

34788



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇ VE ÇOK FAZLI ENERJİ SİSTEMLERİNDE SİMETRİLİ BİLEŞENLER YÖNTEMİ VE FAZ KOORDİNATLARI YÖNTEMİ İLE ARIZA ANALİZİ

Elk.Yük.Müh. Erdin GÖKALP

F.B.E. Elektrik Anabilim Dalında
hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Hüseyin ÇAKIR

İSTANBUL, 1994

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

TEŞEKKÜR

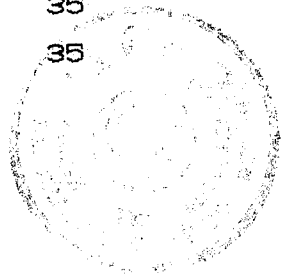
Tezimin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Yıldız Teknik Üniversitesi öğretim üyelerinden Sayın Hocam Prof. Dr. Hüseyin ÇAKIR'a teşekkürü borç bilirim. Ve ayrıca kıymetli zamanlarını ayırıp, çalışmalarımda beni destekliyen ve yardım eden Y.Doç.Dr. Serafettin ÖZBEY'e ve araştırma görevlisi Y.Müh. Bekir MUMYAKMAZ'a da teşekkürlerimi sunarım.

Erdin GÖKALP

1994, İSTANBUL

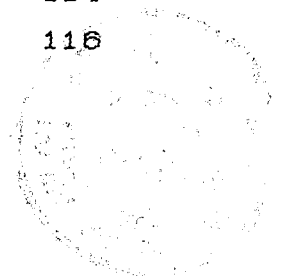
İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
Summary	III
BÖLÜM-1	1
1.1 Genel Giriş	1
1.2 Uç ve çok fazlı sistemlerin karşılaştırılması	3
BÖLÜM-2	5
UÇ VE ÇOK FAZLI SİSTEMLERE SİMETRİLİ BİLEŞENLERİN UYGULANMASI VE SEQUENCE DEVRELER	5
2.1 Uç fazlı sistemlere simetrik bileşenlerin uygulanması	5
2.1.1 Uç faz operatörü (a)	6
2.1.2 Asimetrik fazörlerin simetrik bileşenleri	7
2.1.3 Sequence empedanslar	9
2.1.4 Sequence devreler	11
2.2 Altı fazlı sistemlere simetrik bileşenlerin uygulanması	11
2.2.1 Altı faz operatörü (b)	14
2.2.2 Asimetrik fazörlerin simetrik bileşenleri	14
2.2.3 Sequence empedanslar	17
2.2.4 Sequence devreler	20
2.3 Oniki fazlı sistemlere simetrik bileşenlerin uygulanması	22
2.3.1 Oniki faz operatörü (c)	24
2.3.2 Asimetrik fazörlerin simetrik bileşenleri	25
2.3.3 Sequence empedanslar	28
2.3.4 Sequence devreler	31
BÖLÜM-3	33
UÇ VE ÇOK FAZLI SİSTEMLERDE ARIZA ANALİZİ	33
3.1 Uç fazlı sistemlerde arıza analizi	33
3.1.1 Kısa devre hesaplarında yapılan kabuller	34
3.1.2 Simetrik arızalar	35
3.1.2.1 Uç faz-toprak arızası	35



3.1.2.2	Uç faz arızası	36
3.1.3	Asimetrik arızalar	37
3.1.3.1	Tek faz-toprak arızası	37
3.1.3.2	İki faz-toprak arızası	38
3.1.3.3	İki faz arızası	40
3.2	Altı fazlı sistemlerde arıza analizi	41
3.2.1	Simetrik arızalar	42
3.2.1.1	Altı faz-toprak arızası	42
3.2.1.2	Altı faz arızası	43
3.2.2	Asimetrik arızalar	44
3.2.2.1	Tek faz-toprak arızası	44
3.2.2.2	İki faz-toprak arızası	46
3.2.2.3	İki faz arızası	48
3.2.2.4	Uç faz-toprak arızası	49
3.2.2.5	Uç faz arızası	51
3.2.2.6	Dört faz-toprak arızası	53
3.2.2.7	Dört faz arızası	56
3.2.2.8	Beş faz-toprak arızası	58
3.2.2.9	Beş faz arızası	60
3.3	Oniki fazlı sistemlerde arıza analizi	62
3.3.1	Simetrik arızalar	62
3.3.1.1	Oniki faz-toprak arızası	62
3.3.1.2	Oniki faz arızası	64
3.3.2	Asimetrik arızalar	65
3.3.2.1	Tek faz-toprak arızası	65
3.3.2.2	İki faz-toprak arızası	67
3.3.2.3	İki faz arızası	69
3.3.2.4	Uç faz-toprak arızası	70
3.3.2.5	Uç faz arızası	72
3.3.2.6	Dört faz-toprak arızası	73
3.3.2.7	Dört faz arızası	75
3.3.2.8	Beş faz-toprak arızası	77
3.3.2.9	Beş faz arızası	78
3.3.2.10	Altı faz-toprak arızası	78
3.3.2.11	Altı faz arızası	80
3.3.2.12	Yedi faz-toprak arızası	82

3.3.2.13	Yedi faz arızası	83
3.3.2.14	Sekiz faz-toprak arızası	83
3.3.2.15	Sekiz faz arızası	86
3.3.2.16	Dokuz faz-toprak arızası	87
3.3.2.17	Dokuz faz arızası	90
3.3.2.18	On faz-toprak arızası	91
3.3.2.19	On faz arızası	93
3.3.2.20	Onbir faz-toprak arızası	95
3.3.2.21	Onbir faz arızası	96
	BÖLÜM-4	99
4.1	Giriş	99
4.2	Faz koordinatları ile üç fazlı enerji sistem elemanları	99
4.2.1	Üç fazlı generatör	99
4.2.2	Üç fazlı enerji iletim hattı	101
4.3	Faz koordinatları ile altı fazlı enerji sistem elemanları	102
4.3.1	Altı fazlı generatör	102
4.3.2	Altı fazlı enerji iletim hattı	104
4.4	Faz koordinatları ile oniki fazlı enerji sistem elemanları	105
4.3.1	Oniki fazlı generatör	105
4.3.2	Oniki fazlı enerji iletim hattı	107
4.5	Faz koordinatları metodu	108
4.6	Arıza analizinde zorlamalar	109
4.6.1	Sıfır empedans üzerinden tek-faz toprak arızası	109
4.6.2	Empedans üzerinden tek-faz toprak arızası	110
4.6.3	Faz-Faz kısa devre arızaları	110
4.6.4	Empedans üzerinden faz-faz arızası	112
4.6.5	Faz-faz toprak arızaları	112
	BÖLÜM-5	113
5.1	Üç fazlı enerji sistemlerinde arıza analizi	113
5.1.1	Dengeli üç fazlı sistemlerde arıza analizi	113
5.1.2	Dengesiz üç fazlı sistemlerde arıza analizi	114
5.2	Altı fazlı enerji sistemlerinde arıza analizi	116



5.2.1	Dengeli altı fazlı sistemlerde arıza analizi	116
5.2.2	Dengesiz altı fazlı sistemlerde arıza analizi	116
5.3	Oniki fazlı enerji sistemlerinde arıza analizi	118
5.3.1	Dengeli oniki fazlı sistemlerde arıza analizi	118
5.3.2	Dengesiz oniki fazlı sistemlerde arıza analizi	119
	BÖLÜM-6	126
	SONUÇ VE ÖNERİLER	126
	REFERANSLAR	129
	EK-1	134
	EK-2	165
	ÖZGEÇMİŞ	



OZET

Bu çalışmada, enerji sistemine ait iletim hatlarının sırasıyla üç, altı ve oniki fazlı olarak dizayn edilmeleri halinde, baralarda meydana gelebilecek simetrik ve asimetrik arızaların incelenmesinde faz koordinatları ve simetrik bileşenler yöntemleri kullanılmıştır. Tez genel olarak altı ana bölümden meydana gelmektedir.

Birinci bölümde, enerji sistemlerinin tarihçesi ve enerji sistemlerindeki gelişmeler dikkate alınarak, bilinen üç fazlı sistemlere alternatif olarak düşünülen altı fazlı ve oniki fazlı sistemler hakkında şimdiye kadar yapılan çalışmalar verilmiştir.

İkinci bölümde, üç fazlı, altı fazlı ve oniki fazlı enerji sistemlerine simetrik bileşenler teorisi uygulanmış ve sequence devreler elde edilmiştir.

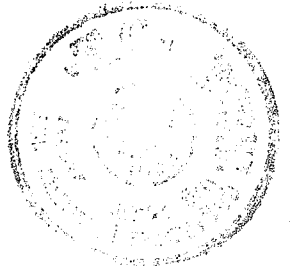
Üçüncü bölümde, üç fazlı, altı fazlı ve oniki fazlı enerji sistemlerine simetrik bileşenler teorisi uygulanarak sistemin herhangi bir noktasında meydana gelebilecek simetrik ve asimetrik arıza tipleri için arıza akımları hesap yöntemi verilmiştir.

Dördüncü bölümde ise, bölüm üçte simetrik bileşenler teorisi uygulanarak elde edilen hesap yöntemi yerine gerçek değerler yani faz koordinatları yöntemi kullanılarak sistemin herhangi bir noktasında meydana gelebilecek simetrik ve asimetrik arıza tipleri için arıza akımları hesap yöntemi verilmiştir.

Beşinci bölümde, ele alınan örnek bir enerji sistemindeki iletim hatlarının sırasıyla üç fazlı, altı fazlı ve oniki fazlı olması halinde sistemde bulunan baralarda meydana

gelebilecek arıza akımlarının belirlenmesinde baraların arıza öncesi güç akışından elde edilen gerçek gerilimleri kullanılarak kısa devre analizi gerçekleştirilmiştir.

Son bölümde de elde edilen genel sonuçlar ve öneriler yer almaktadır.



SUMMARY

In this study, the phase co-ordinates method and the symmetrical components method are used in the analysis of balanced and unbalanced faults occurring energy transmission lines containing three-, six- and twelve-phase, respectively. The thesis includes six chapters.

The first chapter of this thesis gives a brief chronological evaluation of the six-phase and twelve-phase systems.

In the second chapter, the symmetrical components theory is applied to six-phase and twelve-phase energy transmission systems, and the sequence networks are obtained.

In the third chapter, fault current calculation method for balanced and unbalanced fault types occurring in a point of the system is given, using symmetrical components theory for three-, six- and twelve-phase energy systems.

In the fourth chapter, fault current calculation method which is concerning actual quantities for balanced and unbalanced fault types occurring in a point of the system is given using the phase co-ordinates method, in place of the method given in chapter-3.

In the fifth chapter, short circuit analysis is performed using actual bus voltages obtained from pre-fault power flow analysis, in case of three-, six- and twelve-phase energy systems, respectively.

Finally, in chapter six, a general revision of the previous chapters and suggestions according to the obtained results are given.

BÖLÜM 1

ÜÇ FAZLI VE ÇOK FAZLI SİSTEMLER

1.1 Genel Giriş

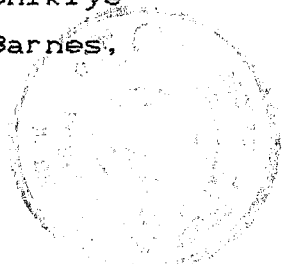
Uzun yıllar boyunca çok fazlı sistem (üç faz, altı faz, oniki faz) olarak bilinmesine rağmen, çok fazlı sistem denildiğinde genellikle üç fazlı sistemler akla gelmektedir.

Önceleri, hava hatlı iletim sistemlerine daha çok çok sayıda faz ilave edilmesi fikri, maliyet bakımından uygun olduğu halde, karmaşıklık sebebiyle teşvik görmemişti.

Elektrik enerjisi talebinin günden güne artması, enerji üreten kuruluşların tüketici merkezlerine uzak mesafelerden daha fazla güç iletilmesini gerekli hale getirmiştir. İletim sistemlerine ait kapasite arttırma yollarından biri, iletim gerilimlerinin arttırılması ile gerçekleştirilmektedir. Fakat bu uygulamanın, bugün için özellikle şalt elemanları ve izolasyon açısından artık doyuma ulaştığı kabul edilmektedir.

Günümüzde gerilim seviyeleri, elektrik enerjisinin büyük tüketim merkezlerine yüksek kapasiteli iletim hatları ile yapılan ekonomik iletimi sayesinde çok yüksek değerlere çıkarılmıştır. Bu durum, iletim hatlarında gürültü, korona kayıpları, toprak düzeyinde artan elektrik ve magnetik alan etkileri gibi istenmeyen bir takım problemlere de sebebiyet vermektedir (Pal and Singh, 1985).

Yukarıda sözü edilen problemleri en aza indirmek ve enerji iletim kapasitesini arttırmak için, enerji iletim hatlarındaki faz sayısının altı veya onikiye çıkarılma fikri gündeme getirilmiştir (Barthold and Barnes,

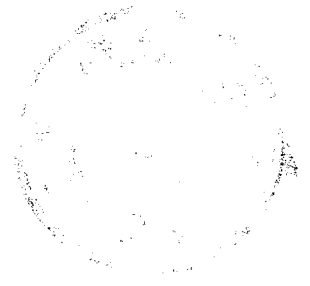


1973). Çok fazlı enerji iletim hatlarının patenti 1966 yılında alınmıştır (Wilson and Stewart, 1987). Çok fazlı iletim hatları fikrine paralel olarak altı ve oniki fazlı generatör konusu üzerinde de çalışmalar sürdürülmektedir (Choudhary and Singh, 1985).

Amerika Birleşik Devletleri'nde 1978 yılında altı fazlı ve oniki fazlı deney hatlarının kurulması ve uygulanabilirliklerinin araştırılması için bir proje geliştirilmiştir. Bu projenin çeşitli bölümlerinde, çok fazlı enerji iletiminde kullanılması öngörülen direk, izolatör vb. elemanların tasarımlarında önemli gelişmeler kaydedilmiştir.

Bu projeye uygun olarak dizayn edilen altı fazlı test hattı 1980'de kurularak, 80 kV'luk faz-nötr gerilimiyle beslenmiştir. Sistemin elektrik ve mekanik testleri iki yıllık bir periyot üzerinden yapılmış ve ayrıca söz konusu altı fazlı hattın yapısına uygun olarak oniki fazlı yeni bir sistem daha dizayn edilmiştir. Bu yeni sisteme enerji verilmeden önce, hattın buzlanmaya ve kuvvetli rüzgara karşı mukavemeti ile iletkenlerin salınımlarına ait mekanik testler de gerçekleştirilmiştir. Bu testlerden iyi netice alınması sonucunda da sistem, 138 kV faz-nötr gerilimi ile beslenmeye başlanmıştır (Guyker et al., 1978 ; Stewart and Wilson, 1978).

Türkiyede de sanayileşme ile birlikte enerji ihtiyacının hızlı artması ve üretim merkezlerinin genellikle tüketicilerden oldukça uzakta bulunması, mevcut gerilim seviyesi değiştirilmeden daha büyük güçlerin altı ve oniki fazlı sistemler ile iletilmesi konusunu gündeme getirmektedir. Çalışmada, adı geçen çok fazlı sistemlere ait dizayn çalışmaları ile yakından ilgili olan kısa devre analizleri incelenmiştir.



1.2 Üç ve Çok Fazlı Sistemlerin Karşılaştırılması

Üç fazlı ve çok fazlı sistemleri şu şekilde karşılaştırmak mümkündür:

- Çok fazlı sistemlerde yüksek güç iletim kapasitesi sağlanmaktadır. Örnek olarak, üç fazlı çift devreli bir iletim hattı altı fazlı iletim hattına dönüştürülürse güç kapasitesi yaklaşık %73 oranında artmaktadır.

- Fazlararası ve faz-nötr gerilimleri faz sırasına bağlı olarak değişir. Dairesel faz sırası dikkate alındığında altı fazlı sistem için faz-faz gerilimi ile faz-nötr gerilimi birbirine eşit iken, oniki fazlı sistemde faz-faz gerilimi faz-nötr geriliminden daha küçük olmaktadır. Örnek olarak, 138 kV 'luk üç fazlı bir sistemde faz-nötr gerilimi 80 kV iken altı fazlı bir sistemde faz-faz ve faz-nötr gerilimleri 80 kV tur. Diğer yandan aynı anlayışla Oniki fazlı bir sistem için ise, faz-faz gerilimi 41 kV ve faz-nötr gerilimi 80 kV olmaktadır.

- Çok fazlı sistemlerde, fazlar arasındaki gerilimlerin küçük olması sebebiyle iletken hatları birbirine daha yakın olarak dizayn edilmekte ve dolayısıyla direk boyutlarının küçülmesi mümkün olmaktadır.

- Termal yüklenme kapasitesi faz sayısı ile doğru orantılıdır. Bu ise, güç iletim kapasitesinin faz sayısına bağlı olarak arttığını göstermektedir.

- Üç fazlı sistemlerde herhangi iki faz iletkeni arasındaki gerilimin genliği ($V_{AB}=V_{BC}=V_{CA}$) aynıdır. Ancak bu durum çok fazlı sistemler için geçerli değildir. Bu nedenle, çok fazlı sistemlerin transpoze edilmeleri üç fazlı sistemlerdeki kadar kolay yapılamamaktadır. Birbirine daha yakın olarak yerleştirilmiş faz iletkenleri ancak faz

dönüş sırasına uygun olarak transpoze edilebilmektedir.

- Yüksek gerilimli ya da çok yüksek gerilimli üç fazlı iletim hatlarında toprak yüzeyinde oluşan elektrik alan şiddeti önemli bir tasarım kriteridir. Çok fazlı sistemlerde iletken yüzeyindeki alan şiddeti azalırken toprak üzerindeki alan şiddeti artmaktadır. Buradan da anlaşılabileceği gibi, çok fazlı sistemlerde korona olayının etkisi daha az olmaktadır.

- Yıldırım düşmelerine karşı aynı toprak gerilimi ve izolasyon seviyesi için çok fazlı sistemlerin, üç fazlı sistemlerle benzer davranışlar göstereceği tahmin edilmektedir.

- Altı fazlı sistemdeki arıza halinde ortaya çıkan gerilimler, üç fazlı sisteme göre biraz daha yüksektir. Oniki fazlı sistemlerde ise bu gerilimler üç fazlılarla karşılaştırılabilir. Bu da oniki fazlı sistemin altı fazlı sisteme olan üstünlüklerinden biridir (Nanda et al., 1981 ; Stewart and Wilson 1978 ; Stewart and Grant 1978 ; Stewart et al., 1984 ; Umurkan, 1991).

Yukarıdaki açıklamalardan ulaşılabilecek neticeye göre, çok fazlı sistemlerin kullanılmasının getireceği en büyük avantaj geçiş haklarının çok dar bir saha ile sınırlandırılmasıdır. Standart olan izolatörler ve diğer tesbit parçaları bir araya getirilerek çok fazlı sistemler için daha basit ve toplu bir iletken dizaynı meydana getirilebilir. İletkenler arası mesafe daha küçük olduğundan, çok fazlı sistemlerin hat direkleri daha küçük olarak boyutlandırılırlar. Bu söylenenlerin daha net ortaya konması, hali hazırdaki durumun dikkate alındığı detaylı bir maliyet analizinin yapılması ile mümkün görülmektedir.

BÖLÜM 2

ÜÇ VE ÇOK FAZLI SİSTEMLERE SİMETRİLİ BİLEŞENLERİN UYGULANMASI VE SEQUENCE DEVRELER

2.1 Üç Fazlı Sistemlere Simetrik Bileşenlerin Uygulanması

Simetrik bileşenler teorisi ilk olarak 1918 yılında C.L.Fortescue tarafından ortaya atılmıştır. Kısaca bu metod, asimetrik bir elektrik şebekesinin kolayca etüd edilmesine imkan vermektedir. Fortescue'nun bu metodu ile n bağlı fazörden meydana gelen dengesiz bir sistem, dengeli n fazörden meydana gelen n sistem içinde yeniden çözülebilir. Bu n dengeli sistemin fazörlerine, n fazörden meydana gelen dengesiz sistemin simetrik bileşenleri denir.

Buna göre üç fazlı bir sistemin simetrik bileşenleri:

(1) Pozitif Sequence Bileşenler: Original dengesiz sistemin faz sırası ile aynı faz sırasına (abca) sahip olup; birbirlerinden 120 derece faz farklı, genlikleri eşit üç fazörden meydana gelir.

(2) Negatif Sequence Bileşenler: Original dengesiz sistemin faz sırasına göre tam zıt faz sırasında (acba) olup; birbirlerinden 120 derece faz farklı, genlikleri eşit üç fazörden meydana gelir.

(3) Sıfır Sequence Bileşenler: Aralarında faz farkı olmayan, genlikleri eşit üç fazörden meydana gelir.

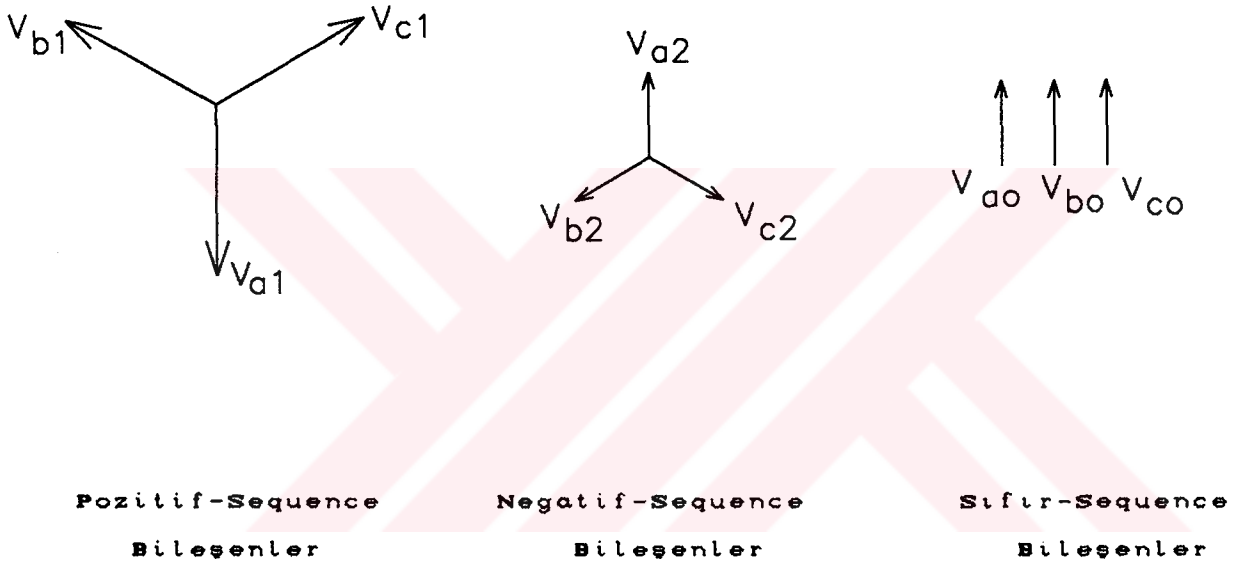
Original dengesiz fazörlerin her biri, yukarda verilen simetrik bileşenlerin toplamına eşittir (Stewenson, 1978). Böylece original fazörler şu şekilde ifade

edilebilir:

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \quad (2.1)$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0}$$



Sekil 2.1. Dengesiz üç fazlı bir sistemin simetrik bileşenleri.

2.1.1 Üç Faz Operatörü (a)

Bir fazörü saat ibresinin tersi yönünde 120 derece döndüren operatör a harfi ile tanınmaktadır. O halde bir fazörü saat ibresinin tersi yönünde 120 derece döndürmek gerektiğinde, o fazörün a operatörü ile çarpılması yeterlidir. Burada a operatörünün sayısal değeri; $a = 1 \cdot \frac{120}{360} = 1 \cdot e^{j2\pi/3} = -0.5 + j0.866$ dir.

2.1.2 Asimetrik Fazörlerin Simetrik Bileşenleri

Sekil 2.1'den V_b ve V_c 'nin simetrik bileşenleri V_a 'nın simetrik bileşenleri cinsinden aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\begin{aligned} V_{b1} &= a^2 V_{a1} & ; & & V_{c1} &= a V_{a1} \\ V_{b2} &= a V_{a2} & ; & & V_{c2} &= a^2 V_{a2} \\ V_{b0} &= V_{a0} & ; & & V_{c0} &= V_{a0} \end{aligned} \quad (2.2)$$

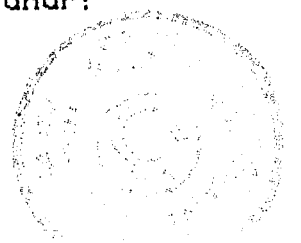
(2.1) ifadesi (2.2) dikkate alınarak

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

şeklinde yazılır. Burada

$$T_s = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

olarak tanımlanırsa, T_s^{-1} kolayca aşağıdaki gibi bulunur:



$$T_s^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

(2.3) ifadesinin her iki tarafı önden T_s^{-1} ile çarpılırsa (2.6) eşitliği elde edilir (Çakır, 1986).

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Bu sonuç, asimetrik üç fazörün bilinmesi halinde bunlara ait simetrik bileşenlerinin nasıl hesaplanacağını gösterir.

Yukarıda gerilimler için yazılan ifadeler, akımlar için de aşağıdaki gibi özetlenebilir:

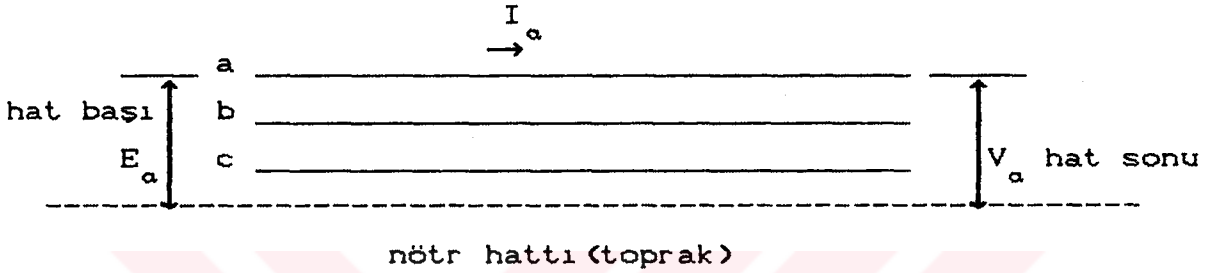
$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

2.1.3 Sequence Empedanslar

Uç fazlı tipik bir hattın faz empedans matrisi $[Z_p]$ Şekil 2.2'den faydalanarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$[Z_p] = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ab} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ac} & Z_{bc} & Z_{cc} \end{bmatrix} \quad (2.9)$$



Şekil 2.2. Uç fazlı hattın şematik gösterilişi.

Eğer hat tamamen transpoze edilmiş ise veya transpoze edileceği kabul edilirse, empedans matrisi aşağıdaki gibi olacaktır:

$$[Z_p] = \begin{bmatrix} Z_{ss} & Z_{sm} \\ Z_{sm} & Z_{sm} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Transpoze edilmiş iletim hatları için gerilim düşümü ise

$$\begin{bmatrix} E_a - V_a \\ E_b - V_b \\ E_c - V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta V_a \\ \Delta V_b \\ \Delta V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{ss} & Z_{sm} \\ Z_{sm} & Z_{sm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

şeklinde yazılır. Burada Z_{ss} self, Z_{sm} karşılıklı empedansı göstermektedir. (2.11) denklemi daha kısa şekilde (2.12) denklemi gibi yazılabilir:

$$E_p - V_p = \Delta V_p = [Z_p] I_p \quad (2.12)$$

(2.3) ve (2.6) denklemleri (2.12) eşitliğinde yerine konursa

$$[T_s] \Delta V_s = [Z_p] [T_s] I_s \quad (2.13)$$

veya

$$\Delta V_s = [T_s]^{-1} [Z_p] [T_s] I_s \quad (2.14)$$

$$\Delta V_s = [Z_s] I_s \quad (2.15)$$

olarak elde edilir. (2.15) ifadesinin açık şekli

$$\begin{bmatrix} \Delta V_{a0} \\ \Delta V_{a1} \\ \Delta V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -V_{a0} \\ E_{a1} & -V_{a1} \\ 0 & -V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{ss} + 2Z_{sm} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{ss} & -Z_{sm} \\ 0 & 0 & Z_{ss} - Z_{sm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

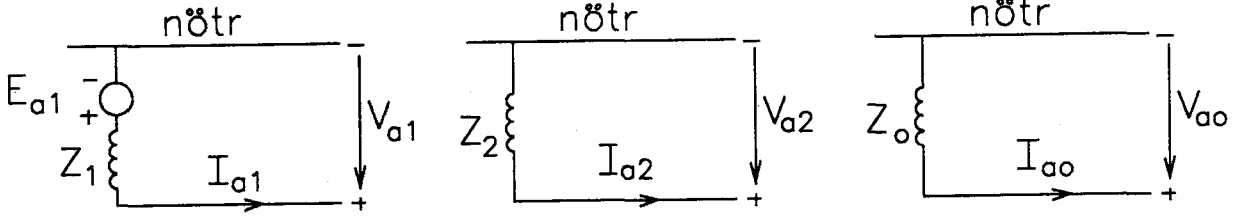
ve (2.16) denklemi;

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ E_{a1} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

olarak da yazılabilir. (2.17)'de, genel olarak kaynak dengeli olduğundan sadece E_{a1} mevcuttur. (2.14)'deki $[T_s]^{-1} [Z_p] [T_s]$ ifadesi; $[Z_p]$ faz empedans matrisinin diagonal hale getirilerek diagonal sequence empedans matrisi $[Z_s]$ 'e dönüştüren benzerlik dönüşümünden başka birşey değildir. Sequence empedanslar sırasıyla $Z_0 = Z_{ss} + 2Z_{sm}$ ve $Z_1 = Z_2 = Z_{ss} - Z_{sm}$ dir (Çakır, 1986 ; Roeper, 1985).

2.1.4 Sequence Devreler

Sekil 2.2'de gösterilen üç fazlı hattın sequence devreleri aşağıdaki gibidir:



Pozitif-Sequence
Devre

Negatif-Sequence
Devre

Sıfır-Sequence
Devre

Sekil 2.3. Üç fazlı hattın sequence devreleri.

Sekil 2.3'de I_{a1} , I_{a2} ve I_{ao} hattın sequence akımlarıdır. Bu akımların mevcudiyeti sistemin dengesizliğine bağlıdır. Diğer bir ifade ile, eğer sistem dengesizse sequence akımlar meydana gelecektir.

2.2 Altı Fazlı Sistemlere Simetrik Bileşenlerin Uygulanması

Bölüm 2.1'de belirtildiği gibi, Fortescue teoremi n fazlı sistemler için geçerli olduğundan dengesiz altı fazlı bir sistem dengeli altı fazlı altı sistem için de yeniden çözülebilir.

Böylece altı fazlı sistemin simetrik bileşenleri:

- (1) Birinci (veya pozitif) Sequence Bileşenler
- (2) İkinci Sequence Bileşenler
- (3) Üçüncü Sequence Bileşenler
- (4) Dördüncü Sequence Bileşenler
- (5) Beşinci (veya negatif) Sequence Bileşenler
- (6) Altıncı (veya sıfır) Sequence Bileşenler

olarak ifade edilir.

Sequence bileşenlerin herbiri Şekil 2.4'de gösterildiği gibidir. a,b,c,d,e ve f harfleri ile tanımlanan altı fazlı orijinal bir sistem ele alındığında, sistemin faz sırası (abcdef) olarak kabul edilecektir.

Orijinal dengesiz fazörler, simetrili bileşenler cinsinden aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Bhatt et al., 1977):

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a3} + V_{a4} + V_{a5} + V_{a0}$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b3} + V_{b4} + V_{b5} + V_{b0}$$

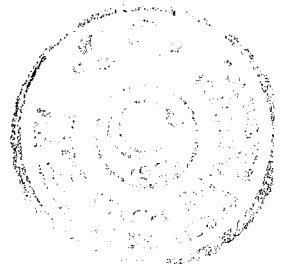
$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c3} + V_{c4} + V_{c5} + V_{c0}$$

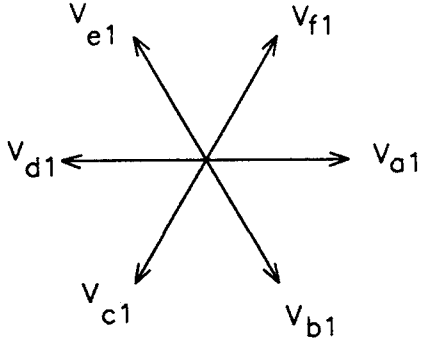
$$V_d = V_{d1} + V_{d2} + V_{d3} + V_{d4} + V_{d5} + V_{d0}$$

$$V_e = V_{e1} + V_{e2} + V_{e3} + V_{e4} + V_{e5} + V_{e0}$$

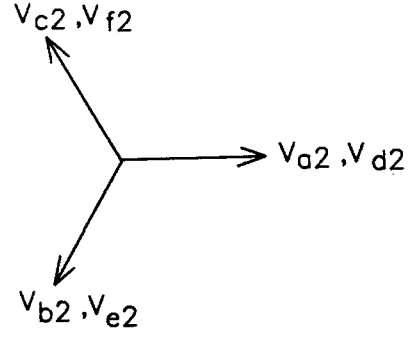
$$V_f = V_{f1} + V_{f2} + V_{f3} + V_{f4} + V_{f5} + V_{f0}$$

(2.18)

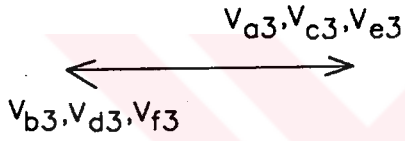




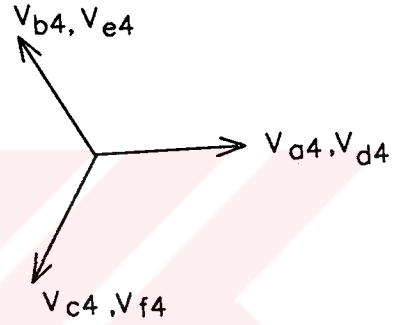
Pozitif-Sequence Bileşenler



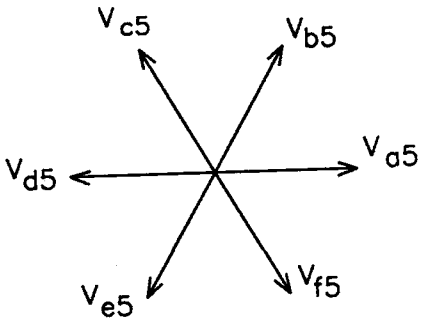
ikinci-Sequence Bileşenler



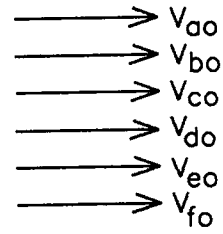
Üçüncü-Sequence Bileşenler



Dördüncü-Sequence Bileşenler

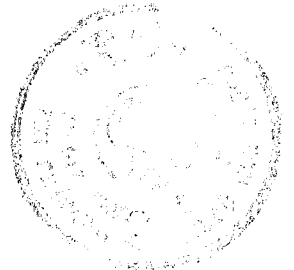


Negatif-Sequence Bileşenler



Sıfır-Sequence Bileşenler

Sekil 2.4. Dengesiz altı fazlı bir sistemin simetrikli bileşenleri.



2.2.1 Altı Faz Operatörü (b)

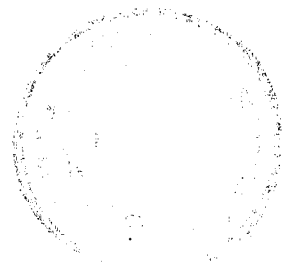
Bir fazörü saat ibresinin tersi yönünde 60 derece döndüren operatör b harfi ile tanımlanırsa; b operatörünün sayısal değeri $b=1/\underline{60^\circ}=1.e^{j\pi/3}=0.5+j0.866$ dır.

2.2.2 Asimetrik Fazörlerin Simetrik Bileşenleri

Sekil 2.4'den V_b, V_c, V_d, V_e ve V_f 'nin simetrik bileşenleri V_a 'nın simetrik bileşenleri cinsinden aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\begin{aligned} V_{b1} &= b^5 V_{a1} & ; & \quad V_{c1} = b^4 V_{a1} \\ V_{b2} &= b^4 V_{a2} & ; & \quad V_{c2} = b^2 V_{a2} \\ V_{b3} &= b^3 V_{a3} & ; & \quad V_{c3} = V_{a3} \\ V_{b4} &= b^2 V_{a4} & ; & \quad V_{c4} = b^4 V_{a4} \\ V_{b5} &= b V_{a5} & ; & \quad V_{c5} = b^2 V_{a5} \\ V_{b0} &= V_{a0} & ; & \quad V_{c0} = V_{a0} \end{aligned} \tag{2.19}$$

Diğer fazlar içinde benzer şekilde bağıntılar yazılabilir. Bu sebeple, (2.18) ve (2.19) dikkate alınarak matris formunda;

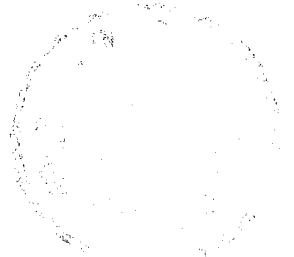


$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ V_d \\ V_e \\ V_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & b^5 & b^4 & b^3 & b^2 & b \\ 1 & b^4 & b^2 & 1 & b^4 & b^2 \\ 1 & b^3 & 1 & b^3 & 1 & b^3 \\ 1 & b^2 & b^4 & 1 & b^2 & b^4 \\ 1 & b & b^2 & b^3 & b^4 & b^5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \\ V_{a3} \\ V_{a4} \\ V_{a5} \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

olarak yazılır. Burada

$$T_e = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & b^5 & b^4 & b^3 & b^2 & b \\ 1 & b^4 & b^2 & 1 & b^4 & b^2 \\ 1 & b^3 & 1 & b^3 & 1 & b^3 \\ 1 & b^2 & b^4 & 1 & b^2 & b^4 \\ 1 & b & b^2 & b^3 & b^4 & b^5 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

olarak tanımlanırsa, T_e^{-1} aşağıdaki gibi bulunur:



$$T_s^{-1} = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 1 & b & b & b & b & b \\ 1 & & 2 & 4 & 1 & 2 & 4 \\ 1 & & 3 & 1 & 3 & 1 & 3 \\ 1 & & 4 & 2 & 1 & 4 & 2 \\ 1 & & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

(2.20)'nin her iki tarafı önden T_s^{-1} ile çarpılırsa, (2.23) aşağıdaki gibi elde edilir (Bhatt et al., 1977 ; Nanda et al., 1981 ; Stewart, 1988):

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \\ V_{a3} \\ V_{a4} \\ V_{a5} \end{bmatrix} = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 1 & b & b & b & b & b \\ 1 & & 2 & 4 & 1 & 2 & 4 \\ 1 & & 3 & 1 & 3 & 1 & 3 \\ 1 & & 4 & 2 & 1 & 4 & 2 \\ 1 & & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ V_d \\ V_e \\ V_f \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Bu sonuç, asimetric altı fazörün bilinmesi halinde simetrili bileşenlerin nasıl hesaplanacağını göstermektedir.

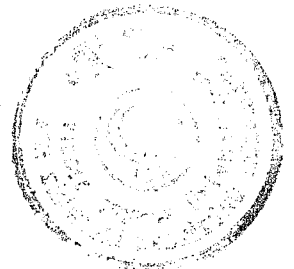
Yukarıda gerilimler için yazılan ifadeler akımlar için de aşağıdaki gibi özetlenebilir:

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_d \\ I_e \\ I_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & b^5 & b^4 & b^3 & b^2 & b \\ 1 & b^4 & b^2 & 1 & b^4 & b^2 \\ 1 & b^3 & 1 & b^3 & 1 & b^3 \\ 1 & b^2 & b^4 & 1 & b^2 & b^4 \\ 1 & b & b^2 & b^3 & b^4 & b^5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \\ I_{a3} \\ I_{a4} \\ I_{a5} \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

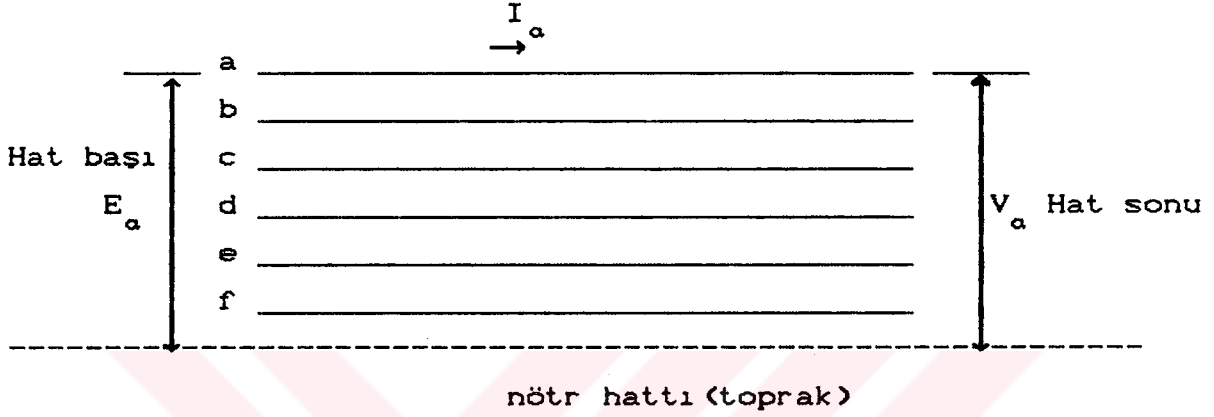
$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \\ I_{a3} \\ I_{a4} \\ I_{a5} \end{bmatrix} = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & b & b^2 & b^3 & b^4 & b^5 \\ 1 & b^2 & b^4 & 1 & b^2 & b^4 \\ 1 & b^3 & 1 & b^3 & 1 & b^3 \\ 1 & b^4 & b^2 & 1 & b^4 & b^2 \\ 1 & b^5 & b^4 & b^3 & b^2 & b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_d \\ I_e \\ I_f \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

2.2.3 Sequence Empedanslar

Altı fazlı bir hattın faz empedans matrisi $[Z_p]$ Şekil 2.5'den faydalanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir:



$$[Z_p] = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{ad} & Z_{ae} & Z_{af} \\ Z_{ab} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bd} & Z_{be} & Z_{bf} \\ Z_{ac} & Z_{bc} & Z_{cc} & Z_{cd} & Z_{ce} & Z_{cf} \\ Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{dd} & Z_{de} & Z_{df} \\ Z_{ab} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{de} & Z_{ee} & Z_{ef} \\ Z_{ac} & Z_{bc} & Z_{cc} & Z_{df} & Z_{ef} & Z_{ff} \end{bmatrix} \quad (2.26)$$



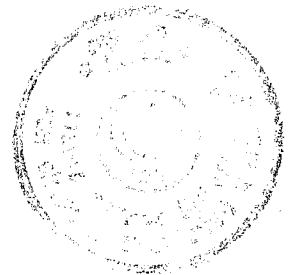
Şekil 2.5. Altı fazlı hattın şematik gösterilişi.

Direk üzerinde koruma telinin olup olmasının (2.26) ifadesi üzerinde bir etkisi yoktur. Eğer hat tamamen transpoze edilmiş veya transpoze edildiği kabul edilirse, empedans matrisi (2.27)'deki gibi yazılır:

$$[Z_p] = \begin{bmatrix} Z_{ss} & & Z_{sm} \\ & \text{diagonal} & \\ Z_{sm} & & \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

Transpoze edilmiş iletim hatları için gerilim düşümü ise

$$\begin{bmatrix} E_a - V_a \\ E_b - V_b \\ E_c - V_c \\ E_d - V_d \\ E_e - V_e \\ E_f - V_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta V_a \\ \Delta V_b \\ \Delta V_c \\ \Delta V_d \\ \Delta V_e \\ \Delta V_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{ss} & & Z_{sm} \\ & \text{diagonal} & \\ Z_{sm} & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_d \\ I_e \\ I_f \end{bmatrix} \quad (2.28)$$



olarak yazılabilir. Burada Z_{ss} self, Z_{sm} karşılıklı empedansları göstermektedir. (2.28) kısa formda

$$E_p - V_p = \Delta V_p = [Z_p] I_p \quad (2.29)$$

olarak gösterilebilir. (2.20) ve (2.24), (2.29)'da yerine konursa

$$[T_s] \Delta V_s = [Z_p] [T_s] I_s \quad (2.30)$$

veya

$$\Delta V_s = [T_s]^{-1} [Z_p] [T_s] I_s \quad (2.31)$$

$$\Delta V_s = [Z_s] I_s \quad (2.32)$$

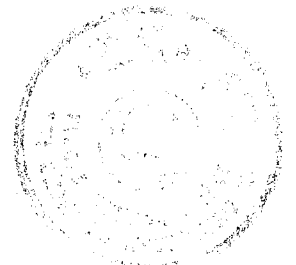
olarak bulunur.

(2.32)'nin açık ifadesi

$$\begin{bmatrix} \Delta V_{a0} \\ \Delta V_{a1} \\ \Delta V_{a2} \\ \Delta V_{a3} \\ \Delta V_{a4} \\ \Delta V_{a5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -V_{a0} \\ E_{a1} & -V_{a1} \\ 0 & -V_{a2} \\ 0 & -V_{a3} \\ 0 & -V_{a4} \\ 0 & -V_{a5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{ss} & +5Z_{sm} & & & & \\ & Z_{ss} & -Z_{sm} & & & \\ & & & 0 & & \\ & & & & & \\ 0 & & & & & \\ & & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \\ I_{a3} \\ I_{a4} \\ I_{a5} \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

şeklinde, ya da

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \\ V_{a3} \\ V_{a4} \\ V_{a5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ E_{a1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Z_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Z_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \\ I_{a3} \\ I_{a4} \\ I_{a5} \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

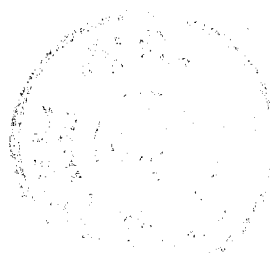


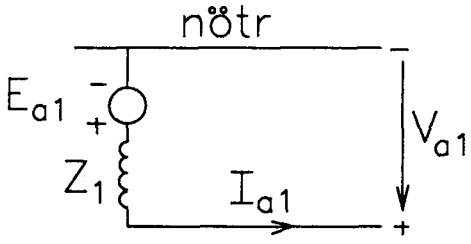
ile gösterilebilir.

(2.34)'de genel olarak kaynak dengeli olduğundan sadece E_{a1} mevcuttur. (2.31)'deki $[T_s]^{-1}[Z_p][T_s]$ ifadesi, $[Z_p]$ faz empedans matrisini diagonal yapmak suretiyle diagonal sequence empedans matrisi $[Z_s]$ 'e dönüştüren benzerlik dönüşümünden başka birşey değildir. Sequence empedanslar sırasıyla $Z_0 = Z_{ss} + 5Z_{sm}$ ve $Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_4 = Z_5 = Z_{ss} - Z_{sm}$ dir (Auguliaro et al., 1987 ; Bhatt et al., 1977 ; Grande, 1987 ; Nanda et al., 1981).

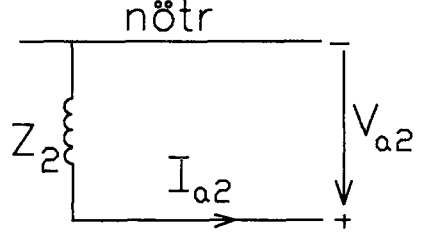
2.2.4 Sequence Devreler

Şekil 2.5'de gösterilen altı fazlı hattın sequence devreleri Şekil 2.6'daki gibidir. Burada I_{a1} , I_{a2} , I_{a3} , I_{a4} , I_{a5} ve I_{a0} hat sequence akımlarını göstermektedir. Bu akımların mevcudiyeti sistemin dengesizliğine bağlıdır. Diğer bir ifade ile sistem dengesizse sequence akımlar meydana gelecektir.

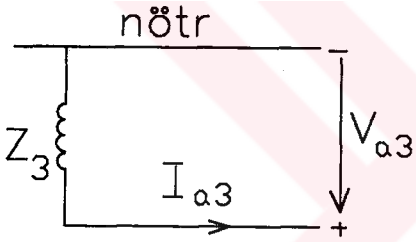




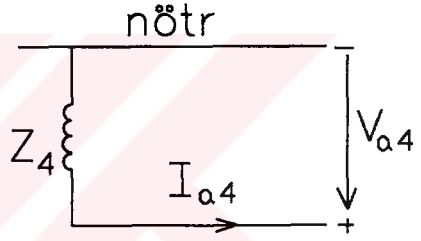
Pozitif-Sequence
Devre



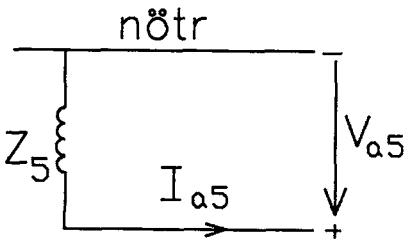
ikinci-Sequence
Devre



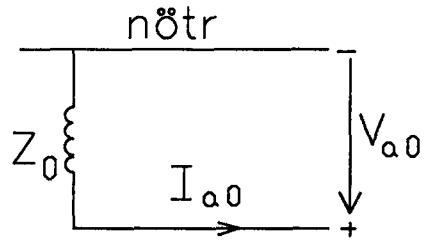
Üçüncü-Sequence
Devre



birinci-Sequence
Devre

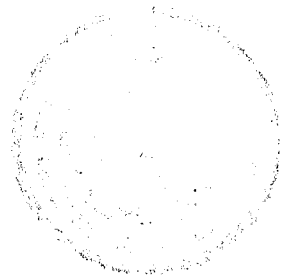


Negatif-Sequence
Devre



Sıfır-Sequence
Devre

Şekil 2.6. Altı fazlı hattın sequence devreleri.



