,ACI)      ZBA04090
ISN     13      15 CONTINUE      ZBA04100
ISN     14      RETURN      ZBA04110
ISN     15      END      ZBA04120

```


KAYNAKLAR

1. ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİ ANALİZİ

Doç.Dr.Yük.Müh.Hüseyin ÇAKIR

2. BİLİM VE MÜHENDİSLİKTE MÜMERİK METODLAR

Çeviren: Prof.Dr. Çelik AKTAŞ

3. COMPUTER METHODS IN POWER SYSTEM ANALYSIS

Ahmed H.El-Abiad

Gleen W. Stagg

4. ANALYSIS OF FAULTED POWER SYSTEMS

Paul M. ANDERSON

5. ELEMENTS OF POWER SYSTEM ANALYSIS

William D. Stevenson. Jr.