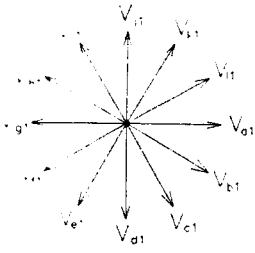
2.3 Oniki Fazlı Sistemlere Simetrili Bileşenlerin Uygulanması

Fortescue'nun teoremi n fazlı sistemler için geçerli olduğuna göre, altı fazlı sistemler için yapılanlara benzer olarak aynı anlayış oniki fazlı sistemler için de uygulanabilir. Bunun için $n=12$ alınarak, oniki fazlı sistemin simetrili bileşenleri;

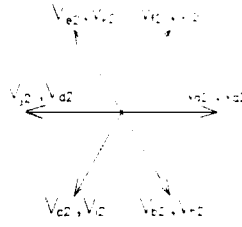
(1) Birinci (veya pozitif)	Sequence Bileşenler
(2) İkinci	Sequence Bileşenler
(3) Üçüncü	Sequence Bileşenler
(4) Dördüncü	Sequence Bileşenler
(5) Beşinci	Sequence Bileşenler
(6) Altıncı	Sequence Bileşenler
(7) Yedinci	Sequence Bileşenler
(8) Sekizinci	Sequence Bileşenler
(9) Dokuzuncu	Sequence Bileşenler
(10) Onuncu	Sequence Bileşenler
(11) Onbirinci (veya negatif)	Sequence Bileşenler
(12) Onikinci (veya sıfır)	Sequence Bileşenler

olarak tariflenebilir.

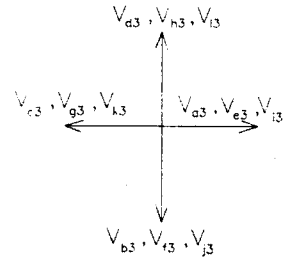
Oniki fazlı sisteme ait sequence bileşenlerin herbiri Şekil 2.7'de gösterildiği gibidir. $a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k$ ve l harfleri ile tanımlanan oniki fazlı orjinal bir sistem ele alındığında, sistemin doğru faz sırası $(abcdefghijkl)$ olarak kabul edilecektir.



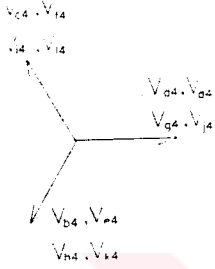
**Pozitif-Sequence
Bileşenler**



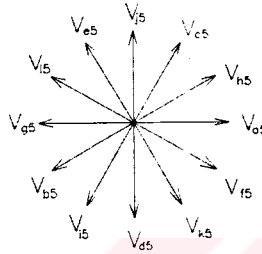
**ikinci-Sequence
Bileşenler**



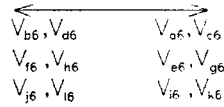
**Üçüncü-Sequence
Bileşenler**



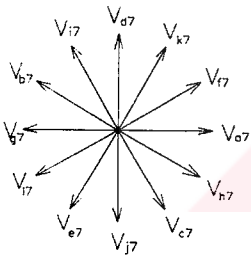
**Dördüncü-Sequence
Bileşenler**



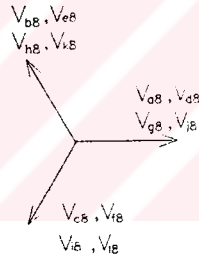
**Beşinci-Sequence
Bileşenler**



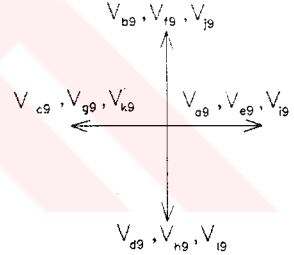
**Altıncı-Sequence
Bileşenler**



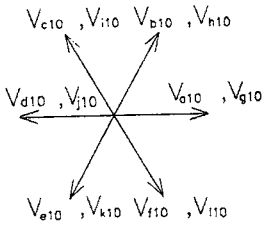
**Yedinci-Sequence
Bileşenler**



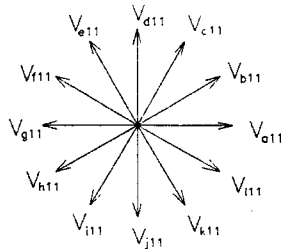
**Sekizinci-Sequence
Bileşenler**



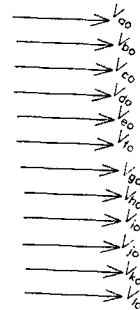
**Dokuzuncu-Sequence
Bileşenler**



**Onuncu-Sequence
Bileşenler**



**Negatif-Sequence
Bileşenler**



**Sıfır-Sequence
Bileşenler**

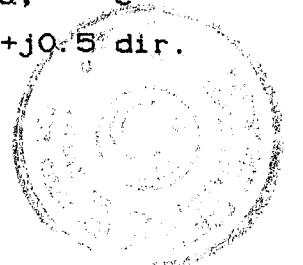
Sekil 2.7. Dengesiz oniki fazlı bir sistemin simetrik bileşenleri.

Tanımlanan orijinal dengesiz fazörlerin herbiri, simetrik bileşenlerin toplamına eşit olduğundan orijinal fazörler aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Pal and Singh, 1985):

$$\begin{aligned} V_a &= V_{a1} + V_{a2} + V_{a3} + V_{a4} + V_{a5} + V_{a6} + V_{a7} + V_{a8} + V_{a9} + V_{a10} + V_{a11} + V_{a0} \\ V_b &= V_{b1} + V_{b2} + V_{b3} + V_{b4} + V_{b5} + V_{b6} + V_{b7} + V_{b8} + V_{b9} + V_{b10} + V_{b11} + V_{b0} \\ V_c &= V_{c1} + V_{c2} + V_{c3} + V_{c4} + V_{c5} + V_{c6} + V_{c7} + V_{c8} + V_{c9} + V_{c10} + V_{c11} + V_{c0} \\ V_d &= V_{d1} + V_{d2} + V_{d3} + V_{d4} + V_{d5} + V_{d6} + V_{d7} + V_{d8} + V_{d9} + V_{d10} + V_{d11} + V_{d0} \\ V_e &= V_{e1} + V_{e2} + V_{e3} + V_{e4} + V_{e5} + V_{e6} + V_{e7} + V_{e8} + V_{e9} + V_{e10} + V_{e11} + V_{e0} \\ V_f &= V_{f1} + V_{f2} + V_{f3} + V_{f4} + V_{f5} + V_{f6} + V_{f7} + V_{f8} + V_{f9} + V_{f10} + V_{f11} + V_{f0} \\ V_g &= V_{g1} + V_{g2} + V_{g3} + V_{g4} + V_{g5} + V_{g6} + V_{g7} + V_{g8} + V_{g9} + V_{g10} + V_{g11} + V_{g0} \quad (2.35) \\ V_h &= V_{h1} + V_{h2} + V_{h3} + V_{h4} + V_{h5} + V_{h6} + V_{h7} + V_{h8} + V_{h9} + V_{h10} + V_{h11} + V_{h0} \\ V_i &= V_{i1} + V_{i2} + V_{i3} + V_{i4} + V_{i5} + V_{i6} + V_{i7} + V_{i8} + V_{i9} + V_{i10} + V_{i11} + V_{i0} \\ V_j &= V_{j1} + V_{j2} + V_{j3} + V_{j4} + V_{j5} + V_{j6} + V_{j7} + V_{j8} + V_{j9} + V_{j10} + V_{j11} + V_{j0} \\ V_k &= V_{k1} + V_{k2} + V_{k3} + V_{k4} + V_{k5} + V_{k6} + V_{k7} + V_{k8} + V_{k9} + V_{k10} + V_{k11} + V_{k0} \\ V_l &= V_{l1} + V_{l2} + V_{l3} + V_{l4} + V_{l5} + V_{l6} + V_{l7} + V_{l8} + V_{l9} + V_{l10} + V_{l11} + V_{l0} \end{aligned}$$

2.3.1 Oniki Faz Operatörü (c)

Bir fazörü saat ibresinin tersi yönünde 30 derece döndüren operatör c harfi ile tanımlanırsa, c operatörünün sayısal değeri $c = 1 / \underline{30^\circ} = 1 \cdot e^{j\pi/6} = 0.866 + j0.5$ dir.



2.3.2 Asimetrik Fazörlerin Simetrik Bileşenleri

Sekil 2.7'den $V_b, V_c, V_d, V_e, V_f, V_g, V_h, V_i, V_j, V_k$ ve V_l simetrik bileşenleri V_a 'nın simetrik bileşenleri cinsinden aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\begin{aligned} V_{b1} &= c^{11} V_{a1} & ; & \quad V_{c1} = c^{10} V_{a1} \\ V_{b2} &= c^{10} V_{a2} & ; & \quad V_{c2} = c^8 V_{a2} \\ V_{b3} &= c^9 V_{a3} & ; & \quad V_{c3} = c^6 V_{a3} \\ V_{b4} &= c^8 V_{a4} & ; & \quad V_{c4} = c^4 V_{a4} \\ V_{b5} &= c^7 V_{a5} & ; & \quad V_{c5} = c^2 V_{a5} \\ V_{b6} &= c^6 V_{a6} & ; & \quad V_{c6} = V_{a6} \\ V_{b7} &= c^5 V_{a7} & ; & \quad V_{c7} = c^{10} V_{a7} \\ V_{b8} &= c^4 V_{a8} & ; & \quad V_{c8} = c^8 V_{a8} \\ V_{b9} &= c^3 V_{a9} & ; & \quad V_{c9} = c^6 V_{a9} \\ V_{b10} &= c^2 V_{a10} & ; & \quad V_{c10} = c^4 V_{a10} \\ V_{b11} &= c V_{a11} & ; & \quad V_{c11} = c^2 V_{a11} \\ V_{b0} &= V_{a0} & ; & \quad V_{c0} = V_{a0} \end{aligned} \tag{2.36}$$

Diğer fazlar için de benzer şekilde bağıntılar çıkarılabilir. Bu sebeple, (2.35), (2.36) da dikkate alınarak matris formunda

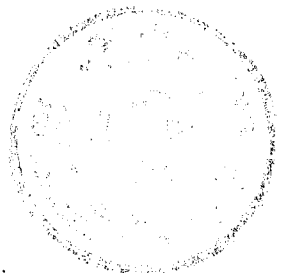


$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ V_d \\ V_e \\ V_f \\ V_g \\ V_h \\ V_i \\ V_j \\ V_k \\ V_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & c^{11} & c^{10} & c^9 & c^8 & c^7 & -1 & c^5 & c^4 & c^3 & c^2 & c \\ 1 & c^{10} & c^8 & -1 & c^4 & c^2 & 1 & c^{10} & c^8 & -1 & c^4 & c^2 \\ 1 & c^9 & -1 & c^3 & 1 & c^9 & -1 & c^3 & 1 & c^9 & -1 & c^3 \\ 1 & c^8 & c^4 & 1 & c^8 & c^4 & 1 & c^8 & c^4 & 1 & c^8 & c^4 \\ 1 & c^7 & c^2 & c^9 & c^4 & c^{11} & -1 & c & c^8 & c^3 & c^{10} & c^5 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & c^5 & c^{10} & c^3 & c^8 & c & -1 & c^{11} & c^4 & c^9 & c^2 & c^7 \\ 1 & c^4 & c^8 & 1 & c^4 & c^8 & 1 & c^4 & c^8 & 1 & c^4 & c^8 \\ 1 & c^3 & -1 & c^9 & 1 & c^3 & -1 & c^9 & 1 & c^3 & -1 & c^9 \\ 1 & c^2 & c^4 & -1 & c^8 & c^{10} & 1 & c^2 & c^4 & -1 & c^8 & c^{10} \\ 1 & c & c^2 & c^3 & c^4 & c^5 & -1 & c^7 & c^8 & c^9 & c^{10} & c^{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \\ V_{a3} \\ V_{a4} \\ V_{a5} \\ V_{a6} \\ V_{a7} \\ V_{a8} \\ V_{a9} \\ V_{a10} \\ V_{a11} \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

yazılır. Burada

$$[T_s] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & c^{11} & c^{10} & c^9 & c^8 & c^7 & -1 & c^5 & c^4 & c^3 & c^2 & c \\ 1 & c^{10} & c^8 & -1 & c^4 & c^2 & 1 & c^{10} & c^8 & -1 & c^4 & c^2 \\ 1 & c^9 & -1 & c^3 & 1 & c^9 & -1 & c^3 & 1 & c^9 & -1 & c^3 \\ 1 & c^8 & c^4 & 1 & c^8 & c^4 & 1 & c^8 & c^4 & 1 & c^8 & c^4 \\ 1 & c^7 & c^2 & c^9 & c^4 & c^{11} & -1 & c & c^8 & c^3 & c^{10} & c^5 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & c^5 & c^{10} & c^3 & c^8 & c & -1 & c^{11} & c^4 & c^9 & c^2 & c^7 \\ 1 & c^4 & c^8 & 1 & c^4 & c^8 & 1 & c^4 & c^8 & 1 & c^4 & c^8 \\ 1 & c^3 & -1 & c^9 & 1 & c^3 & -1 & c^9 & 1 & c^3 & -1 & c^9 \\ 1 & c^2 & c^4 & -1 & c^8 & c^{10} & 1 & c^2 & c^4 & -1 & c^8 & c^{10} \\ 1 & c & c^2 & c^3 & c^4 & c^5 & -1 & c^7 & c^8 & c^9 & c^{10} & c^{11} \end{bmatrix} \quad (2.38)$$

olarak tanımlanır. $[T_s]^{-1}$ ise



$$[T_s]^{-1} = \frac{1}{12} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & c^{11} & c^{10} & c^9 & c^8 & c^7 & -1 & c^5 & c^4 & c^3 & c^2 & c \\ 1 & c^{10} & c^8 & -1 & c^4 & c^2 & 1 & c^{10} & c^8 & -1 & c^4 & c^2 \\ 1 & c^9 & -1 & c^3 & 1 & c^9 & -1 & c^3 & 1 & c^9 & -1 & c^3 \\ 1 & c^8 & c^4 & 1 & c^8 & c^4 & 1 & c^8 & c^4 & 1 & c^8 & c^4 \\ 1 & c & c^7 & c^2 & c^9 & c^4 & -1 & c^{11} & c^8 & c^3 & c^{10} & c^5 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & c^5 & c^{10} & c^3 & c^8 & c & -1 & c^{11} & c^4 & c^9 & c^2 & c^7 \\ 1 & c^4 & c^8 & 1 & c^4 & c^8 & 1 & c^4 & c^8 & 1 & c^4 & c^8 \\ 1 & c^3 & -1 & c^9 & 1 & c^3 & -1 & c^9 & 1 & c^3 & -1 & c^9 \\ 1 & c^2 & c^4 & -1 & c^8 & c^{10} & 1 & c^2 & c^4 & -1 & c^8 & c^{10} \\ 1 & c & c^2 & c^3 & c^4 & c^5 & -1 & c^7 & c^8 & c^9 & c^{10} & c^{11} \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

şeklinde bulunur. (2.37)'nin her iki tarafı önden $[T_s]^{-1}$ ile çarpılırsa

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \\ V_{a3} \\ V_{a4} \\ V_{a5} \\ V_{a6} \\ V_{a7} \\ V_{a8} \\ V_{a9} \\ V_{a10} \\ V_{a11} \end{bmatrix} = \frac{1}{12} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & c & c^2 & c^3 & c^4 & c^5 & -1 & c^7 & c^8 & c^9 & c^{10} & c^{11} \\ 1 & c^2 & c^4 & -1 & c^8 & c^{10} & 1 & c^2 & c^4 & -1 & c^8 & c^{10} \\ 1 & c^3 & -1 & c^9 & 1 & c^3 & -1 & c^9 & 1 & c^3 & -1 & c^9 \\ 1 & c^4 & c^8 & 1 & c^4 & c^8 & 1 & c^4 & c^8 & 1 & c^4 & c^8 \\ 1 & c^5 & c^{10} & c^3 & c^8 & c & -1 & c^{11} & c^4 & c^9 & c^2 & c^7 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & c^7 & c^2 & c^9 & c^4 & c^{11} & -1 & c & c^8 & c^3 & c^{10} & c^5 \\ 1 & c^8 & c^4 & 1 & c^8 & c^4 & 1 & c^8 & c^4 & 1 & c^8 & c^4 \\ 1 & c^9 & -1 & c^3 & 1 & c^9 & -1 & c^3 & 1 & c^9 & -1 & c^3 \\ 1 & c^{10} & c^8 & -1 & c^4 & c^2 & 1 & c^{10} & c^8 & -1 & c^4 & c^2 \\ 1 & c^{11} & c^{10} & c^9 & c^8 & c^7 & -1 & c^5 & c^4 & c^3 & c^2 & c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ V_d \\ V_e \\ V_f \\ V_g \\ V_h \\ V_i \\ V_j \\ V_k \\ V_l \end{bmatrix} \quad (2.40)$$

elde edilir (Binsaroor and Tiwari, 1988 ; Pal and Singh 1985). Bu sonuç, asimetric oniki fazörün bilinmesi halinde bunlara ait simetrik bileşenlerin nasıl hesaplanacağını

gösterir.

Yukarıda gerilimler için yazılan matrisyel ifadeler, akımlar için (2.41) ve (2.42) ile aşağıdaki gibi özetlenebilir:

$$I_p = [T_s] I_s \quad (2.41)$$

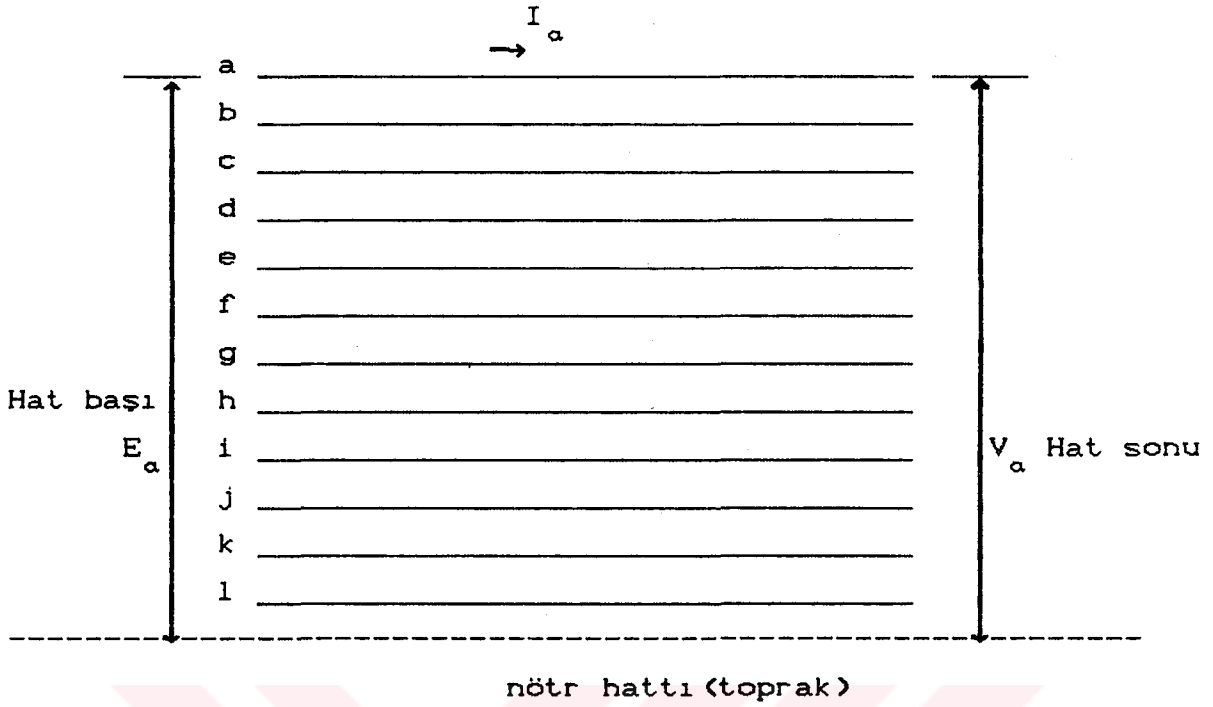
ve

$$I_s = [T_s]^{-1} I_p \quad (2.42)$$

2.3.3. Sequence Empedanslar

Oniki fazlı hattın faz empedans matrisi $[Z_p]$ Şekil 2.8 'den faydalanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$[Z_p] = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{ad} & Z_{ae} & Z_{af} & Z_{ag} & Z_{ah} & Z_{ai} & Z_{aj} & Z_{ak} & Z_{al} \\ Z_{ab} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bd} & Z_{be} & Z_{bf} & Z_{bg} & Z_{bh} & Z_{bi} & Z_{bj} & Z_{bk} & Z_{bl} \\ Z_{ac} & Z_{bc} & Z_{cc} & Z_{cd} & Z_{ce} & Z_{cf} & Z_{cg} & Z_{ch} & Z_{ci} & Z_{cj} & Z_{ck} & Z_{cl} \\ Z_{ad} & Z_{bd} & Z_{cd} & Z_{dd} & Z_{de} & Z_{df} & Z_{dg} & Z_{dh} & Z_{di} & Z_{dj} & Z_{dk} & Z_{dl} \\ Z_{ae} & Z_{be} & Z_{ce} & Z_{de} & Z_{ee} & Z_{ef} & Z_{eg} & Z_{eh} & Z_{ei} & Z_{ej} & Z_{ek} & Z_{el} \\ Z_{af} & Z_{bf} & Z_{cf} & Z_{df} & Z_{ef} & Z_{ff} & Z_{fg} & Z_{fh} & Z_{fi} & Z_{fj} & Z_{fk} & Z_{fl} \\ Z_{ag} & Z_{bg} & Z_{cg} & Z_{dg} & Z_{eg} & Z_{fg} & Z_{gg} & Z_{gh} & Z_{gi} & Z_{gj} & Z_{gk} & Z_{gl} \\ Z_{ah} & Z_{bh} & Z_{ch} & Z_{dh} & Z_{eh} & Z_{fh} & Z_{gh} & Z_{hh} & Z_{hi} & Z_{hj} & Z_{hk} & Z_{hl} \\ Z_{ai} & Z_{bi} & Z_{ci} & Z_{di} & Z_{ei} & Z_{fi} & Z_{gi} & Z_{hi} & Z_{ii} & Z_{ij} & Z_{ik} & Z_{il} \\ Z_{aj} & Z_{bj} & Z_{cj} & Z_{dj} & Z_{ej} & Z_{fj} & Z_{gj} & Z_{hj} & Z_{ij} & Z_{jj} & Z_{jk} & Z_{jl} \\ Z_{ak} & Z_{bk} & Z_{ck} & Z_{dk} & Z_{ek} & Z_{fk} & Z_{gk} & Z_{hk} & Z_{ik} & Z_{jk} & Z_{kk} & Z_{kl} \\ Z_{al} & Z_{bl} & Z_{cl} & Z_{dl} & Z_{el} & Z_{fl} & Z_{gl} & Z_{hl} & Z_{il} & Z_{jl} & Z_{kl} & Z_{ll} \end{bmatrix} \quad (2.43)$$



Sekil 2.8. Oniki fazlı hattın şematik gösterilişi.

Eğer hat tamamen transpoze edilmiş veya transpoze edildiği kabul edilirse, faz empedans matrisi (2.44)'deki gibi yazılır:

$$[Z_p] = \begin{bmatrix} Z_{ss} & Z_{sm} \\ Z_{sm} & \end{bmatrix} \quad (2.44)$$

Transpoze edilmiş iletim hatları için gerilim düşümü ise

$$\begin{bmatrix} E_a - V_a \\ E_b - V_b \\ \vdots \\ E_l - V_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta V_a \\ \Delta V_b \\ \vdots \\ \Delta V_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{ss} & Z_{sm} \\ Z_{sm} & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ \vdots \\ I_l \end{bmatrix} \quad (2.45)$$

olarak yazılabilir. Burada Z_{ss} self, Z_{sm} karşılıklı empedansları göstermektedir. (2.45) kısa formda

$$E_p - V_p = \Delta V_p = [Z_p] I_p \quad (2.46)$$

olarak gösterilebilir. (2.37) ve (2.40), (2.46)'da yerine konursa

$$[T_s] \Delta V_s = [Z_p] [T_s] I_s \quad (2.47)$$

veya

$$\Delta V_s = [T_s]^{-1} [Z_p] [T_s] I_s \quad (2.48)$$

$$\Delta V_s = [Z_s] I_s \quad (2.49)$$

olarak bulunur.

(2.47)'nin açık ifadesi

$$\begin{bmatrix} \Delta V_{a0} \\ \Delta V_{a1} \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta V_{a11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -V_{a0} \\ E_{a1} & -V_{a1} \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ 0 & -V_{a11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{ss} + 11Z_{sm} & & & \\ & Z_{ss} - Z_{sm} & & \\ & & 0 & \\ & & & \ddots \\ 0 & & & & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ \vdots \\ \vdots \\ I_{a11} \end{bmatrix} \quad (2.50)$$

dir. (2.50), aşağıdaki gibi de yazılabilir:

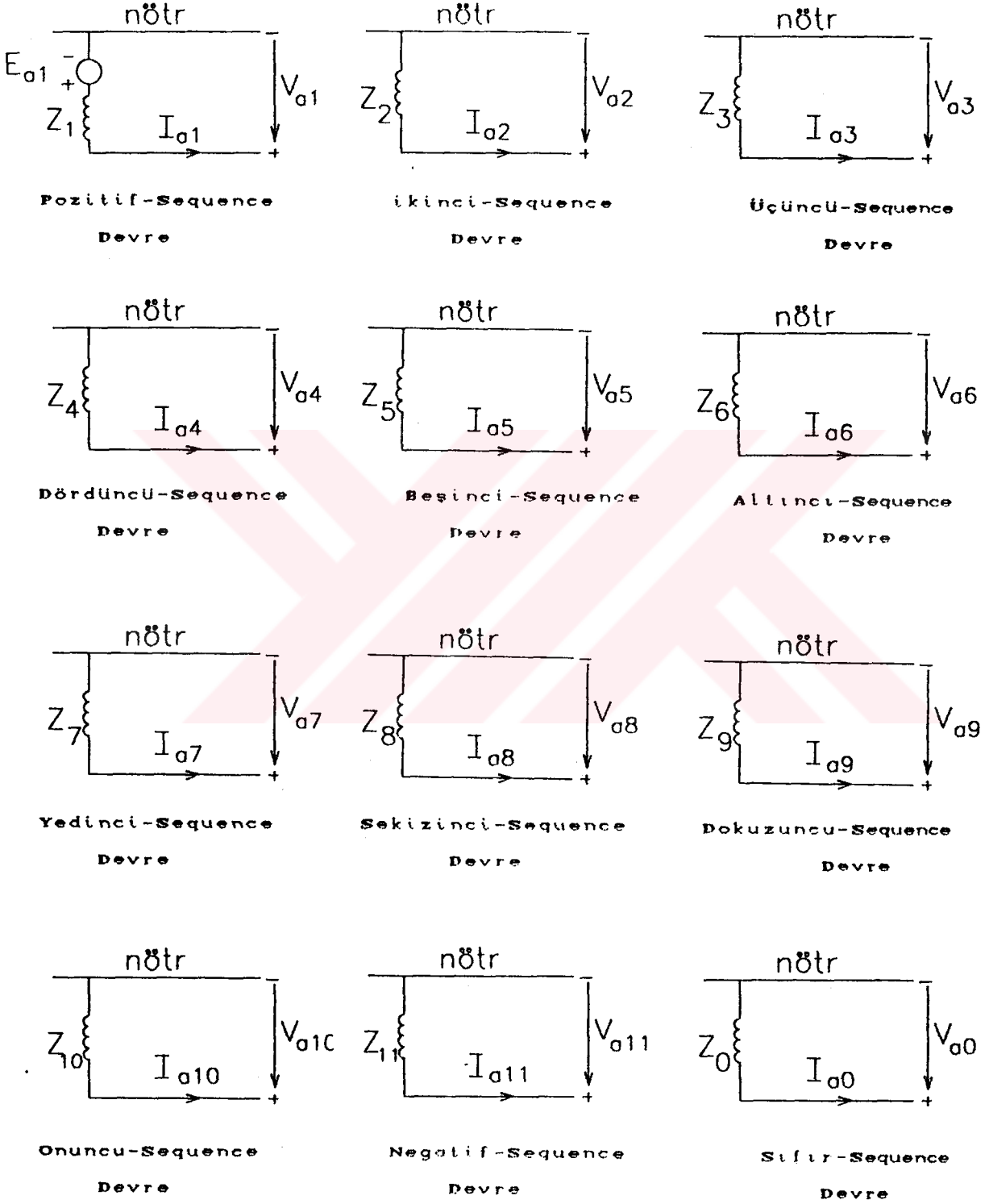
$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ \vdots \\ \vdots \\ V_{a11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ E_{a1} \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & & & & \\ & Z_1 & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & 0 & \\ & & & & Z_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ \vdots \\ \vdots \\ I_{a11} \end{bmatrix} \quad (2.51)$$

(2.51) matrisyel ifadesinde, genellikle kaynak dengeli olduğundan sadece E_{a1} mevcuttur. (2.48)'deki $[T_s]^{-1}[Z_p][T_s]$ ifadesi, $[Z_p]$ faz empedans matrisini diagonal yapmak suretiyle diagonal sequence empedans matrisi $[Z_s]$ 'e dönüştüren benzerlik dönüşümünden başka birşey değildir. Sequence empedanslar sırasıyla $Z_0 = Z_{ss} + 11Z_{sm}$ ve $Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_4 = Z_5 = Z_6 = Z_7 = Z_8 = Z_9 = Z_{10} = Z_{11} = Z_{ss} - Z_{sm}$ dir (Binsaroor and Tiwari, 1988 ; Pal and Singh, 1985).

2.3.4 Sequence Devreler

Şekil 2.8'de gösterilen oniki fazlı hattın sequence devreleri Şekil 2.9'daki gibidir.

Şekil 2.9'da, $I_{a1}, I_{a2}, I_{a3}, I_{a4}, I_{a5}, I_{a6}, I_{a7}, I_{a8}, I_{a9}, I_{a10}, I_{a11}$ ve I_{a0} hattın sequence akımlarıdır. Bu akımların mevcudiyeti sistemin dengesizliğine bağlıdır. Diğer bir ifade ile, sistem dengesizse sequence akımlar meydana gelecektir.



Şekil 2.9. Oniki fazlı hattın sequence devreleri.

BÖLÜM 3

ÜÇ VE ÇOK FAZLI SİSTEMLERDE ARIZA ANALİZİ

3.1 Üç Fazlı Sistemlerde Arıza Analizi

Elektrik tesislerinde generatörlerden tüketicilere kadar olan üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde yalıtımın bozulması, çıplak iletkenlerin birbiri ile veya nötrü topraklanmış sistemlerde bir faz iletkenin nötr hattı veya toprakla temas etmesine kısa devre denir.

Herhangi bir hat üzerinden gerilim kaynağına bağlı bulunan bir tüketici, normal işletme şartlarında kaynağın, hattın ve tüketicinin empedanslarının toplamına bağlı olarak ohm kanunu gereğince bir akım çeker. Akım kaynaklarının empedansları ve hat empedansları genellikle küçüktür. Dolayısıyla tüketici akımını daha ziyade tüketicinin empedansı, yani gücü tayin eder. Tüketicii besleyen hat üzerinde bir kısa devre meydana geldiğinde tüketici devreden çıkar, geriye yalnız akım kaynağının iç empedansı ile hat empedansından meydana gelen kısa bir devre kalır ki, bunun toplam empedansı çok küçük olduğundan ohm kanunu gereğince devreden çok büyük bir akım geçer; buna kısa devre akımı denir. Üç fazlı elektrik şebekesinde meydana gelebilecek kısa devreler;

- _ Üç faz-toprak arızası
- _ Üç faz arızası
- _ Tek faz-toprak arızası
- _ İki faz-toprak arızası
- _ İki faz arızası

şeklinde gruplanabilir.

Bu kısa devrelerden ilk ikisi simetrik, diğerleri asimetrik kısa devrelerdir. Simetrik arızalarda şebekenin

analizi sistemin tek faz eşdeğer devresi üzerinden yapılır. Asimetrik arızalar analizinde ise simetrik bileşenler teorisi kullanılır.

Bu bilgiler koruma sistemlerinin tasarımı ve kullanılacak kesicilerin belirlenmesi için gereklidir. Ayrıca transformatör istasyonlarındaki toplayıcı baraların, kısa devre akımları neticesinde meydana gelecek elektrodinamik kuvvetlere karşı dayanabilecek şekilde tesbit edilebilmeleri ve boyutlarının belirlenmesi de kısa devre akımlarının bilinmesine bağlıdır (Çakır, 1986 ; Stewenson, 1975).

3.1.1 Kısa Devre Hesaplarında Yapılan Kabuller

Enerji güç sistemlerine ait kısa devre hesaplarında aşağıdaki kabuller dikkate alınır:

1-Her makina, bir gerilim kaynağı ile beraber seri olarak makinanın transient veya subtransient reaktansı ile gösterilir.

2-Bütün statik yükler, omik dirençler, transformatörlerin mıknatıslanma akımları ve iletim hatlarının kapasitif akımları (kısa devre akımı yanında çok küçük kaldıkları için) ihmal edilebilir.

3-Bütün transformatörlerin, nominal gerilim kademelerinde çalıştığı kabul edilir.

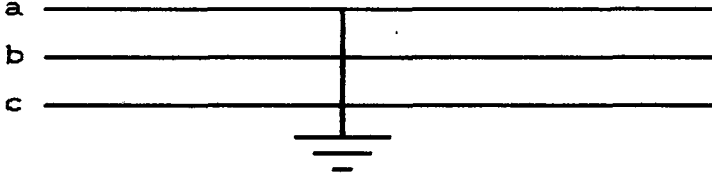
4-Hatların direnci reaktanslarının $1/6$ sından küçükse ihmal edilerek, hat sadece reaktansı ile gösterilir.

Ayrıca kısa devre incelemelerinde arızadan önce bütün bara gerilimlerinin nominal değerlerinde olduğu varsayılır.

3.1.2 Simetrik Arızalar

3.1.2.1 Uç Faz-Toprak Arızası

Uç fazlı bir enerji iletim sistemine ait uç faz-toprak arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.1'deki gibidir.



Şekil 3.1. Uç faz-toprak arızasının şematik gösterilmesi.

Bu durum için arıza şartları Şekil 3.1'den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir (Bergen, 1986 ; Weedy, 1979):

$$V_a = V_b = V_c = 0 \quad (3.1)$$

Bu şartları (2.6) denkleminde yerine konulursa

$$V_{a0} = V_{a1} = V_{a2} = 0 \quad (3.2)$$

elde edilir. Bu elde edilen sonuç, (2.17) denkleminde yerine yazılır ve çözülürse;

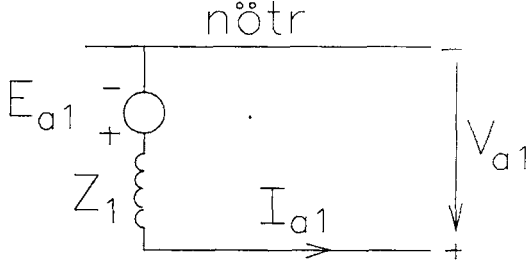
$$I_a = I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_1} \quad (3.3)$$

olarak bulunur.

(3.3) denkleminde de görüldüğü gibi, uç faz-toprak arızası dengeli bir arıza olduğundan sadece pozitif



sequence devre, yani sistemin tek faz eşdeğer devresi hesaplarda dikkate alınır. Bu duruma ait eşdeğer devre Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Uç faz-toprak arızası için eşdeğer devre.

3.1.2.2 Uç Faz Arızası



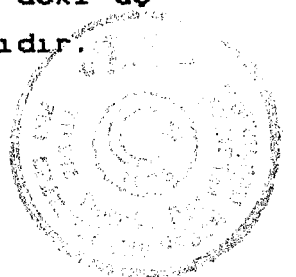
Şekil 3.3. Uç faz arızasının şematik gösterilmesi.

Bu durum için arıza şartları Şekil 3.3'den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$V_a = V_b = V_c \quad (3.4)$$

Bu şartlar (2.6) denkleminde yerine konulursa (3.2) denkleminin aynısı elde edilir. (3.2) denklemi (2.17) denkleminde yerine yazılırsa (3.3) denklemi ile aynı sonuç bulunur.

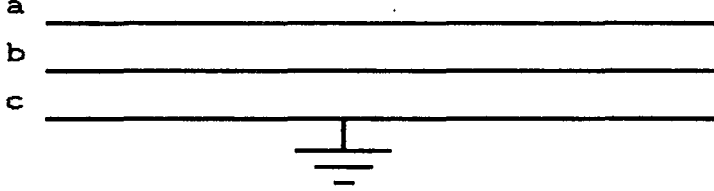
Uç faz arızasına ait eşdeğer devre, Şekil 3.2'deki uç faz-toprak arızası için verilen eşdeğer devre ile aynıdır.



3.1.3 Asimetrik Arızalar

3.1.3.1 Tek Faz-Toprak Arızası

Üç fazlı bir enerji iletim sistemine ait tek faz-toprak arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.4'deki gibidir.



Şekil 3.4. Tek faz-toprak arızasının şematik gösterilişi.

Bu durum için arıza şartları Şekil 3.4'den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir (Bergen, 1986):

$$I_b = I_c = 0 \quad ; \quad V_a = 0 \quad (3.5)$$

Bu şartlar, (2.8) denkleminde yerine konursa

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} = \frac{I_a}{3} \quad (3.6)$$

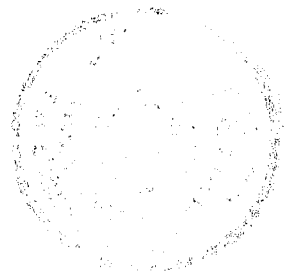
bulunur. Bu sonuç (2.17) denkleminde yerine konularak I_{a1} 'e göre çözülürse;

$$I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \quad (3.7)$$

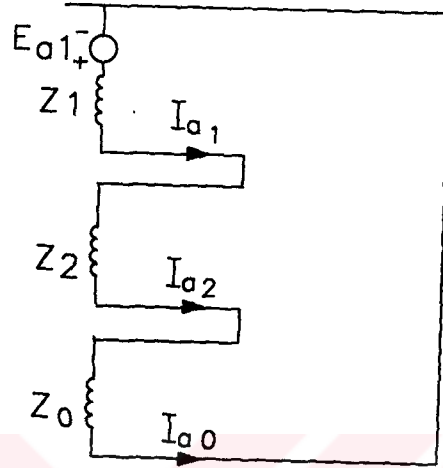
ve

$$I_a = 3 I_{a1} \quad (3.8)$$

elde edilir.



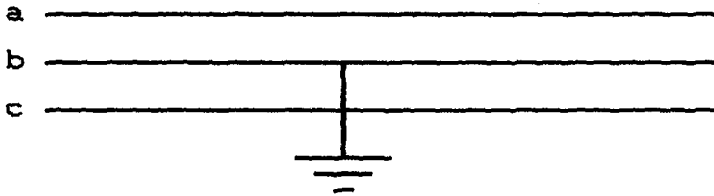
Elde edilen (3.7) denklemi bu arıza tipi için sequence devrelerin Şekil 3.5'deki gibi bağlanması gerektiğini gösterir.



Şekil 3.5. Tek faz- toprak arızası için sequence devrelerin bağlanması.

3.1.3.2 İki Faz-Toprak Arızası

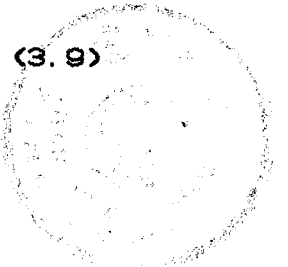
Uç fazlı bir enerji iletim sistemine ait iki faz-toprak arızasının sematik gösterilişi Şekil 3.6'deki gibidir.



Şekil 3.6. İki faz-toprak arızası için sematik gösteriliş.

Bu durum için arıza şartları Şekil 3.6'dan da görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$V_b = V_c = 0 \quad ; \quad I_a = 0$$



Bu şartlar (2.6) denkleminde yerine konursa

$$V_{a0} = V_{a1} = V_{a2} = \frac{1}{3} V_a \quad (3.10)$$

bulunur. (3.10) eşitliği (2.17) denkleminde yerine konur ve V_{a1} dikkate alınarak çözülürse,

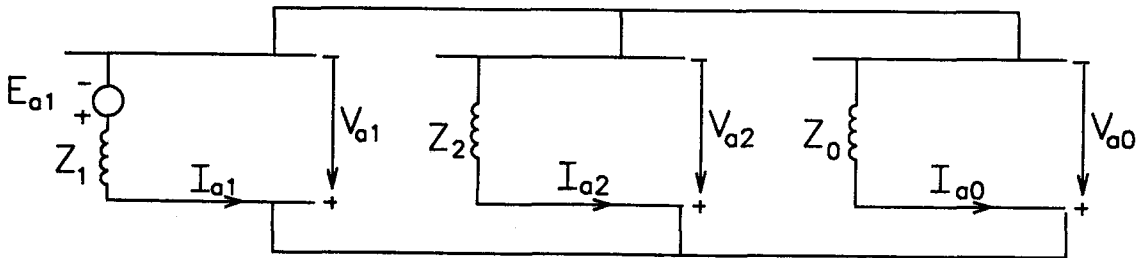
$$V_{a1} = V_{a2} = V_{a0} = E_{a1} - I_{a1} Z_1$$

olarak elde edilir. Yukarıdaki Sonuçlar (2.17) denkleminde tekrar yerine konularak, elde edilen (3.11) denkleminin her iki tarafı Z^{-1} ile çarpılır ve I_{a1} 'e göre çözülürse

$$\begin{bmatrix} E_{a1} - I_{a1} Z_1 \\ E_{a1} - I_{a1} Z_1 \\ E_{a1} - I_{a1} Z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ E_{a1} \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

$$I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_1 + \frac{Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0}} \quad (3.12)$$

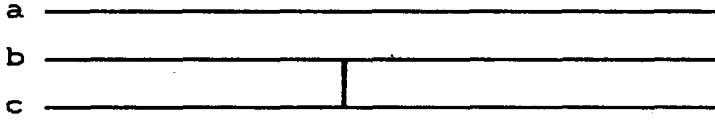
Şeklinde bulunur. Elde edilen (3.12) denklemi bu arıza tipi için sequence devrelerin Şekil 3.7' deki gibi bağlanması gerektiğini gösterir.



Şekil 3.7. İki faz-toprak arızası için sequence devrelerin bağlanması.

3.1.3.3 İki Faz Arızası

Üç fazlı bir enerji iletim sistemine ait iki faz arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.8'deki gibidir.



Şekil 3.8. İki faz arızasının şematik gösterilişi.

Bu durum için arıza şartları Şekil 3.8'den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$V_b = V_c \quad ; \quad I_a = 0 \quad ; \quad I_b = -I_c \quad (3.13)$$

Bu şartlar (2.6) denkleminde yerine konursa;

$$V_{a0} = \frac{1}{3} V_a + \frac{2}{3} V_b \quad (3.14)$$

$$V_{a1} = V_{a2} = \frac{1}{3} V_a - \frac{2}{3} V_b$$

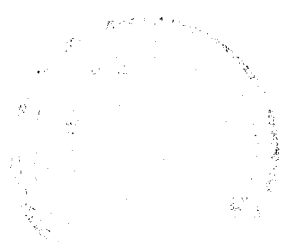
olarak bulunur. $I_b = -I_c$ ve $I_a = 0$ olduğundan akımın simetrik bileşenleri (2.8) denkleminde;

$$I_{a0} = 0$$

$$I_{a1} = \frac{I_c}{3} (a^2 - a) \quad (3.15)$$

$$I_{a2} = \frac{I_c}{3} (a - a^2)$$

olarak elde edilir. Buradan da görüleceği gibi;



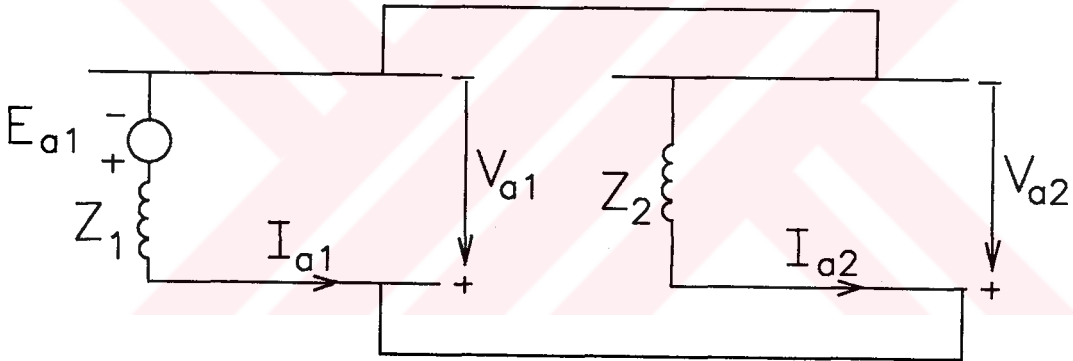
$$I_{a0} = 0 ; \quad I_{a2} = -I_{a1}$$

şeklindedir. Bulunan bu değerler (2.17) denkleminde yerine yazılıp I_{a1} 'e göre çözülürse;

$$I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_1 + Z_2} \quad (3.16)$$

olarak bulunur (Weedy, 1979).

Elde edilen (3.16) denklemi, bu arıza tipi için sequence devrelerin Şekil 3.9'deki gibi bağlanması gerektiğini gösterir.



Şekil 3.9. İki faz arızası için sequence devrelerin bağlantısı.

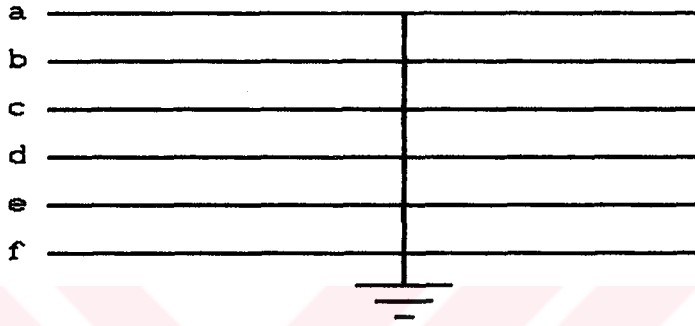
3.2 Altı Fazlı Sistemlerde Arıza Analizi

Bu kısımda altı fazlı enerji iletim sistemlerine ait simetrik ve asimetrik arızaların simetrik bileşenler teorisi uygulanarak akım ve gerilim ifadeleri çıkarılacaktır (Nanda et al., 1981 ; Bhatt et al., 1977 ; Stewart, 1988 ; Grande, 1987 ; Saroor and Tiwari, 1990 ; Gross and Thompson, 1985 ; Guyker et al., 1982 ; Tiwari and Singh, 1983 ; Ramar et al., 1988 ; Chandrasekaran and Broadwater, 1988).

3.2.1 Simetrik Arızalar

3.2.1.1 Altı Faz-Toprak Arızası

Altı fazlı bir enerji iletim sistemine ait altı faz-toprak arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.10'daki gibidir.



Şekil 3.10. Altı faz-toprak arızasının şematik gösterilişi.

Bu durum için arıza şartları Şekil 3.10' dan da görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$V_a = V_b = V_c = V_d = V_e = V_f = 0 \quad (3.17)$$

Bu şartlar (2.23) denkleminde yerine konursa;

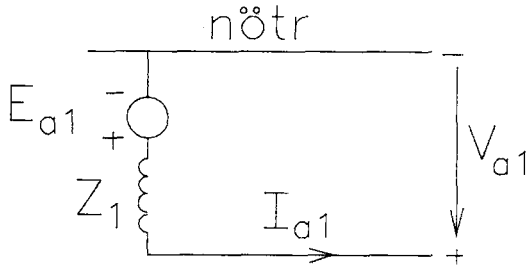
$$V_{a0} = V_{a1} = V_{a2} = V_{a3} = V_{a4} = V_{a5} = 0 \quad (3.18)$$

olarak bulunur. Bu sonuçları (2.34) denkleminde yerine konulup I_{a1} e göre çözüldüğünde;

$$I_a = I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_1} \quad (3.19)$$

elde edilir.

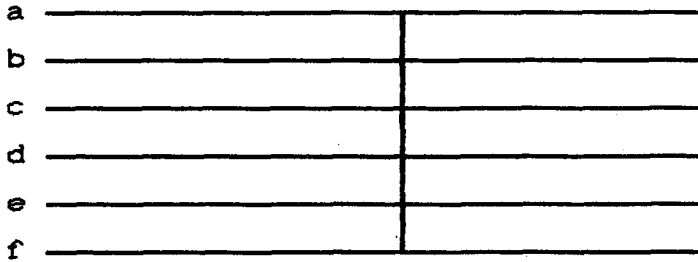
(3.19) denkleminde de görüldüğü gibi altı faz-toprak arızası dengeli bir arıza olduğundan, sadece pozitif sequence devre yani sistemin tek faz eşdeğer devresindeki büyüklükler dikkate alınır. Bu arıza tipi için sequence devre Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Altı faz-toprak arızası için eşdeğer devre.

3.2.1.2 Altı Faz Arızası

Sematik olarak 3.12'de verilen altı faz arızası altı faz -toprak arızası ile aynı özelliğe sahiptir.



Şekil 3.12. Altı faz arızasının sematik gösterilişi.

çözülürse

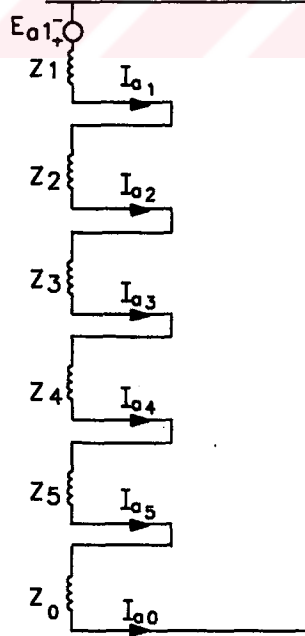
$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = I_{a3} = I_{a4} = I_{a5} = \frac{I_a}{6} \quad (3.22)$$

bulunur. Elde edilen bu sonuç denklem (2.34)'de yerine konur ve I_{a1} 'e göre çözülürse;

$$I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5} \quad (3.23)$$

$$I_a = 6I_{a1} \quad (3.24)$$

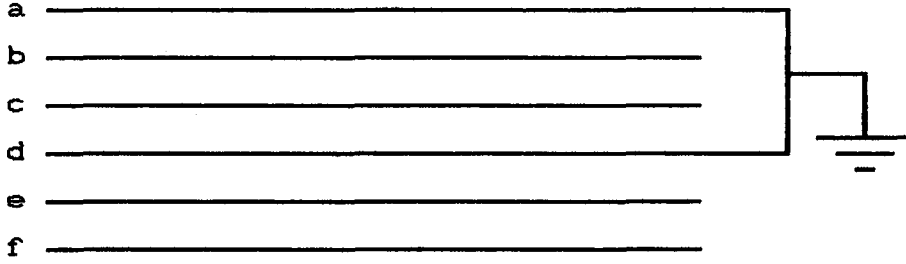
eşitlikleri elde edilir. Bulunan (3.23) denklemi, bu arıza tipi için sequence devrelerin Şekil 3.14'deki gibi bağlanması gerektiğini gösterir.



Şekil 3.14. Tek faz-toprak arızası için sequence devrelerin bağlantısı.

3.2.2.2 İki Faz-Toprak Arızası

Altı fazlı bir enerji iletim sistemine ait iki faz-toprak arızasının şematik gösterilimi Şekil 3.15'deki gibidir.



Şekil 3.15. İki faz-toprak arızasının şematik gösterilişi.

Bu tip arızanın a ve d fazlarında olduğu kabul edilmiştir. Bu durum için arıza şartları Şekil 3.15'den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$V_a = V_d = 0 \quad ; \quad I_b = I_c = I_e = I_f = 0 \quad (3.25)$$

Arıza şartları denklem (2.23) ve (2.25)'de yerine yazılırsa;

$$I_{a0} = I_{a2} = I_{a4} = (I_a + I_d)/6 \quad (3.26)$$

$$I_{a1} = I_{a3} = I_{a5} = (I_a - I_d)/6$$

$$V_{a1} + V_{a3} + V_{a5} = 0 \quad (3.27)$$

$$V_{a0} + V_{a2} + V_{a4} = 0$$

eşitlikleri elde edilir.

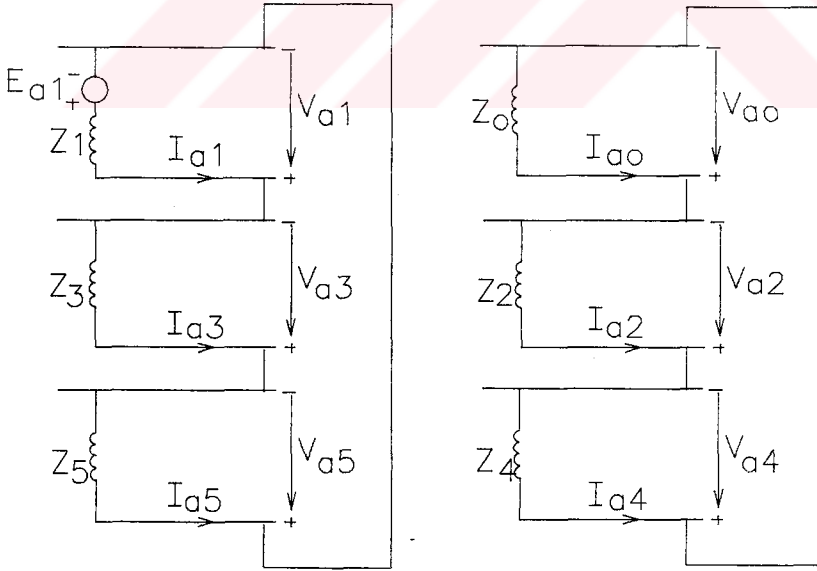
Sequence akım değerlerinin (2.34) denkleminde yerine yazılması ve gerekli düzenlemelerin yapılması ile

$$I_{a0} = I_{a2} = I_{a4} = 0 \quad (3.28)$$

$$I_{a1} = I_{a3} = I_{a5} = \frac{E_{a1}}{Z_1 + Z_3 + Z_5} \quad (3.29)$$

eşitlikleri elde edilir.

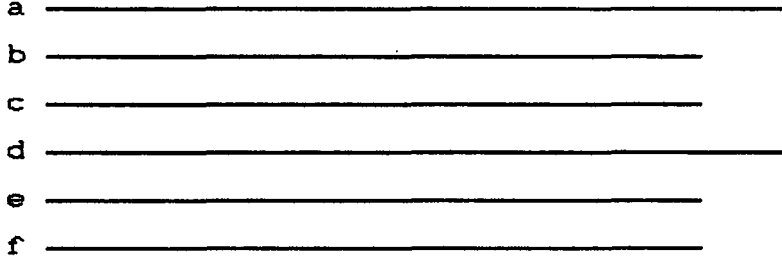
Elde edilen (3.29) denklemi, bu arıza tipi için sequence devrelerin Şekil 3.16'deki gibi bağlanması gerektiğini gösterir.



Şekil 3.16. İki faz-toprak arızası için sequence devrelerinin bağlantısı.

3.2.2.3 İki Faz Arızası

Altı fazlı bir enerji iletim sistemine ait iki faz arızasının şematik gösterilimi Şekil 3.17'deki gibidir.



Şekil 3.17. İki faz arızasının şematik gösterilişi.

Bu durum için arıza şartları Şekil 3.17'den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$I_a + I_d = 0 \quad ; \quad I_b = I_c = I_e = I_f = 0 \quad \text{ve} \quad V_a = V_d = V_a \quad (3.30)$$

şeklindedir. Bu arıza şartları denklem (2.25)'de yerine konularak çözülürse;

$$I_{a0} = I_{a2} = I_{a4} = 0 \quad (3.31)$$

$$I_{a1} = I_{a3} = I_{a5} = (I_a - I_d)/6$$

elde edilir.

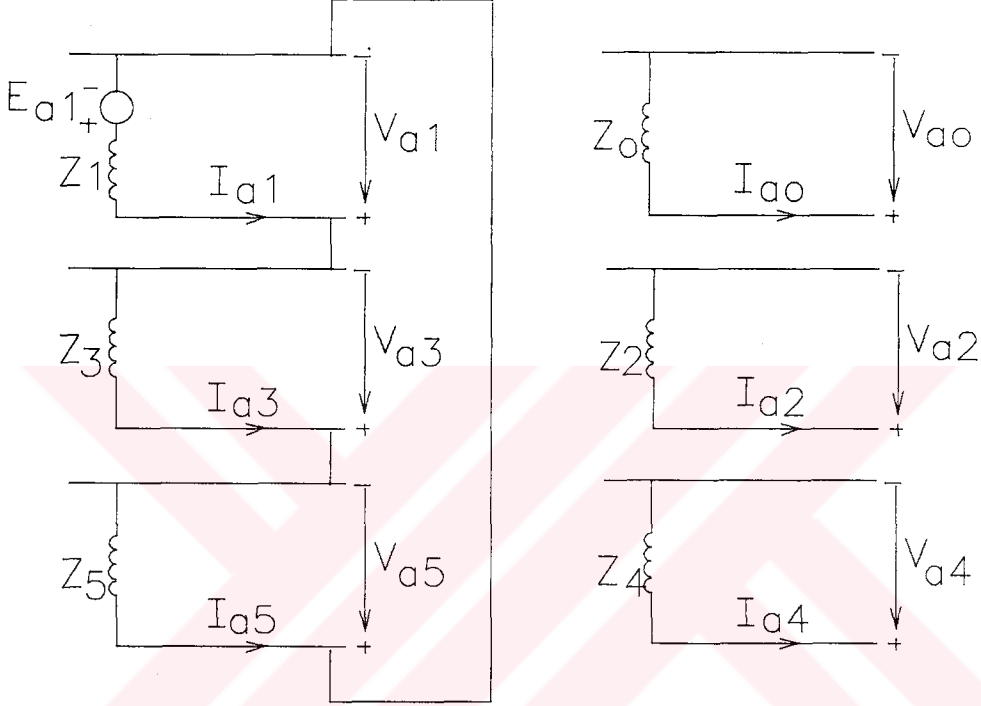
$$V_a = V_d \quad \text{şartı} \quad \text{denklem} \quad (2.23)'de \quad dikkate \quad alınarak$$

denklemler düzenlenirse;

$$V_{a1} + V_{a3} + V_{a5} = 0 \quad (3.32)$$

olarak bulunur. Sequence akım değerlerinin (2.34) denkleminde yerine konularak gerekli düzenlemelerin yapılması sonunda (3.29) ile aynı sonuç bulunur.

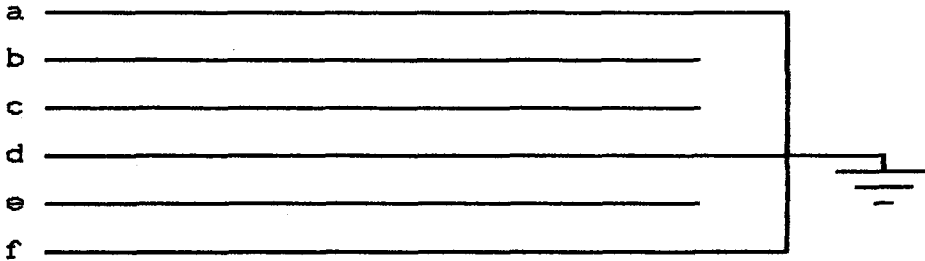
İki faz arızasına ait sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.18 'deki gibidir.



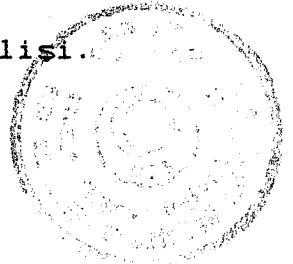
Şekil 3.18. İki faz arızası için sequence devrelerin bağlantısı.

3.2.2.4 Üç Faz-Toprak Arızası

Altı fazlı bir enerji iletim sistemine ait üç faz-toprak arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.19'deki gibidir.



Şekil 3.19. Üç faz-toprak arızasının şematik gösterilişi.



Bu tip arızanın a, d ve f fazlarında olduğu kabul edilmiştir. Bu durum için arıza şartları Şekil 3.19'dan da görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$V_b = V_d = V_f = 0 ; \quad I_a = I_c = I_e = 0 \quad (3.33)$$

Arıza şartları (2.23) denkleminde yerine konur ve çözülürse;

$$V_{a0} = V_{a3} ; \quad V_{a1} = V_{a4} ; \quad V_{a2} = V_{a5} \quad (3.34)$$

olarak bulunur. $I_a = I_c = I_e = 0$ değerleri (2.25) denkleminde yerine konularak çözülürse;

$$I_{a0} = -I_{a3} ; \quad I_{a1} = -I_{a4} ; \quad I_{a2} = -I_{a5} \quad (3.35)$$

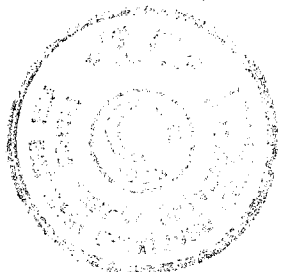
elde edilir. Bu sonuçların denklem (2.34)'de yerine konularak çözülmesi ile de

$$I_{a0} = I_{a2} = I_{a3} = I_{a5} = 0 \quad (3.36)$$

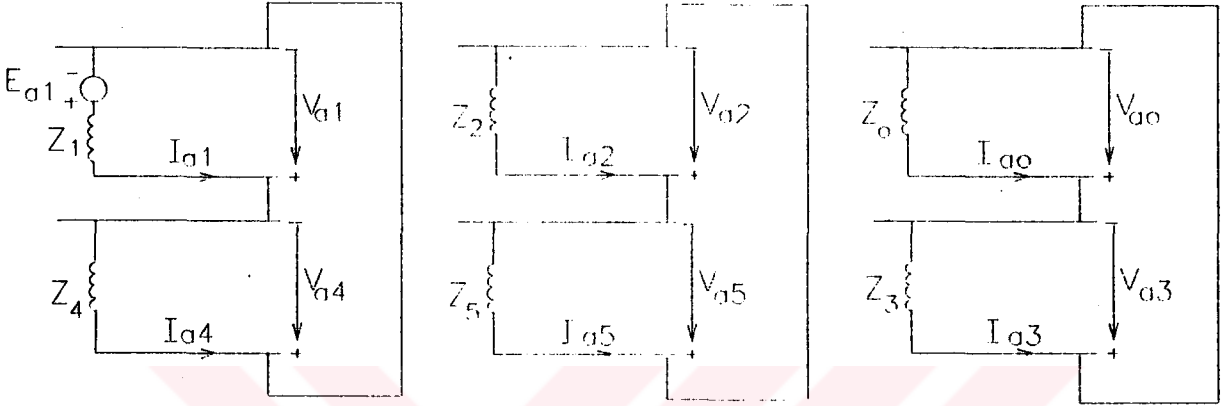
ve

$$I_{a1} = -I_{a4} = \frac{E_{a1}}{Z_1 + Z_4} \quad (3.37)$$

eşitlikleri elde edilir.



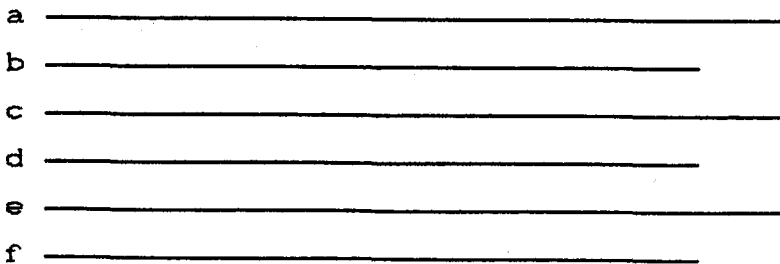
Bulunan (3.37) denklemi, bu arıza tipi için sequence devrelerinin Şekil 3.20'deki gibi bağlanması gerektiğini gösterir.



Şekil 3.20. Uç faz-toprak arızası için sequence devrelerinin bağlantısı.

3.2.2.5 Uç Faz Arızası

Altı fazlı bir enerji iletim sistemine ait uç faz arızasının şematik gösterilimi Şekil 3.21'deki gibidir.



Şekil 3.21. Uç faz arızasının şematik gösterilişi.



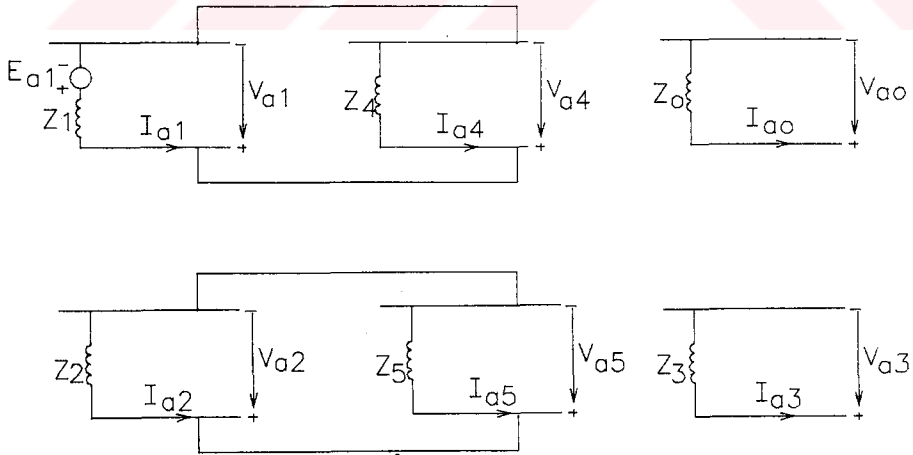
Bu tip arızanın a, c ve e fazlarında olduğu kabul edilmiştir. Bu durum için arıza şartları Şekil 3.21'den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$V_a = V_c = V_e ; I_b = I_d = I_f = 0 ; I_a + I_c + I_e = 0 \quad (3.38)$$

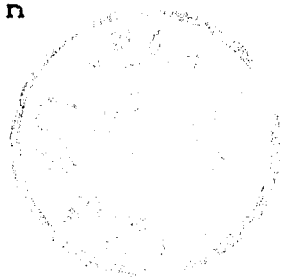
Arıza şartlarının (2.23) denkleminde yerine konularak çözülmesi ile (3.34) denklemleriyle aynı sonuç bulunur.

$I_a = I_c = I_e = 0$ şartların (2.25) denkleminde yerine yazılmasıyla (3.35) ile aynı sonuca varılır. Bu sonuçların denklem (2.34)'de yerine konulup çözülmesi ile de (3.36) ve (3.37) denklemleri elde edilmektedir.

Üç faz arızasına ait sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.22 'deki gibidir.

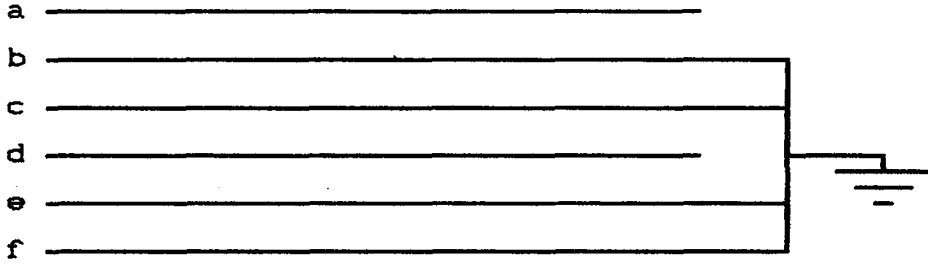


Şekil 3.22. Üç faz arızası için sequence devrelerin bağlantısı.



3.2.2.6 Dört Faz-Toprak Arızası

Altı fazlı bir enerji iletim sistemine ait dört faz-toprak arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.23'deki gibidir.



Şekil 3.23. Dört faz-toprak arızasının şematik gösterilişi.

Arızanın b, c, e ve f fazlarında olduğunu kabul edilmiştir. Bu durum için arıza şartları Şekil 3.23'den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$I_a = I_d = 0 \quad ; \quad V_b = V_c = V_e = V_f = 0 \quad (3.39)$$

$I_a = I_d = 0$ şartı denklem (2.23)'de yerine konulur ve

çözülürse;

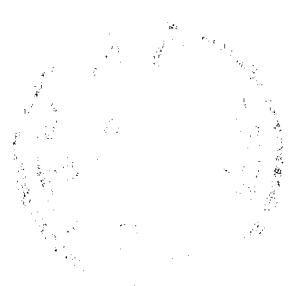
$$I_{a0} + I_{a2} + I_{a4} = 0 \quad (3.40)$$

$$I_{a1} + I_{a3} + I_{a5} = 0$$

bulunur.

$$V_b = V_c = V_e = V_f = 0$$

şartlarının denklem (2.23)'de yerine yazılması ve çözülmesi ile de



$$V_{a1} = V_{a3} = V_{a5} \quad (3.41)$$

$$V_{a0} = V_{a2} = V_{a4} \quad (3.42)$$

eşitlikleri elde edilir. (2.34) denkleminde V_{a1} çözülürse

$$V_{a1} = E_{a1} - Z_1 I_{a1}$$

bulunur. Sonuçlar (2.34)'de tekrar yerine konulur ve elde edilen (3.43) denkleminin her iki tarafı Z^{-1} ile çarpılıp I_{a1} 'e göre çözülürse;

$$\begin{bmatrix} -Z_0 I_{a0} \\ E_{a1} - Z_1 I_{a1} \\ -Z_0 I_{a0} \\ E_{a1} - Z_1 I_{a1} \\ -Z_0 I_{a0} \\ E_{a1} - Z_1 I_{a1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ E_{a1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Z_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Z_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \\ I_{a3} \\ I_{a4} \\ I_{a5} \end{bmatrix} \quad (3.43)$$

matris eşitliği ve buradan

$$I_{a1} = \frac{E_{a1} (Z_3 + Z_5)}{Z_3 Z_5 + Z_1 Z_3 + Z_1 Z_5} \quad (3.44)$$

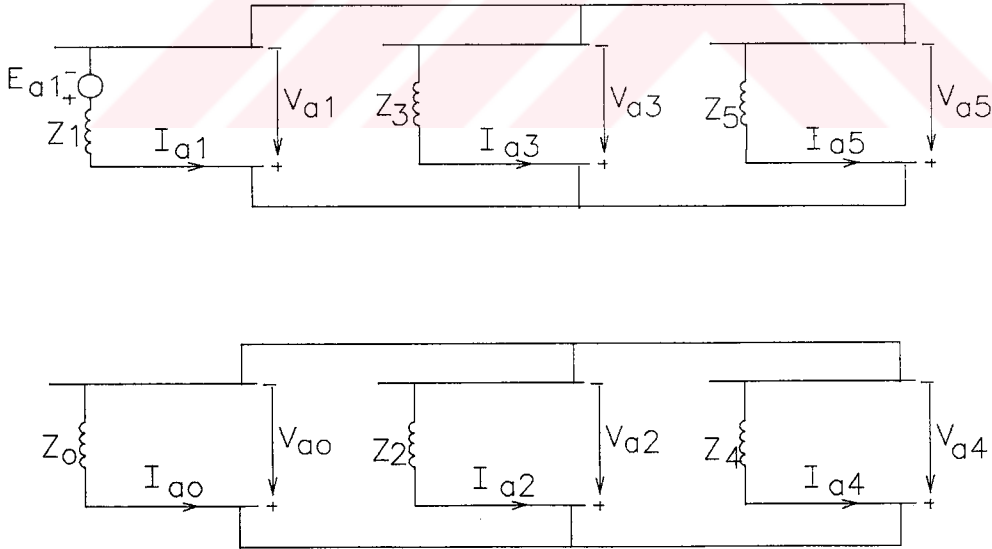
bulunur. Ayrıca benzer işlemler yapılarak

$$I_{a3} = \frac{-E_{a1} Z_5}{Z_3 Z_5 + Z_1 Z_3 + Z_1 Z_5} \quad (3.45)$$

$$I_{a5} = \frac{-E_{a1} Z_3}{Z_3 Z_5 + Z_1 Z_3 + Z_1 Z_5} \quad (3.46)$$

eşitlikleri elde edilir.

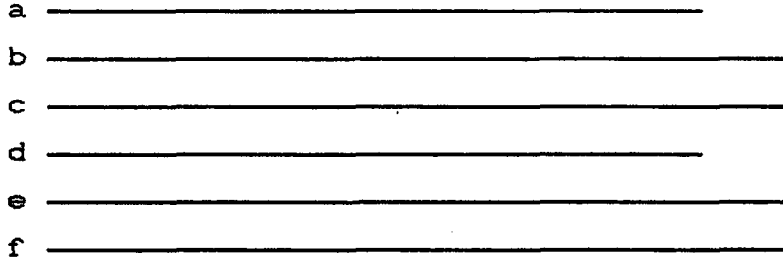
Yukarıda bulunan sequence akım ve gerilim denklemleri, bu arıza tipi için sequence devrelerin Şekil 3.24' deki gibi bağlanması gerektiğini gösterir.



Şekil 3.24. Dört faz-toprak arızası için sequence devrelerin bağlantısı.

3.2.2.7 Dört Faz Arızası

Altı fazlı bir enerji iletim sistemine ait dört faz arızasının şematik gösterilimi Şekil 3.25'deki gibidir.



Şekil 3.25. Dört faz arızasının şematik gösterilişi.

Bu durum için arıza şartları Şekil 3.25' den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$I_a = I_d = 0 \quad ; \quad V_b = V_c = V_e = V_f = V_b \quad ; \quad I_b + I_c + I_e + I_f = 0 \quad (3.47)$$

Bu arıza şartlarının (2.23) ve (2.25) denklemlerinde yerlerine konulup çözülmesi ile (3.40), (3.41) ve (3.42) denklemlerinin aynısı elde edilir. Ayrıca (2.34) denkleminde V_{a1} çözülürse;

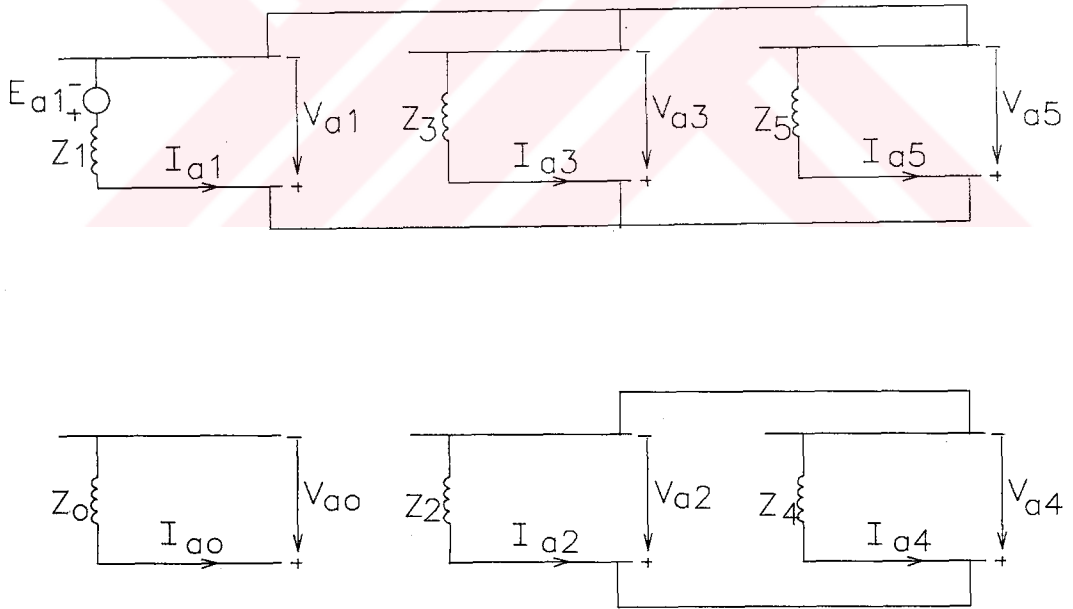
$$V_{a1} = E_{a1} - Z_1 I_{a1}$$

bulunur. Sonuçlar (2.34) denkleminde tekrar yerine konularak elde edilen (3.48) denkleminin her iki tarafı Z^{-1} ile çarpılır ve I_{a1} 'e göre çözülürse;

$$\begin{bmatrix} 0 \\ E_{a1} - Z_1 I_{a1} \\ -Z_2 I_{a2} \\ E_{a1} - Z_1 I_{a1} \\ -Z_2 I_{a2} \\ E_{a1} - Z_1 I_{a1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ E_{a1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Z_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Z_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \\ I_{a3} \\ I_{a4} \\ I_{a5} \end{bmatrix} \quad (3.48)$$

(3.44), (3.45) ve (3.46) denklemlerinin aynısı elde edilir.

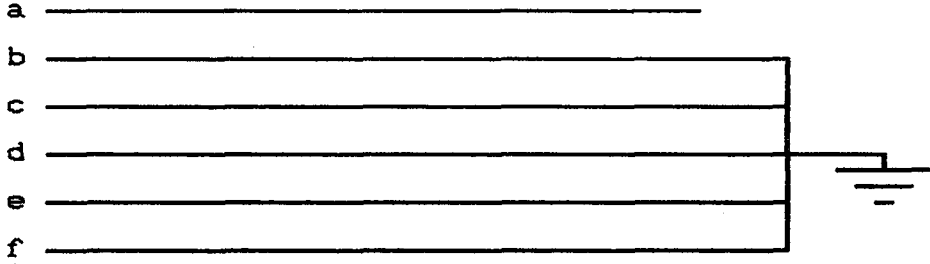
Dört faz arızasına ait sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.26 'deki gibidir.



Şekil 3.26. Dört faz arızası için sequence devre-
lerin bağlantısı.

3.2.2.8 Beş Faz-Toprak Arızası

Altı fazlı bir enerji iletim sistemine ait beş faz-toprak arızasının şematik gösterilimi Şekil 3.27'deki gibidir.



Şekil 3.27. Beş faz-toprak arızasının şematik gösterilişi.

Bu durum için arıza şartları Şekil 3.27'den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

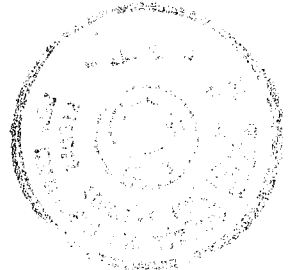
$$I_a = 0 \quad ; \quad V_b = V_c = V_d = V_e = V_f = 0 \quad (3.49)$$

Bu şartların (2.23) ve (2.25) denklemlerinde yerine yazılarak çözülmesi ile

$$V_{a0} = V_{a1} = V_{a2} = V_{a3} = V_{a4} = V_{a5} = \frac{1}{6} V_a \quad (3.50)$$

$$I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} + I_{a3} + I_{a4} + I_{a5} = 0 \quad (3.51)$$

denklemleri elde edilir.



Denklem (2.34)'den V_{a1} çözülürse

$$V_{a1} = E_{a1} - Z_1 I_{a1}$$

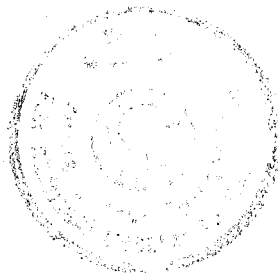
bulunur. Bu sonuçlar (2.34)'de tekrar yerine konularak elde edilen (3.52) denkleminin her iki tarafının Z^{-1} ile çarpılması ve I_{a1} 'e göre çözülmesiyle;

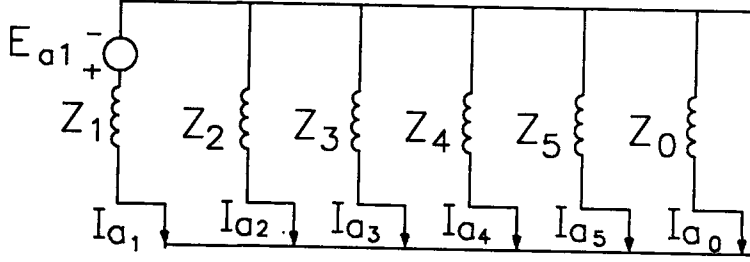
$$\begin{bmatrix} E_{a1} - Z_1 I_{a1} \\ E_{a1} - Z_1 I_{a1} \\ E_{a1} - Z_1 I_{a1} \\ E_{a1} - Z_1 I_{a1} \\ E_{a1} - Z_1 I_{a1} \\ E_{a1} - Z_1 I_{a1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ E_{a1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Z_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Z_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \\ I_{a3} \\ I_{a4} \\ I_{a5} \end{bmatrix} \quad (3.52)$$

ve

$$I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_1 + Z_0 // Z_2 // Z_3 // Z_4 // Z_5} \quad (3.53)$$

olarak bulunur. Bu arıza tipine ait sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.28 'de verildiği gibidir.

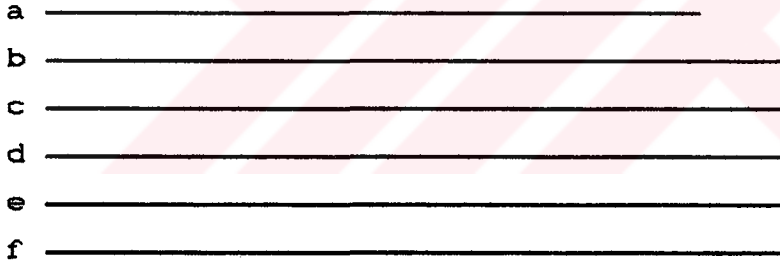




Şekil 3.28. Beş faz-toprak arızası için sequence devrele-
rin bağlantısı.

3.2.2.9 Beş Faz Arızası

Altı fazlı bir enerji iletim sistemine ait beş faz arızasının şematik gösterilimi Şekil 3.29'daki gibidir.



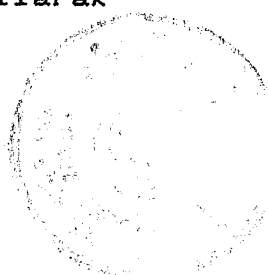
Şekil 3.29. Beş faz arızasının şematik gösterilişi.

Beş faz arızasında arıza şartları, Şekil 3.29'dan da görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$I_a = 0 \quad ; \quad V_b = V_c = V_d = V_e = V_f = V_b \quad (3.54)$$

$$I_b + I_c + I_d + I_e + I_f = 0$$

Bu şartların (2.23) ve (2.25) denklemlerinde yazılarak çözülmesi ile ;



$$V_{a1} = V_{a2} = V_{a3} = V_{a4} = V_{a5} ; \quad V_{a0} = 0 \quad (3.55)$$

$$I_{a1} + I_{a2} + I_{a3} + I_{a4} + I_{a5} = 0 \quad ; \quad I_{a0} = 0 \quad (3.56)$$

denklemleri elde edilir. Denklem (2.34)'den V_{a1} 'in çözülmesi ile de

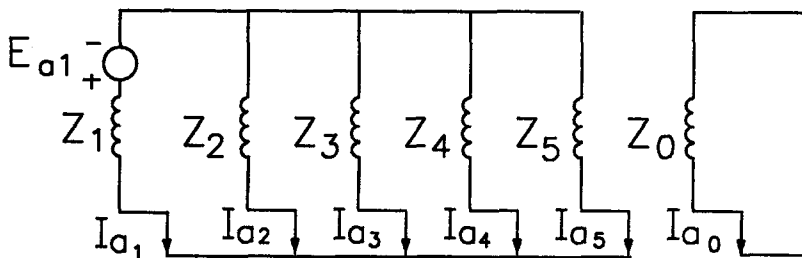
$$V_{a1} = E_{a1} - Z_1 I_{a1}$$

olarak bulunur. Bu sonuçlar (2.34) denkleminde tekrar yerine konularak, elde edilen (3.57) denkleminin her iki tarafı Z^{-1} ile çarpılır ve I_{a1} 'e göre çözülürse;

$$\begin{bmatrix} 0 \\ E_{a1} - Z_1 I_{a1} \\ E_{a1} - Z_1 I_{a1} \\ E_{a1} - Z_1 I_{a1} \\ E_{a1} - Z_1 I_{a1} \\ E_{a1} - Z_1 I_{a1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ E_{a1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Z_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Z_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \\ I_{a3} \\ I_{a4} \\ I_{a5} \end{bmatrix} \quad (3.57)$$

(3.53) denkleminin aynısı elde edilir.

Bu arıza tipine ait sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.30 'da verildiği gibidir.



Şekil 3.30. Beş faz arızası için sequence devrelerin bağlantısı.

3.3 Oniki Fazlı Sistemlerde Arıza Analizi

Bu alt bölümde oniki fazlı enerji iletim sistemlerine ait simetrik ve asimetrik arızaların simetrik bileşenler teorisi uygulanarak akım ve gerilim ifadeleri çıkarılacaktır (Pal and Singh, 1985 ; Stewart and Wilson, 1978 ; Gross and Thompson, 1985).

3.3.1 Simetrik Arızalar

3.3.1.1 Oniki Faz-Toprak Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait oniki faz-toprak arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.31'deki gibidir.



Şekil 3.31. Oniki faz-toprak arızasının şematik gösterilişi.

Bu arıza tipi için arıza şartları, Şekil 3.31' den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:



$$V_a = V_b = V_c = \dots = V_j = V_k = V_l = 0 \quad (3.58)$$

Bu şartlar (2.40) denkleminde yerine konursa

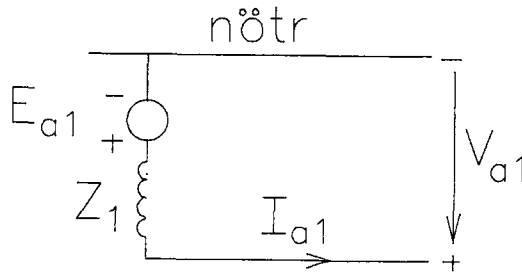
$$V_{a0} = V_{a1} = V_{a2} = \dots = V_{a9} = V_{a10} = V_{a11} = 0 \quad (3.59)$$

elde edilir ve bu sonuçlar denklem (2.51)'de yerine yazılırsa

$$I_a = I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_1} \quad (3.60)$$

şeklinde elde edilir.

(3.21) denkleminde de görüldüğü gibi, oniki faz-toprak arızası simetrik bir arıza olduğundan sadece pozitif sequence devre, yani sistemin tek faz eşdeğer devresindeki büyüklükler dikkate alınır. Bu arıza tipine ait eşdeğer devre Şekil 3.32'deki gibidir.



Şekil 3.32. Oniki faz-toprak arızası için eşdeğer devre.

3.3.1.2 Oniki Faz Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait oniki faz arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.33'deki gibidir.



Şekil 3.33. Oniki faz arızasının şematik gösterilişi.

Şematik olarak Şekil 3.32 'de verilen oniki faz arızası, oniki faz-toprak arızası ile aynı özelliğe sahiptir.

Bu arıza tipi için arıza şartları, Şekil 3.33' den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$V_a = V_b = V_c = \dots = V_j = V_k = V_l = V_a \quad (3.61)$$

Bu şartlar (2.40) denkleminde yerine konursa (3.59) denkleminin aynısı elde edilir. (3.59) denklemi (2.51) denkleminde yerine konulup çözüldüğünde ise (3.60) denklemi ile aynı sonuç bulunur.

Oniki faz arızasına ait eşdeğer devre, Şekil 3.32'deki oniki faz-toprak arızası için verilen eşdeğer devre ile

aynıdır.

3.3.2 Asimetrik Arızalar

3.3.2.1 Tek Faz-Toprak Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait tek faz-toprak arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.34'deki gibidir.



Şekil 3.34. Tek faz-toprak arızasının şematik gösterilişi.

Bu tip arızanın a fazında olduğu kabul edilmiştir. Buna göre arıza şartları, Şekil 3.34'den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$I_b = I_c = I_d = \dots = I_k = I_l = 0 \quad ; \quad V_a = 0 \quad (3.62)$$

Bu şartlar (2.40) ve (2.42) denklemlerinde yerine yazılır ve çözülürse;

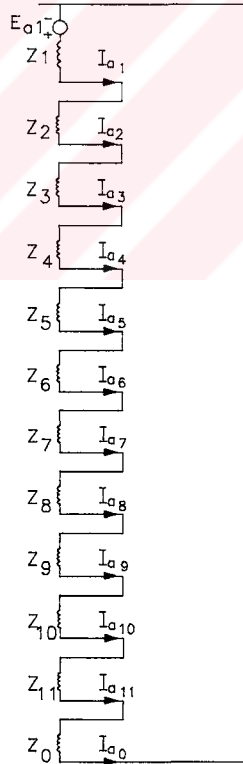
$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \dots = I_{a10} = I_{a11} = \frac{1}{12} I_a \quad (3.63)$$

$$V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} + \dots + V_{a9} + V_{a10} + V_{a11} = 0 \quad (3.64)$$

denklemleri elde edilir. Bu sonuçların denklem (2.51)'de yerine yazılması ve I_{a1} 'e göre çözülmesi ile de

$$I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + \dots + Z_{11}} \quad (3.65)$$

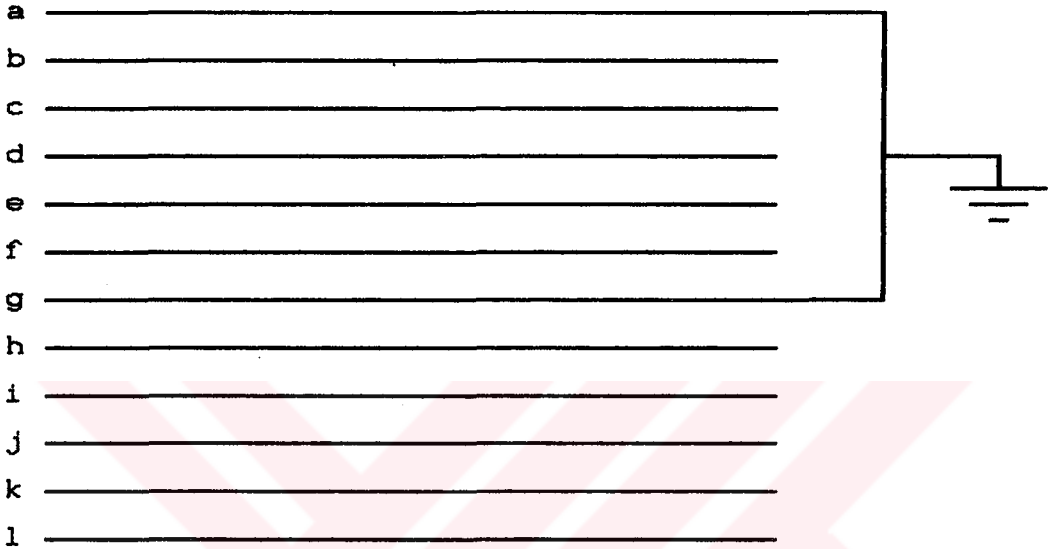
eşitliği elde edilir. Bu arıza tipine ait sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.35'de verildiği gibidir.



Şekil 3.35. Tek faz-toprak arızası için sequence devrelerin bağlantısı.

3.2.2.2 İki Faz-Toprak Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait iki faz-toprak arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.36'daki gibidir.



Şekil 3.36. İki faz-toprak arızasının şematik gösterilişi.

Bu tip arızanın a ve g fazlarında olduğu kabul edilmiştir. Buna göre arıza şartları, Şekil 3.36'dan da görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$I_b = I_c = I_d = I_e = I_f = I_h = I_i = I_j = I_k = I_l = 0 \quad (3.66)$$

$$V_a = V_g = 0$$

Bu şartlar (2.40) ve (2.42) denklemlerinde yazılarak çözülürse;

$$I_{a0} = I_{a2} = I_{a4} = I_{a6} = I_{a8} = I_{a10} \quad (3.67)$$

$$I_{a1} = I_{a3} = I_{a5} = I_{a7} = I_{a9} = I_{a11}$$

$$V_{a0} + V_{a2} + V_{a4} + V_{a6} + V_{a8} + V_{a10} = 0 \quad (3.68)$$

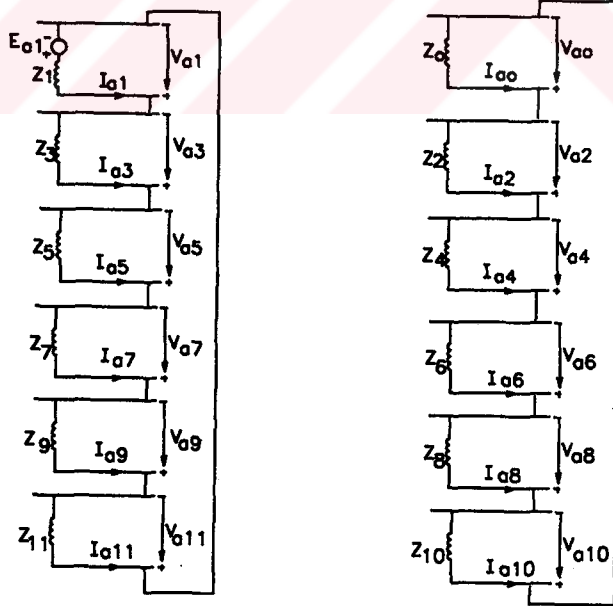
eşitlikleri elde edilir. Bu sonuçlar denklem (2.51)'de yerine konularak I_{a1} 'e göre çözülürse;

$$I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_1 + Z_3 + Z_5 + Z_7 + Z_9 + Z_{11}} \quad (3.69)$$

ve

$$I_{a0} = 0$$

şeklinde elde edilir. Bu arıza tipine ait sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.37' de verildiği gibidir.



Şekil 3.37. İki faz-toprak arızası için sequence devrelerin bağlantısı.



3.2.2.3 İki Faz Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait iki faz arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.38'deki gibidir.



Şekil 3.38. İki faz arızasının şematik gösterilişi.

Bu tip arızanın a ve g fazlarında olduğu kabul edilmiştir. Bu durum için arıza şartları Şekil 3.38'den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

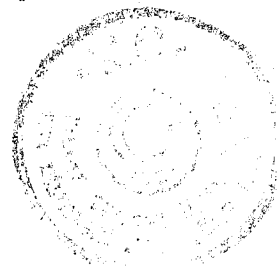
$$I_b = I_c = I_d = I_e = I_f = I_h = I_i = I_j = I_k = I_l = 0 ; V_a = V_g = V_a \quad (3.70)$$

$$I_a + I_g = 0$$

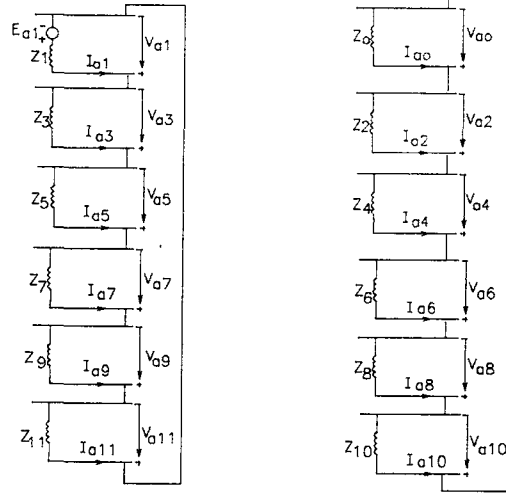
Bu şartların (2.40) ve (2.42) denklemlerinde yerine konulup çözülmesi ile

$$V_{a1} + V_{a3} + V_{a5} + V_{a7} + V_{a9} + V_{a11} = 0 \quad (3.71)$$

eşitliği elde edilir. Bu sonuçlar, denklem (2.51)'de dikkate alınır ve I_{a1} 'e göre çözülürse (3.69) denkleminin aynısı bulunur.



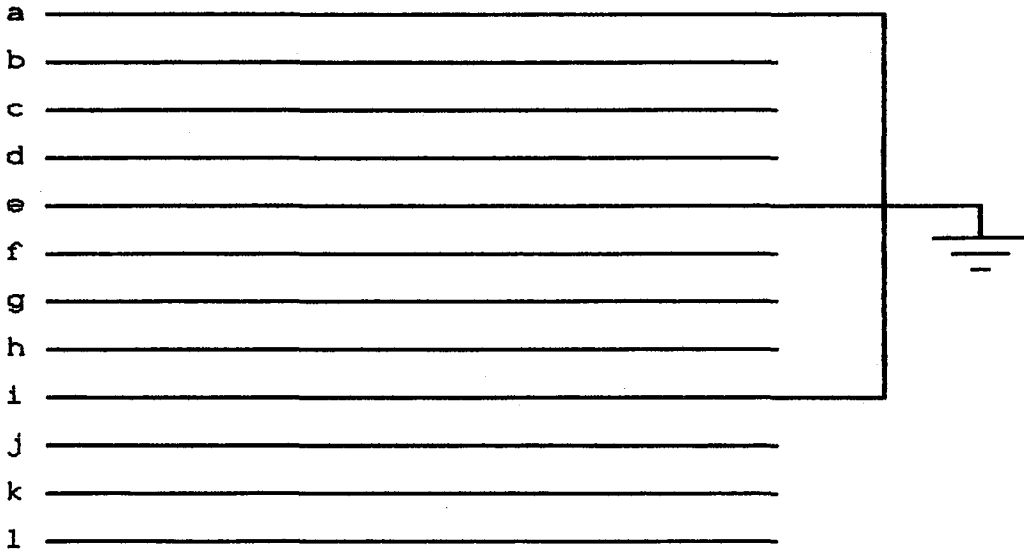
Bu arıza tipine ait sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.39' da verildiği gibidir.



Şekil 3.39. İki faz arızası için sequence devrelerin bağlantısı.

3.2.2.4 Uç Faz-Toprak Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait uç faz-toprak arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.40'daki gibidir.



Şekil 3.40. Uç faz-toprak arızasının şematik gösterilişi.

Bu tip arızanın a, e ve i fazlarında olduğu kabul edilmiştir. Bu durum için arıza şartları Şekil 3.40'dan da görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\begin{aligned} I_b = I_c = I_d = I_f = I_g = I_h = I_j = I_k = I_l = 0 \\ V_a = V_e = V_i = 0 \end{aligned} \quad (3.72)$$

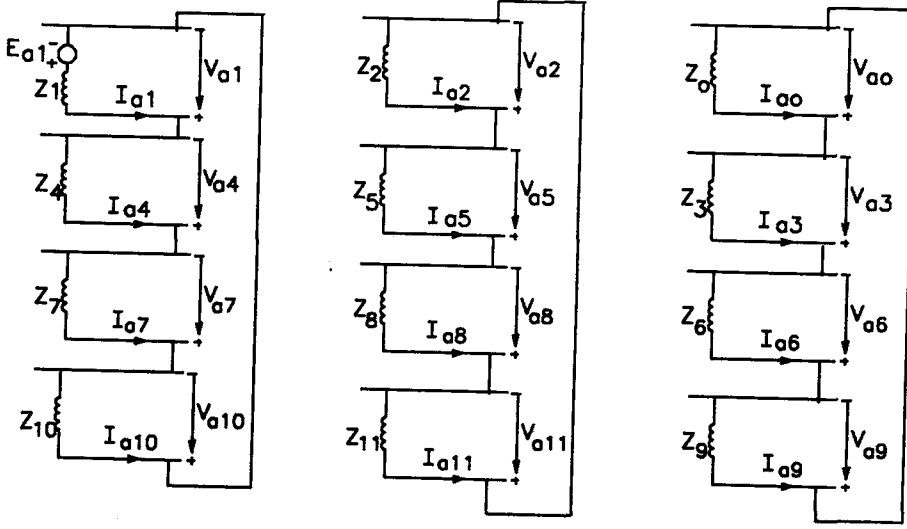
Bu arıza şartları (2.40) ve (2.42) denklemlerinde yerine konur ve düzenlenirse;

$$\begin{aligned} I_{a0} = I_{a3} = I_{a6} = I_{a9} \\ I_{a1} = I_{a4} = I_{a7} = I_{a10} \\ I_{a2} = I_{a5} = I_{a8} = I_{a11} \\ V_{a1} + V_{a4} + V_{a7} + V_{a10} = 0 \end{aligned} \quad (3.73)$$

eşitlikleri elde edilir. Bu sonuçlar denklem (2.51)'de yerleştirilerek I_{a1} 'e göre çözülürse;

$$I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_1 + Z_4 + Z_7 + Z_{10}} \quad (3.74)$$

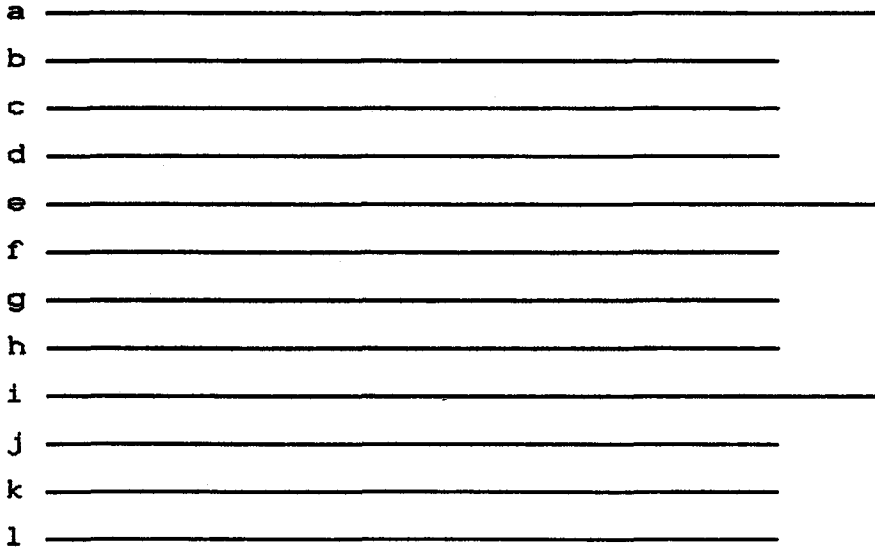
olarak bulunur. Bu arıza tipine göre sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.41'de verildiği gibidir.



Sekil 3.41. Üç faz-toprak arızası için sequence devrelerin bağlantısı.

3.3.2.5 Üç Faz Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait üç faz arızasının şematik gösterilişi Sekil 3.42'deki gibidir.



Sekil 3.42. Üç faz arızasının şematik gösterilişi.

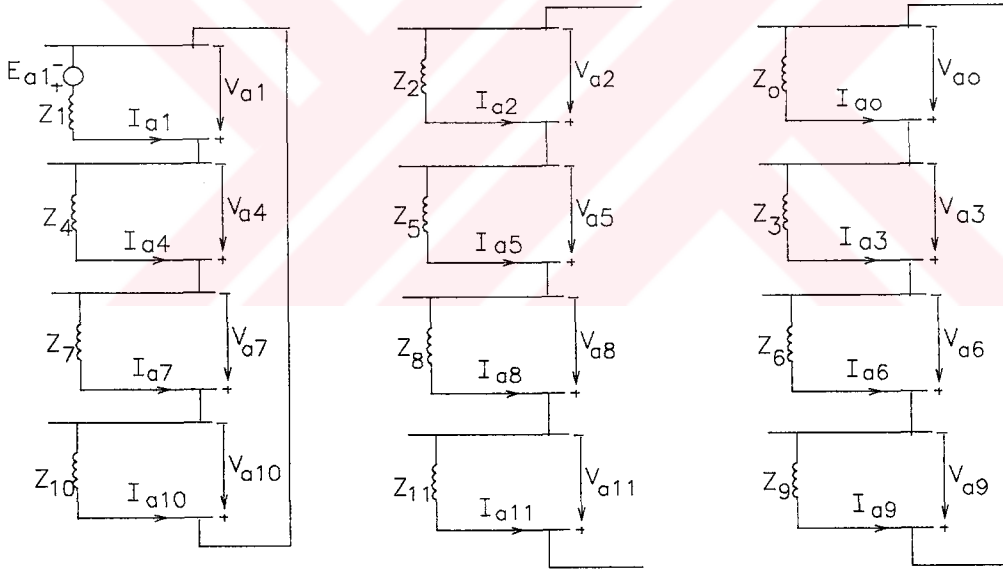
Bu tip arızanın a, e ve i fazlarında olduğu kabul edilmiştir. Bu durum için arıza şartları Şekil 3.42'den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$I_b = I_c = I_d = I_f = I_g = I_h = I_j = I_k = I_l = 0 \quad (3.75)$$

$$V_a = V_e = V_i = V_o \quad ; \quad I_a + I_e + I_i = 0$$

Arıza şartlarının (2.40) ve (2.42) denklemlerinde yazılıp düzenlenmesi ile (3.73)'teki denklemlerin aynısı elde edilir. Bu sonuçlar denklem (2.51)'de yerine konularak I_{a1} çözülürse (3.74) denklemi ile aynı sonuç bulunmaktadır.

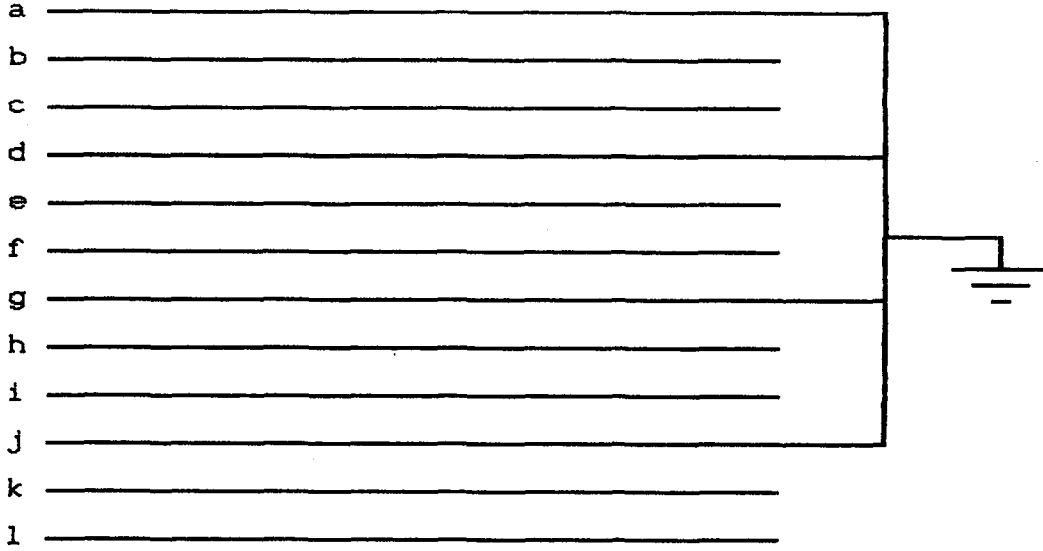
Bu arıza tipine göre sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.43'de verildiği gibidir.



Şekil 3.43. Üç faz arızası için sequence devrelerin bağlantısı.

3.3.2.6 Dört Faz-Toprak Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait dört faz toprak arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.44'de gösterildiği gibidir.



Sekil 3.44. Dört faz-toprak arızasının sematik gösterilişi.

Bu tip arızanın a, d, g ve j fazlarında olduğu kabul edilmiştir. Bu durum için arıza şartları Sekil 3.44'den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$I_b = I_c = I_e = I_f = I_h = I_i = I_k = I_l = 0 \quad (3.76)$$

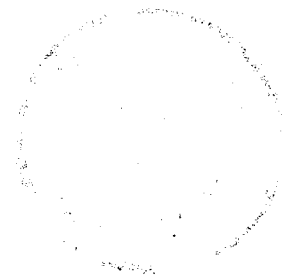
$$V_a = V_d = V_g = V_j = 0$$

Bu arıza şartlarının (2.40) ve (2.42) denklemlerinde yazılıp düzenlenmesi ile

$$I_{a0} = I_{a4} = I_{a8} \quad ; \quad I_{a3} = I_{a7} = I_{a11} \quad (3.77)$$

$$I_{a2} = I_{a6} = I_{a10} \quad ; \quad I_{a1} = I_{a5} = I_{a9}$$

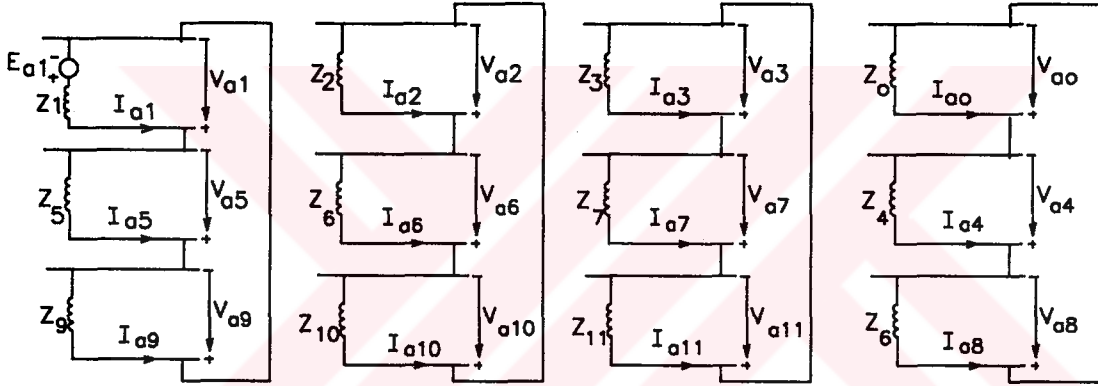
$$V_{a1} + V_{a5} + V_{a9} = 0 \quad (3.78)$$



eşitlikleri elde edilir. Bu sonuçlar, denklem (2.51)' de yerine konularak I_{a1} 'e göre çözülürse;

$$I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_1 + Z_5 + Z_9} \quad (3.79)$$

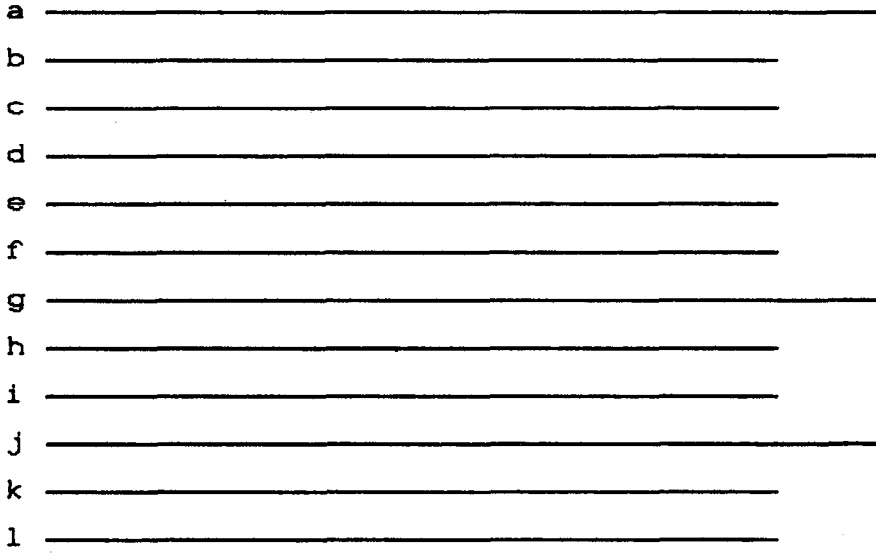
bulunur. Bu arıza tipine ait sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.45' de verildiği gibidir.



Şekil 3.45. Dört faz-toprak arızası için sequence devrelerin bağlantısı.

3.3.2.7 Dört Faz Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait dört faz arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.46' daki gibidir.



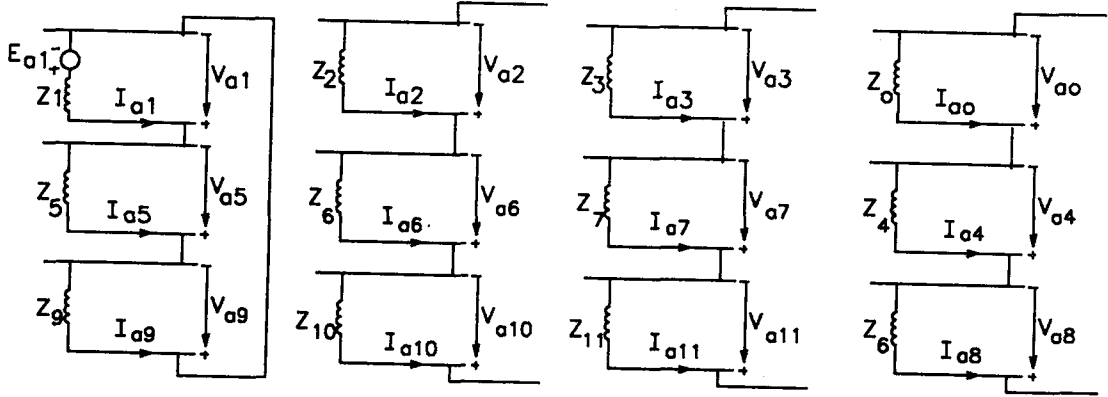
Şekil 3.46. Dört faz arızasının şematik gösterilişi.

Bu tip arızanın a, d, g ve j fazlarında olduğu kabul edilmiştir. Bu durum için arıza şartları Şekil 3.46'dan da görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$I_b = I_c = I_e = I_f = I_h = I_i = I_k = I_l = 0 ; V_a = V_d = V_g = V_j \quad (3.80)$$

$$I_a + I_d + I_g + I_j = 0$$

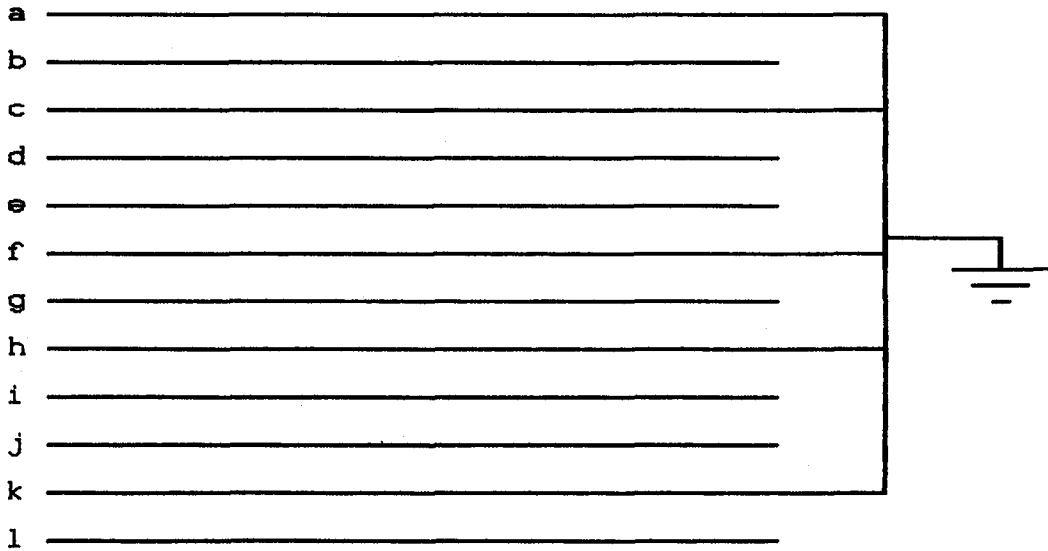
Bu arıza şartlarının (2.40) ve (2.42) denklemlerinde yazılıp düzenlenmesi ile (3.77) ve (3.78) denklemlerinin aynısı elde edilir. Bu sonuçlar, denklem (2.51)'de yerine konularak I_{a1} çözülürse (3.79) ile aynı denklem bulunmaktadır. Bu arıza tipine ait sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.47' de verildiği gibidir.



Şekil 3.47. Dört faz arızası için sequence devrelerin bağlantısı.

3.3.2.8 Beş Faz-Toprak Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait beş faz-toprak arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.48'deki gibidir.



Şekil 3.48. Beş faz-toprak arızasının şematik gösterilişi.

Tüm bileşenlerin akımları farklı olduğundan dolayı faz akımlarının elde edilmesi zordur.

3.3.2.9 Beş Faz Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait beş faz arızasının şematik gösterilimi Şekil 3.49'daki gibidir.

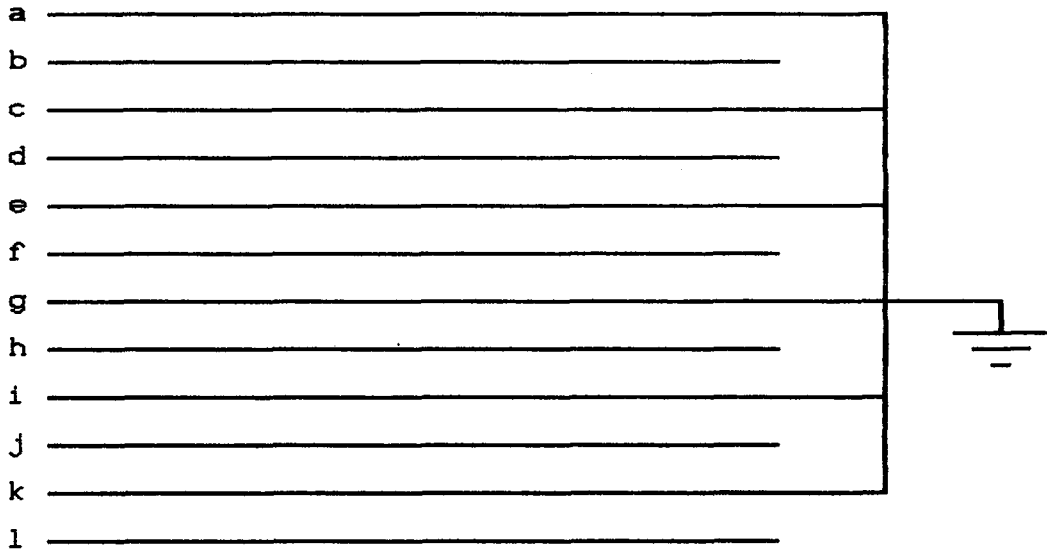


Şekil 3.49. Beş faz arızasının şematik gösterilişi.

Tüm bileşenlerin akımları farklı olduğundan dolayı faz akımlarının elde edilmesi zordur.

3.3.2.10 Altı Faz-Toprak Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait altı faz-toprak arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.50'deki gibidir.



Şekil 3.50. Altı faz-toprak arızasının şematik gösterilişi.

Bu tip arızanın a, c, e, g, i ve k fazlarında olduğu edilmiştir. Bu durum için arıza şartları Şekil 3.50'den de görüleceği gibi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$I_b = I_d = I_f = I_h = I_j = I_l = 0 \quad (3.81)$$

$$V_a = V_c = V_e = V_g = V_i = V_k = 0$$

Bu arıza şartlarının (2.40) ve (2.42) denklemlerinde yazılıp düzenlenmesi ile

$$I_{a0} = I_{a2} = I_{a3} = I_{a4} = I_{a5} = I_{a6} = I_{a8} = I_{a9} = I_{a10} = I_{a11} = 0 \quad (3.82)$$

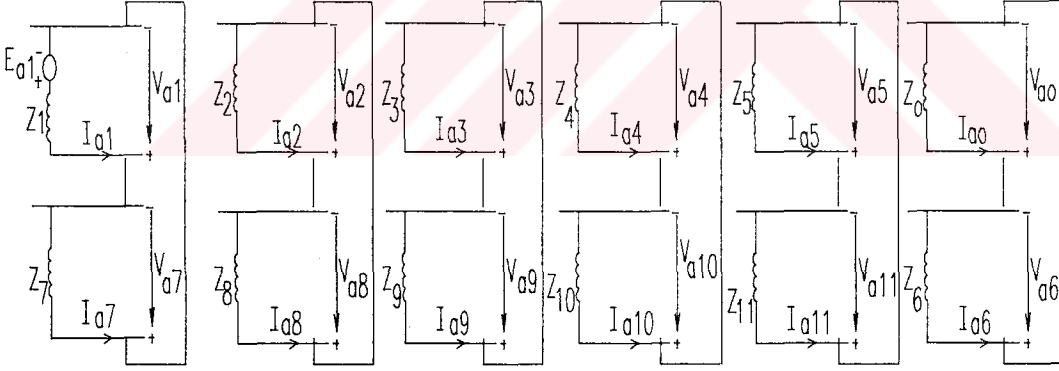
$$I_{a1} = I_{a7}$$

$$V_{a1} + V_{a7} = 0 \quad (3.83)$$

eşitlikleri elde edilir. Bu sonuçlar, denklem (2.51)'de yerine konularak I_{a1} çözülürse;

$$I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_1 + Z_7} \quad (3.84)$$

şeklinde elde edilir. Bu arıza tipine ait sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.51'de verildiği gibidir.



Şekil 3.51. Altı faz-toprak arızası için sequence devrelerin bağlantısı.

3.3.2.11 Altı Faz Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait altı faz arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.52'deki gibidir.

a	_____
b	_____
c	_____
d	_____
e	_____
f	_____
g	_____
h	_____
i	_____
j	_____
k	_____
l	_____

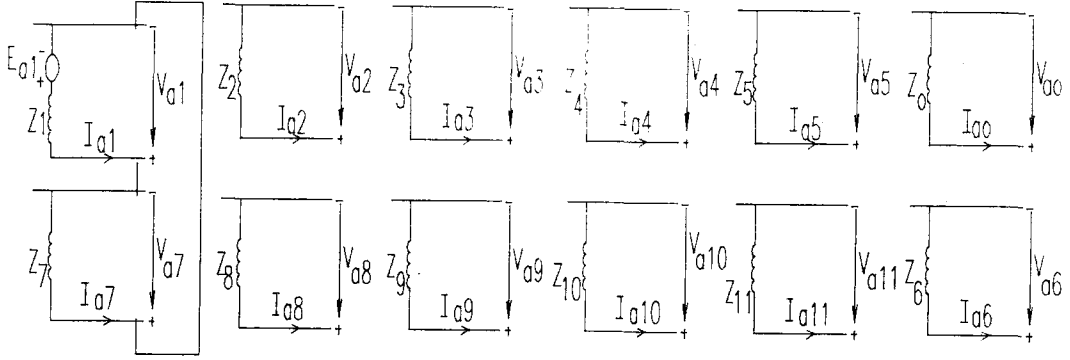
Şekil 3.52. Altı faz arızasının şematik gösterilişi.

Bu tip arızanın a, c, e, g, i ve k fazlarında olduğu kabul edilmiştir. Bu durum için arıza şartları Şekil 3.52'den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$I_b = I_d = I_f = I_h = I_j = I_l = 0 ; V_a = V_c = V_e = V_g = V_i = V_k = V_a \quad (3.85)$$

$$I_a + I_c + I_e + I_g + I_i + I_k = 0$$

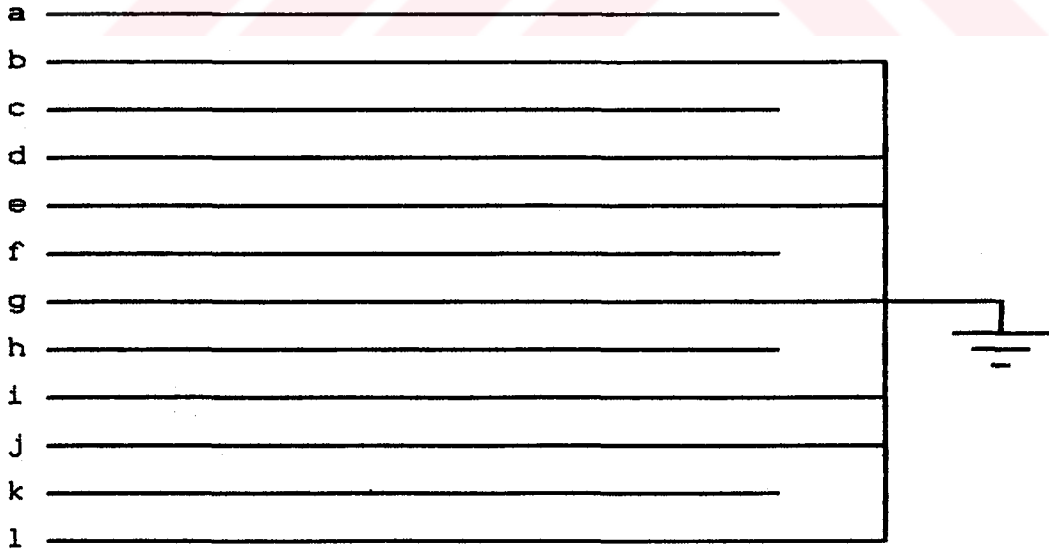
Bu arıza şartlarının (2.40) ve (2.42) denklemlerinde yazılıp düzenlenmesi ile (3.82) ve (3.83) denklemlerinin aynısı elde edilir. Bu sonuçlar, denklem (2.51)'de yerine konularak I_{a1} çözülürse (3.84) denklemi ile aynı sonuç bulunmaktadır. Söz konusu arıza tipine ait sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.53'de verildiği gibidir.



Şekil 3.53. Altı faz arızası için sequence devrelerin bağlantısı.

3.3.2.12 Yedi Faz-Toprak Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait yedi faz-toprak arızasının sematik gösterilişi Şekil 3.54'deki gibidir.



Şekil 3.54. Yedi faz-toprak arızasının sematik gösterilişi.

Tüm bileşenlerin akımları farklı olduğundan dolayı faz akımlarının elde edilmesi zordur.

3.3.2.13 Yedi Faz Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait yedi faz arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.55'deki gibidir.

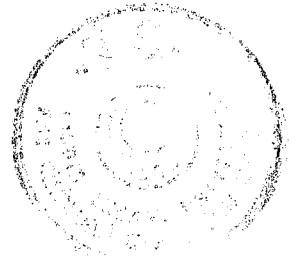


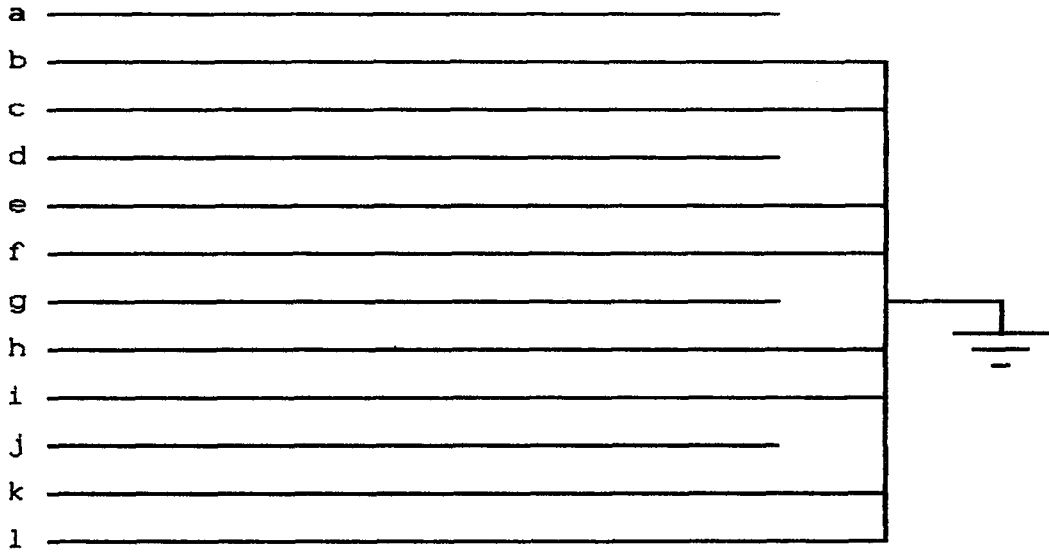
Şekil 3.55. Yedi faz arızasının şematik gösterilişi.

Tüm bileşenlerin akımları farklı olduğundan dolayı faz akımlarının elde edilmesi zordur.

3.3.2.14 Sekiz Faz-Toprak Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait sekiz faz-toprak arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.56'daki gibidir.





Sekil 3.56. Sekiz faz-toprak arızasının sematik gösterilişi.

Bu tip arızanın b,c,e,f,h,i,k ve l fazlarında olduğu kabul edilmiştir. Bu durum için arıza şartları Sekil 3.56'dan da görüleceği gibi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$I_a = I_d = I_g = I_j = 0 \quad (3.86)$$

$$V_b = V_c = V_e = V_f = V_h = V_i = V_k = V_l = 0$$

Bu arıza şartlarının (2.40) ve (2.42) denklemlerinde yazılıp düzenlenmesi ile

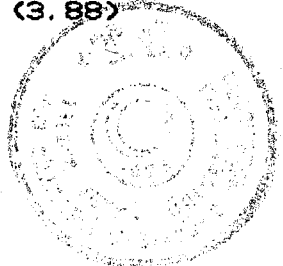
$$I_{a0} + I_{a4} + I_{a8} = 0 \quad ; \quad I_{a3} + I_{a7} + I_{a11} = 0 \quad (3.87)$$

$$I_{a2} + I_{a6} + I_{a10} = 0 \quad ; \quad I_{a1} + I_{a5} + I_{a9} = 0$$

$$V_{a1} = V_{a5} = V_{a9} \quad ; \quad V_{a0} = V_{a4} = V_{a8}$$

$$V_{a2} = V_{a6} = V_{a10} \quad ; \quad V_{a3} = V_{a7} = V_{a11}$$

(3.88)



eşitlikleri elde edilir. Bu sonuçlar, denklem (2.51)'de yerine konularak I_{a1} 'e göre çözülürse;

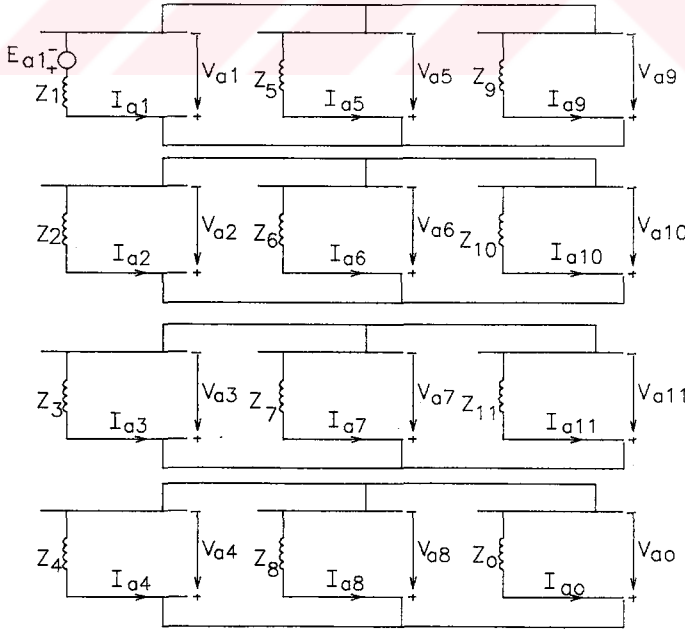
$$I_{a1} = \frac{E_{a1} (Z_5 + Z_9)}{Z_1 Z_5 + Z_5 Z_9 + Z_1 Z_9} \quad (3.89)$$

ve benzer şekilde

$$I_{a5} = \frac{-E_{a1} Z_9}{Z_1 Z_5 + Z_5 Z_9 + Z_1 Z_9} \quad (3.90)$$

$$I_{a9} = \frac{-E_{a1} Z_5}{Z_1 Z_5 + Z_5 Z_9 + Z_1 Z_9} \quad (3.91)$$

eşitlikleri elde edilir. Bu arıza tipine ait sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.58'de verildiği gibidir.



Şekil 3.58. Sekiz faz-toprak arızası için sequence devrelerin bağlantısı.



3.3.2.15 Sekiz Faz Arızası

Sekiz fazlı bir enerji iletim sistemine ait sekiz faz toprak arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.59'daki gibidir.



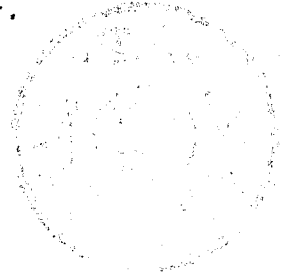
Şekil 3.59. Sekiz faz arızasının şematik gösterilişi.

Bu tip arızanın b,c,e,f,h,i,k ve l fazlarında olduğu kabul edilmiştir. Buna göre arıza şartları, Şekil 3.59'dan da görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

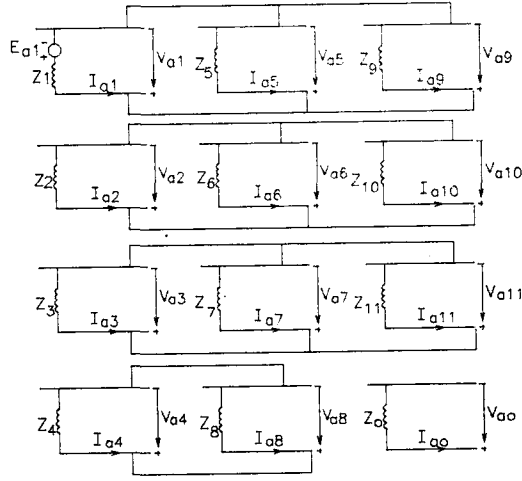
$$I_a = I_d = I_g = I_j = 0 ; V_b = V_c = V_e = V_f = V_h = V_i = V_k = V_l \quad (3.92)$$

$$I_b + I_c + I_e + I_f + I_h + I_i + I_k + I_l = 0$$

Bu arıza şartlarının (2.40) ve (2.42) denklemlerinde yazılıp düzenlenmesi ile (3.87) ve (3.88) denklemlerinin aynısı elde edilir. Bu sonuçlar, denklem (2.51)'de yerine konularak I_{a1} çözülürse (3.89), (3.90) ve (3.91) denklemlerinin aynısı elde edilir.



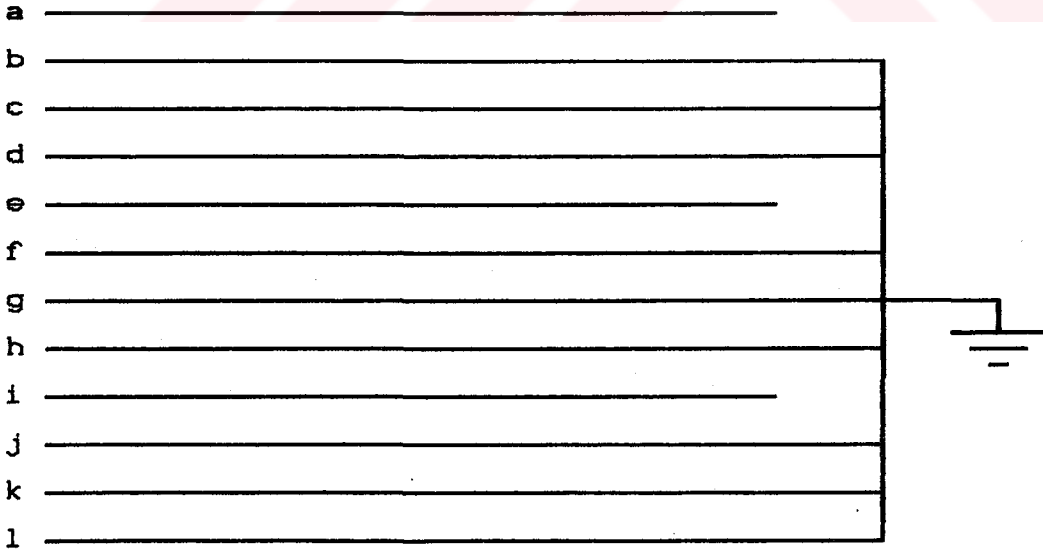
Bu arıza tipine ait sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.60' da verildiği gibidir.



Şekil 3.60. Sekiz faz arızası için sequence devrelerin bağlantı şeması.

3.3.2.16 Dokuz Faz-Toprak Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait dokuz faz-toprak arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.61'deki gibidir.



Şekil 3.61. Dokuz faz-toprak arızasının şematik gösterilişi.

Bu tip arızanın b,c,d,f,g,h,j,k ve l fazlarında olduğu edilmıştır. Bu durum için arıza şartları Sekil 3.61'den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$I_a = I_e = I_i = 0 \quad (3.93)$$

$$V_b = V_c = V_d = V_f = V_g = V_h = V_j = V_k = V_l = 0$$

Bu arıza şartlarının (2.40) ve (2.42) denklemlerinde yazılıp düzenlenmesi ile

$$I_{a0} + I_{a3} + I_{a6} + I_{a9} = 0 ; I_{a2} + I_{a5} + I_{a8} + I_{a11} = 0 \quad (3.94)$$

$$I_{a1} + I_{a4} + I_{a7} + I_{a10} = 0$$

$$V_{a0} = V_{a3} = V_{a6} = V_{a9} ; V_{a1} = V_{a4} = V_{a7} = V_{a10} \quad (3.95)$$

$$V_{a2} = V_{a5} = V_{a8} = V_{a11}$$

eşitlikleri elde edilir. Bu sonuçlar, denklem (2.51)'de yerine konularak;

$$I_{a1} = \frac{E_{a1} (Z_4 Z_7 + Z_7 Z_{10} + Z_{10} Z_4)}{Z_1 Z_4 Z_7 + Z_1 Z_4 Z_{10} + Z_4 Z_7 Z_{10}} \quad (3.96)$$

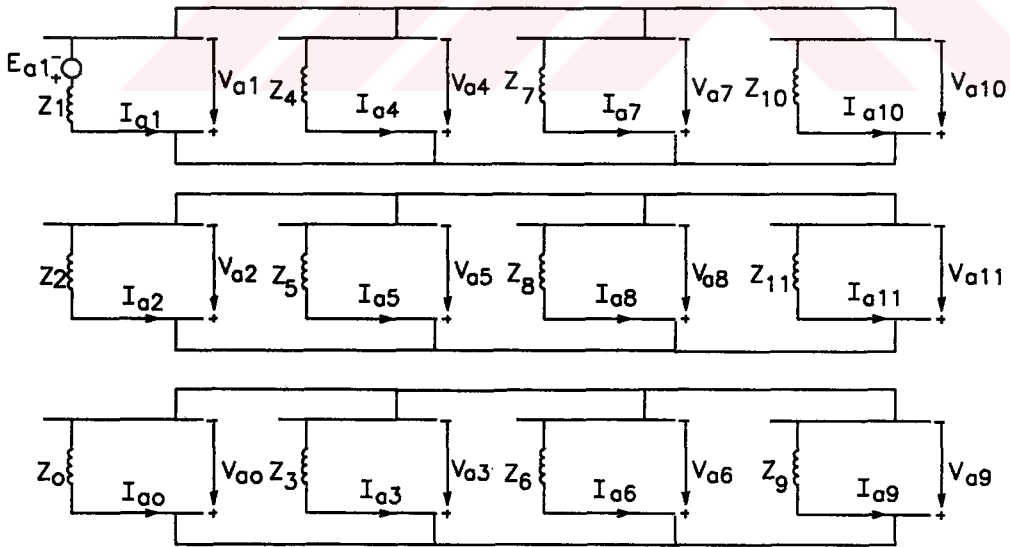
$$I_{a4} = \frac{-E_{a1} Z_7 Z_{10}}{Z_1 Z_4 Z_7 + Z_1 Z_4 Z_{10} + Z_4 Z_7 Z_{10}} \quad (3.97)$$

$$I_{a7} = \frac{-E_{a1} Z_4 Z_{10}}{Z_1 Z_4 Z_7 + Z_1 Z_4 Z_{10} + Z_4 Z_7 Z_{10}} \quad (3.98)$$

$$I_{a10} = \frac{-E_{a1} Z_4 Z_7}{Z_1 Z_4 Z_7 + Z_1 Z_4 Z_{10} + Z_4 Z_7 Z_{10}} \quad (3.99)$$

eşitlikleri elde edilir.

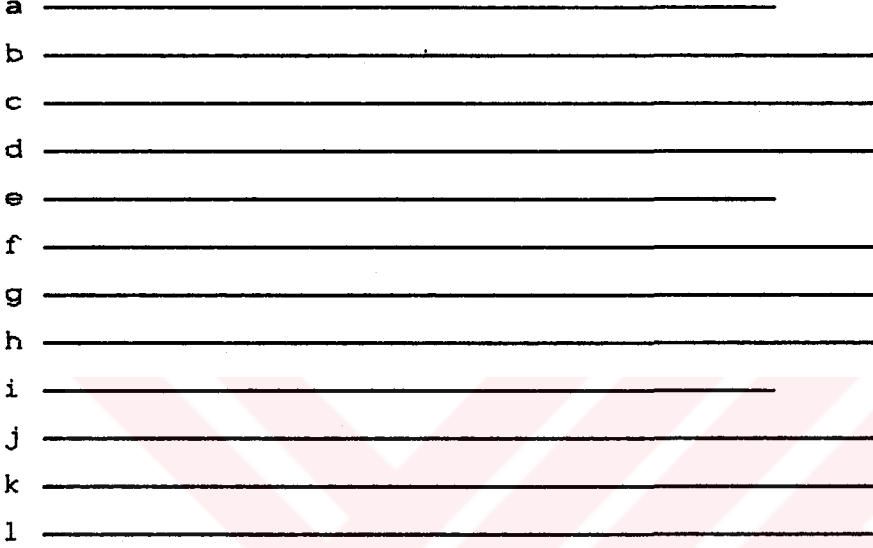
Bu arıza tipine ait sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.62' de verildiği gibidir.



Şekil 3.62. Dokuz faz-toprak arızası için sequence devrelerin bağlantı şeması.

3.3.2.17 Dokuz Faz Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait dokuz faz arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.63'deki gibidir.



Şekil 3.63. Dokuz faz arızasının şematik gösterilişi.

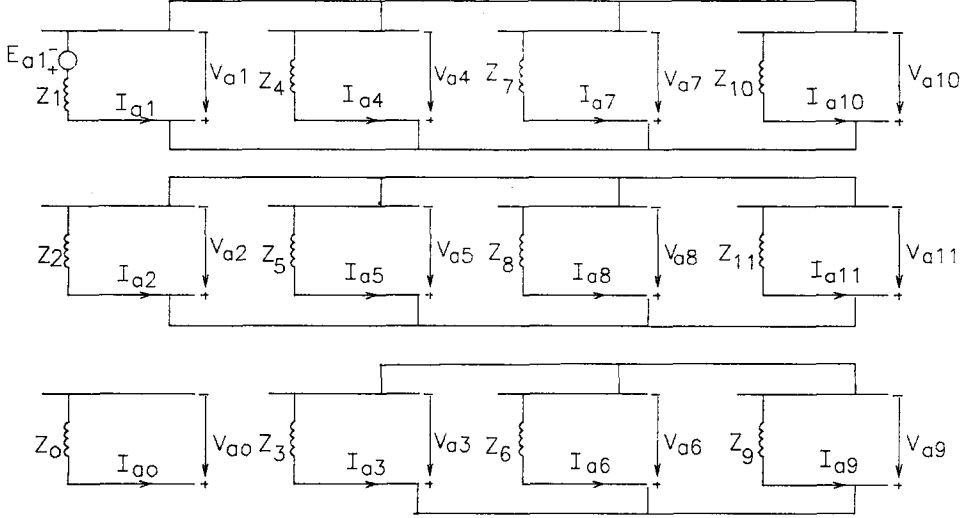
Bu tip arızanın b,c,d,f,g,h,j,k ve l fazlarında olduğu kabul edilmiştir. Bu durum için arıza şartları Şekil 3.63'den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$I_a = I_e = I_i = 0 ; V_b = V_c = V_d = V_f = V_g = V_h = V_j = V_k = V_l = 0 \quad (3.100)$$

$$I_b + I_c + I_d + I_f + I_g + I_h + I_j + I_k + I_l = 0$$

Bu arıza şartlarının (2.40) ve (2.42) denklemlerinde yazılıp düzenlenmesi ile (3.93), (3.94) ve (3.95) denklemlerinin aynısı elde edilir. Bu sonuçlar, denklem (2.51)'de yerine konur ve gerekli işlemler yapılırsa (3.96), (3.97), (3.98) ve (3.99) denklemlerinin aynısı elde edilir.

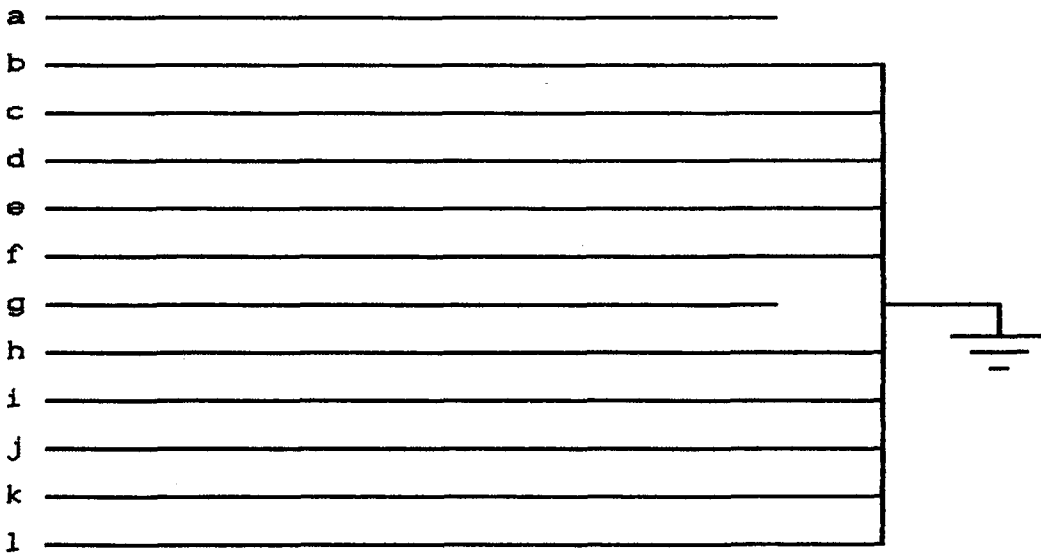
Bu arıza tipine ait sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.64'de verildiği gibidir.



Şekil 3.64. Dokuz faz arızası için sequence devrelerin bağlantı şeması.

3.3.2.18 On Faz-Toprak Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait on faz-toprak arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.65'deki gibidir.



Şekil 3.65. On faz-toprak arızasının şematik gösterilişi.

Bu tip arızanın b,c,d,e,f,h,i,j,k ve l fazlarında olduğu kabul edilmiştir. Bu durum için arıza şartları Şekil 3.65'den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$I_a = I_g = 0 ; V_b = V_c = V_d = V_e = V_f = V_h = V_i = V_j = V_k = V_l = 0 \quad (3.101)$$

Bu arıza şartlarının (2.40) ve (2.42) denklemlerinde yazılıp düzenlenmesi ile

$$I_{a0} + I_{a2} + I_{a4} + I_{a6} + I_{a8} + I_{a10} = 0 \quad (3.102)$$

$$I_{a1} + I_{a3} + I_{a5} + I_{a7} + I_{a9} + I_{a11} = 0$$

$$V_{a0} = V_{a2} = V_{a4} = V_{a6} = V_{a8} = V_{a10} = \frac{1}{12} (V_a + V_g) \quad (3.103)$$

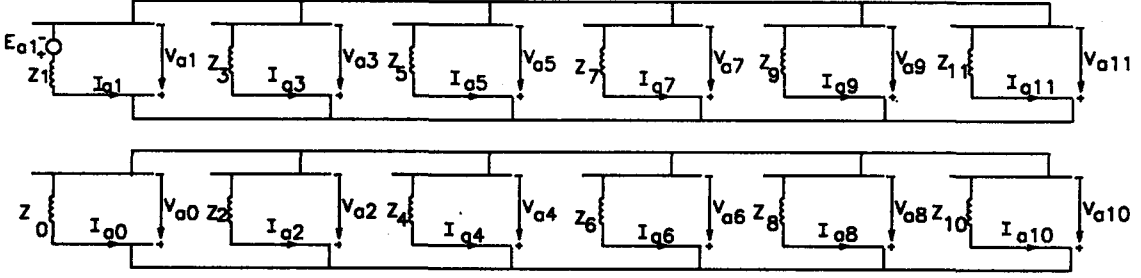
$$V_{a1} = V_{a3} = V_{a5} = V_{a7} = V_{a9} = V_{a11} = \frac{1}{12} (V_a - V_g)$$

eşitlikleri elde edilir. Bu sonuçlar, denklem (2.51)'de yerine konularak I_{a1} 'e göre çözülürse;

$$I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_1 + Z_3 // Z_5 // Z_7 // Z_9 // Z_{11}} \quad (3.104)$$

şeklinde elde edilir.

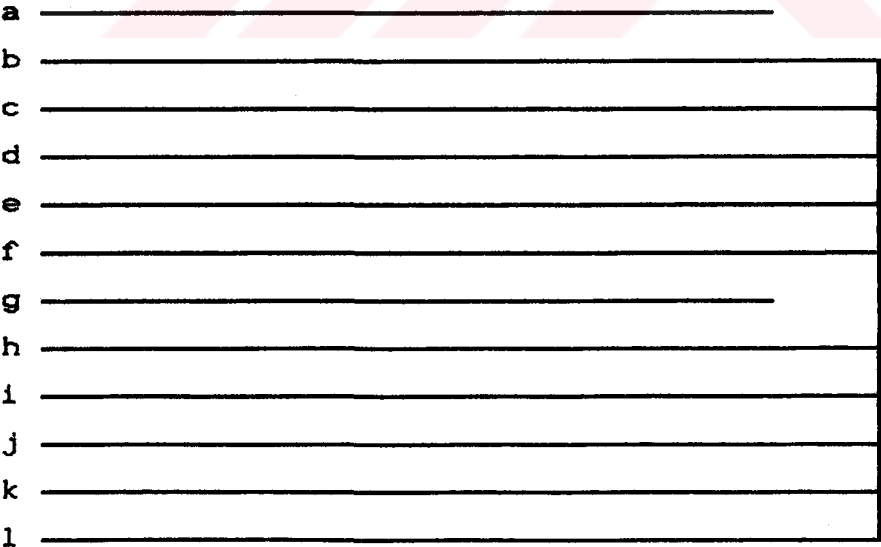
Bu arıza tipine ait sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.66' da verildiği gibidir.



Şekil 3.66. On faz-toprak arızası için sequence devrelerin bağlantı şeması.

3.3.2.19 On Faz Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait on faz arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.67'deki gibidir.



Şekil 3.67. On faz arızasının şematik gösterilişi.

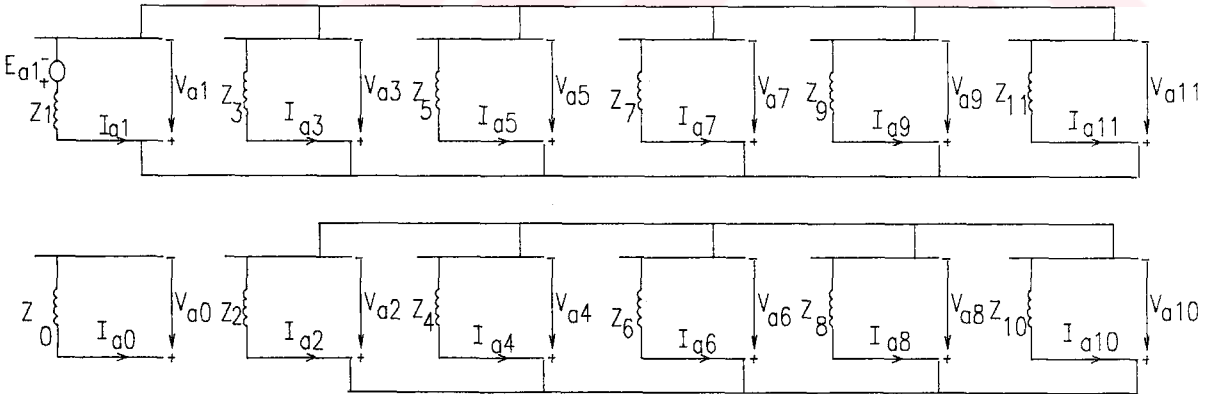
Bu tip arızanın b,c,d,e,f,h,i,j,k ve l fazlarında olduğu kabul edilmiştir. Bu durum için arıza şartları Şekil 3.67'den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$I_a = I_g = 0 ; V_b = V_c = V_d = V_e = V_f = V_h = V_i = V_j = V_k = V_l \quad (3.105)$$

$$I_b + I_c + I_d + I_e + I_f + I_h + I_i + I_j + I_k + I_l = 0$$

Bu arıza şartlarının (2.40) ve (2.42) denklemlerinde yazılıp düzenlenmesi ile (3.102) ve (3.103) denklemlerinin aynısı elde edilir. Bu sonuçlar, denklem (2.51)'de yerine konularak gerekli işlemler yapılırsa (3.104) denklemi ile aynı sonuç elde edilir.

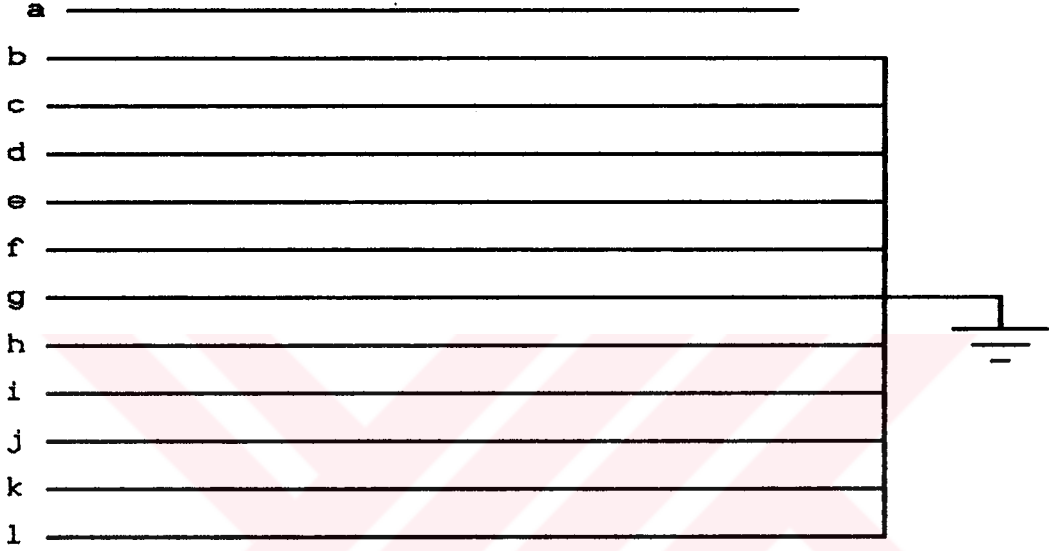
Bu arıza tipine ait sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.68' de verildiği gibidir.



Şekil 3.68. On faz arızası için sequence devrelerin bağlantı şeması.

3.3.2.20 Onbir Faz-Toprak Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait onbir faz-toprak arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.69'daki gibidir.



Şekil 3.69. Onbir faz-toprak arızasının şematik gösterilişi.

Bu tip arızanın b,c,d,e,f,g,h,i,j,k ve l fazlarında olduğu kabul edilmiştir. Bu durum için arıza şartları Şekil 3.69'dan da görüleceği gibi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$I_a = 0 ; V_b = V_c = V_d = V_e = V_f = V_h = V_g = V_i = V_j = V_k = V_l = 0 \quad (3.106)$$

Bu arıza şartlarının (2.40) ve (2.42) denklemlerinde yazılıp düzenlenmesi ile

$$I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} + I_{a3} + I_{a4} + I_{a5} + I_{a7} + I_{a8} + I_{a9} + I_{a10} + I_{a11} = 0 \quad (3.107)$$

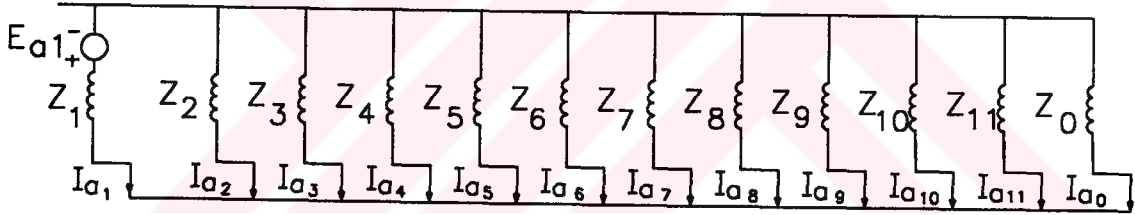
$$V_{a0} = V_{a1} = V_{a2} = V_{a3} = V_{a4} = V_{a5} = V_{a6} = V_{a7} = V_{a8} = V_{a9} = V_{a10} = V_{a11} = \frac{1}{12} V_a$$

eşitlikleri elde edilir. Bu sonuçlar, denklem (2.51)'de yerine konularak gerekli işlemler yapılırsa;

$$I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_1 + Z_0 // Z_2 // Z_3 // Z_4 // Z_5 // Z_6 // Z_7 // Z_8 // Z_9 // Z_{10} // Z_{11}} \quad (3.108)$$

eşitliği elde edilir.

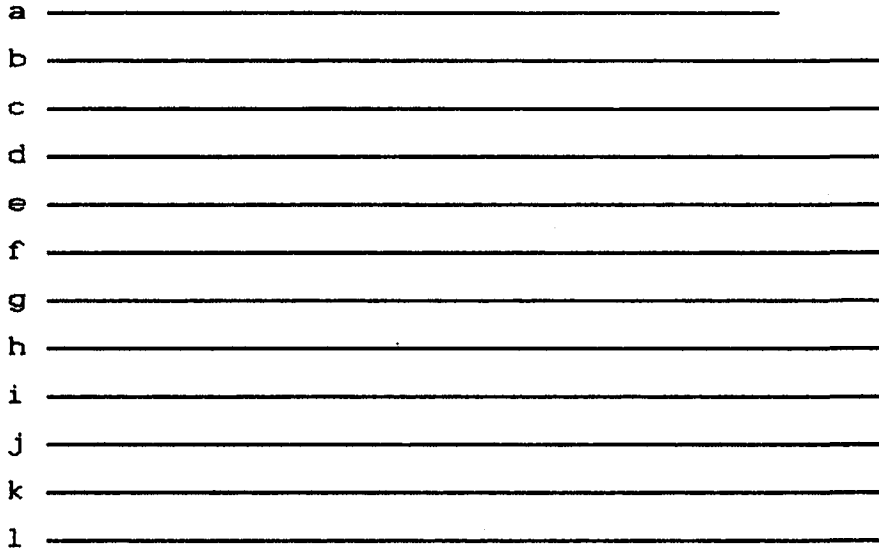
Bu arıza tipine ait sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.70' de verildiği gibidir.



Şekil 3.70. Onbir faz-toprak arızası için sequence devrelerin bağlantı şeması.

3.3.2.21 Onbir Faz Arızası

Oniki fazlı bir enerji iletim sistemine ait onbir faz arızasının şematik gösterilişi Şekil 3.71'deki gibidir.



Şekil 3.71. Onbir faz arızasının şematik gösterilişi.

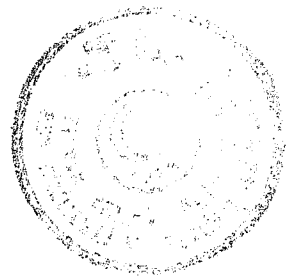
Bu tip arızanın b,c,d,e,f,g,h,i,j,k ve l fazlarında olduğu kabul edilmiştir. Bu durum için arıza şartları Şekil 3.71'den de görüleceği gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$I_a = 0 \quad ; \quad V_b = V_c = V_d = V_e = V_f = V_g = V_h = V_i = V_j = V_k = V_l \quad (3.109)$$

$$I_b + I_c + I_d + I_e + I_f + I_g + I_h + I_i + I_j + I_k + I_l = 0$$

Bu arıza şartlarının (2.40) ve (2.42) denklemlerinde yazılıp düzenlenmesi ile

$$I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} + I_{a3} + I_{a4} + I_{a5} + I_{a7} + I_{a8} + I_{a9} + I_{a10} + I_{a11} = 0 \quad (3.110)$$



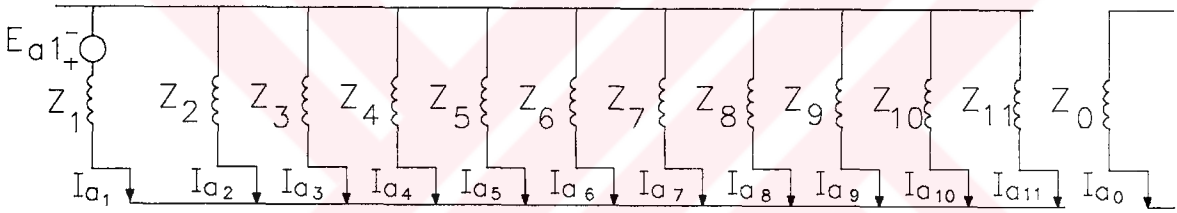
$$V_{a1} = V_{a2} = V_{a3} = V_{a4} = V_{a5} = V_{a6} = V_{a7} = V_{a8} = V_{a9} = V_{a10} = V_{a11} = \frac{1}{12} (V_a - V_b)$$

(3.111)

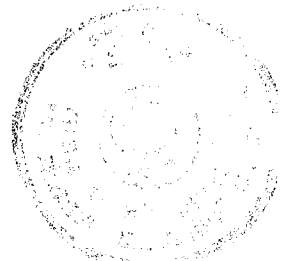
$$V_{a0} = \frac{1}{12} (V_a + 11V_b)$$

eşitlikleri elde edilir.. Bu sonuçlar, denklem (2.51)'de yerine konur ve gerekli işlemler yapılırsa (3.108) denkleminin aynısı elde edilir.

Bu arıza tipine ait sequence devrelerin bağlantısı Şekil 3.72 de verildiği gibidir.



Şekil 3.72. Onbir faz arızası için sequence devrelerin bağlantı şeması.



BÖLÜM 4

FAZ KOORDİNATLARI YÖNTEMİ İLE KISA DEVRE ANALİZİ

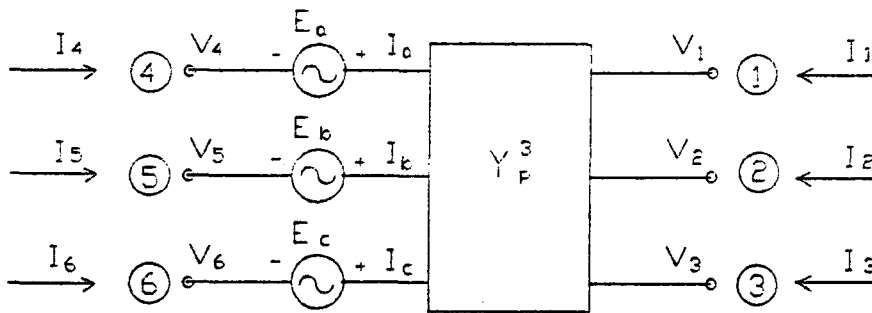
4.1 Girls

Güç sistem şebekesinin faz koordinatları cinsinden analizi ve sistemin temsili, diğer yaklaşımlara kıyasla bazı üstünlüklere sahiptir. Şebekedeki herhangi bir dengesizlik temsil edilebilmekte ve her faz sayıdaki dengeli veya dengesiz arıza şartları analiz edilebilmektedir. Her iletken veya fazın gösterilişi ve analizi, tek fazlı sistemin temsili ve analizindeki kadar kolay ve her faz sayısındaki iletkenlere de uygulanabilmektedir.

4.2 Faz koordinatları ile üç fazlı enerji sistem elemanları

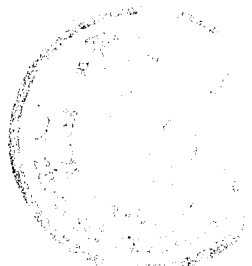
4.2.1 Üç fazlı generatör

Üç fazlı genel generatör devre elemanı Şekil 4.1'deki gibidir.



Sekil 4.1. Üç fazlı genel generatör devre elemanı.

Eğer 4-6 düğümleri yıldız noktasını oluşturacak şekilde birleştirilirse, generatör denklemi (4.1) eşitliğindeki gibi olur.



$$\begin{bmatrix} Y_p^a & Y_1 & -Y_0 \\ -Y_2 & 3Y_1 & 0 \\ -Y_0^T & 0 & (3Y_0 + Y_{NO}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_p^a \\ E_a \\ V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_p^a \\ \frac{\Sigma S^*}{E_a^*} + \frac{y_{NO} |V_N|^2}{E_a^*} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Burada

$$Y_1 = [1 \quad a^2 \quad a]^T Y_1$$

$$Y_2 = [1 \quad a \quad a^2]^T Y_1$$

$$Y_0 = [1 \quad 1 \quad 1]^T Y_0$$

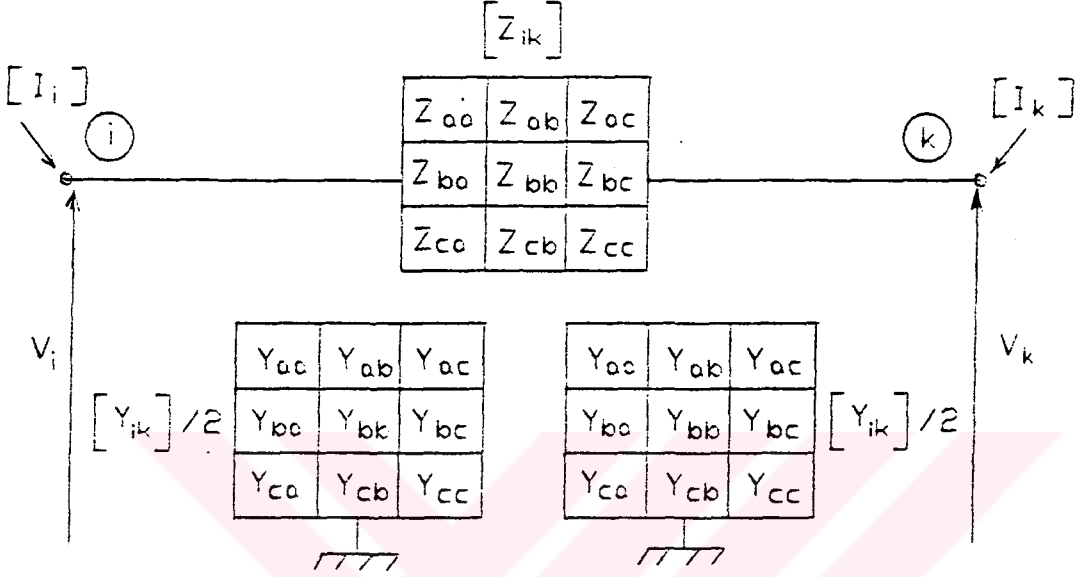
dır. Ani bir kısa devre durumunda, güç sistemlerindeki generatörlerin e.m.k.'lerinin ve faz açıları'nın arıza öncesi değerlerde sabit kaldığı varsayılır. Bütün pasif yükler sabit admitanslara çevrilir. Çok fazlı admitans matrisi ve denklemin sağ tarafındaki akımlar sırasıyla aşağıdaki gibi modifiye edilir.

Denklem (4.1)'deki I_p^a akımları yerine sıfır (pasif yük) veya $(y''E'')$ formundaki ifadeler konur. $y_1 E_a$, $a^2 y_1 E_a$ ve $a y_1 E_a$ ifadeleri denklemin sağ tarafına eklenir. E_a sabit alınarak, görünen güç bilinmeyen değişken olarak alınıp, makina denklemi $Y.V = I$ formunda aşağıdaki gibi yazılır (Laughton, 1968 ; Laughton and Saleh, 1980).

$$\begin{bmatrix} Y_{abc} & -y_0 & -y_0 & -y_0 \\ -y_0 & -y_0 & -y_0 & (3y_0 + Y_{NO}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 E_a \\ a^2 y_1 E_a \\ a y_1 E_a \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

4.2.2 Uç fazlı enerji iletim hattı

Sekil 4.2'de görülen orta ve uzun uç fazlı iletim hattı nominal veya eşdeğer π devresi ile aşağıdaki gibi tanımlanır.



Sekil 4.2. Uç fazlı iletim hattı.

$$\begin{bmatrix} I_{ps}^a \\ I_{pr}^a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_p^a + 1/2 Y_{sh}^a & -Y_p^a \\ -Y_p^a & Y_p^a + 1/2 Y_{sh}^a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ps}^a \\ V_{pr}^a \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Burada, aşağıdaki değerler hattın

$Y_p^a = (3 \times 3)$ boyutunda admitans matrisi

$Y_{sh}^a = (3 \times 3)$ boyutunda şönt admitans matrisi

$I_{ps}^a = (3 \times 1)$ boyutunda hat başı akımı

$I_{pr}^a = (3 \times 1)$ boyutunda hat sonu akımı

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

$V_{ps}^a = (3 \times 1)$ boyutunda hat başı gerilimi

$V_{pr}^a = (3 \times 1)$ boyutunda hat sonu gerilimi

dir (Chen and Dillon, 1974 ; Makram and Girgis, 1988).

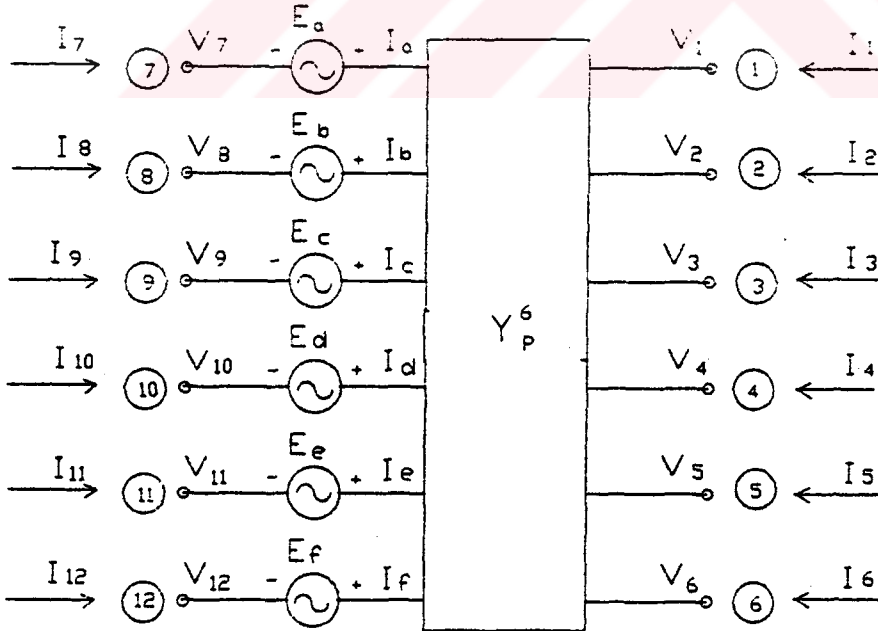
4.2.3 Üç fazlı transformatör modelleri

Üç fazlı transformatör modelleri (Özbey, 1991) de verilmiş olup ayrıca burada incelenmeyecektir.

4.3 Faz koordinatları ile altı fazlı enerji sistem elemanları

4.3.1 Altı fazlı generatör

Altı fazlı genel generatör devre elemanı Şekil 4.3'deki gibidir.



Şekil 4.3. Altı fazlı genel generatör devre elemanı.

Eğer 7-12 düğümleri yıldız noktasını oluşturacak şekilde birleştirilirse, generatör denklemi (4.4) eşitliğindeki gibi olur.

$$\begin{bmatrix} Y_p^\sigma & Y_1 & -Y_0 \\ -Y_2 & 6y_1 & 0 \\ -Y_0^T & 0 & (6y_0 + y_{N0}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_p^\sigma \\ E_a \\ V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_p^\sigma \\ \frac{\Sigma S^*}{E_a^*} + \frac{y_{N0} |V_N|^2}{E_a^*} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Burada

$$Y_1 = [1 \quad b^* \quad b^{2*} \quad b^{3*} \quad b^{4*} \quad b^{5*}]^T y_1$$

$$Y_2 = [1 \quad b \quad b^2 \quad b^3 \quad b^4 \quad b^5] y_1$$

$$Y_0 = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1]^T y_0$$

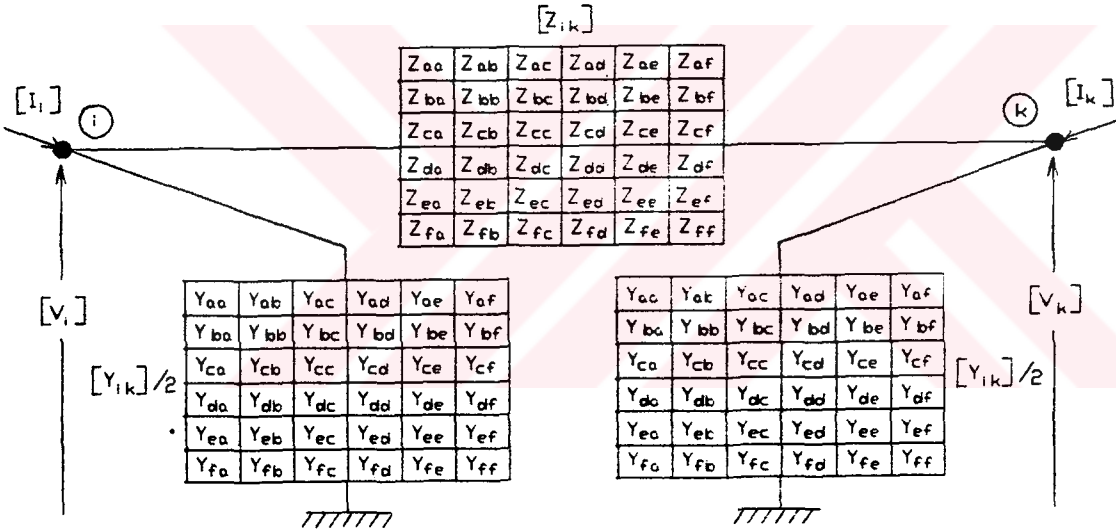
dır. Ani bir kısa devre durumunda, güç sistemlerindeki generatörlerin e.m.k.'lerinin ve faz açılarının arıza öncesi değerlerde sabit kaldığı varsayılır. Bütün pasif yükler sabit admitanslara çevrilir. Çok fazlı admitans matrisi ve denklemin sağ tarafındaki akımlar sırasıyla aşağıdaki gibi modifiye edilir.

Denklem (4.4)'deki I_p^σ akımları yerine sıfır (pasif yük) veya $(y''E'')$ formundaki ifadeler konur. $y_1 E_a$, $b^2 y_1 E_a$, ifadeleri denklemin sağ tarafına eklenir. E_a sabit alınarak, görünen güç bilinmeyen değişken olarak alınıp, makina denklemi $Y.V = I$ formunda aşağıdaki gibi yazılır (Özbey, 1991).

$$\begin{bmatrix} Y_p^\sigma & -Y_o \\ -Y_o^T & (6Y_o + Y_{No}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_p^\sigma \\ V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 E_a \\ b^s y_1 E_a \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

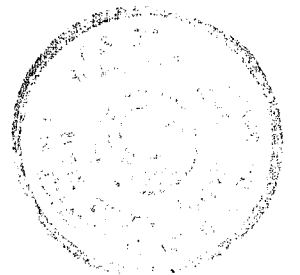
4.3.2 Altı fazlı enerji iletim hattı

Sekil 4.4'de görülen orta ve uzun altı fazlı iletim hattı nominal veya eşdeğer π devresi ile aşağıdaki gibi tanımlanır.



Sekil 4.4. Altı fazlı iletim hattı

$$\begin{bmatrix} I_{ps}^\sigma \\ I_{pr}^\sigma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_p^\sigma + 1/2 Y_{sh}^\sigma & -Y_p^\sigma \\ -Y_p^\sigma & Y_p^\sigma + 1/2 Y_{sh}^\sigma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ps}^\sigma \\ V_{pr}^\sigma \end{bmatrix} \quad (4.6)$$



Burada, aşağıdaki değerler hattın

$Y_p^6 = (6 \times 6)$ boyutunda admitans matrisi

$Y_{sh}^6 = (6 \times 6)$ boyutunda şönt admitans matrisi

$I_{ps}^6 = (6 \times 1)$ boyutunda hat başı akımı

$I_{pr}^6 = (6 \times 1)$ boyutunda hat sonu akımı

$V_{ps}^6 = (6 \times 1)$ boyutunda hat başı gerilimi

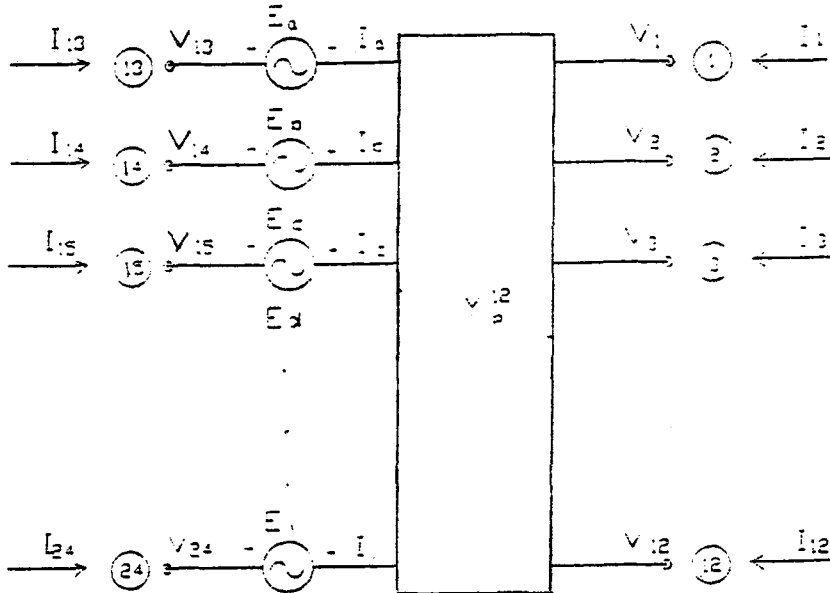
$V_{pr}^6 = (6 \times 1)$ boyutunda hat sonu gerilimi

dir.

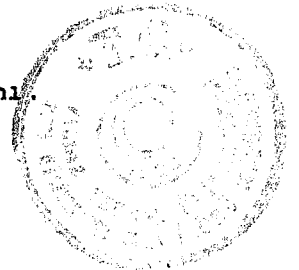
4.4 Faz koordinatları ile oniki fazlı enerji sistem elemanları

4.4.1 Oniki fazlı generatör

Oniki fazlı genel generatör devre elemanı Şekil 4.5'deki gibidir.



Şekil 4.5. Oniki fazlı genel generatör devre elemanı.



Eğer 13-24 düğümleri yıldız noktasını oluşturacak şekilde birleştirilirse, generatör denklemi (4.7) eşitliğindeki gibi olur.

$$\begin{bmatrix} Y_p^{12} & -Y'_1 & -Y'_0 \\ -Y'_2 & 12y_1 & 0 \\ -Y'_0{}^T & 0 & (12y_0 + Y_{No}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_p^{12} \\ E_a \\ V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_p^{12} \\ \frac{\Sigma S^*}{E_a^*} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

Burada

$$Y'_1 = [1 \quad c \quad c^2 \quad j \quad \dots \quad -j \quad c^{2*} \quad c^*]^T y_1$$

$$Y'_2 = [1 \quad c^* \quad c^{2*} \quad -j \quad \dots \quad j \quad c^2 \quad c]^T y_1$$

$$Y'_0 = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad \dots \quad 1 \quad 1 \quad 1]^T y_0$$

dır. Ani bir kısa devre durumunda, güç sistemlerindeki generatörlerin e.m.k.'lerinin ve faz açılarının arıza öncesi değerlerde sabit kaldığı varsayılır. Bütün pasif yükler sabit admitanslara çevrilir. Çok fazlı admitans matrisi ve (4.7) denkleminin sağ tarafındaki akımlar aşağıdaki gibi modifiye edilir.

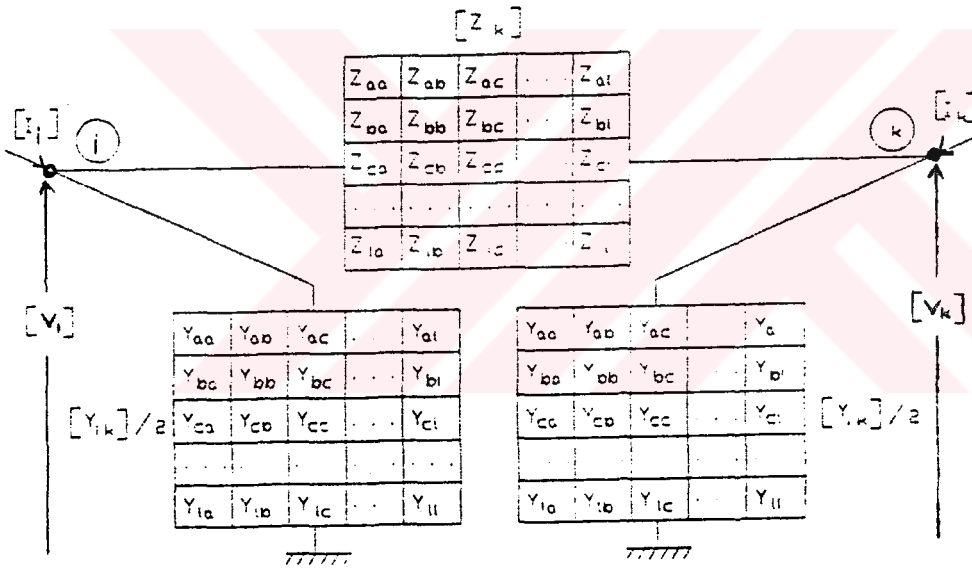
Denklem (4.7)'deki I_p^{12} akımları yerine sıfır (pasif yük) veya $\langle y''E'' \rangle$ formundaki ifadeler konur. $y_1 E_a$, $c^2 y_1 E_a$, ... $\dots, c y_1 E_a$ ifadeleri denklemin sağ tarafına eklenir. E_a sabit alınarak, görünen güç bilinmeyen değişken olarak alınıp, makina denklemi $Y.V = I$ formunda aşağıdaki gibi yazılır.



$$\begin{bmatrix} Y_p^{12} & -Y_o \\ -Y_o^T & (12y_o + Y_{No}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_p^{12} \\ V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 E_a \\ c^{11} y_1 E_a \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

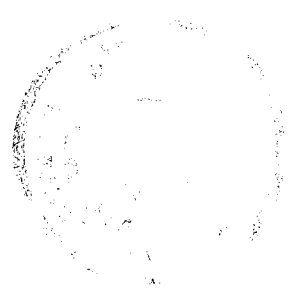
4.4.2 Oniki Fazlı Enerji İletim Hattı

Sekil 4.6'de görülen orta ve uzun oniki fazlı iletim hattı nominal veya eşdeğer π devresi ile aşağıdaki gibi tanımlanır.



Sekil 4.6 Oniki fazlı enerji iletim hattı.

$$\begin{bmatrix} I_{ps}^{12} \\ I_{pr}^{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_p^{12} + 1/2 Y_{sh}^{12} & -Y_p^{12} \\ -Y_p^{12} & Y_p^{12} + 1/2 Y_{sh}^{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ps}^{12} \\ V_{pr}^{12} \end{bmatrix} \quad (4.9)$$



Burada aşağıdaki değerler hattın;

$Y_p^{12} = (12 \times 12)$ boyutunda admitans matrisi

$Y_{sh}^{12} = (12 \times 12)$ boyutunda şönt admitans matrisi

$I_{ps}^{12} = (12 \times 1)$ boyutunda hat başı akımı

$I_{pr}^{12} = (12 \times 1)$ boyutunda hat sonu akımı

$V_{ps}^{12} = (12 \times 1)$ boyutunda hat başı gerilimi

$V_{pr}^{12} = (12 \times 1)$ boyutunda hat sonu gerilimi

dir.

4.5 Faz Koordinatları Yöntemi

Faz koordinatları metodu, genellikle transformasyon tekniğinin sıkıcı yada kaba olduğu yerlerde, analiz için çok kuvvetli ve esnek bir metoddur. Bundan başka, bütün seri ve şönt tipi arıza analizleri dengeli tek faz arızasındaki analiz kadar kolay yapılabilir. Bunun için temel adımlar aşağıdaki gibidir:

(i) $Y.V = I$ denklemindeki $[Y]$ matrisi, yukarıda verilen makina modelleri ve yük temsilleri göz önüne alınarak $[Y]'$ olarak modifiye edilir. Bütün statik yükler eşdeğer admitanslara dönüştürülerek, kendisi ile ilgili $[Y]'$ nin diagonal elemanlarına eklenir. Bu değişikliklerle sistemin modeli aşağıdaki gibi yazılır.

$$Y'.V = I'$$

(4.10)

(ii) Çeşitli arıza tiplerinin çözümü, enerji sistemindeki zorlamalar da dikkate alınarak, (4.10) denkleminde çeşitli nümerik çözüm metodlarının uygulanması ile elde edilir.

Çalışmada, sonraki bölümde nümerik çözüm tekniklerinden Gauss-Siedel (Siframkrishnan et al, 1980 ; Stagg and El-Abiad, 1968 ; Güngör, 1988) metodu kullanılacaktır.

4.6 Arıza Analizinde Zorlamalar

Bu bölümde çeşitli arıza tiplerindeki zorlamalara ait örnekler verilecektir.

4.6.1 Sıfır Empedans Üzerinden Tek-Faz Toprak Arızası

Tek faz-toprak kısa devresi eğer k. barada ise toprak referansına göre V_k gerilimi sıfır olmaya zorlanır. Birbiri ile uyumlu denklem sisteminden bu zorlamalar ile ekstra serbestlik derecesi elde etmek için, (4.10) denklemine ait k.eşitliğin sağ tarafındaki akım belirtilmemelidir ve bu akım değeri $V_k = 0$; V_i , $i = 1, 2, 3, \dots, n$; $i \neq k$ alınarak (n-1) tane bilinmeyen gerilim değerinden (n-1) tanesinin çözümüyle kendi değerini almasına izin verilir.

Bu k. akım I_k'' ile gösterilirse, bu kabule göre

$$I_k'' = \sum_m Y'_{km} \cdot V_m = I_k' + I_{sc} \quad (4.11)$$

olur. I_k' akımı, (4.10) denkleminde , arıza öncesi akım ve Y'_{km} , $m=1, 2, \dots, u$ ise Y' matrisinin k.satırıdır. I_{sc} akımı, toprağa bağlı kısa devre akımıdır. Bu hesap, tek hat diyagramında belirtilen güç sisteminin görünen güç bazına göre kurulmuş herhangi bir faz sayısındaki arıza için yapılan hesaplarla aynıdır. Lineer cebirdeki herhangi bir çözüm tekniğinin bu probleme uyarlanması ile çözüm elde edilebilir.

4.6.2 Empedans Üzerinden Tek-Faz Toprak Arızası

Eğer k. bara ile toprak kısa devresi Z_{ko} empedansı üzerinden olursa, o zaman V_k gerilimi $V_k \neq 0$ olur. $y''_{ko} (Z_{ko}^{-1})$ değeri Y'_{kk} köşegen elemanına eklenip, V_k gerilim değeri ile diğer bütün bara gerilimleri hesaplanmalıdır. Arıza akımı ise

$$I_{sc} = y''_{ko} V_k \quad (4.12)$$

förmülü ile hesaplanır.

4.6.3 Faz-Faz Kısa Devre Arızaları

Kısa devre olan baralar (sıfır empedans üzerinden) (4.10) nolu eşitlikten birkaç sınırlama ile çözülebilir. Bu durumda düğüm sayısı sabit kalır ve kısa devre olan baraların gerilimleri eşit olmaya zorlanır. Bölüm 4.6.1 de olduğu gibi ekstra serbestlik derecesi elde etmek için ilgili denklemin sağ tarafındaki akımlar belirtilmemeli ve kendi değerlerini almaya bırakılmalıdır. Mesala k barasındaki bu akımlar

$$I_k'' = I_k' + \sum I_{sc} \quad (4.13)$$

dir. Burada I_{sc} , k barasına diğer baralardan giren kısa devre akımı olarak gösterilmiştir. j ve k baraları arasındaki faz-faz kısa devresi için (4.10) denkleminde $V_j = V_k$ alınarak, gerilim değerleri çözülür. I_j'' ve I_k'' ise bilinmeyen akımlardır, değerleri

$$I_j'' = I_j' + I_{kj}$$

$$I_k'' = I_k' + I_{jk}$$

(4.14)

olarak yazılabilir. $I_{kj} (= -I_{jk})$ akımı j ve k baraları arasında akan kısa devre akımı olup, I_{kj} akımı j barasına enjekte edilen akım, I_{jk} akımı ise k barasına enjekte edilen akımdır.

Herhangi bir faz sayısındaki faz-faz kısa devre durumunda ise, (4.10) denkleminde $V_i = V_j = \dots = V_l$ alınarak çözüm yapılır. Burada $I''_i, I''_j, \dots, I''_l$ akımları bilinmeyenlerdir. Ve

$$I''_i = I'_i + I_{ji} + \dots + I_{li}$$

$$I''_j = I'_j + I_{ij} + \dots + I_{lj} \quad (4.15)$$

.....

$$I''_l = I'_l + I_{il} + \dots + I_{jl}$$

olarak yazılabilir. i, j, ..., l baralarındaki sırasıyla toplam kısa devre akımları $(I_{ji} + \dots + I_{li})$, $(I_{ij} + \dots + I_{lj})$, $(I_{il} + \dots + I_{jl})$ dir. Eğer r tane bara birbiri ile kısa devre ise, $(n+r)$ bilinmeyenden n tanesi çözülebilir (n adet gerilim ve r adet akım). Benzer problem yük akışı probleminde de ortaya çıkmaktadır, bu durumda bazı baraların gerilimleri (gerilimin genlikleri sabit bir değer olmaya) zorlanırken, bazı generatörlerin gerilimleri zorlanmadan iteratif hesapla bulunur. Yük akışında olduğu gibi kısa devrede bilinmeyen gerilim ve enjekte edilen akımların tahmini değerlerinden iteratif işlemlerle problemin çözümü elde edilir.

4.6.4 Empedans Üzerinden Faz-Faz Arızası

Eğer fazlar arası arıza empedans üzerinden oluyorsa, (4.10) denklemi Y' matrisine uygun admitanslar eklenerek çözülür ve gerilim değerleri elde edilir. Z''_{jk} empedansı üzerinden kısa devre olan j ve k baraları için $y''_{jk} (=z''_{jk}^{-1})$ empedansı Y'_{jk} ve Y'_{kk} diyagonal elemanlarına, $-y''_{jk}$ ise Y'_{jk} ve Y'_{kj} diyagonal dışı elemanlarına eklenir. Gerilim değerleri çözüldükten sonra kısa devre akımı

$$I_{jk} = y''_{jk} (V_j - V_k) \quad (4.16)$$

eşitliği ile bulunabilir.

4.6.5 Faz-Faz Toprak Arızaları

Aynı anda r adet faz, toprakla kısa devre olursa (4.10) denkleminde ilgili gerilimler sıfır yapılır, geri kalan $(n-r)$ tane sıfır olmayan gerilimler, $(n-r)$ tane eşitlikten çözülür. Toprağa giden kısa devre akımları, r adet bara için aşağıdaki eşitlik yardımıyla çözülür.

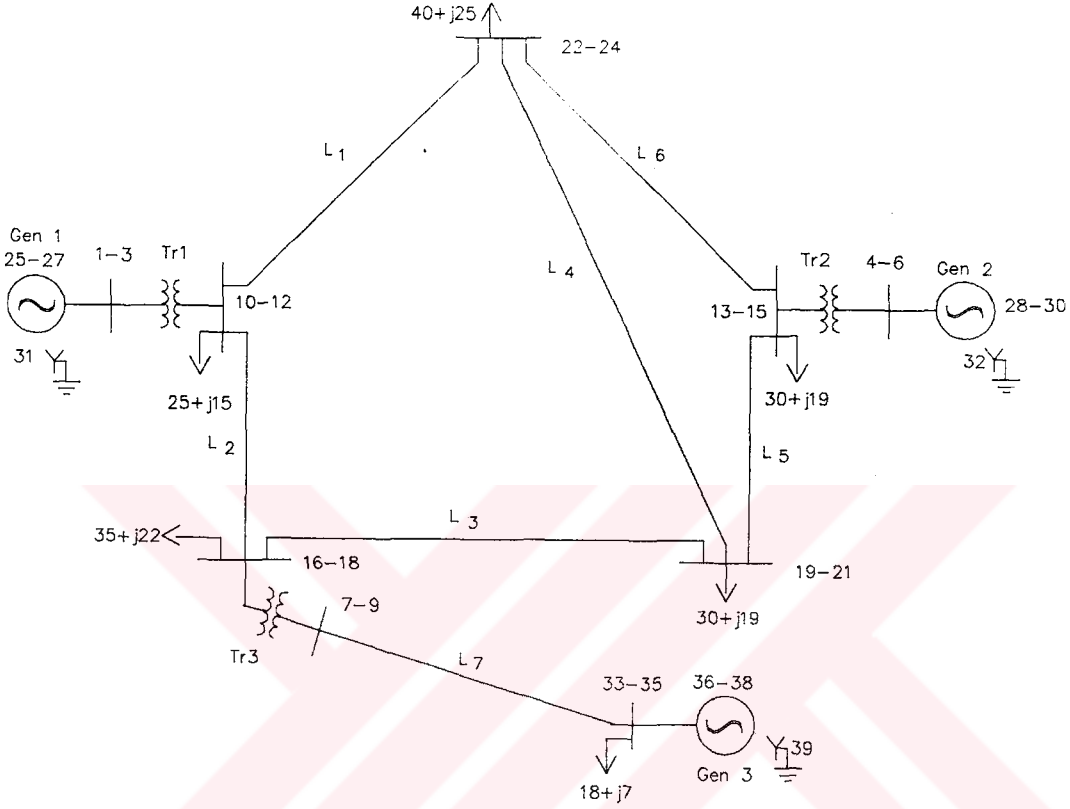
$$I_k = \sum_{m=1}^n Y'_{km} \cdot V_m - I'_k \quad (4.17)$$

Toprağa giden toplam arıza akımı, ayrı ayrı arıza akımlarının toplamlarından bulunur.

Eğer faz-faz toprak arızaları empedans üzerinden olmuşsa, arıza akımı; (4.10) denkleminde ifade edilen Y' matrisine, admitansın değeri uygun olarak yerleştirilir ve (4.12), (4.16), (4.17) denklemleri yardımı ile arıza empedansının devredeki yeri de göz önünde bulundurarak arıza akımı hesaplanır.

BÖLÜM 5

SAYISAL UYGULAMA



Şekil 5.1. Üç fazlı örnek enerji sistemi.

5.1 Üç fazlı enerji sistemlerinde arıza analizi

Şekil 5.1'deki üç fazlı 39 baralı güç sisteminde yükler MW ve MVar olarak verilmiştir. Tablo 5.1, 5.2, 5.3'deki değerler 100 MVA bazına göre per unit cinsinden verilmiştir.

5.1.1 Dengeli üç fazlı sistemlerde arıza analizi

Şekil 5.1'de gösterilen ve Tablo 5.1, 5.2, 5.3'de dataları verilen örnek sistemde, talep yükleri ($P + jQ$) şeklinde verilen dengeli sistemin arıza akımları, faz koordinatları metodu kullanılarak bilgisayarla hesaplanmış

olup, sonuçlar tablo E.1'de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi nötr noktaları topraklanmış olan generatörlere de bara numarası verilmiştir. Arıza analizinde Gauss-Seidel tekniği kullanılmış ve sonuçlar 0.00001 yakınsama ile elde edilmiştir.

5.1.2 Dengesiz üç fazlı sistemlerde arıza analizi

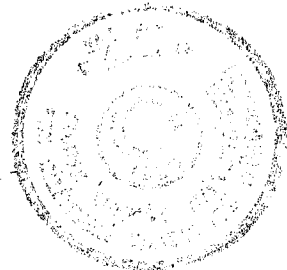
Şekil 5.1 de görülen örnek sistemde 10 ve 12 numaralı faz iletkenleri açılmış olup, tümüyle ihmal edilmemiştir. Çünkü diğer iletkenlerle aralarında kapasite ve kuplaj vardır. Yeni iki düğüm (40,41) ilave edilmiş ve bu düğümlerle açık devre bırakılan hat uçları numaralandırılmıştır.

19,20,21 numaralı baralardaki yükler sırasıyla $(10 + j6)$ $(12 + j8)$, $(8 + j5)$ olarak değiştirilmiştir.

Dengeli yüklemeler için yapılan arıza analizi programı dengesiz yüklemeler için de kullanılmıştır. Sonuçlar 0.0003 yakınsama ile elde edilmiş olup tablo E.2 de verilmiştir.

Tablo 5.1 İletim hattı verileri

Düğünden	Düğüme	± Sequence bileşenler			Sıfır sequence bileşenler		
		R_1	X_1	B_1	R_0	X_0	B_0
10, 11, 12	22, 23, 24	0.00011	0.0077	0.00054	0.00036	0.0374	0.00026
10, 11, 12	16, 17, 18	0.00023	0.0154	0.00027	0.00073	0.0748	0.00013
16, 17, 18	19, 20, 21	0.00014	0.0096	0.00043	0.00044	0.0467	0.00021
19, 20, 21	22, 23, 24	0.00058	0.0385	0.0001	0.0018	0.187	0.000053
19, 20, 21	13, 14, 15	0.00017	0.0115	0.00036	0.00053	0.0561	0.00017
13, 14, 15	22, 23, 24	0.00029	0.0192	0.00021	0.0009	0.0935	0.0001
7, 8, 9	33, 34, 35	0.0095	0.631	0.000006	0.029	3.065	0.000003



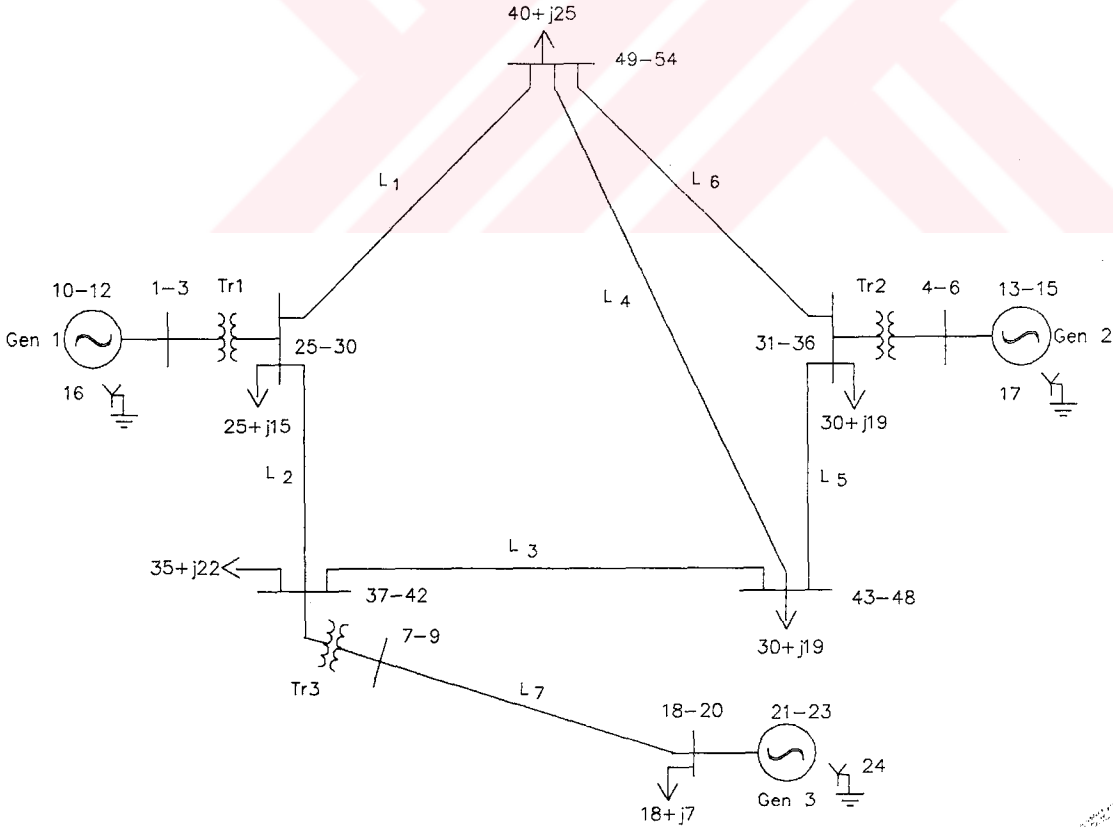
Tablo 5.2 Generatör verileri

Düğümünden	Düğüme	± Sequence bileşenler		Sıfır sequence bileşenler	
		R_1	X_1	R_0	X_0
1, 2, 3	25, 26, 27	0.0	0.268	0.0	0.129
4, 5, 6	28, 29, 30	0.0	0.212	0.0	0.106
33, 34, 35	36, 37, 38	0.0	0.212	0.0	0.106

Tablo 5.3 Transformatör verileri

Düğümünden	Düğüme	Bağlantı Şekli	X
1, 2, 3	10, 11, 12	Üçgen - Yıldız	0.05
4, 5, 6	13, 14, 15	Üçgen - Yıldız	0.05
7, 8, 9	16, 17, 18	Üçgen - Yıldız	0.05

(Transformatörlerin yıldız noktası direk topraklıdır.)



Şekil 5.2. Altı fazlı örnek enerji sistemi.



5.2 Altı fazlı enerji sistemlerinde arıza analizi

Şekil 5.2'deki üç fazlı 54 baralı güç sisteminde yükler MW ve MVar olarak verilmiştir. Tablo 5.4, 5.5, 5.6' daki değerler 100 MVA bazına göre per unit cinsinden verilmiştir.

5.2.1 Dengeli altı fazlı sistemlerde arıza analizi

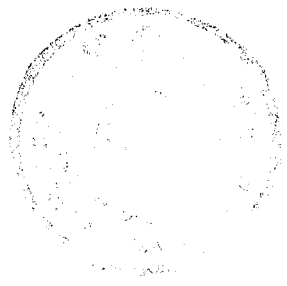
Şekil 5.2'de gösterilen ve Tablo 5.4, 5.5, 5.6'de dataları verilen örnek sistemde, talep yükleri $(P + jQ)$ şeklinde verilen dengeli sistemin arıza akımları, faz koordinatları metodu kullanılarak bilgisayarla hesaplanmış olup, sonuçlar tablo E.3'de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi nötr noktaları topraklanmış olan generatörlere de bara numarası verilmiştir. Arıza analizinde Gauss-Seidel tekniği kullanılmış ve sonuçlar 0.00002 yakınsama ile elde edilmiştir.

5.2.2 Dengesiz altı fazlı sistemlerde arıza analizi

Şekil 5.2 de görülen örnek sistemte 25 ve 49 numaralı faz iletkenleri açılmış olup, tümüyle ihmal edilmemiştir. Çünkü diğer iletkenlerle aralarında kapasite ve kuplaj vardır. Yeni iki düğüm (55,56) ilave edilmiş ve bu düğümlerle açık devre bırakılan hat uçları numaralandırılmıştır.

19,20,21 numaralı baralardaki yükler sırasıyla $(7 + j1)$ $(8 + j2)$, $(3 + j3)$ olarak değiştirilmiştir.

Dengeli yüklemeler için yapılan arıza analizi programı dengesiz yüklemeler için de kullanılmıştır. Sonuçlar 0.0008 yakınsama ile elde edilmiş olup tablo E.4 de verilmiştir.



Tablo 5.4 İletim hattı verileri

Düğümünden	Düğümüne	± Sequence bileşenler			Sıfır sequence bileşenler		
		R ₁	X ₁	B ₁	R ₀	X ₀	B ₀
Altı fazlı iletim hattı							
25 - 30	49 - 54	0.0007	0.0337	0.00012	0.0041	0.214	0.000048
25 - 30	37 - 42	0.0014	0.0674	0.000063	0.0082	0.428	0.000024
37 - 42	43 - 48	0.00087	0.0421	0.0001	0.0051	0.267	0.000038
43 - 48	49 - 54	0.0035	0.1686	0.000025	0.0206	1.070	0.0000096
43 - 48	31 - 36	0.0010	0.0505	0.000084	0.0058	0.321	0.000032
49 - 54	31 - 36	0.0017	0.084	0.00005	0.010	0.0535	0.000019
Üç fazlı iletim hattı							
7, 8, 9	18, 19, 20	0.0095	0.631	0.000006	0.029	3.065	0.000003

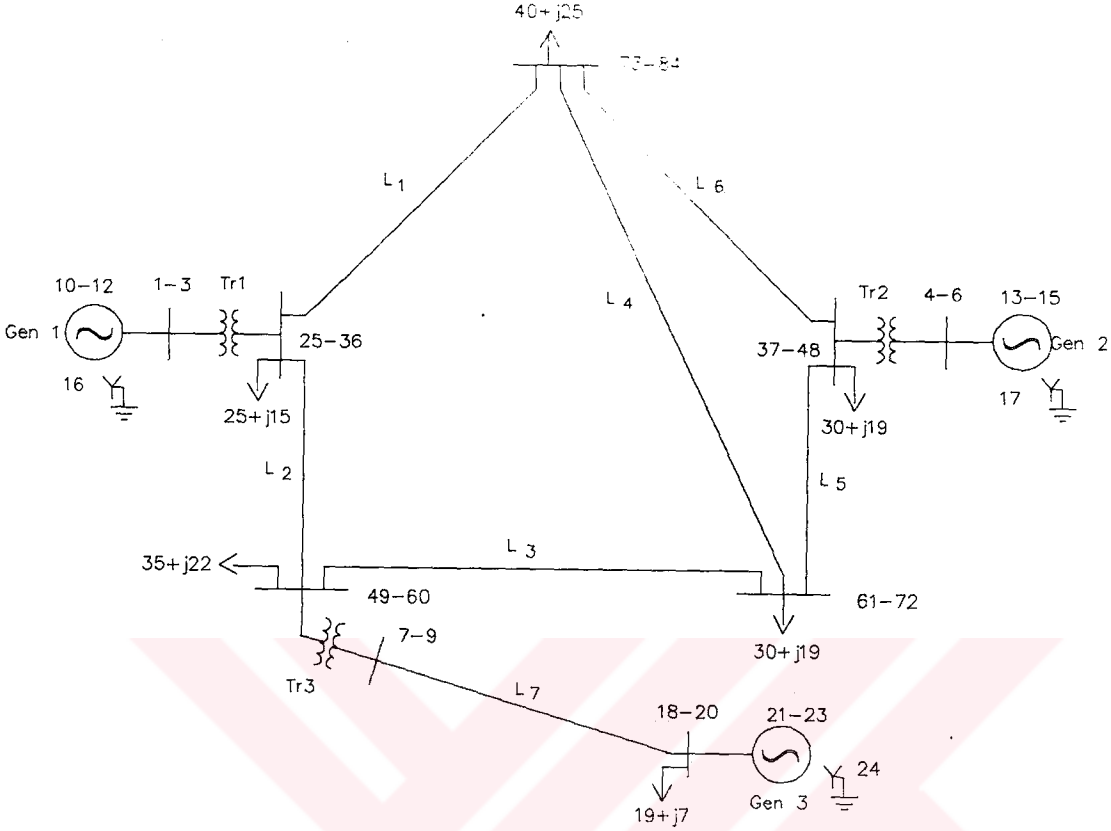
Tablo 5.5 Generatör verileri

Düğümünden	Düğümüne	± Sequence bileşenler		Sıfır sequence bileşenler	
		R_1	X_1	R_0	X_0
1, 2, 3	10, 11, 12	0.0	0.268	0.0	0.129
4, 5, 6	13, 14, 15	0.0	0.212	0.0	0.106
18, 19, 20	21, 22, 23	0.0	0.212	0.0	0.106

Tablo 5.6 Transformatör verileri

Düğümünden	Düğümüne	Bağlantı Şekli	X
1, 2, 3	25 - 30	Üçgen - Yıldız	0.1
4, 5, 6	31 - 36	Üçgen - Yıldız	0.1
7, 8, 9	37 - 42	Üçgen - Yıldız	0.1

(Transformatörlerin yıldız noktası direk topraklıdır.)



Şekil 5.3 Oniki fazlı örnek enerji sistemi.

5.3 Oniki fazlı enerji sistemlerinde arıza analizi

Şekil 5.3'deki üç fazlı 84 baralı güç sisteminde yükler MW ve MVar olarak verilmiştir. Tablo 5.7, 5.8, 5.9'daki değerler 100 MVA bazına göre per unit cinsinden verilmiştir.

5.3.1 Dengeli oniki fazlı sistemlerde arızası analizi

Şekil 5.3'de gösterilen ve Tablo 5.4, 5.5, 5.6'de dataları verilen örnek sistemde, talep yükleri $(P + jQ)$ şeklinde verilen dengeli sistemin arıza akımları, faz koordinatları metodu kullanılarak bilgisayarla hesaplanmış olup, sonuçlar tablo E.5'de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi nötr noktaları topraklanmış olan

generatörlere de bara numarası verilmiştir. Arıza analizinde Gauss-Seidel tekniği kullanılmış ve sonuçlar 0.0008 yakınsama ile elde edilmiştir.

5.3.2 Dengesiz oniki fazlı sistemlerde arıza analizi

Şekil 5.3 de görülen örnek sistemte 25 ve 73 numaralı faz iletkenleri açılmış olup, tümüyle ihmal edilmemiştir. Çünkü diğer iletkenlerle aralarında kapasite ve kuplaj vardır. Yeni iki düğüm (85,86) ilave edilmiş ve bu düğümlerle açık devre bırakılan hat uçları numaralandırılmıştır.

19,20,21 numaralı baralardaki yükler sırasıyla $(7 + j1)$ $(8 + j2)$, $(3 + j3)$ olarak değiştirilmiştir.

Dengeli yüklemeler için yapılan arıza analizi programı dengesiz yüklemeler için de kullanılmıştır. Sonuçlar 0.0008 yakınsama ile elde edilmiş olup tablo E.6 da verilmiştir.

Tablo 5.7 İletim hattı verileri

Düğümünden	Düğüme	± Sequence bileşenler			Sıfır sequence bileşenler		
		R ₁	X ₁	B ₁	R ₀	X ₀	B ₀
Oniki fazlı iletim hattı							
25 - 36	73 - 84	0.0051	0.207	0.00002	0.030	1.542	0.000006
25 - 36	49 - 60	0.0102	0.414	0.00001	0.060	3.084	0.0000033
49 - 60	61 - 72	0.0063	0.259	0.000016	0.0371	1.927	0.0000053
61 - 72	73 - 84	0.0255	1.037	0.000004	0.150	7.71	0.0000013
61 - 72	37 - 48	0.0076	0.311	0.000013	0.0447	2.313	0.0000044
73 - 84	37 - 48	0.0127	0.518	0.000008	0.0748	3.855	0.0000026
Üç fazlı iletim hattı							
7, 8, 9	18, 19, 20	0.0095	0.631	0.000006	0.029	3.065	0.000003

Tablo 5.8 Generatör verileri

Düğümünden	Düğüme	± Sequence bileşenler		Sıfır sequence bileşenler	
		R_1	X_1	R_0	X_0
1, 2, 3	10, 11, 12	0.0	0.268	0.0	0.129
4, 5, 6	13, 14, 15	0.0	0.212	0.0	0.106
18, 19, 20	21, 22, 23	0.0	0.212	0.0	0.106

Tablo 5.9 Transformatör verileri

Düğümünden	Düğüme	Bağlantı Şekli	X
1, 2, 3	25 - 36	Üçgen - Yıldız	0.0625
4, 5, 6	37 - 48	Üçgen - Yıldız	0.0625
7, 8, 9	49 - 60	Üçgen - Yıldız	0.0625

(Transformatörlerin yıldız noktası direk topraklıdır.)

Tablo 5.10 Ele alınan örnek sistemde dengeli yükler için 3-fazlı, 6-fazlı ve 12-fazlı durumlara ait arıza analizi sonuçları.

Arıza Tipi	Arızalı Bara	Üç Fazlı Sistem		Altı Fazlı Sistem		Oniki Fazlı Sistem	
		Arıza Akımının Genliği Açısı		Arıza Akımının Genliği Açısı		Arıza Akımının Genliği Açısı	
Üç Faz Toprak	10	8.350	178.8				
	11	8.350	58.785				
	12	8.351	-61.16				
Üç Faz Toprak	13	8.400	178.75				
	14	8.399	58.733				
	15	8.400	-61.21				
Üç Faz Toprak	16	8.197	178.77				
	17	8.196	58.749				
	18	8.197	-61.20				
Üç Faz Toprak	19	8.241	178.75				
	20	8.240	58.754				
	21	8.241	-61.19				
Üç Faz Toprak	22	8.263	178.79				
	23	8.263	58.773				
	24	8.263	-61.17				
Altı Faz Toprak	25			3.285	119.15		
	26			4.177	62.381		

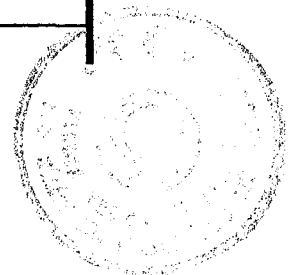
	27	4.024	-1.046	
	28	4.175	-61.02	
	29	4.027	-120.8	
	30	4.164	175.61	
Altı Faz Toprak	31	3.493	118.95	
	32	4.192	61.757	
	33	4.074	-1.104	
	34	4.198	-61.02	
	35	4.074	-120.9	
	36	4.193	176.19	
Altı Faz Toprak	37	3.867	119.01	
	38	3.864	59.007	
	39	3.866	-0.977	
	40	3.865	-60.96	
	41	3.865	-121.0	
	42	3.866	179.01	
Altı Faz Toprak	43	3.695	118.99	
	44	3.949	60.171	
	45	3.906	-1.014	
	46	3.953	-60.96	
	47	3.905	-120.9	
	48	3.952	177.87	
Altı Faz Toprak	49	2.466	118.90	
	50	4.240	65.67	
	51	3.956	-1.678	
	52	4.297	-60.98	
	53	3.957	-120.2	
	54	4.237	172.39	
Oniki Faz Toprak	25		1.972	149.64
	26		1.972	119.64
	27		1.969	89.599
	28		1.969	59.599
	29		1.972	29.547
	30		1.972	-0.453
	31		1.972	-30.35
	32		1.972	-60.35
	33		1.969	-90.40
	34		1.969	-120.4
	35		1.972	-150.4
	36		1.972	179.54
Oniki Faz Toprak	37		2.059	149.57
	38		2.059	119.57
	39		2.056	89.532
	40		2.056	59.532
	41		2.059	29.483
	42		2.059	-0.517
	43		2.059	-30.42
	44		2.059	-60.42

	45		2.056	-90.46
	46		2.056	-120.4
	47		2.059	-150.5
	48		2.059	179.48
Oniki Faz Toprak	49		1.737	149.65
	50		1.737	119.65
	51		1.733	89.592
	52		1.733	59.592
	53		1.737	29.524
	54		1.737	-0.476
	55		1.737	-30.34
	56		1.737	-60.34
	57		1.733	-90.40
	58		1.733	-120.4
	59		1.737	-150.4
	60		1.737	179.52
Oniki Faz Toprak	61		1.776	149.65
	62		1.776	119.66
	63		1.773	89.611
	64		1.773	59.611
	65		1.776	29.552
	66		1.776	-0.448
	67		1.776	-30.33
	68		1.776	-60.33
	69		1.773	-90.38
	70		1.773	-120.3
	71		1.776	-150.4
	72		1.776	179.55
Oniki Faz Toprak	73		1.809	149.68
	74		1.809	119.68
	75		1.806	89.637
	76		1.806	59.63
	77		1.809	29.58
	78		1.809	-0.417
	79		1.809	-30.31
	80		1.809	-60.31
	81		1.806	-90.36
	82		1.806	-120.3
	83		1.809	-150.4
	84		1.809	179.58
Tek Faz Toprak	10	11.203	178.50	
	13	11.177	178.43	
	16	11.035	178.47	
	20	10.610	58.36	
	22	10.559	178.40	
Tek Faz Toprak	25		8.474	117.81
	31		8.396	117.67
	37		8.269	117.75

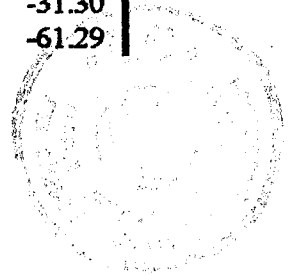
	43	7.145	117.66	
	49	7.050	117.72	
Tek Faz Toprak	25		7.902	88.62
	37		8.047	148.67
	49		7.264	148.72
	61		3.577	148.61
	73		3.497	148.79

Tablo 5.11 Ele alınan örnek sistem dengesiz yükler için 3-fazlı, 6-fazlı ve 12-fazlı durumlara ait arıza analizi sonuçları.

Arıza Tipi	Arızalı Bara	Üç Fazlı Sistem		Altı Fazlı Sistem		Oniki Fazlı Sistem	
		Arıza Akımının Genliği	Açısı	Arıza Akımının Genliği	Açısı	Arıza Akımının Genliği	Açısı
Üç Faz Toprak	10	7.694	178.66				
	11	8.444	57.467				
	12	8.468	-60.05				
Üç Faz Toprak	13	7.916	178.63				
	14	8.480	57.708				
	15	8.485	-60.32				
Üç Faz Toprak	16	8.195	178.70				
	17	8.195	58.711				
	18	8.196	-61.27				
Üç Faz Toprak	19	8.080	178.69				
	20	8.272	58.332				
	21	8.271	-60.88				
Üç Faz Toprak	22	6.766	178.53				
	23	8.595	54.961				
	24	8.612	-57.54				
Altı Faz Toprak	25			3.285	119.15		
	26			4.177	62.381		
	27			4.024	-1.046		
	28			4.175	-61.02		
	29			4.027	-120.8		
	30			4.164	175.61		
Altı Faz Toprak	31			3.493	118.95		
	32			4.192	61.757		
	33			4.074	-1.104		
	34			4.198	-61.02		
	35			4.074	-120.9		
	36			4.193	176.19		
Altı Faz Toprak	37			3.867	119.01		



	38	3.864	59.007	
	39	3.866	-0.977	
	40	3.865	-60.96	
	41	3.865	-121.0	
	42	3.866	179.01	
Altı Faz Toprak	43	3.695	118.99	
	44	3.949	60.171	
	45	3.906	-1.014	
	46	3.953	-60.96	
	47	3.905	-120.9	
	48	3.952	177.87	
Altı Faz Toprak	49	2.466	118.90	
	50	4.240	65.67	
	51	3.956	-1.678	
	52	4.297	-60.98	
	53	3.957	-120.2	
	54	4.237	172.39	
Oniki Faz Toprak	25		1.452	149.17
	26		2.080	119.32
	27		2.014	90.697
	28		1.992	60.908
	29		1.967	29.039
	30		1.950	-1.427
	31		1.996	-31.23
	32		2.001	-61.87
	33		1.966	-91.47
	34		1.988	-121.6
	35		2.011	-153.2
	36		2.027	177.25
Oniki Faz Toprak	37		1.674	148.35
	38		2.140	118.99
	39		2.087	89.901
	40		2.071	60.029
	41		2.055	28.651
	42		2.043	-1.699
	43		2.077	-31.48
	44		2.082	-61.94
	45		2.054	-91.71
	46		2.071	-121.8
	47		2.091	-152.9
	48		2.103	177.42
Oniki Faz Toprak	49		1.740	148.63
	50		1.736	118.70
	51		1.735	88.635
	52		1.735	58.631
	53		1.737	28.634
	54		1.738	-1.364
	55		1.737	-31.30
	56		1.737	-61.29



	57		1.736	-91.35
	58		1.735	-121.3
	59		1.737	-151.3
	60		1.737	178.65
Oniki Faz Toprak	61		1.666	148.53
	62		1.800	118.86
	63		1.783	89.120
	64		1.778	59.158
	65		1.776	28.685
	66		1.772	-1.437
	67		1.781	-31.32
	68		1.783	-61.48
	69		1.774	-91.44
	70		1.779	-121.4
	71		1.786	-151.8
	72		1.790	178.27
Oniki Faz Toprak	73		0.891	148.22
	74		2.023	119.94
	75		1.888	92.765
	76		1.849	63.169
	77		1.806	28.91
	78		1.777	-2.027
	79		1.875	-31.22
	80		1.886	-62.42
	81		1.805	-91.45
	82		1.845	-121.7
	83		1.891	-155.2
	84		1.918	175.69
Tek Faz Toprak	10	10.613	178.27	
	13	10.743	178.28	
	16	11.038	178.39	
	20	10.602	58.35	
	22	8.968	178.01	
Tek Faz Toprak	25		7.669	118.06
	31		7.735	118.04
	37		8.246	118.20
	43		6.914	118.06
	49		4.990	117.79
Tek Faz Toprak	25		7.338	147.85
	37		7.648	147.57
	49		7.269	147.80
	61		3.445	147.63
	73		1.825	147.51



BÖLÜM 6

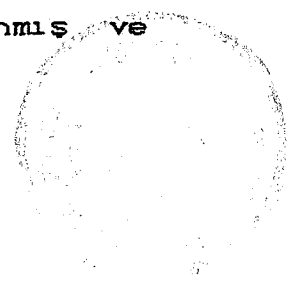
SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda elektrik enerjisi talebinin günden güne artması, enerji üreten kuruluşların tüketici merkezlerine daha fazla güç iletilmesini gerekli hale getirmiştir. Önceki iletim sistemlerine ait kapasite artışları iletim gerilimlerinin arttırılması ile gerçekleştirilmisti. Fakat bu uygulamanın bugün için özellikle salt elemanları ve izolasyon açısından artık doyuma ulaştığı kabul edilmektedir.

Büyük güçlerin çok uzun mesafelere ekonomik olarak iletilmesi fikri bazı yeni fikirlerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bunlardan birincisi doğru akımla enerji iletimidir. Alternatiflerden bir diğeri ise gerilimi arttırma yerine faz sayısını arttırma fikridir. Bu fikre paralel olarak 1980 yılında A.B.D 'de önce altı fazlı 80 kV'luk faz-nötr gerilimli bir test hattı, daha sonrada oniki fazlı iletim hattı kurularak incelemelere başlanmıştır.

Türkiye'de sanayileşme ile birlikte enerji ihtiyacının hızla artması ve üretim merkezlerinin genellikle tüketicilerden uzakta bulunması, mevcut gerilim seviyesi değiştirilmeden daha büyük güçlerin altı ve oniki fazlı sistemler ile iletilmesi konusunu gündeme getirmektedir. Tezde, adı geçen çok fazlı sistemlere ait dizayn çalışmaları ile yakından ilgili olan kısa devre analizleri incelenmiş ve sonuçlar, önceki çalışmalara yapılan katkılar, getirilen yenilikler ve öneriler belirtilmiştir:

1- Uç fazlı, altı fazlı ve oniki fazlı enerji sistemlerine simetrili bileşenler teorisi uygulanmış ve sequence devreler elde edilmiştir.



2- Simetrik bileşenler teorisi kullanılarak üç fazlı, altı fazlı ve oniki fazlı enerji sistemlerinde meydana gelen arıza tipleri için arıza akımları denklemleri çıkarılmıştır.

3- Faz koordinatları yöntemi kullanılarak üç fazlı, altı fazlı ve oniki fazlı enerji sistemlerinde meydana gelen arıza tipleri için arıza akımları denklemleri verilmiştir.

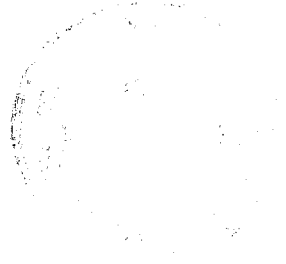
4- Yük akışı ve arıza öncesi bara gerilimlerinin bulunmasında " seyrek matris tekniği (sparse matrix technique)" ilk defa olarak uygulanmıştır.

5- Örnek sistemde üç fazlı, altı fazlı ve oniki fazlı baralarda kısa devre olması halinde arıza öncesi bara gerilimleri ve kısa devre akımları ilk defa elde edilmiş ve ilgili tablolarda gösterilmiştir.

6- Faz koordinatları yöntemi ile üç fazlı, altı fazlı ve oniki fazlı devre elemanlarının modelleri verilmiştir.

7- Ele alınan örnek enerji sistemine ait iletim hatlarının sırasıyla üç, altı ve oniki fazlı olarak dizayn edilmeleri halinde, baralarda meydana gelebilecek en ağır arızalarla ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bunlar üç-faz toprak, altı faz- toprak ve oniki faz-toprak gibi en ağır arızalar ile tek faz-toprak gibi daha sık rastlanan ancak daha az tesirli olan arızalardır.

Sonuç olarak; faz sayısı arttıkça arıza akımlarının şiddetlerinin üç fazlı sisteme göre daha düşük değerlerde seyrettiği görülmektedir. Bu durumda altı fazlı ve oniki fazlı sistemler için daha düşük anma değerli kesicilerle daha basit bir koruma planının yapılabilceği gerçeği ortaya çıkmaktadır.



8- İletim hatlarında faz sayısını arttırma düşüncesi ile altı fazlı ve oniki fazlı generatör modelleri, faz koordinatları yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

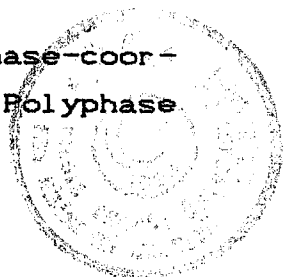
Bilindiği gibi bir elektrik enerji sisteminin planlanmasında kısa devre analizlerinin önemi çok büyüktür. Çünkü enerji iletim sisteminin güvenli ve devamlı bir şekilde işletilmesi, koruma sisteminin iyi seçilmesine bağlıdır. Dolayısı ile öncelikle kısa devre akımları ve güçlerinin bilinmesi gerekir. Sistemde meydana gelebilecek bir kısa devre durumunda, arızalı kısım en kısa zamanda sistemden ayırılabilenmelidir. Bu sebeple koruma rölelerinin boyutlandırılması doğru yapılmalı, kullanılan kesiciler arıza akımlarına karşı dayanabilecek kapasitede olmalıdır.

Enerji üretim ve tüketim merkezleri arasındaki mesafenin ülkemizdeki gibi uzun olması, enerji iletim hatlarında yüksek gerilim kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Uzun enerji iletim hatlarının iletim kapasitelerinin gerilime bağlı olarak artışı, daha yüksek gerilim kademelerine çıkılmasını gerektirmektedir. Buna karşılık, izolator dizaynı, izolasyon mesafeleri, korona olayları gibi etkenler iletimde kullanılabilecek gerilim değerini sınırlamakta ve daha yüksek gerilim kademelerinde enerji iletilmesini önlemektedir. Bu sebepten dolayı günümüzde hala teorik ve deneysel olarak gerçekleştirilen çok fazlı enerji iletimi üzerindeki çalışmalar yoğunlaştırılarak büyük güçlerin uzun mesafelere iletimi için çok fazlı, normalize gerilimli hatların kullanılması, üzerinde önemle durulması gereken bir konu olarak ortaya çıkmaktadır.

REFERANSLAR

- [1] Auguliaro, A et al., " Mixed Three-Phase and Six-Phase Power System Analysis Using Symmetrical Components Method ", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 9, No.4 , pp. 233-240, 1987.
- [2] Barthold, L.O. and Barnes, H.C., " High Phase Order Power Transmission", Electra, No 24, pp. 139-153, 1973.
- [3] Bhatt, N.B et al., " Six Phase (Multi-phase) Power Transmission Systems: Fault Analysis ", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-96, No 3, pp. 758-767, 1977.
- [4] Binsaroor A.S. and Tiwari S.N., " Evaluation Of Twelve-Phase(Multiphase) Transmission Line Parameters", Electrical Power Systems Research, Vol. 15, pp. 63-76, 1988.
- [5] Bergen, A.R., " Power Systems Analysis ", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1986.
- [6] Choudhary, M.M.and Singh, L.P., " Generalized Mathematical Modeling Of n-Phase Power Systems ", Electric Machines and Power Systems, Vol. 10, pp. 367-378, 1985.
- [7] Chandrasekaran, A., and Broadwater, R.P., "Application of Levinson Algorithm For Fault Calculations in High Phase Order Transmission Systems", Mathematical Computer Modelling, Vol. 11, pp. 321-324, 1988.
- [8] Chen, M.S. And Dillon, W.E., " Power System Modelling" IEEE, Vol. 62, No.7, pp. 901-915, 1974.
- [9] Çakır H., "Elektrik Güç Sistemleri Analizi", Nesil Matbaacılık, İstanbul, 1986.

- [10] Çakır H., " Enerji İletimi (Elektrik Hesaplar) ", İstanbul 1989.
- [11] Guyker, W.C, et al., " 138 kV Six Phase Transmission Feasibility ", Paper presented at American Power Conference, 1978.
- [12] Guyker, W.C et al., " 138 kV, Six-Phase Transmission Systems ", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No.5 pp. 1203-1218, 1982.
- [13] Grande, C., "Series Fault in Six-Phase Electric Power Systems", Electric Power Systems Research, Vol. 13, pp.109-117, 1987.
- [14] Gross, C.A., and Thompson, L., "Calculation Of Currents And Voltages in Faulted High Phase Order Systems", Electric Power Systems Research, Vol. 9, pp. 123-131, 1985.
- [15] Güngör, B.R., "Power Systems", Harcourt Brace Jouanouch Publishers, 1988.
- [16] Laughton, M.A., " Analysis of Unbalanced Polyphase Networks by the Method of Phase Coordinates , Part I- System Representation in Phase Frame of Referrence " Proceedings of the IEE , vol. 115, pp. 1163-1172, August 1968.
- [17] Laughton, M. A., " The Analysis of Unblanced Polyphase Networks by the Methods of Phase Co-ordinates, Part 2. Fault Analysis", Proc. IEE, Vol. 115 pp. 857-865, 1969.
- [18] Laughton, M.A. and Saleh , A.O.M., " Unified phase-coor-
dinate Load Flow and Fault Analysis of Polyphase



Networks ", Int.J. Electrical Power Energy Systems, Vol. 2, pp. 181-192, 1980.

[19] Makram, B.E. and Girgis, A.A., "A Generalized Computer Technique for the Development of the Three-Phase Impedance Matrix for Unbalanced Power Systems", Electric Power Systems Research, Vol. 15, pp. 41-50, 1988.

[20] Nanda S.P., et al., " Fault Analysis of Six-Phase Systems", Electric Power Systems Research, Vol. 4, pp. 201-211, 1981.

[21] Özbey, S., " Enerji Sistemlerinin Faz Koordinatları ile İncelenmesi Ve Çok Fazlı Sistemlerde Yük Akış Analizi ",Doktora Tezi, Yıldız Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1991.

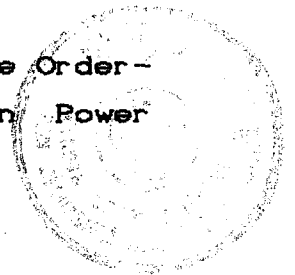
[22] Pal, U.and Singh, L.P., "Feasibility and Fault Analysis of Multi-Phase (12-Phase) Systems", IE(I) Journal-EL, Vol. 65, pp. 138-146, 1985.

[23] Roeper, R., " Short-Circuit Currents in Three-Phase Systems", Siemens, John Wiley and Sons Ltd., 1985.

[24] Ramar, K et al., " A New Generalized Appraach To Fault Analysis Of High Phase Order Transmission Systems", Electric Machines and Power Systems, Vol. 15, pp. 49-62, 1988.

[25] Stewart, J.R. and Wilson, D.D., " High Phase Order Transmission- A Feasibility Analysis ", IEEE Transactions On Power Apparatus and systems, Vol. PAS-97, No.6, pp. 2300-2307, 1978.

[26] Stewart, J.R. and Grant, I.S., " High Phase Order- Ready For Application ", IEEE Transactions on Power



Apparatus and systems, Vol. PAS-101, No.6, pp. 1757-1764, 1978.

[27] Stewart, J.R. and Wilson, D.D., " High Phase Order Transmission-A feasibility Analysis", IEEE Transactions On Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-97, No.6, pp. 2308-2317, 1978.

[28] Stewart, J.R. and Grant, I.S., " Mechanical and Electrical Characteristics of EHV High Phase Order Overhead Transmission ", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No.11, pp. 3380-3385, 1984.

[29] Stewart, J.R., et al., " Economics Of EHV High Phase Order Transmission ", IEEE Transactions On Power Apparatus and systems, Vol. PAS-103, No.11, pp. 3386-3392, 1984.

[30] Stewart, J.R., " Characteristics Of Twelve-Phase " Power Technologies, Inc. P.O.Box. 1058, Schenectady, New York 12301, April 1988.

[31] Stewenson, W.D., " Element of Power System Analysis ", McGraw-Hill Book Company, 1975.

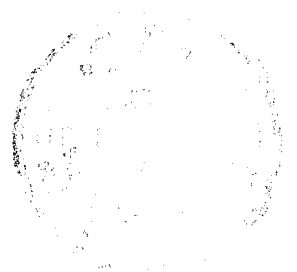
[32] Saroor, A.S., and Tiwari, S.N., " An Investigation into Analysis Of Series Faults In Multiphase Transmission Systems", Electric Power Systems Research, Vol. 19, pp. 85-93, 1990.

[33] Siframkrishnan, A.Y et al., " Three Phase Gauss-Siedel Load Flow Algorithm ", J. Inst.Eng.(India) Part EL5, Vol. 60, pp. 240-244, 1980.

[34] Stagg, G.W., and El-Abiad, A.H., " Computer Methods in Power System Analysis", McGraw-Hill Book Company,

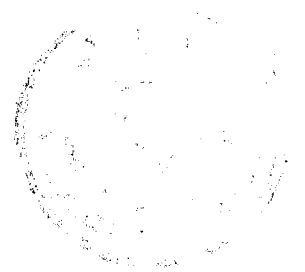
New York, 1968.

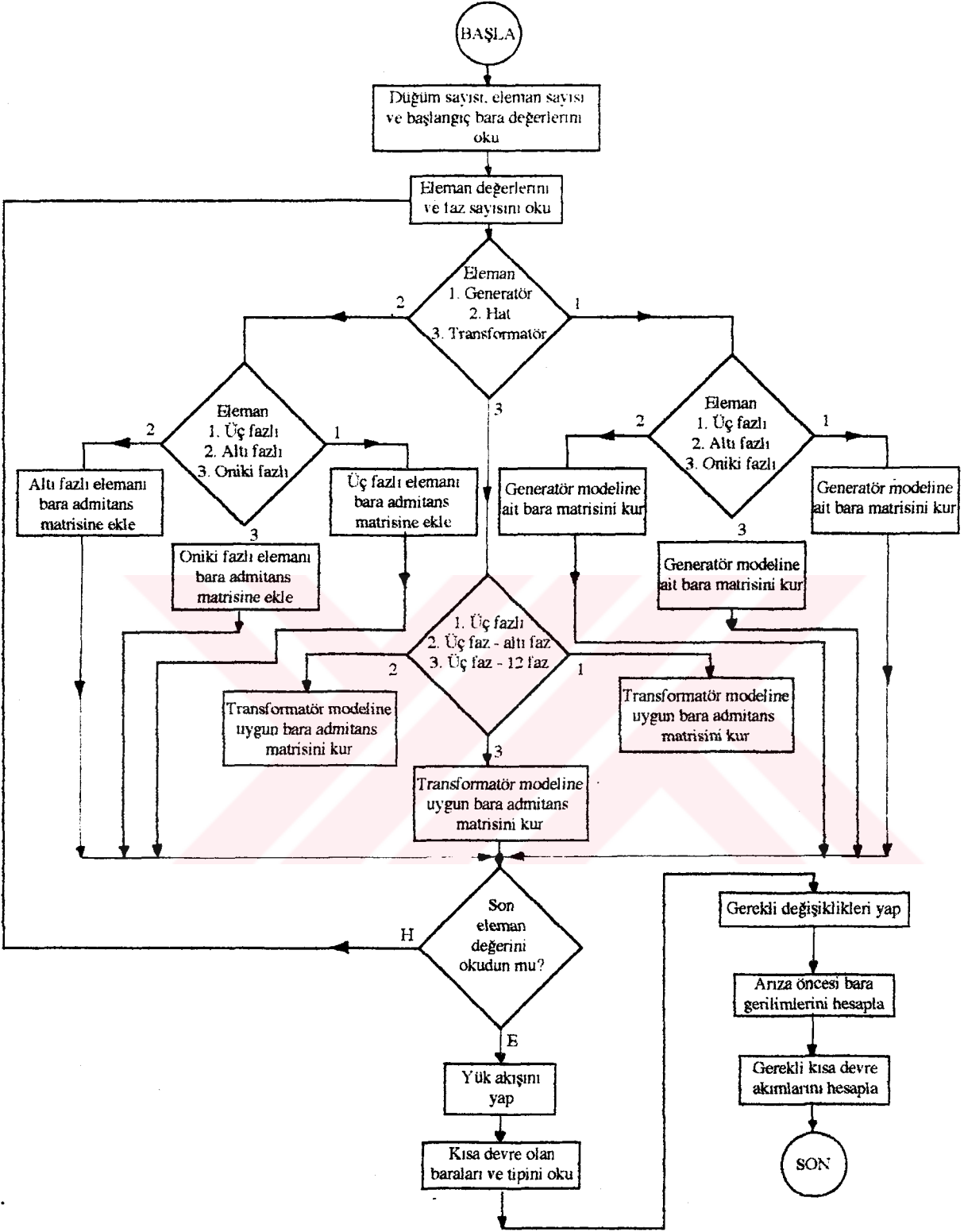
- [35] Saleh, A.O.M., and Laughton, M.A., " Phase-Coordinate Load-Flow and Fault Analysis Program", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 2, pp. 193-200, 1980.
- [36] Tiwari, S.N. and Singh, L.P., " Six-Phase (Multiphase) Power Systems: Some Aspects of Modelling and Fault Analysis" Electric Power Systems Research, Vol. 6, pp. 193-202, 1983.
- [37] Transmission Line Reference Book, 115-138 kV Compact Design, Electric Power Research Institute, 1978.
- [38] Umurkan N., " Çok Fazlı Enerji Sistemlerinin İncelenmesi ve Üç Fazlı Sistemlerle Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1991.
- [39] Wilson, D.D. and Stewart, J.R., " 12-Phase as A Transmission Alternative ", IEEE/CSEE Joint Conference on High Voltage Transmission Systems In China, pp. 695-700, 1987.
- [40] Weedy, B.M., " Electric Power Systems", John Wiley and Sons Ltd., 1979.



EK-1

AKIŞ DİYAĞRAMI VE BİLGİSAYAR PROGRAMI





Sekil E.1 3-faz, 6-faz ve 12-fazlı enerji sistemlerinde yük akışı ve arıza analizi akış diyagramı.


```
PROGRAM HPO
COMPLEX V,BA(5000),BAA(170)
INTEGER TY(170)
COMMON/FLOW/V(170),N1(0:5000),N2(0:5000),PL(170),QL(170),
*PG(170),QG(170),NL,BASE,BAA,TY,NFAZ(170),NBG(170),NEND(170)
OPEN(5,FILE='LF12B.DAT')
OPEN(1,FILE='LF12B.TXT')
READ(5,*)NO,NB,NS,NOP,BASE
READ(5,*)ACC1,ACC2,E,MAX
CALL INPUT(NO,NOP,PI)
CALL ADMIT(NO,NB,BA,PI)
IF(NS.EQ.2)GOTO 361
CALL SGSC(NO,E,MAX,ACC1,ACC2,BA)
CALL POWE(NO,BA,PI)
IF(NS.EQ.0)GOTO 129
361 CALL SCC(NO,E,MAX,ACC1,ACC2,BA,PI)
C CALL POWE(NO,BA,PI)
129 CLOSE(5)
CLOSE(1)
STOP
END
C -----
SUBROUTINE INPUT(NO,NOP,PI)
COMPLEX V,BAA(170)
INTEGER TY(170)
COMMON/FLOW/V(170),N1(0:5000),N2(0:5000),PL(170),QL(170),
*PG(170),QG(170),NL,BASE,BAA,TY,NFAZ(170),NBG(170),NEND(170)
PI=3.1415926
RAD=PI/180.0
DO 20 L=1,NO
READ(5,*)I,TY(I),PG(I),QG(I),PL(I),QL(I),VM,DEG
VR=VM*COS(DEG*RAD)
VI=VM*SIN(DEG*RAD)
V(I)=CMPLX(VR,VI)
20 CONTINUE
IF(NOP.EQ.0)GO TO 23
DO 22 J=1,NOP
```

```
NO=NO+1
PG(NO)=0.0
QG(NO)=0.0
PL(NO)=0.0
QL(NO)=0.0
TY(NO)=3
V(NO)=CMPLX(0.2,0.0)
```

22 CONTINUE

23 CONTINUE

RETURN

END

C

SUBROUTINE ADMIT(NO,NB,BA,PI)

```
COMPLEX BAA(170),BA(5000),YOFFD,Y0,Y1,Y2,F,Y(12,12),
*V,XBB(170),BS(12,12),BSH(5000),BSS(170),XB(170),YNO,
*YSQ(0:12),BSQ(0:12),YM(0:12),BM(0:12),CB,BSHY,C,AV,AI
INTEGER TY(170),BL
COMMON/FLOW/V(170),N1(0:5000),N2(0:5000),PL(170),QL(170),
*PG(170),QG(170),NL,BASE,BAA,TY,NFAZ(170),NBG(170),NEND(170)
COMMON/POFL/NT(170),BL,L1(170),L2(170),BSS,BSH
COMMON/BRAN/JT,MO1(170),MO2(170),MO3(170),F,ML,XB,XBB,
*MT(20),IT,JX
DIMENSION N(12),M(12),TSG6(3,6),TSG12(3,12)
DO 37 I=1,170
MO1(I)=0
37 MO2(I)=0
DO 30 I=1,170
NFAZ(I)=0
NBG(I)=0
NEND(I)=0
IF(I.GT.NO)TY(I)=3
IF(TY(I).NE.6)GO TO 39
BAA(I)=CMPLX(PL(I),-QL(I))/BASE
GO TO 30
39 BAA(I)=CMPLX(0.0,0.0)
30 CONTINUE
DO 32 I=1,5000
```

```
BA(I)=CMPLX(0.0,0.0)
BSH(I)=CMPLX(0.0,0.0)
```

32 CONTINUE

```
ML=0
BL=0
NL=0
JT=0
RAD=PI/180.0
DEG=120.0
XDEG=COS(DEG*RAD)
YDEG=SIN(DEG*RAD)
F=CMPLX(XDEG,YDEG)
DEG=30.0
```

```
XDEG=COS(DEG*RAD)
YDEG=SIN(DEG*RAD)
C=CMPLX(XDEG,YDEG)
IT=0
```

```
DO 901 LL=1,NB
READ(5,*)NNOP,(N(I),I=1,NNOP)
READ(5,*)MNOP,(M(I),I=1,MNOP),NN,ITY
READ(5,*)R0,X0,R1,X1,R2,X2,B0,B1,YN
Y0=1/CMPLX(R0,X0)
Y1=1/CMPLX(R1,X1)
Y2=1/CMPLX(R2,X2)
IF(NN.GT.0)NFAZ(NN)=0
```

```
DO 34 KJ1=1,NNOP
```

34 NFAZ(N(KJ1))=NNOP

```
DO 35 KJ1=1,MNOP
```

35 NFAZ(M(KJ1))=MNOP

```
GOTO(901,2,3,4,901,6,901,901,9,10,11),ITY
```

C=====

```
C TYPE 3 TRANSFORMER DELTA-STAR NEUTRAL SOLIDLY EARTHED
C TYPE 9 TRANSFORMER DELTA-STAR UNEARTHED NEUTRAL OR EARTHED THROUGH
C REAC
```

C-----

9 CONTINUE

3 READ(5,*)TA,TB

```
A=1+TA
B=SQRT(3.0)*(1+TB)
IF(ITY.NE.9)GO TO 59
IN=NO+1
NO=IN
V(IN)=CMPLX(1.0,0.0)
PG(IN)=0.0
QG(IN)=0.0
PL(IN)=0.0
QL(IN)=0.0
TY(IN)=3
BAA(IN)=BAA(IN)+CMPLX(0.0,YN)
GO TO 54
59 IN=0
54 CONTINUE
DO 55 I=1,3
  BAA(N(I))=BAA(N(I))+2*Y0/B**2
  BAA(M(I))=BAA(M(I))+Y0/A**2
  IK=I
  DO 50 J=1,3
    JK=J
    IF(I.EQ.J)GOTO 50
    NL=NL+1
    BA(NL)=-Y0/(B**2)
    N1(NL)=N(I)
    N2(NL)=N(J)
    IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.3)GOTO 66
    IF(I.EQ.2.AND.J.EQ.1)GOTO 66
    IF(I.EQ.3.AND.J.EQ.2)GOTO 66
    NL=NL+1
    BA(NL)=-Y0/(A*B)
    N1(NL)=N(I)
    N2(NL)=M(J)
    NL=NL+1
    BA(NL)=Y0/(A*B)
    N1(NL)=M(I)
    N2(NL)=N(J)
```

```
GOTO 50
66 NL=NL+1
   BA(NL)=YO/(A*B)
   N1(NL)=N(I)
   N2(NL)=M(J)
   NL=NL+1
   BA(NL)=-YO/(A*B)
   N1(NL)=M(I)
   N2(NL)=N(J)
50 CONTINUE
55 CONTINUE
   GO TO 901
```

```
C -----
C TYPE 6 OPEN-DELTA TRANSFORMER
C -----
```

```
6 CONTINUE
  READ(5,*)TA,TB
  A=SQRT(3.0)*(1+TA)
  B=SQRT(3.0)*(1+TB)
  DO 84 I=1,3
    IF(I.GT.1)GOTO 81
80 BAA(N(I))=BAA(N(I))+2*YO/A**2
   BAA(M(I))=BAA(M(I))+2*YO/B**2
   GOTO 84
81 BAA(N(I))=BAA(N(I))+YO/A**2
   BAA(M(I))=BAA(M(I))+YO/B**2
84 CONTINUE
  DO 85 J=2,3
    NL=NL+1
    BA(NL)=-YO/A**2
    N1(NL)=N(1)
    N2(NL)=N(J)
    NL=NL+1
    BA(NL)=-YO/A**2
    N1(NL)=N(J)
    N2(NL)=N(1)
```

```
C -----
```



```
NL=NL+1
BA(NL)=-Y0/B**2
N1(NL)=M(1)
N2(NL)=M(J)
NL=NL+1
BA(NL)=-Y0/B**2
N1(NL)=M(J)
N2(NL)=M(1)
```

C-----

```
NL=NL+1
BA(NL)=-Y0/(A*B)
N1(NL)=N(J)
N2(NL)=M(J)
NL=NL+1
BA(NL)=-Y0/(A*B)
N1(NL)=M(J)
N2(NL)=N(J)
```

C-----

```
NL=NL+1
BA(NL)=Y0/(A*B)
N1(NL)=N(1)
N2(NL)=M(J)
NL=NL+1
BA(NL)=Y0/(A*B)
N1(NL)=N(J)
N2(NL)=M(1)
NL=NL+1
BA(NL)=Y0/(A*B)
N1(NL)=M(1)
N2(NL)=N(J)
NL=NL+1
BA(NL)=Y0/(A*B)
N1(NL)=M(J)
N2(NL)=N(1)
```

85 CONTINUE

C-----

```
NL=NL+1
```

BA(NL)=-2*YO/(A*B)

N1(NL)=N(1)

N2(NL)=M(1)

NL=NL+1

BA(NL)=-2*YO/(A*B)

N1(NL)=M(1)

N2(NL)=N(1)

GO TO 901

C -----

C TYPE 4 MACHINES

C -----

4 YNO=CMPLX(.0,YN)

BAA(NN)=3*YO+YNO

JT=JT+1

MO1(JT)=M(1)

MO2(JT)=N(1)

MO3(JT)=NN

XBB(JT)=YO

XB(JT)=Y1

DO 150 I=1,3

BAA(M(I))=(YO+Y1+Y2)/3.0

BAA(N(I))=BAA(N(I))+(YO+Y1+Y2)/3.0

DO 155 J=1,3

IF(I.NE.J) GOTO 152

Y(I,J)=(YO+Y1+Y2)/3.0

GO TO 155

152 Y(I,J)=(YO+Y1*F+Y2*F**2)/3.0

155 CONTINUE

150 CONTINUE

DO 160 I=1,3

BL=BL+1

L1(BL)=N(I)

L2(BL)=M(I)

NT(BL)=I-1

DO 165 J=1,3

IF(I.EQ.J)GOTO 170

NL=NL+1

```
BA(NL)=Y(I,J)
N1(NL)=N(I)
N2(NL)=N(J)
170 CONTINUE
NL=NL+1
BA(NL)=-Y(I,J)
N1(NL)=N(I)
N2(NL)=M(J)
NL=NL+1
BA(NL)=-Y(I,J)
N1(NL)=M(I)
N2(NL)=N(J)
```

165 CONTINUE

160 CONTINUE

C-----

```
DO 180 I=1,3
NL=NL+1
BA(NL)=-Y0
N1(NL)=N(I)
N2(NL)=NN
180 CONTINUE
GOTO 901
```

C=====

C 3,6,12 PHASE TRANSMISSION LINE

C-----

```
2 READ(5,*)JX
NSQ=NNOP-1
FAZSYS=NNOP
TRN=360.0/NNOP
YSQ(0)=Y0
BSQ(0)=CMPLX(0.0,B0)
DO 270 I=1,NSQ
YSQ(I)=Y1
BSQ(I)=CMPLX(0.0,B1)
270 CONTINUE
DO 271 I=0,NSQ
YM(I)=CMPLX(0.0,0.0)
```


BM(I)=CMPLX(0.0,0.0)

271 CONTINUE

C-----

DO 275 I=0,NSQ

DO 277 J=0,NSQ

IXJ=I*J

KALAN=MOD(IXJ,NNOP)

ACI=TRN*KALAN*PI/180.0

XBIL=COS(ACI)

YBIL=SIN(ACI)

CB=CMPLX(XBIL,YBIL)

YM(I)=YM(I)+YSQ(J)*CB/FAZSYS

BM(I)=BM(I)+BSQ(J)*CB/FAZSYS

277 CONTINUE

275 CONTINUE

C-----

DO 280 I=1,NNOP

K=NNOP-I

DO 285 J=1,NNOP

K=K+1

KALAN=MOD(K,NNOP)

Y(I,J)=YM(KALAN)

BS(I,J)=BM(KALAN)

285 CONTINUE

280 CONTINUE

C-----

DO 228 I=1,NNOP

BL=BL+1

L1(BL)=N(I)

L2(BL)=M(I)

NT(BL)=I-1

IF(JX.EQ.0)GO TO 226

IF(I.NE.1)GO TO 226

DO 238 I1=1,JX

238 BAA(NO+I1)=BAA(NO+I1)+BS(I,J)*0.5

226 CONTINUE

228 CONTINUE

```
C-----
      DO 235 I=1,NNOP
      BAA(N(I))=BAA(N(I))+Y(I,I)+BS(I,I)*0.5
      BAA(M(I))=BAA(M(I))+Y(I,I)+BS(I,I)*0.5
      DO 233 J=1,NNOP
      NL=NL+1
      BA(NL)=-Y(I,J)
      BSH(NL)=BS(I,J)*0.5
      N1(NL)=N(I)
      N2(NL)=M(J)
```

```
C-----
      NL=NL+1
      BA(NL)=-Y(J,I)
      BSH(NL)=BS(J,I)*0.5
      N1(NL)=M(J)
      N2(NL)=N(I)
```

```
C-----
      IF(I.EQ.J)GOTO 233
      NL=NL+1
      BA(NL)=Y(I,J)+BS(I,J)*0.5
      N1(NL)=N(I)
      N2(NL)=N(J)
```

```
C-----
      NL=NL+1
      BA(NL)=Y(I,J)+BS(I,J)*0.5
      N1(NL)=M(I)
      N2(NL)=M(J)
      233 CONTINUE
      235 CONTINUE
      GO TO 901
```

```
C=====
```

```
C-----
C DELTA/STARS 3/6 PHASE TRANSFORMER
```

```
C-----
      10 CONTINUE
      READ(5,*)TA,TB
```

```
C-----
```

DATA ((TSG6(I,J),I=1,3),J=1,6)/-1.0,1.0,0.0,-1.0,0.0,1.0,0.0,
*,1.0,1.0,-1.0,0.0,1.0,0.0,-1.0,0.0,1.0,-1.0/

A=1+TA

B=(1+TB)*SQRT(3.0)

DO 312 I=1,3

312 BAA(N(I))=BAA(N(I))+4*Y0/B**2

DO 313 I=1,6

313 BAA(M(I))=BAA(M(I))+Y0/A**2

DO 315 I=1,3

DO 316 J=1,3

IF(I.EQ.J)GOTO 316

NL=NL+1

BA(NL)=-2*Y0/B**2

N1(NL)=N(I)

N2(NL)=N(J)

316 CONTINUE

C-----

DO 310 JJ=1,6

SGN=TSG6(I,JJ)

IF(ABS(SGN).LT.0.000001)GOTO 310

C-----

NL=NL+1

BA(NL)=SGN*Y0/(A*B)

N1(NL)=N(I)

N2(NL)=M(JJ)

NL=NL+1

BA(NL)=SGN*Y0/(A*B)

N1(NL)=M(JJ)

N2(NL)=N(I)

310 CONTINUE

315 CONTINUE

GOTO 901

C-----

C DELTA/STARS 3/12 PHASE TRANSFORMER

C-----

11 CONTINUE

READ(S,*)TA,TB

A=1+TA

B=(1+TB)*SQRT(3.0)

C-----

DATA ((TSG12(I,J),I=1,3),J=1,12)/-1.0,1.0,0.0,-1.0,1.0,0.0,
*-1.0,0.0,1.0,-1.0,0.0,1.0, 0.0,-1.0, 1.0, 0.0,-1.0, 1.0,
*1.0,-1.0,0.0,1.0,-1.0,0.0,1.0,0.0,-1.0,1.0,0.0,-1.0,
*0.0,1.0,-1.0,0.0,1.0,-1.0/

AV=A*C

AI=A*CONJG(C)

DO 372 I=1,3

372 BAA(N(I))=BAA(N(I))+8*YO/B**2

DO 373 I=1,12

373 BAA(M(I))=BAA(M(I))+YO/A**2

DO 375 I=1,3

DO 376 J=1,3

IF(I.EQ.J)GOTO 376

NL=NL+1

BA(NL)=-4*YO/B**2

N1(NL)=N(I)

N2(NL)=N(J)

376 CONTINUE

375 CONTINUE

C-----

DO 385 I=1,3

DO 380 J=1,12,2

SGN=TSG12(I,J)

IF(ABS(SGN).LT.0.00001)GOTO 380

JL=J+1

NL=NL+1

BA(NL)=SGN*YO/(AV*B)

N1(NL)=N(I)

N2(NL)=M(J)

NL=NL+1

BA(NL)=SGN*YO/(A*B)

N1(NL)=N(I)

N2(NL)=M(JL)

C-----

```

NL=NL+1
BA(NL)=SGN*YO/(AI*B)
N1(NL)=M(J)
N2(NL)=N(I)
NL=NL+1
BA(NL)=SGN*YO/(A*B)
N1(NL)=M(JL)
N2(NL)=N(I)

```

380 CONTINUE

385 CONTINUE

GOTO 901

C=====

901 CONTINUE

C=====

C --- FORM ON-ROWS AND COL. OF SYSTEMS -----

```

NSS=0
DO 505 I=1,NO
IF(TY(I).EQ.5)GOTO 505
NBG(I)=NSS+1
DO 510 J=NSS+1,NL
IF(N1(J).NE.I)GO TO 510
NSS=NSS+1
YOFFD=BA(J)
BA(J)=BA(NSS)
BA(NSS)=YOFFD
ICOL=N2(J)
N2(J)=N2(NSS)
N2(NSS)=ICOL
BSHY=BSH(J)
BSH(J)=BSH(NSS)
BSH(NSS)=BSHY
IST=N1(J)
N1(J)=N1(NSS)
N1(NSS)=IST
NEND(I)=NSS

```

510 CONTINUE

NEND(I)=NSS

505 CONTINUE

C-----

```
DO 680 I=1,NL
IF(I.GT.NO)GOTO 699
N1(I)=I
GOTO 680
699 N1(I)=0
680 CONTINUE
```

C=====

```
WRITE(1,509)
509 FORMAT(1X,///,35X,'LOAD FLOW ANALYSIS')
WRITE(1,506)
506 FORMAT(30X,'-----')
C WRITE(1,671)
671 FORMAT(1X,///,5X,'BUS',3X,'TYPE',6X,'ON-DIAGONAL
*ELEMENTS')
C WRITE(1,602)
602 FORMAT(5X,'---',3X,'----',6X,'-----')
C DO 531 I=1,NO
C 531 WRITE(1,587)I,TY(I),BAA(I)
587 FORMAT('I=',I3,' TY(I)=' ,I3,' BAA(I)=' ,F11.6,4X,F11.6)
7777 CONTINUE
RETURN
END
```

C=====

C ----- VOLTAGE CALCULATION -----

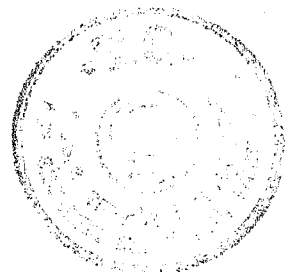
C=====

```
SUBROUTINE SGSC(NO,E,MAX,ACC1,ACC2,BA)
COMPLEX SNN,BB(170),S,XG,XX,XXX,BA(5000),BAA(170),XBB(170),
*F,XB(170),ACC,Y0,Y1,Y2,YT,YNO,SYN,ZZZ,V
INTEGER TY(170)
COMMON/FLOW/V(170),N1(0:5000),N2(0:5000),PL(170),QL(170),
*PG(170),QG(170),NL,BASE,BAA,TY,NFAZ(170),NBG(170),NEND(170)
COMMON/BRAN/JT,MO1(170),MO2(170),MO3(170),F,ML,XB,XBB,
*MT(20),IT,JX
WRITE(1,674)
674 FORMAT(1X,///)
```

```

ACC=CMPLX (ACC1, ACC2)
NIT=0
20  NIT=NIT+1
    WRITE (6, 7053) NIT
7053 FORMAT (8X, 'NIT=', I3)
    IF (NIT.GT. MAX) GO TO 200
    IFLAG=0
    DO 900 I=1, NO
    IV=TY (I)
    GO TO (900, 616, 616, 990, 900, 616, 999, 990) IV
616  S=CMPLX (0.0, 0.0)
    IBB=NBG (I)
    IBS=NEND (I)
    DO 500 J=IBB, IBS
    IF (N2 (J).EQ. 0) GO TO 500
    S=S+BA (J)*V (N2 (J))
500  CONTINUE
    GO TO 337
990  DO 603 IK=1, JT
    IF (I.NE. MO1 (IK)) GO TO 603
    Y1=XB (IK)
    LL=MO2 (IK)
    Y0=XBB (IK)
    NP=MO3 (IK)
    YNO=BAA (NP)-3*Y0
    VYN=CABS (V (NP))
    SYN=(YNO*VYN**2)*BASE
    GO TO 503
603  CONTINUE
    GO TO 900
503  XG=CONJG (V (I))
    S=-Y1*V (LL)-(F*Y1*V (LL+1))-(F**2*Y1*V (LL+2))
    IF (TY (I).NE. 8) GO TO 6060
    SS=QG (I)+QG (I+1)+QG (I+2)
    GO TO 7070
6060 QG (I)=-AIMAG (((3*Y1*V (I))+S)*XG)*BASE-SYN)
    SS=QG (I)

```



```

7070  SF=PG(I+2)+PG(I+1)+PG(I)
      SNN=CMPLX(SF,SS)/BASE
      BB(I)=(CONJG(SNN)+SYN)/XG
      XX=(BB(I)-S)/(3*Y1)
      IF(TY(I).EQ.8)GO TO 356
      V(I)=(CABS(V(I))/CABS(XX))*XX
      V(I+1)=V(I)*F**2
      V(I+2)=F*V(I)
      GO TO 900
999   DO 6660 IK=1,JT
      IF(I.NE.MO3(IK))GO TO 6660
      Y0=XBB(IK)
      LL=MO2(IK)
      S=-Y0*(V(LL)+V(LL+1)+V(LL+2))
      BB(I)=CMPLX(0.0,0.0)
      GO TO 3666
6660  CONTINUE
337   XG=CONJG(V(I))
      IF(TY(I).NE.6)GO TO 134
      SF=PG(I)
      SS=QG(I)
      GO TO 778
134   SF=PG(I)-PL(I)
      SS=QG(I)-QL(I)
778   SNN=CMPLX(SF,SS)/BASE
      BB(I)=CONJG(SNN)/XG
3666  XX=(BB(I)-S)/BAA(I)
356   DR=REAL(V(I))-REAL(XX)
      DI=AIMAG(V(I))-AIMAG(XX)
      IF(ABS(DR).GT.E.OR.ABS(DI).GT.E)IFLAG=1
      V(I)=V(I)+ACC*(XX-V(I))
      IF(TY(I).NE.8)GO TO 900
      V(I+1)=V(I)*F**2
      V(I+2)=V(I)*F
900   CONTINUE
      IF(IFLAG.NE.0)GO TO 20
      DO 350 I=1,NO

```



```

IX=TY(I)
GO TO (350,350,350,800,350,350,350,350),IX
800 DO 604 IK=1,JT
    IF(I.NE.MO1(IK))GO TO 604
    Y1=XB(IK)
    Y0=XBB(IK)
    Y2=3*(BAA(I))-Y0-Y1
    LL=MO2(IK)
    LN=MO3(IK)
    YT=-(Y0+Y1+Y2)/3
    XXX=-(Y0+Y1*F+Y2*F**2)/3.0
    ZZZ=-(Y0+Y1*F**2+Y2*F)/3.0
    J=0
136 J=J+1
    S=CMPLX(.0,.0)
    GO TO (11,2,3,4),J
11 S=XXX*V(LL+1)+ZZZ*V(LL+2)+YT*V(LL)+Y0*V(LN)+Y1*V(I)
    S=CONJG(S)*(V(I)+V(LN))*BASE
    PG(I)=REAL(S)
    QG(I)=AIMAG(S)
    GO TO 136
2 S=ZZZ*V(LL)+XXX*V(LL+2)+YT*V(LL+1)+(Y0*V(LN))+(Y1*V(I+1))
    S=CONJG(S)*(V(I+1)+V(LN))*BASE
    PG(I+1)=REAL(S)
    QG(I+1)=AIMAG(S)
    GO TO 136
3 S=XXX*V(LL)+ZZZ*V(LL+1)+(YT*V(LL+2))+(Y0*V(LN))+(Y1*V(I+2))
    S=CONJG(S)*(V(I+2)+V(LN))*BASE
    PG(I+2)=REAL(S)
    QG(I+2)=AIMAG(S)
    GO TO 136
4 GO TO 350
604 CONTINUE
350 CONTINUE
    IF(IFLAG.NE.0)GO TO 20
    WRITE(6,655)E,NIT
655 FORMAT('L.F.',/, 'CONVERGE TO ',F7.6,' IN ',I3,' ITERATIONS')

```

```
GO TO 15
200 WRITE(6,77)
77  FORMAT(1X,'FAIL TO CONVERGE')
15  RETURN
END

C  -----CALCULATION OF POWER FLOW -----
      SUBROUTINE POWE(NO,BA,PI)
      COMPLEX BAA(170),BA(5000),F,S,SS,SZ,SZZ,V,XBB(170),BSH(5000),
      *BSS(170),XB(170)
      INTEGER TY(170),BL
      COMMON/FLOW/V(170),N1(0:5000),N2(0:5000),PL(170),QL(170),
      *PG(170),QG(170),NL,BASE,BAA,TY,NFAZ(170),NBG(170),NEND(170)
      COMMON/POFL/NT(170),BL,L1(170),L2(170),BSS,BSH
      COMMON/BRAN/JT,MO1(170),MO2(170),MO3(170),F,ML,XB,XBB,
      *MT(20),IT,JX
      KONT=0
      WRITE(1,403)
403  FORMAT(1X,'XXUB. TXT',///,30X,'POWER FLOW')
      WRITE(1,404)
404  FORMAT(30X,'-----')
      WRITE(1,99)
99   FORMAT(3X,'BUS',3X,'BUS',4X,'MEGAWATTS',4X,'MEGAVARS',
      * 3X,'BUS',3X,'BUS',3X,'MEGAWATTS',4X,'MEGAWARS')
      WRITE(1,534)
534  FORMAT(2X,'----',1X,'----',3X,'-----',5X,'-----',
      * 4X,'-----',1X,'-----',4X,'-----',4X,'-----')
      DO 3434 I=1,JT
      MR=MO3(I)
      VMA=CABS(V(MR))
      IF(VMA.LE.0.0000001)GO TO 3434
      MG=MO1(I)
      V(MG)=V(MG)+V(MR)
      V(MG+1)=V(MG+1)+V(MR)
      V(MG+2)=V(MG+2)+V(MR)
3434 CONTINUE
      DO 20 I=1,BL
      NS=L1(I)
```

```

NR=L2(I)
NBB=NBG(NS)
NBS=NEND(NS)
K1=NS-NT(I)
K2=NR-NT(I)
IFAZ=NFAZ(NS)
SS=CMPLX(0.0,0.0)
S=CMPLX(0.0,0.0)
DO 15 K=1,IFAZ
DO 10 J=NBB,NBS
IF(K2.NE.N2(J))GO TO 10
S=S+(V(K1)-V(K2))*(-BA(J))+BSH(J)*V(K1)
SS=SS+(V(K2)-V(K1))*(-BA(J))+BSH(J)*V(K2)
10 CONTINUE
K1=K1+1
K2=K2+1
15 CONTINUE
SZ=V(L1(I))*CONJG(S)*BASE
SZZ=V(L2(I))*CONJG(SS)*BASE
IF(TY(NS).NE.1)GO TO 95
PG(NS)=PG(NS)+REAL(SZ)
QG(NS)=QG(NS)+AIMAG(SZ)
33 FORMAT(2X,I3,3X,I3,3X,F10.3,3X,F10.3,2(3X,I3),2(1X,F10.3))
95 CONTINUE
IF(TY(NR).NE.1)GO TO 69
PG(NR)=PG(NR)+REAL(SZZ)
QG(NR)=QG(NR)+AIMAG(SZZ)
69 WRITE(1,33)L1(I),L2(I),SZ,L2(I),L1(I),SZZ
KONT=KONT+1
IF(TY(NR).NE.TY(NR+1))GOTO 3
IF(NFAZ(NR).NE.NFAZ(NR+1))GOTO 3
IF(KONT.LT.IFAZ)GOTO 20
3 WRITE(1,*)
KONT=0
20 CONTINUE
11 WRITE(1,402)
402 FORMAT(1X,///)

```

```

WRITE (1, 891)
891  FORMAT (35X, 'GENERATION', 11X, 'LOAD')
      WRITE (1, 195)
195  FORMAT (1X, 'BUS', 1X, 'TYPE', 1X, 'VOLTAGE', 4X, 'ANGLE', 3X,
* 'MEGAWATTS', 2X, 'MEGAVARS', 3X, 'MWATTS', 4X, 'MVARs')
      WRITE (1, 532)
532  FORMAT (1X, '----', 1X, '-----', 1X, '-----', 1X, '-----', 4X,
* '-----', 2X, '-----', 2X, '-----', 2X, '-----')
      DO 4343 I=1, JT
      MR=MO3 (I)
      VMA=CABS (V (MR))
      IF (VMA. LE. 0. 00000001) GO TO 4343
      MG=MO1 (I)
      V (MG)=V (MG)-V (MR)
      V (MG+1)=V (MG+1)-V (MR)
4343  CONTINUE
      KONT=0
      DO 123 I=1, NO
      IFAZ=NFAZ (I)
      VM=CABS (V (I))
      VI=AIMAG (V (I))
      VR=REAL (V (I))
      VB=VR
      IF (VB. EQ. 0) VR=. 001
      DEG= (ATAN (VI /VR)) *180. 0/PI
      IF (VR. LT. 0. AND. VI. LT. 0) DEG=DEG-180. 0
      IF (VR. LT. 0. AND. VI. GT. 0) DEG=DEG+180. 0
      IF (TY (I). NE. 6) GO TO 321
      PL (I)=PL (I) * (CABS (V (I)) **2)
      QL (I)=QL (I) * (CABS (V (I)) **2)
321  WRITE (1, 63) I, TY (I), VM, DEG, PG (I), QG (I), PL (I), QL (I)
63  FORMAT (1X, I3, 1X, I3, 2X, F5. 3, 3X, F8. 3, 4 (3X, F7. 3))
      KONT=KONT+1
      IF (TY (I). NE. TY (I+1)) GOTO 8
      IF (NFAZ (I). NE. NFAZ (I+1)) GOTO 8
      IF (KONT. LT. IFAZ) GOTO 123
8    WRITE (1, *) '

```

```

      KONT=0
123  CONTINUE
      RETURN
      END
C-----
C .....
C   SHORT CIRCUIT ANALYSIS USING DISTRIBUTED-SOURCE METHOD
C .....
      SUBROUTINE SCC(NO,E,MAX,ACC1,ACC2,BA,PI)
      COMPLEX BB(170),S,V,XX,BA(5000),BAA(170),XBB(170),F,FI,ACC
*,ISC(170),YS(50),XB(170),BSS(170),
*,YO,BSH(5000),ACCY
      INTEGER TY(170),BL
      COMMON/FLOW/V(170),N1(0:5000),N2(0:5000),PL(170),QL(170),
*,PG(170),QG(170),NL,BASE,BAA,TY,NFAZ(170),NBG(170),NEND(170)
      COMMON/POFL/NT(170),BL,L1(170),L2(170),BSS,BSH
      COMMON/BRAN/JT,MO1(170),MO2(170),MO3(170),F,ML,XB,XBB,
*,MT(20),IT,JX
      DIMENSION LG(50),LF(100),KSC(120),IO(120),MM(120)
      NOL=JX
      ACC=CMPLX(ACC1,ACC2)/1.28
      ACCY=ACC
      WRITE(1,906)
906  FORMAT(1X///,36X,'SHORT CIRCUIT ANALYSIS')
      WRITE(1,907)
907  FORMAT(33X,'-----')
C-----
C ADMTTANCE MATRIX MODIFICATION
C-----
      IF(IT.LE.0)GO TO 701
      READ(5,*) (LF(I),I=1,NOL)
      DO 2000 I=1,NOL
      LG(I)=NO+I
      BAA(LG(I))=BAA(LG(I))+BSS(LF(I))
      BAA(LF(I))=BAA(LF(I))-BAA(LG(I))
      TY(LG(I))=6
2000 V(LG(I))=CMPLX(0.2,0.0)

```

```
NO=NO+NOL
DO 700 J=1,NOL
DO 300 I=1,IT
LZ=MT(I)
IF(N1(LZ).NE.LF(J))GO TO 39
N1(LZ)=LG(J)
BAA(LG(J))=BAA(LG(J))-BA(LZ)
BAA(LF(J))=BAA(LF(J))-BA(LZ)
GO TO 300
39 IF(N2(LZ).NE.LF(J))GO TO 300
N2(LZ)=LG(J)
BAA(LG(J))=BAA(LG(J))-BA(LZ)
BAA(LF(J))=BAA(LF(J))-BA(LZ)
300 CONTINUE
700 CONTINUE
701 CONTINUE
DO 903 I=1,NO
IF(TY(I).NE.1.AND.TY(I).NE.8)GO TO 903
TY(I)=4
903 CONTINUE
DO 10 I=1,NO
IF(TY(I).EQ.4)GOTO 10
BB(I)=CMPLX(0.0,0.0)
IF(TY(I).EQ.5.OR.TY(I).EQ.7)GO TO 10
IF(TY(I).EQ.6)GO TO 263
PR=PL(I)/BASE
QR=QL(I)/BASE
EM=CABS(V(I))
BAA(I)=BAA(I)+(CMPLX(PR,-QR)/(EM**2))
263 CONTINUE
DO 196 KL=1,JT
K2=MO2(KL)-1
K1=MO1(KL)-1
DO 356 J=1,3
IF(I.NE.(K2+J))GO TO 356
BB(I)=V(K1+J)*XB(KL)
GO TO 10
```

356 CONTINUE

196 CONTINUE

10 CONTINUE

```
C      *****
C      N=NO OF FAULTS FOR SIMULTANEOUS FAULTS N NOT EQUAL ZERO
C      MMM=1 P-EARTH 2 P-P-EARTH 3 P-P-P-EARTH FAULT IMPEDANCE=0+J0
C      MMM=4 S-P-G IMPEDANCE NOT EQUAL TO ZERO
C      MMM=5 P-P FAULT IMPEDANCE NOT EQUAL TO ZERO
C      MMM=6 P-P Z=ZERO
C      *****
      IK=0
      KJ=0
      READ (5,*)N
      DO 877 KI=1,N
      READ (5,*)MMM
      GO TO (501,501,501,502,503,501,504,877,877,877,877,501),MMM
501 DO 180 I=1,MMM
      KJ=KJ+1
      READ (5,*)KSC(KJ)
      V(KSC(KJ))=CMPLX(0.0,0.0)
      TY(KSC(KJ))=5
      MM(KJ)=1
180 CONTINUE
      GO TO 877
502 KJ=KJ+1
      IK=IK+1
      READ(5,*)KSC(KJ),R,X
      YS(IK)=1.0/CMPLX(R,X)
      IO(IK)=KSC(KJ)
      MM(KJ)=2
      BAA(KSC(KJ))=BAA(KSC(KJ))+YS(IK)
      GO TO 877
503 KJ=KJ+1
      IK=IK+1
      READ(5,*)KSC(KJ),KSC(KJ+1),R,X
      YS(IK)=1.0/CMPLX(R,X)
      IO(IK)=KSC(KJ)
```

```
BAA(KSC(KJ))=BAA(KSC(KJ))+YS(IK)
MM(KJ)=3
ISC(KSC(KJ))=BB(KSC(KJ))
KJ=KJ+1
ISC(KSC(KJ))=BB(KSC(KJ))
BAA(KSC(KJ))=BAA(KSC(KJ))+YS(IK)
MM(KJ)=4
IIB=KSC(KJ-1)
IIS=KSC(KJ)
NKJ=KJ+1
DO 560 I=IIB,IIS
NKJ=NKJ-1
NBB=NBG(I)
NBS=NEND(I)
DO 555 J=NBB,NBS
IF(KSC(NKJ).NE.N2(J))GO TO 555
BA(J)=BA(J)-YS(IK)
GOTO 560
555 CONTINUE
560 CONTINUE
GO TO 877
504 KJ=KJ+1
READ (5,*) KSC(KJ),KSC(KJ+1)
TY(KSC(KJ+1))=2
MM(KJ)=5
ISC(KSC(KJ))=BB(KSC(KJ))
KJ=KJ+1
MM(KJ)=6
ISC(KSC(KJ))=BB(KSC(KJ))
GO TO 877
877 CONTINUE
NIT=0
20 NIT=NIT+1
IF(NIT.GT.MAX)GO TO 200
WRITE(6,1071)NIT
1071 FORMAT(9X,'* NIT=',I3)
IFLAG=0
```



```

C *****
C      COLCULATIONS OF VOLTAGE UNDER FAULT CONDITIONS
C      NB VOLTAGES BEHIND SUBTRANSIENT REAKTANCES ARE CONSTANT
C *****
      DO 900 I=1,NO
      IG=TY(I)
      GO TO(900,717,727,900,900,727,999),IG
999 DO 8585 IK=1,JT
      IF(I.NE.MO3(I))GO TO 8585
      YO=XBB(IK)
      LL=MO2(IK)
      S=-YO*(V(LL)+V(LL+1)+V(LL+2))
      XX=-S/BAA(I)
      GO TO 713
8585 CONTINUE
727 CONTINUE
      DO 913 L=1,KJ
      IF(MM(L).NE.5)GO TO 913
      II=KSC(L)
      LL=KSC(L+1)
      IF(II.NE.I)GO TO 913
      BB(I)=ISC(I)
      NBB=NBG(II)
      NBS=NEND(II)
      DO 157 KK=NBB,NBS
      IF(N2(KK).NE.LL)GOTO 157
      BB(I)=BB(I)+BA(KK)*V(LL)
157 CONTINUE
      GO TO 674
913 CONTINUE
674 S=CMPLX(0.0,0.0)
      IBB=NBG(I)
      IBS=NEND(I)
      DO 500 J=IBB,IBS
      IF(N2(J).EQ.0)GO TO 500
      IF(TY(N2(J)).EQ.4)GO TO 500
      S=S+BA(J)*V(N2(J))

```

```
500 CONTINUE
  XX=(BB(I)-S)/BAA(I)
  GO TO 713
717 CONTINUE
  DO 1030 IB=1,KJ
  IF(KSC(IB).NE.I)GO TO 1030
  V(I)=V(KSC(IB-1))
  BB(I)=- (BB(KSC(IB-1))-ISC(KSC(IB-1)))+ISC(I)
  GO TO 713
1030 CONTINUE
  713 DR=REAL(V(I))-REAL(XX)
  DI=AIMAG(V(I))-AIMAG(XX)
  IF(ABS(DR).GT.E.OR.ABS(DI).GT.E)IFLAG=1
  V(I)=V(I)+ACC*(XX-V(I))
900 CONTINUE
  IF(IFLAG.NE.0)GO TO 20
  WRITE (6,959)E,NIT
959 FORMAT('S.C.',/, 'CONVERGE TO ',2X,F7.6,' IN ',I3,' ITERATIONS'
  WRITE(1,666)
666 FORMAT(1X,/,2X,'BUS',1X,'TYPE',3X,'VOLTAGE',6X,'ANGLE')
  WRITE(1,661)
661 FORMAT (2X,'-----',1X,'-----',2X,'-----',6X,'-----')
  DO 123 I=1,NO
  VM=CABS(V(I))
  VI=AIMAG(V(I))
  VR=REAL(V(I))
  VB=VR
  IF(VB.EQ.0)VR=0.001
  DEG=(ATAN(VI/VR))*180.0/PI
  IF(VR.LT.0.AND.VI.LT.0)DEG=DEG-180.
  IF(VR.LT.0.AND.VI.GT.0)DEG=DEG+180.
  WRITE (1,63)I,TY(I),VM,DEG
  63 FORMAT(1X,I3,1X,I2,3X,F10.6,1X,F12.6)
123 CONTINUE
  WRITE(1,937)
937 FORMAT(1X,///)
  GO TO 801
```

```
200 WRITE(6,489)
489 FORMAT(1X,'FAIL TO CONVERGE')
801 CONTINUE
    DO 101 J=1,KJ
    MK=MM(J)
    GO TO(44,55,45,101,201,101),MK
C  *****
C  LINE TO EARTH S/C CURRENTS Z=0+J0
C  *****
44 CONTINUE
    I=KSC(J)
    ISC(I)=-BB(I)
    IBB=NBG(I)
    IBS=NEND(I)
    DO 57 K=IBB,IBS
    IF(TY(N2(K)).EQ.4)GO TO 57
    ISC(I)=ISC(I)+BA(K)*V(N2(K))
57 CONTINUE
    A=CABS(ISC(I))
    AR=REAL(ISC(I))
    AI=AIMAG(ISC(I))
    AD=ATAN(AI/AR)*180.0/PI
    IF(AR.LT.0.AND.AI.LT.0)AD=AD-180
    IF(AR.LT.0.AND.AI.GT.0)AD=AD+180
    WRITE(1,66)I
66 FORMAT(1X,/,2X,'L-G SHORT S/C AT BUS NO',I3)
    WRITE(1,632)A,AD
632 FORMAT(2X,'S/C CURRENT=',F8.5,1X,F8.3)
    GO TO 101
C  *****
C  S/C CURRENT DUE TO L-L FAULT VIA IMPEDANCE
C  *****
45 DO 90 I=1,IK
    IF(10(I).NE.KSC(J))GO TO 90
    FI=YS(I)
    GO TO 139
90 CONTINUE
```

```
139 MJ=J+1
    ISC(KSC(J))=(V(KSC(J))-V(KSC(MJ)))*FI
    ISC(KSC(MJ))=(V(KSC(MJ))-V(KSC(J)))*FI
    WRITE(1,443)KSC(J),KSC(MJ)
443 FORMAT(1X,/,3X,'LINE ',I2,' IS CONNECTED TO LINE',I2)
    WRITE(1,67)KSC(J),KSC(MJ),ISC(KSC(J)),KSC(MJ),KSC(J)
    *,ISC(KSC(MJ))
67 FORMAT(3X,'ISC ',I2,'-',I2,'=',F8.5,'+J',F8.5,'PU',/,3X,'
    *,ISC',I2,'-',I2,'=',F8.5,'+J',F8.5,'PU')
    GO TO 101
C *****
C S/C CURRENT DUE TO S-L-G FAULT VIA IMPEDANCE
C *****
55 DO 35 I=1,IK
    IF(KSC(J).NE.I0(I))GO TO 35
    FI=YS(I)
    GO TO 58
35 CONTINUE
58 ISC(KSC(J))=FI*V(KSC(J))
    WRITE(1,909)KSC(J)
909 FORMAT (1X,/,3X,'S-L-G S/C VIA IMPEDANCE AT BUS NO ',I2)
    WRITE(1,910)ISC(KSC(J))
910 FORMAT(2X,'S/C CURRENT=',F8.5,'+J',F8.5,'PU')
    GO TO 101
C *****
C PHASE - TO- PHASE S/C VIA ZERO IMPEDANCE
C *****
201 CONTINUE
    I1=KSC(J)
    I2=KSC(J+1)
    ISC(I1)=BB(I1)-ISC(I1)
    ISC(I2)=BB(I2)-ISC(I2)
    WRITE(1,878)I1,I2
878 FORMAT(1X,I2,3X,I2)
    WRITE(1,879)ISC(I1),ISC(I2)
879 FORMAT(2X,4(2X,F6.2))
101 CONTINUE
```

333 CONTINUE
RETURN
END



EK-2

**3-FAZ, 6-FAZ VE 12-FAZLI ENERJİ SİSTEMLERİNDE
ARIZA ANALİZİ VERİLERİ**

Tablo E.1 Faz koordinatları yöntemi ile 3-fazlı enerji sistemlerinde dengeli yükler için arıza analizi verileri.

Bara dan	Bara ya	MW	MVAr	Bara dan	Bara ya	MW	MVAr
1	25	-27.303	-12.665	25	1	27.302	14.931
2	26	-27.363	-12.651	26	2	27.363	14.925
3	27	-27.269	-12.727	27	30	27.268	14.994
4	28	-19.990	-15.891	28	4	19.990	17.176
5	29	-20.060	-15.879	29	5	20.061	17.171
6	30	-19.954	-15.968	30	6	19.953	17.257
10	16	8.090	2.788	16	10	-8.090	-2.806
11	17	8.098	2.821	17	11	-8.098	-2.839
12	18	8.118	2.799	18	12	-8.118	-2.817
10	22	12.248	5.039	22	10	-12.247	-5.083
11	23	12.177	4.734	23	11	-12.177	-4.778
12	24	11.945	4.968	24	12	-11.944	-5.014
13	19	8.292	6.263	19	13	-8.292	-6.288
14	20	8.219	6.041	20	14	-8.219	-6.068
15	21	8.069	6.190	21	15	-8.069	-6.217
13	22	2.823	3.517	22	13	-2.823	-3.535
14	23	2.775	3.370	23	14	-2.775	-3.389
15	24	2.678	3.469	24	15	-2.678	-3.488
16	19	1.138	0.007	19	16	-1.138	-0.052
17	20	1.073	-0.263	20	17	-1.073	0.217
18	21	0.872	-0.058	21	18	-0.872	0.012
19	22	-1.069	-0.120	22	19	1.069	0.110
20	23	-1.071	-0.128	23	20	1.071	0.117
21	24	-1.075	-0.123	24	21	1.075	0.113
7	33	-4.058	-4.160	33	7	4.061	4.367
8	34	-4.067	-4.105	34	8	4.065	4.300
9	35	-3.979	-4.178	35	9	3.987	4.372
33	36	-10.019	-6.699	36	33	10.019	6.975
34	37	-10.028	-6.642	37	34	10.028	6.917
35	38	-9.956	-6.706	38	35	9.955	6.980

Bara	Tip	Gerilim	Açı	ÜRETİM		YÜK	
				MW	MVar	MW	MVar
1	3	1.035	-3.788	0.000	0.000	0.000	0.000
2	3	1.035	-123.797	0.000	0.000	0.000	0.000
3	3	1.035	116.214	0.000	0.000	0.000	0.000
4	3	1.037	-4.007	0.000	0.000	0.000	0.000
5	3	1.037	-124.015	0.000	0.000	0.000	0.000
6	3	1.037	115.994	0.000	0.000	0.000	0.000
7	3	1.029	-4.534	0.000	0.000	0.000	0.000
8	3	1.032	-124.509	0.000	0.000	0.000	0.000
9	3	1.030	115.593	0.000	0.000	0.000	0.000
10	3	1.029	85.459	0.000	0.000	8.333	5.000
11	3	1.029	-34.524	0.000	0.000	8.333	5.000
12	3	1.029	-154.520	0.000	0.000	8.333	5.000
13	3	1.029	85.437	0.000	0.000	10.000	6.333
14	3	1.029	-34.546	0.000	0.000	10.000	6.333
15	3	1.029	-154.543	0.000	0.000	10.000	6.333
16	3	1.028	85.392	0.000	0.000	11.670	7.333
17	3	1.028	-34.591	0.000	0.000	11.670	7.333
18	3	1.028	-154.588	0.000	0.000	11.670	7.333
19	3	1.028	85.384	0.000	0.000	10.000	6.333
20	3	1.029	-34.598	0.000	0.000	10.000	6.333
21	3	1.028	-154.589	0.000	0.000	10.000	6.333
22	3	1.028	85.406	0.000	0.000	13.333	8.333
23	3	1.029	-34.576	0.000	0.000	13.333	8.333
24	3	1.028	-154.567	0.000	0.000	13.333	8.333
25	1	1.070	0.000	27.302	14.931	0.000	0.000
26	1	1.070	-120.000	27.363	14.925	0.000	0.000
27	1	1.070	120.000	27.268	14.994	0.000	0.000
28	4	1.070	-1.819	19.990	17.176	0.000	0.000
29	4	1.070	-121.819	20.061	17.170	0.000	0.000
30	4	1.070	118.181	19.953	17.257	0.000	0.000
31	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
32	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
33	3	1.056	-3.164	0.000	0.000	6.000	2.333

34	3	1.056	-123.166	0.000	0.000	6.000	2.333
35	3	1.056	116.839	0.000	0.000	6.000	2.333
36	4	1.070	-2.089	10.019	6.975	0.000	0.000
37	4	1.070	-122.089	10.028	6.917	0.000	0.000
38	4	1.070	117.911	9.955	6.980	0.000	0.000
39	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

KISA DEVRE ANALİZİ

Bara Tip Gerilim			Açı
1	3	0.168239	0.000004
2	3	0.168239	-120.024200
3	3	0.168239	120.024200
4	3	0.255399	-2.008837
5	3	0.255402	-122.033400
6	3	0.255399	118.014600
7	3	0.089953	-1.419385
8	3	0.091653	-123.780900
9	3	0.093966	118.289700
10	5	0.000000	0.000000
11	5	0.000000	0.000000
12	5	0.000000	0.000000
13	3	0.063285	87.189410
14	3	0.063282	-32.760250
15	3	0.063285	-152.783000
16	3	0.034073	87.083770
17	3	0.034068	-32.861200
18	3	0.034074	-152.880500
19	3	0.044242	87.124630
20	3	0.044238	-32.823230
21	3	0.044242	-152.844600
22	3	0.021370	87.167200
23	3	0.021369	-32.781960
24	3	0.021370	-152.804300

25	4	1.070000	0.000000
26	4	1.070000	-120.024200
27	4	1.070000	120.024200
28	4	1.070000	-1.817786
29	4	1.070000	-121.841900
30	4	1.070000	118.206400
31	5	0.000000	0.000000
32	5	0.000000	0.000000
33	3	0.821201	-2.769819
34	3	0.821265	-122.802800
35	3	0.821335	117.252800
36	4	1.070000	-2.088285
37	4	1.070000	-122.112400
38	4	1.070000	117.935900
39	5	0.000000	0.000000

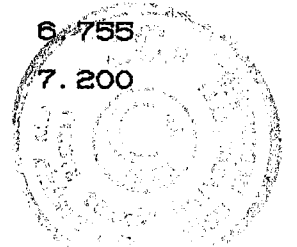
L-G SHORT S/C AT BUS NO 10
S/C CURRENT= 8.35094 178.806

L-G SHORT S/C AT BUS NO 11
S/C CURRENT= 8.35042 58.785

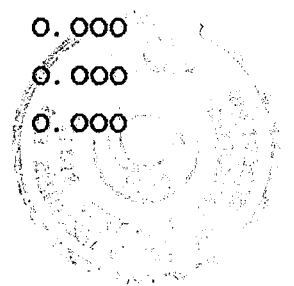
L-G SHORT S/C AT BUS NO 12
S/C CURRENT= 8.35100 -61.165

Tablo E.2 Faz koordinatları yöntemi ile 3-fazlı enerji sistemlerinde dengesiz yükler için arıza analizi verileri.

Bara dan	Bara ya	MW	MVAr	Bara dan	Bara ya	MW	MVAr
1	25	-27.084	-12.570	25	1	27.084	14.799
2	26	-27.697	-12.254	26	2	27.698	14.545
3	27	-27.540	-12.902	27	3	27.540	15.220
4	28	-18.958	-15.789	28	4	18.958	16.988
5	29	-20.867	-15.273	29	5	20.868	16.589
6	30	-20.179	-17.082	30	6	20.179	18.468
10	16	19.293	7.565	16	10	-19.291	-7.521
11	17	8.648	7.573	17	11	-8.652	-7.585
12	18	11.784	-0.289	18	12	-11.781	0.275
40	41	-0.002	-0.002	41	40	0.000	0.000
11	23	11.907	0.642	23	11	-11.910	-0.681
12	24	8.619	7.238	24	12	-8.615	-7.283
13	19	3.488	4.588	19	13	-3.487	-4.621
14	20	7.661	3.264	20	14	-7.663	-3.294
15	21	4.861	7.214	21	15	-4.859	-7.246
13	22	9.752	6.536	22	13	-9.753	-6.523
14	23	2.876	5.549	23	14	-2.878	-5.569
15	24	4.269	2.169	24	15	-4.266	-2.189
16	19	12.807	5.387	19	16	-12.804	-5.407
17	20	1.883	4.093	20	17	-1.885	-4.139
18	21	3.828	-3.369	21	18	-3.829	3.323
19	22	3.820	1.881	22	19	-3.821	-1.882
20	23	-0.853	1.787	23	20	0.854	-1.798
21	24	0.675	-1.077	24	21	-0.675	1.066
7	33	-3.845	-4.131	33	7	3.847	4.326
8	34	-4.218	-3.942	34	8	4.216	4.135
9	35	-4.043	-4.375	35	9	4.053	4.584
33	36	-9.804	-6.659	36	33	9.804	6.925
34	37	-10.178	-6.479	37	34	10.178	6.755
35	38	-10.020	-6.918	38	35	10.020	7.200



ÜRETİM				YÜK			
Bara	Tip	Gerilim	Açı	MW	MVar	MW	MVar
1	3	1.035	-3.756	0.000	0.000	0.000	0.000
2	3	1.036	-123.840	0.000	0.000	0.000	0.000
3	3	1.034	116.174	0.000	0.000	0.000	0.000
4	3	1.037	-3.999	0.000	0.000	0.000	0.000
5	3	1.038	-124.207	0.000	0.000	0.000	0.000
6	3	1.034	115.859	0.000	0.000	0.000	0.000
7	3	1.030	-4.505	0.000	0.000	0.000	0.000
8	3	1.033	-124.635	0.000	0.000	0.000	0.000
9	3	1.028	115.503	0.000	0.000	0.000	0.000
10	3	1.029	85.405	0.000	0.000	8.333	5.000
11	3	1.028	-34.526	0.000	0.000	8.333	5.000
12	3	1.030	-154.525	0.000	0.000	8.333	5.000
13	3	1.027	85.157	0.000	0.000	10.000	6.333
14	3	1.028	-34.556	0.000	0.000	10.000	6.333
15	3	1.031	-154.573	0.000	0.000	10.000	6.333
16	3	1.027	85.220	0.000	0.000	11.670	7.333
17	3	1.027	-34.597	0.000	0.000	11.670	7.333
18	3	1.030	-154.599	0.000	0.000	11.670	7.333
19	3	1.026	85.131	0.000	0.000	12.000	8.000
20	3	1.028	-34.614	0.000	0.000	10.000	6.000
21	3	1.030	-154.588	0.000	0.000	8.000	5.000
22	3	1.026	85.013	0.000	0.000	13.333	8.333
23	3	1.027	-34.582	0.000	0.000	13.333	8.333
24	3	1.030	-154.578	0.000	0.000	13.333	8.333
25	1	1.070	0.000	27.084	14.799	0.000	0.000
26	1	1.070	-120.000	27.698	14.545	0.000	0.000
27	1	1.070	120.000	27.540	15.220	0.000	0.000
28	4	1.070	-1.924	18.958	16.988	0.000	0.000
29	4	1.070	-121.924	20.868	16.589	0.000	0.000
30	4	1.070	118.076	20.178	18.468	0.000	0.000
31	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
32	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



33	3	1.056	-3.203	0.000	0.000	6.000	2.333
34	3	1.057	-123.244	0.000	0.000	6.000	2.333
35	3	1.056	116.769	0.000	0.000	6.000	2.333
36	4	1.070	-2.151	9.804	6.925	0.000	0.000
37	4	1.070	-122.151	10.178	6.755	0.000	0.000
38	4	1.070	117.849	10.020	7.200	0.000	0.000
39	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40	3	0.201	0.045	0.000	0.000	0.000	0.000
41	3	0.200	0.087	0.000	0.000	0.000	0.000

KISA DEVRE ANALİZİ

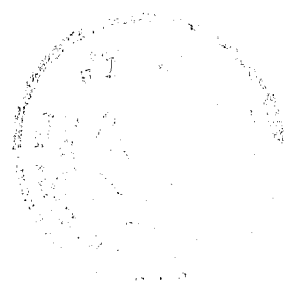
Bara	Tip	Gerilim	Açı
1	3	0.168239	0.000004
2	3	0.168239	-120.024200
3	3	0.168239	120.024200
4	3	0.255399	-2.112713
5	3	0.295790	-117.935200
6	3	0.294906	113.352400
7	3	0.089968	-1.481768
8	3	0.114744	-117.313100
9	3	0.116791	111.516500
10	5	0.000000	0.000000
11	5	0.000000	0.000000
12	5	0.000000	0.000000
13	3	0.140577	86.798420
14	3	0.074713	-45.871330
15	3	0.074979	-140.052500
16	3	0.070425	86.721660
17	3	0.040741	-46.735820
18	3	0.040888	-139.360600
19	3	0.108002	86.705350
20	3	0.052536	-46.215600

21	3	0.052661	-139.751100
22	3	0.150201	86.657660
23	3	0.025356	-45.908720
24	3	0.025318	-139.784000
25	4	1.070000	0.000000
26	4	1.070000	-120.024200
27	4	1.070000	120.024200
28	4	1.070000	-1.923585
29	4	1.070000	-121.947700
30	4	1.070000	118.100600
31	5	0.000000	0.000000
32	5	0.000000	0.000000
33	3	0.821201	-2.832215
34	3	0.826924	-122.644000
35	3	0.826929	116.961500
36	4	1.070000	-2.150618
37	4	1.070000	-122.174800
38	4	1.070000	117.873500
39	5	0.000000	0.000000
40	3	0.201497	3.440764
41	3	0.200545	-0.099361

L-G SHORT S/C AT BUS NO 10
S/C CURRENT= 7.69466 178.665

L-G SHORT S/C AT BUS NO 11
S/C CURRENT= 8.44406 57.467

L-G SHORT S/C AT BUS NO 12
S/C CURRENT= 8.46827 -60.050



Tablo E.3 Faz koordinatları yöntemi ile 6-fazlı enerji sistemlerinde dengeli yükler için arıza analizi verileri.

Bara dan	Bara ya	MW	MVar	Bara dan	Bara ya	MW	MVar
1	10	-28.313	-12.944	10	1	28.313	15.373
2	11	-28.284	-12.900	11	2	28.285	15.323
3	12	-28.284	-12.908	12	3	28.284	15.331
4	13	-20.026	-16.172	13	4	20.026	17.479
5	14	-19.988	-16.120	14	5	19.988	17.423
6	15	-19.990	-16.132	15	6	19.989	17.435
18	21	-10.030	-6.889	21	18	10.030	7.170
19	22	-10.007	-6.816	22	19	10.008	7.094
20	23	-9.965	-6.856	23	20	9.964	7.134
43	49	-0.574	-0.060	49	43	0.574	0.058
44	50	-0.574	-0.060	50	44	0.574	0.058
45	51	-0.574	-0.060	51	45	0.574	0.058
46	52	-0.574	-0.061	52	46	0.574	0.059
47	53	-0.575	-0.061	53	47	0.575	0.058
48	54	-0.574	-0.060	54	48	0.574	0.058
7	18	-4.065	-4.340	18	7	4.068	4.556
8	19	-4.043	-4.272	19	8	4.041	4.474
9	20	-3.985	-4.320	20	9	3.993	4.522
25	49	6.094	2.494	49	25	-6.094	-2.494
26	50	6.118	2.467	50	26	-6.118	-2.466
27	51	6.109	2.433	51	27	-6.109	-2.432
28	52	6.075	2.422	52	28	-6.075	-2.422
29	53	6.049	2.448	53	29	-6.049	-2.448
30	54	6.060	2.480	54	30	-6.060	-2.480
25	37	4.170	1.401	37	25	-4.169	-1.395
26	38	4.174	1.401	38	26	-4.173	-1.395
27	39	4.171	1.400	39	27	-4.170	-1.394
28	40	4.171	1.405	40	28	-4.171	-1.400
29	41	4.177	1.402	41	29	-4.177	-1.397
30	42	4.172	1.398	42	30	-4.172	-1.392

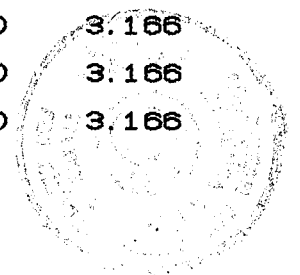
37	43	0.501	-0.011	43	37	-0.501	0.000
38	44	0.517	-0.031	44	38	-0.517	0.021
39	45	0.513	-0.059	45	39	-0.513	0.048
40	46	0.485	-0.072	46	40	-0.485	0.062
41	47	0.459	-0.049	47	41	-0.459	0.038
42	48	0.473	-0.018	48	42	-0.473	0.007
43	31	-3.986	-3.129	31	43	3.987	3.132
44	32	-4.010	-3.107	32	44	4.010	3.111
45	33	-3.998	-3.080	33	45	3.998	3.083
46	34	-3.974	-3.080	34	46	3.974	3.083
47	35	-3.962	-3.094	35	47	3.963	3.097
48	36	-3.964	-3.113	36	48	3.965	3.117
49	31	-1.245	-1.763	31	49	1.245	1.761
50	32	-1.257	-1.750	32	50	1.257	1.748
51	33	-1.251	-1.734	33	51	1.251	1.732
52	34	-1.236	-1.732	34	52	1.236	1.730
53	35	-1.228	-1.741	35	53	1.228	1.739
54	36	-1.230	-1.754	36	54	1.230	1.752

ÜRETİM

YÜK

Bara	Tip	Gerilim	Açı	MW	MVar	MW	MVar
1	3	1.034	-3.932	0.000	0.000	0.000	0.000
2	3	1.034	-123.928	0.000	0.000	0.000	0.000
3	3	1.034	116.070	0.000	0.000	0.000	0.000
4	3	1.036	-4.211	0.000	0.000	0.000	0.000
5	3	1.036	-124.208	0.000	0.000	0.000	0.000
6	3	1.036	115.791	0.000	0.000	0.000	0.000
7	3	1.028	-4.789	0.000	0.000	0.000	0.000
8	3	1.030	-124.753	0.000	0.000	0.000	0.000
9	3	1.029	115.337	0.000	0.000	0.000	0.000
10	1	1.070	0.000	28.313	15.373	0.000	0.000
11	1	1.070	-120.000	28.285	15.323	0.000	0.000

12	1	1.070	120.000	28.284	15.331	0.000	0.000
13	4	1.070	-2.018	20.026	17.479	0.000	0.000
14	4	1.070	-122.018	19.988	17.422	0.000	0.000
15	4	1.070	117.982	19.989	17.435	0.000	0.000
16	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18	3	1.056	-3.417	0.000	0.000	6.000	2.333
19	3	1.056	-123.415	0.000	0.000	6.000	2.333
20	3	1.056	116.586	0.000	0.000	6.000	2.333
21	4	1.070	-2.340	10.030	7.170	0.000	0.000
22	4	1.070	-122.340	10.008	7.094	0.000	0.000
23	4	1.070	117.660	9.964	7.134	0.000	0.000
24	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25	3	1.028	25.305	0.000	0.000	4.166	2.500
26	3	1.028	-34.702	0.000	0.000	4.166	2.500
27	3	1.028	-94.697	0.000	0.000	4.166	2.500
28	3	1.028	-154.693	0.000	0.000	4.166	2.500
29	3	1.028	145.306	0.000	0.000	4.166	2.500
30	3	1.028	85.309	0.000	0.000	4.166	2.500
31	3	1.028	25.249	0.000	0.000	5.000	3.166
32	3	1.028	-34.757	0.000	0.000	5.000	3.166
33	3	1.029	-94.752	0.000	0.000	5.000	3.166
34	3	1.028	-154.748	0.000	0.000	5.000	3.166
35	3	1.028	145.251	0.000	0.000	5.000	3.166
36	3	1.028	85.253	0.000	0.000	5.000	3.166
37	3	1.027	25.153	0.000	0.000	5.833	3.666
38	3	1.027	-34.854	0.000	0.000	5.833	3.666
39	3	1.027	-94.848	0.000	0.000	5.833	3.666
40	3	1.027	-154.845	0.000	0.000	5.833	3.666
41	3	1.027	145.154	0.000	0.000	5.833	3.666
42	3	1.027	85.157	0.000	0.000	5.833	3.666
43	3	1.027	25.141	0.000	0.000	5.000	3.166
44	3	1.027	-34.869	0.000	0.000	5.000	3.166
45	3	1.027	-94.863	0.000	0.000	5.000	3.166
46	3	1.027	-154.855	0.000	0.000	5.000	3.166
47	3	1.027	145.147	0.000	0.000	5.000	3.166
48	3	1.027	85.149	0.000	0.000	5.000	3.166

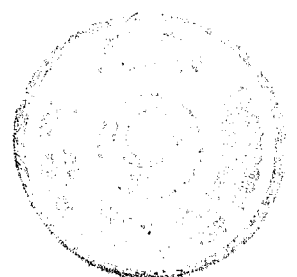


49	3	1.027	25.193	0.000	0.000	6.666	4.166
50	3	1.027	-34.817	0.000	0.000	6.666	4.166
51	3	1.027	-94.810	0.000	0.000	6.666	4.166
52	3	1.027	-154.802	0.000	0.000	6.666	4.166
53	3	1.027	145.200	0.000	0.000	6.666	4.166
54	3	1.027	85.202	0.000	0.000	6.666	4.166

KISA DEVRE ANALİZİ

Bara	Tip	Gerilim	Açı
1	3	0.168239	0.000004
2	3	0.168239	-120.000000
3	3	0.168239	120.000000
4	3	0.309062	-2.471493
5	3	0.309067	-122.472100
6	3	0.309061	117.527300
7	3	0.124107	-2.302994
8	3	0.125799	-124.011000
9	3	0.128127	117.464200
10	4	1.070000	0.000000
11	4	1.070000	-120.000000
12	4	1.070000	120.000000
13	4	1.069999	-2.017639
14	4	1.069999	-122.017600
15	4	1.069999	117.982400
16	5	0.000000	0.000000
17	5	0.000000	0.000000
18	3	0.829760	-3.030936
19	3	0.829825	-123.039800
20	3	0.829894	116.967400
21	4	1.069999	-2.340352
22	4	1.069999	-122.340300
23	4	1.069999	117.659700

24	5	0.000000	0.000000
25	5	0.000000	0.000000
26	5	0.000000	0.000000
27	5	0.000000	0.000000
28	5	0.000000	0.000000
29	5	0.000000	0.000000
30	5	0.000000	0.000000
31	3	0.129624	26.644480
32	3	0.129617	-33.356800
33	3	0.129623	-93.358460
34	3	0.129624	-153.355100
35	3	0.129616	146.643300
36	3	0.129623	86.641220
37	3	0.070268	26.447500
38	3	0.070256	-33.557120
39	3	0.070267	-93.563460
40	3	0.070268	-153.551600
41	3	0.070255	146.443000
42	3	0.070267	86.435840
43	3	0.090788	26.500670
44	3	0.090780	-33.501590
45	3	0.090788	-93.504580
46	3	0.090788	-153.497900
47	3	0.090777	146.498700
48	3	0.090786	86.494350
49	3	0.043778	26.516730
50	3	0.043775	-33.484610
51	3	0.043778	-93.486300
52	3	0.043777	-153.482000
53	3	0.043774	146.515700
54	3	0.043777	86.512790



L-G SHORT S/C AT BUS NO 25
S/C CURRENT= 4.02267 118.648

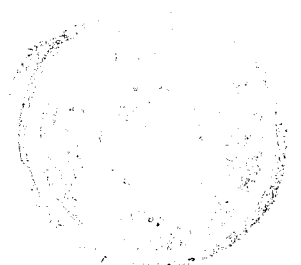
L-G SHORT S/C AT BUS NO 26
S/C CURRENT= 4.02239 58.646

L-G SHORT S/C AT BUS NO 27
S/C CURRENT= 4.02264 -1.356

L-G SHORT S/C AT BUS NO 28
S/C CURRENT= 4.02267 -61.352

L-G SHORT S/C AT BUS NO 29
S/C CURRENT= 4.02239 -121.354

L-G SHORT S/C AT BUS NO 30
S/C CURRENT= 4.02264 178.644



Tablo E.4 Faz koordinatları yöntemi ile 6-fazlı enerji sistemlerinde dengesiz yükler için arıza analizi verileri.

Bara dan	Bara ya	MW	MVAr	Bara dan	Bara ya	MW	MVAr
1	10	-24.174	-12.154	10	1	24.173	13.975
2	11	-23.733	-11.697	11	2	23.737	13.439
3	12	-24.116	-11.597	12	3	24.114	13.380
4	13	-20.629	-14.935	13	4	20.629	16.206
5	14	-19.650	-15.062	14	5	19.653	16.268
6	15	-19.738	-14.323	15	6	19.736	15.490
18	21	-10.253	-6.620	21	18	10.252	6.901
19	22	-9.940	-6.249	22	19	9.942	6.511
20	23	-9.815	-6.325	23	20	9.813	6.585
43	49	1.730	0.967	49	43	-1.729	-0.962
44	50	-0.779	0.206	50	44	0.778	-0.208
45	51	-0.251	0.310	51	45	0.251	-0.313
46	52	-0.006	0.082	52	46	0.007	-0.085
47	53	-0.402	-0.232	53	47	0.402	0.230
48	54	-0.437	-0.597	54	48	0.436	0.595
7	18	-4.447	-4.040	18	7	4.450	4.287
8	19	-4.138	-3.705	19	8	4.115	3.870
9	20	-3.934	-3.824	20	9	3.962	3.988
55	56	-0.161	0.093	56	55	0.161	-0.093
26	50	6.899	1.990	50	26	-6.898	-1.988
27	51	5.778	1.700	51	27	-5.778	-1.700
28	52	5.217	2.041	52	28	-5.217	-2.041
29	53	5.339	2.715	53	29	-5.339	-2.716
30	54	5.631	3.847	54	30	-5.630	-3.848
25	37	7.063	3.162	37	25	-7.063	-3.129
26	38	3.214	1.644	38	26	-3.215	-1.643
27	39	3.500	2.128	39	27	-3.500	-2.125
28	40	4.306	1.820	40	28	-4.305	-1.814
29	41	4.529	0.884	41	29	-4.528	-0.878

30	42	3.491	0.925	42	30	-3.490	-0.923
37	43	4.284	1.853	43	37	-4.284	-1.853
38	44	0.183	0.330	44	38	-0.183	-0.340
39	45	0.267	0.675	45	39	-0.267	-0.685
40	46	0.863	0.156	46	40	-0.863	-0.167
41	47	1.946	-0.518	47	41	-1.945	0.508
42	48	0.428	0.015	48	42	-0.428	-0.025
43	31	-2.759	-2.228	31	43	2.758	2.226
44	32	-4.565	-2.755	32	44	4.563	2.759
45	33	-3.926	-2.230	33	45	3.926	2.230
46	34	-3.288	-2.454	34	46	3.289	2.451
47	35	-4.622	-3.025	35	47	4.624	3.031
48	36	-4.192	-3.378	36	48	4.193	3.385
49	31	-5.128	-3.260	31	49	5.130	3.290
50	32	-1.180	-2.070	32	50	1.178	2.069
51	33	-1.858	-1.966	33	51	1.855	1.964
52	34	-1.965	-1.644	34	52	1.965	1.642
53	35	-1.972	-1.358	35	53	1.974	1.355
54	36	-1.645	-0.836	36	54	1.647	0.833

URETİM

YUK

Bara	Tip	Gerilim	Açı	MW	MVAr	MW	MVAr
1	3	1.037	-3.343	0.000	0.000	0.000	0.000
2	3	1.038	-123.281	0.000	0.000	0.000	0.000
3	3	1.038	116.658	0.000	0.000	0.000	0.000
4	3	1.039	-3.571	0.000	0.000	0.000	0.000
5	3	1.038	-123.468	0.000	0.000	0.000	0.000
6	3	1.040	116.518	0.000	0.000	0.000	0.000
7	3	1.027	-4.344	0.000	0.000	0.000	0.000
8	3	1.039	-124.047	0.000	0.000	0.000	0.000
9	3	1.032	116.363	0.000	0.000	0.000	0.000
10	1	1.070	0.000	24.173	13.975	0.000	0.000
11	1	1.070	-120.000	23.737	13.439	0.000	0.000

12	1	1.070	120.000	24.114	13.380	0.000	0.000
13	4	1.070	-1.321	20.629	16.206	0.000	0.000
14	4	1.070	-121.321	19.652	16.268	0.000	0.000
15	4	1.070	118.679	19.736	15.490	0.000	0.000
16	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18	3	1.057	-2.665	0.000	0.000	6.000	2.333
19	3	1.057	-122.636	0.000	0.000	6.000	2.333
20	3	1.057	117.363	0.000	0.000	6.000	2.333
21	4	1.070	-1.572	10.252	6.901	0.000	0.000
22	4	1.070	-121.572	9.942	6.511	0.000	0.000
23	4	1.070	118.428	9.813	6.585	0.000	0.000
24	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25	3	1.032	26.122	0.000	0.000	4.166	2.500
26	3	1.032	-34.076	0.000	0.000	4.166	2.500
27	3	1.033	-93.967	0.000	0.000	4.166	2.500
28	3	1.032	-153.962	0.000	0.000	4.166	2.500
29	3	1.032	145.959	0.000	0.000	4.166	2.500
30	3	1.032	86.055	0.000	0.000	4.166	2.500
31	3	1.030	25.825	0.000	0.000	5.000	3.166
32	3	1.032	-34.086	0.000	0.000	5.000	3.166
33	3	1.033	-93.986	0.000	0.000	5.000	3.166
34	3	1.031	-154.028	0.000	0.000	5.000	3.166
35	3	1.033	145.888	0.000	0.000	5.000	3.166
36	3	1.032	86.024	0.000	0.000	5.000	3.166
37	3	1.029	25.854	0.000	0.000	5.833	3.666
38	3	1.031	-34.198	0.000	0.000	5.833	3.666
39	3	1.032	-94.085	0.000	0.000	5.833	3.666
40	3	1.030	-154.104	0.000	0.000	5.833	3.666
41	3	1.031	145.801	0.000	0.000	5.833	3.666
42	3	1.031	85.922	0.000	0.000	5.833	3.666
43	3	1.029	25.731	0.000	0.000	5.000	3.000
44	3	1.031	-34.218	0.000	0.000	5.000	3.000
45	3	1.032	-94.080	0.000	0.000	4.000	3.000
46	3	1.030	-154.097	0.000	0.000	4.000	3.000
47	3	1.031	145.773	0.000	0.000	7.000	3.000
48	3	1.030	85.901	0.000	0.000	5.000	4.000

49	3	1.026	25.551	0.000	0.000	6.666	4.166
50	3	1.031	-34.193	0.000	0.000	6.666	4.166
51	3	1.032	-94.081	0.000	0.000	6.666	4.166
52	3	1.031	-154.073	0.000	0.000	6.666	4.166
53	3	1.031	145.855	0.000	0.000	6.666	4.166
54	3	1.031	85.963	0.000	0.000	6.666	4.166
55	3	0.201	-0.090	0.000	0.000	0.000	0.000
56	3	0.200	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000

KISA DEVRE ANALİZİ

Bara	Tip	Gerilim	Açı
1	3	0.168239	0.000004
2	3	0.168239	-120.000000
3	3	0.168239	120.000000
4	3	0.335248	0.633055
5	3	0.334556	-124.410700
6	3	0.309053	118.224900
7	3	0.132045	4.268904
8	3	0.140992	-130.493600
9	3	0.136412	119.818500
10	4	1.070000	0.000000
11	4	1.070000	-120.000000
12	4	1.070000	120.000000
13	4	1.070000	-1.320889
14	4	1.070000	-121.320900
15	4	1.070000	118.679100
16	5	0.000000	0.000000
17	5	0.000000	0.000000
18	3	0.833194	-2.107878
19	3	0.833448	-122.442700

20	3	0.830143	117.744000
21	4	1.069999	-1.571849
22	4	1.070000	-121.571800
23	4	1.070000	118.428200
24	5	0.000000	0.000000
25	5	0.000000	0.000000
26	5	0.000000	0.000000
27	5	0.000000	0.000000
28	5	0.000000	0.000000
29	5	0.000000	0.000000
30	5	0.000000	0.000000
31	3	0.216725	27.187930
32	3	0.128807	-33.432920
33	3	0.138625	-98.711150
34	3	0.153846	-152.781700
35	3	0.138912	153.299900
36	3	0.128492	88.042340
37	3	0.109151	27.073190
38	3	0.070472	-32.665780
39	3	0.075163	-98.915450
40	3	0.084104	-152.937800
41	3	0.075256	153.137000
42	3	0.070278	86.868290
43	3	0.164969	27.025940
44	3	0.090598	-33.232670
45	3	0.097163	-98.818600
46	3	0.108098	-152.858800
47	3	0.097211	153.172300
48	3	0.090218	87.504300
49	3	0.216401	26.884950
50	3	0.043655	-33.704520
51	3	0.047032	-98.803100
52	3	0.052105	-152.694900
53	3	0.046822	153.408700
54	3	0.043216	87.817500
55	3	0.209396	1.277699
56	3	0.199968	-0.088893

L-G SHORT S/C AT BUS NO 25
S/C CURRENT= 3.28561 119.156

L-G SHORT S/C AT BUS NO 26
S/C CURRENT= 4.17797 62.381

L-G SHORT S/C AT BUS NO 27
S/C CURRENT= 4.02460 -1.046

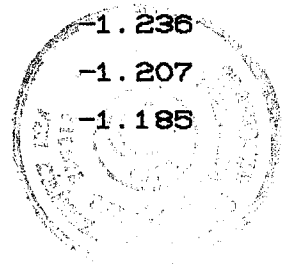
L-G SHORT S/C AT BUS NO 28
S/C CURRENT= 4.17593 -61.025

L-G SHORT S/C AT BUS NO 29
S/C CURRENT= 4.02749 -120.878

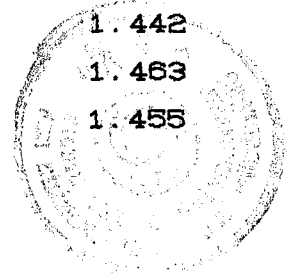
L-G SHORT S/C AT BUS NO 30
S/C CURRENT= 4.16471 175.610

Tablo E.5 Faz koordinatları yöntemi ile 12-fazlı enerji sistemlerinde dengeli yükler için arıza analizi verileri.

Bara dan	Bara ya	MW	MVar	Bara dan	Bara ya	MW	MVar
1	10	-18.669	-12.935	10	1	18.675	14.202
2	11	-18.049	-12.088	11	2	18.064	13.279
3	12	-17.389	-13.388	12	3	17.369	14.597
4	13	-20.763	-15.568	13	4	20.768	16.871
5	14	-20.057	-14.485	14	5	20.072	15.702
6	15	-19.215	-16.027	15	6	19.194	17.266
18	21	-10.907	-6.486	21	18	10.912	6.783
19	22	-9.604	-5.775	22	19	9.608	6.022
20	23	-9.504	-7.367	23	20	9.494	7.640
61	73	-0.067	-0.037	73	61	0.067	0.037
62	74	-0.067	-0.037	74	62	0.067	0.036
63	75	-0.061	-0.034	75	63	0.061	0.033
64	76	-0.061	-0.033	76	64	0.061	0.033
65	77	-0.062	-0.040	77	65	0.062	0.040
66	78	-0.061	-0.040	78	66	0.061	0.040
67	79	-0.067	-0.036	79	67	0.067	0.036
68	80	-0.066	-0.036	80	68	0.066	0.036
69	81	-0.060	-0.034	81	69	0.060	0.033
70	82	-0.060	-0.034	82	70	0.060	0.034
71	83	-0.060	-0.041	83	71	0.060	0.041
72	84	-0.061	-0.041	84	72	0.061	0.041
7	18	-5.354	-3.782	18	7	5.275	4.148
8	19	-3.959	-3.313	19	8	3.922	3.363
9	20	-3.656	-4.764	20	9	3.782	5.036
25	73	2.268	1.304	73	25	-2.267	-1.291
26	74	2.289	1.286	74	26	-2.288	-1.273
27	75	2.302	1.249	75	27	-2.303	-1.236
28	76	2.296	1.219	76	28	-2.297	-1.207
29	77	2.266	1.196	77	29	-2.268	-1.185



30	78	2.238	1.186	78	30	-2.239	-1.176
31	79	2.215	1.200	79	31	-2.216	-1.191
32	80	2.196	1.220	80	32	-2.196	-1.211
33	81	2.195	1.238	81	33	-2.194	-1.229
34	82	2.202	1.263	82	34	-2.200	-1.254
35	83	2.209	1.284	83	35	-2.207	-1.273
36	84	2.232	1.293	84	36	-2.230	-1.282
25	49	1.182	0.708	49	25	-1.182	-0.702
26	50	1.182	0.708	50	26	-1.181	-0.702
27	51	1.139	0.690	51	27	-1.139	-0.684
28	52	1.139	0.690	52	28	-1.139	-0.684
29	53	1.144	0.735	53	29	-1.144	-0.729
30	54	1.145	0.735	54	30	-1.144	-0.729
31	55	1.182	0.709	55	31	-1.182	-0.702
32	56	1.182	0.709	56	32	-1.182	-0.702
33	57	1.139	0.690	57	33	-1.139	-0.685
34	58	1.139	0.690	58	34	-1.139	-0.684
35	59	1.144	0.735	59	35	-1.144	-0.729
36	60	1.144	0.735	60	36	-1.144	-0.729
49	61	0.192	0.058	61	49	-0.192	-0.060
50	62	0.210	0.042	62	50	-0.210	-0.044
51	63	0.263	0.029	63	51	-0.263	-0.030
52	64	0.257	0.004	64	52	-0.257	-0.005
53	65	0.227	-0.059	65	53	-0.227	0.057
54	66	0.203	-0.068	66	54	-0.203	0.066
55	67	0.148	-0.030	67	55	-0.148	0.028
56	68	0.131	-0.013	68	56	-0.131	0.011
57	69	0.171	0.020	69	57	-0.171	-0.022
58	70	0.177	0.042	70	58	-0.177	-0.043
59	71	0.178	0.015	71	59	-0.178	-0.017
60	72	0.198	0.023	72	60	-0.198	-0.025
61	37	-2.317	-1.484	37	61	2.318	1.506
62	38	-2.332	-1.471	38	62	2.333	1.494
63	39	-2.302	-1.441	39	63	2.302	1.463
64	40	-2.299	-1.421	40	64	2.298	1.442
65	41	-2.295	-1.443	41	65	2.293	1.463
66	42	-2.274	-1.436	42	66	2.273	1.455



67	43	-2.282	-1.415	43	67	2.282	1.433
68	44	-2.268	-1.430	44	68	2.268	1.447
69	45	-2.224	-1.438	45	69	2.226	1.456
70	46	-2.228	-1.455	46	70	2.230	1.474
71	47	-2.249	-1.504	47	71	2.252	1.524
72	48	-2.265	-1.510	48	72	2.268	1.531
73	37	-1.257	-0.818	37	73	1.258	0.829
74	38	-1.266	-0.811	38	74	1.266	0.822
75	39	-1.260	-0.799	39	75	1.260	0.810
76	40	-1.258	-0.788	40	76	1.258	0.798
77	41	-1.254	-0.787	41	77	1.254	0.797
78	42	-1.243	-0.784	42	78	1.242	0.793
79	43	-1.237	-0.779	43	79	1.236	0.788
80	44	-1.228	-0.787	44	80	1.229	0.795
81	45	-1.216	-0.797	45	81	1.217	0.806
82	46	-1.219	-0.807	46	82	1.220	0.816
83	47	-1.229	-0.822	47	83	1.231	0.832
84	48	-1.239	-0.825	48	84	1.240	0.836

ÜRETİM

YÜK

Bara No	Bara Tipi	Gerilim	Açı	MW	MVar	MW	MVar
1	3	1.036	-2.538	0.000	0.000	0.000	0.000
2	3	1.037	-122.508	0.000	0.000	0.000	0.000
3	3	1.035	117.548	0.000	0.000	0.000	0.000
4	3	1.038	-2.421	0.000	0.000	0.000	0.000
5	3	1.039	-122.393	0.000	0.000	0.000	0.000
6	3	1.037	117.664	0.000	0.000	0.000	0.000
7	3	1.032	-4.448	0.000	0.000	0.000	0.000
8	3	1.057	-122.118	0.000	0.000	0.000	0.000
9	3	1.007	117.982	0.000	0.000	0.000	0.000
10	1	1.070	0.000	18.675	14.202	0.000	0.000
11	1	1.070	-120.000	18.064	13.279	0.000	0.000

12	1	1.070	120.000	17.369	14.597	0.000	0.000
13	4	1.070	-0.194	20.768	16.871	0.000	0.000
14	4	1.070	-120.194	20.072	15.702	0.000	0.000
15	4	1.070	119.806	19.194	17.266	0.000	0.000
16	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18	3	1.057	-1.496	0.000	0.000	6.000	2.333
19	3	1.057	-121.429	0.000	0.000	6.000	2.333
20	3	1.056	118.580	0.000	0.000	6.000	2.333
21	4	1.070	-0.373	10.912	6.783	0.000	0.000
22	4	1.070	-120.373	9.608	6.022	0.000	0.000
23	4	1.070	119.627	9.494	7.640	0.000	0.000
24	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25	3	1.034	57.314	0.000	0.000	2.083	1.250
26	3	1.034	27.313	0.000	0.000	2.083	1.250
27	3	1.034	-2.660	0.000	0.000	2.083	1.250
28	3	1.034	-32.660	0.000	0.000	2.083	1.250
29	3	1.034	-62.666	0.000	0.000	2.083	1.250
30	3	1.034	-92.684	0.000	0.000	2.083	1.250
31	3	1.034	-122.682	0.000	0.000	2.083	1.250
32	3	1.034	-152.681	0.000	0.000	2.083	1.250
33	3	1.034	177.348	0.000	0.000	2.083	1.250
34	3	1.034	147.347	0.000	0.000	2.083	1.250
35	3	1.034	117.318	0.000	0.000	2.083	1.250
36	3	1.034	87.317	0.000	0.000	2.083	1.250
37	3	1.036	57.409	0.000	0.000	2.500	1.583
38	3	1.036	27.408	0.000	0.000	2.500	1.583
39	3	1.036	-2.568	0.000	0.000	2.500	1.583
40	3	1.036	-32.568	0.000	0.000	2.500	1.583
41	3	1.035	-62.592	0.000	0.000	2.500	1.583
42	3	1.035	-92.590	0.000	0.000	2.500	1.583
43	3	1.036	-122.587	0.000	0.000	2.500	1.583
44	3	1.036	-152.586	0.000	0.000	2.500	1.583
45	3	1.036	177.439	0.000	0.000	2.500	1.583
46	3	1.035	147.439	0.000	0.000	2.500	1.583
47	3	1.035	117.413	0.000	0.000	2.500	1.583
48	3	1.035	87.411	0.000	0.000	2.500	1.583

49	3	1.031	57.055	0.000	0.000	2.916	1.833
50	3	1.031	27.054	0.000	0.000	2.916	1.833
51	3	1.031	-2.910	0.000	0.000	2.916	1.833
52	3	1.031	-32.909	0.000	0.000	2.916	1.833
53	3	1.031	-62.937	0.000	0.000	2.916	1.833
54	3	1.031	-92.935	0.000	0.000	2.916	1.833
55	3	1.031	-122.941	0.000	0.000	2.916	1.833
56	3	1.031	-152.940	0.000	0.000	2.916	1.833
57	3	1.031	177.098	0.000	0.000	2.916	1.833
58	3	1.031	147.097	0.000	0.000	2.916	1.833
59	3	1.031	117.088	0.000	0.000	2.916	1.833
60	3	1.031	87.066	0.000	0.000	2.916	1.833
61	3	1.030	57.011	0.000	0.000	2.500	1.583
62	3	1.031	26.991	0.000	0.000	2.500	1.583
63	3	1.031	-2.988	0.000	0.000	2.500	1.583
64	3	1.031	-32.983	0.000	0.000	2.500	1.583
65	3	1.031	-62.992	0.000	0.000	2.500	1.583
66	3	1.032	-92.967	0.000	0.000	2.500	1.583
67	3	1.032	-122.944	0.000	0.000	2.500	1.583
68	3	1.032	-152.924	0.000	0.000	2.500	1.583
69	3	1.031	177.115	0.000	0.000	2.500	1.583
70	3	1.031	147.110	0.000	0.000	2.500	1.583
71	3	1.030	117.067	0.000	0.000	2.500	1.583
72	3	1.030	87.042	0.000	0.000	2.500	1.583
73	3	1.031	57.049	0.000	0.000	3.333	2.083
74	3	1.031	27.030	0.000	0.000	3.333	2.083
75	3	1.031	-2.952	0.000	0.000	3.333	2.083
76	3	1.032	-32.947	0.000	0.000	3.333	2.083
77	3	1.032	-62.957	0.000	0.000	3.333	2.083
78	3	1.032	-92.933	0.000	0.000	3.333	2.083
79	3	1.032	-122.909	0.000	0.000	3.333	2.083
80	3	1.032	-152.889	0.000	0.000	3.333	2.083
81	3	1.031	177.146	0.000	0.000	3.333	2.083
82	3	1.031	147.141	0.000	0.000	3.333	2.083
83	3	1.030	117.099	0.000	0.000	3.333	2.083
84	3	1.030	87.075	0.000	0.000	3.333	2.083

KISA DEVRE ANALİZİ

Bara No	Bara Tipi	Gerilim	Açı
1	3	0.058947	0.000002
2	3	0.058947	-120.000000
3	3	0.058947	120.000000
4	3	0.399250	-1.489153
5	3	0.399602	-121.518600
6	3	0.399228	118.450800
7	3	0.158733	8.572052
8	3	0.214906	-137.576100
9	3	0.257104	124.234500
10	4	1.070000	0.000000
11	4	1.070000	-120.000000
12	4	1.070000	120.000000
13	4	1.070000	-0.193907
14	4	1.070000	-120.193900
15	4	1.070000	119.806100
16	5	0.000000	0.000000
17	5	0.000000	0.000000
18	3	0.848191	-1.049486
19	3	0.850102	-121.255300
20	3	0.851501	118.925400
21	4	1.070000	-0.373159
22	4	1.070000	-120.373200
23	4	1.070000	119.626800
24	5	0.000000	0.000000
25	5	0.000000	0.000000
26	5	0.000000	0.000000
27	5	0.000000	0.000000
28	5	0.000000	0.000000
29	5	0.000000	0.000000
30	5	0.000000	0.000000
31	5	0.000000	0.000000

32	5	0.000000	0.000000
33	5	0.000000	0.000000
34	5	0.000000	0.000000
35	5	0.000000	0.000000
36	5	0.000000	0.000000
37	3	0.350093	58.218280
38	3	0.350093	28.218280
39	3	0.349705	-1.816953
40	3	0.349705	-31.816840
41	3	0.350086	-61.854260
42	3	0.350085	-91.854170
43	3	0.350093	-121.781400
44	3	0.350092	-151.781500
45	3	0.349703	178.183100
46	3	0.349703	148.183100
47	3	0.350084	118.145500
48	3	0.350084	88.145480
49	3	0.190748	57.920480
50	3	0.190748	27.920470
51	3	0.189829	-2.234834
52	3	0.189830	-32.234580
53	3	0.190738	-62.395810
54	3	0.190737	-92.395580
55	3	0.190748	-122.078600
56	3	0.190747	-152.078900
57	3	0.189827	177.765400
58	3	0.189827	147.765200
59	3	0.190735	117.603500
60	3	0.190736	87.603520
61	3	0.245245	57.921220
62	3	0.245254	27.921920
63	3	0.244642	-2.156918
64	3	0.244646	-32.154540
65	3	0.245250	-62.237180
66	3	0.245242	-92.235530
67	3	0.245244	-122.069700
68	3	0.245234	-152.070800

69	3	0.244610	177.846600
70	3	0.244609	147.844300
71	3	0.245219	117.757200
72	3	0.245225	87.756030
73	3	0.117781	57.906260
74	3	0.117785	27.906900
75	3	0.117615	-2.138449
76	3	0.117616	-32.136030
77	3	0.117785	-62.183700
78	3	0.117782	-92.181960
79	3	0.117782	-122.084400
80	3	0.117777	-152.085400
81	3	0.117599	177.865600
82	3	0.117598	147.863200
83	3	0.117770	117.811000
84	3	0.117773	87.809620

L-G SHORT S/C AT BUS NO 25
S/C CURRENT= 1.97253 149.648

L-G SHORT S/C AT BUS NO 26
S/C CURRENT= 1.97253 119.648

L-G SHORT S/C AT BUS NO 27
S/C CURRENT= 1.96946 89.599

L-G SHORT S/C AT BUS NO 28
S/C CURRENT= 1.96947 59.599

L-G SHORT S/C AT BUS NO 29
S/C CURRENT= 1.97247 29.547

L-G SHORT S/C AT BUS NO 30
S/C CURRENT= 1.97247 -0.453

L-G SHORT S/C AT BUS NO 31
S/C CURRENT= 1.97254 -30.351

L-G SHORT S/C AT BUS NO 32
S/C CURRENT= 1.97253 -60.351

L-G SHORT S/C AT BUS NO 33
S/C CURRENT= 1.96946 -90.401

L-G SHORT S/C AT BUS NO 34
S/C CURRENT= 1.96946 -120.401

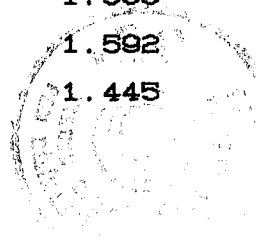
L-G SHORT S/C AT BUS NO 35
S/C CURRENT= 1.97246 -150.454

L-G SHORT S/C AT BUS NO 36
S/C CURRENT= 1.97246 179.546

Tablo E.6 Faz koordinatları yöntemi ile 12-fazlı enerji sistemlerinde dengesiz yükler için arıza analizi verileri.

Bara dan	Bara ya	MW	MVar	Bara dan	Bara ya	MW	MVar
1	10	-26.605	-12.927	10	1	26.602	15.110
2	11	-26.398	-12.240	11	2	26.406	14.356
3	12	-26.518	-12.575	12	3	26.512	14.735
4	13	-20.534	-15.897	13	4	20.535	17.220
5	14	-19.878	-15.780	14	5	19.884	17.054
6	15	-19.598	-15.615	15	6	19.592	16.854
18	21	-9.556	-7.402	21	18	9.550	7.683
19	22	-9.978	-6.827	22	19	9.978	7.098
20	23	-10.470	-5.685	23	20	10.476	5.956
61	73	0.693	0.384	73	61	-0.693	-0.378
62	74	-0.379	-0.049	74	62	0.380	0.049
63	75	-0.347	0.033	75	63	0.348	-0.033
64	76	-0.314	0.060	76	64	0.314	-0.060
65	77	-0.244	0.031	77	65	0.245	-0.031
66	78	-0.204	0.016	78	66	0.204	-0.016
67	79	-0.221	-0.024	79	67	0.221	0.024
68	80	-0.214	-0.067	80	68	0.214	0.067
69	81	-0.213	-0.065	81	69	0.213	0.065
70	82	-0.247	-0.092	82	70	0.246	0.092
71	83	-0.262	-0.134	83	71	0.261	0.134
72	84	-0.302	-0.119	84	72	0.302	0.119
7	18	-4.694	-4.093	18	7	4.667	4.401
8	19	-4.115	-3.682	19	8	4.073	3.801
9	20	-3.474	-4.488	20	9	3.552	4.684
85	86	-0.028	0.040	86	85	0.028	-0.040
26	74	3.382	1.361	74	26	-3.380	-1.338
27	75	3.223	1.066	75	27	-3.221	-1.046
28	76	3.130	0.975	76	28	-3.128	-0.956

29	77	2.922	1.133	77	29	-2.921	-1.115
30	78	2.797	1.168	78	30	-2.796	-1.150
31	79	2.911	1.240	79	31	-2.911	-1.221
32	80	2.878	1.365	80	32	-2.879	-1.347
33	81	2.791	1.321	81	33	-2.792	-1.305
34	82	2.885	1.412	82	34	-2.885	-1.395
35	83	2.929	1.634	83	35	-2.930	-1.616
36	84	3.055	1.598	84	36	-3.054	-1.579
25	49	2.537	1.016	49	25	-2.536	-0.988
26	50	2.053	0.827	50	26	-2.053	-0.809
27	51	2.026	0.676	51	27	-2.026	-0.659
28	52	2.043	0.690	52	28	-2.043	-0.673
29	53	1.938	0.810	53	29	-1.937	-0.794
30	54	1.958	0.802	54	30	-1.958	-0.786
31	55	2.134	0.839	55	31	-2.134	-0.820
32	56	2.137	0.818	56	32	-2.137	-0.798
33	57	2.094	0.626	57	33	-2.093	-0.608
34	58	2.076	0.612	58	34	-2.076	-0.595
35	59	1.927	0.725	59	35	-1.927	-0.710
36	60	1.907	0.733	60	36	-1.906	-0.718
49	61	1.104	0.367	61	49	-1.104	-0.365
50	62	0.284	0.031	62	50	-0.284	-0.033
51	63	0.193	0.029	63	51	-0.193	-0.031
52	64	0.221	0.043	64	52	-0.221	-0.045
53	65	0.282	0.147	65	53	-0.282	-0.149
54	66	0.308	0.130	66	54	-0.308	-0.132
55	67	0.401	0.025	67	55	-0.401	-0.026
56	68	0.400	-0.006	68	56	-0.400	0.005
57	69	0.276	-0.062	69	57	-0.276	0.060
58	70	0.248	-0.076	70	58	-0.248	0.075
59	71	0.246	0.030	71	59	-0.246	-0.032
60	72	0.219	0.047	72	60	-0.219	-0.048
61	37	-2.108	-1.607	37	61	2.109	1.627
62	38	-1.869	-1.501	38	62	1.869	1.517
63	39	-1.999	-1.574	39	63	2.000	1.593
64	40	-2.007	-1.574	40	64	2.007	1.592
65	41	-2.011	-1.429	41	65	2.011	1.445



66	42	-2.015	-1.423	42	66	2.014	1.439
67	43	-1.892	-1.486	43	67	1.892	1.501
68	44	-1.887	-1.480	44	68	1.888	1.495
69	45	-2.005	-1.547	45	69	2.006	1.564
70	46	-1.998	-1.548	46	70	1.999	1.565
71	47	-1.990	-1.410	47	71	1.991	1.426
72	48	-1.987	-1.415	48	72	1.988	1.432
73	37	-2.654	-1.707	37	73	2.655	1.759
74	38	-0.360	-0.805	38	74	0.359	0.809
75	39	-0.502	-1.014	39	75	0.501	1.019
76	40	-0.574	-1.068	40	76	0.573	1.074
77	41	-0.717	-0.924	41	77	0.716	0.928
78	42	-0.799	-0.889	42	78	0.799	0.893
79	43	-0.691	-0.847	43	79	0.692	0.851
80	44	-0.703	-0.758	44	80	0.704	0.762
81	45	-0.775	-0.801	45	81	0.777	0.806
82	46	-0.704	-0.747	46	82	0.706	0.752
83	47	-0.670	-0.580	47	83	0.671	0.584
84	48	-0.587	-0.614	48	84	0.588	0.618

URETİM

YÜK

Bara No	Bara Tipi	Gerilim	Açı	MW	MVar	MW	MVar
1	3	1.034	-3.682	0.000	0.000	0.000	0.000
2	3	1.036	-123.657	0.000	0.000	0.000	0.000
3	3	1.035	116.307	0.000	0.000	0.000	0.000
4	3	1.037	-3.957	0.000	0.000	0.000	0.000
5	3	1.037	-123.895	0.000	0.000	0.000	0.000
6	3	1.037	116.122	0.000	0.000	0.000	0.000
7	3	1.024	-5.203	0.000	0.000	0.000	0.000
8	3	1.047	-124.159	0.000	0.000	0.000	0.000
9	3	1.021	116.393	0.000	0.000	0.000	0.000
10	1	1.070	0.000	26.602	15.110	0.000	0.000

11	1	1.070	-120.000	26.406	14.356	0.000	0.000
12	1	1.070	120.000	26.512	14.735	0.000	0.000
13	4	1.070	-1.720	20.535	17.220	0.000	0.000
14	4	1.070	-121.720	19.884	17.054	0.000	0.000
15	4	1.070	118.280	19.592	16.854	0.000	0.000
16	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18	3	1.055	-2.966	0.000	0.000	5.000	3.000
19	3	1.056	-122.955	0.000	0.000	6.000	3.000
20	3	1.058	116.971	0.000	0.000	7.000	1.000
21	4	1.070	-1.909	9.550	7.683	0.000	0.000
22	4	1.070	-121.909	9.978	7.098	0.000	0.000
23	4	1.070	118.091	10.476	5.956	0.000	0.000
24	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25	3	1.034	56.198	0.000	0.000	2.083	1.250
26	3	1.033	26.103	0.000	0.000	2.083	1.250
27	3	1.033	-3.945	0.000	0.000	2.083	1.250
28	3	1.033	-33.942	0.000	0.000	2.083	1.250
29	3	1.034	-63.914	0.000	0.000	2.083	1.250
30	3	1.034	-93.910	0.000	0.000	2.083	1.250
31	3	1.033	-123.883	0.000	0.000	2.083	1.250
32	3	1.033	-153.882	0.000	0.000	2.083	1.250
33	3	1.033	176.069	0.000	0.000	2.083	1.250
34	3	1.033	146.066	0.000	0.000	2.083	1.250
35	3	1.034	116.087	0.000	0.000	2.083	1.250
36	3	1.034	86.083	0.000	0.000	2.083	1.250
37	3	1.033	55.829	0.000	0.000	2.500	1.583
38	3	1.034	25.914	0.000	0.000	2.500	1.583
39	3	1.035	-4.094	0.000	0.000	2.500	1.583
40	3	1.035	-34.096	0.000	0.000	2.500	1.583
41	3	1.035	-64.049	0.000	0.000	2.500	1.583
42	3	1.035	-94.052	0.000	0.000	2.500	1.583
43	3	1.034	-124.098	0.000	0.000	2.500	1.583
44	3	1.034	-154.098	0.000	0.000	2.500	1.583
45	3	1.035	175.898	0.000	0.000	2.500	1.583
46	3	1.035	145.901	0.000	0.000	2.500	1.583
47	3	1.035	115.954	0.000	0.000	2.500	1.583

48	3	1.035	85.957	0.000	0.000	2.500	1.583
49	3	1.029	55.637	0.000	0.000	2.916	1.833
50	3	1.029	25.648	0.000	0.000	2.916	1.833
51	3	1.030	-4.394	0.000	0.000	2.916	1.833
52	3	1.030	-34.394	0.000	0.000	2.916	1.833
53	3	1.030	-64.340	0.000	0.000	2.916	1.833
54	3	1.031	-94.340	0.000	0.000	2.916	1.833
55	3	1.030	-124.353	0.000	0.000	2.916	1.833
56	3	1.030	-154.353	0.000	0.000	2.916	1.833
57	3	1.030	175.607	0.000	0.000	2.916	1.833
58	3	1.030	145.607	0.000	0.000	2.916	1.833
59	3	1.031	115.661	0.000	0.000	2.916	1.833
60	3	1.030	85.661	0.000	0.000	2.916	1.833
61	3	1.028	55.475	0.000	0.000	2.500	1.583
62	3	1.029	25.593	0.000	0.000	2.500	1.583
63	3	1.030	-4.438	0.000	0.000	2.500	1.583
64	3	1.030	-34.441	0.000	0.000	2.500	1.583
65	3	1.030	-64.389	0.000	0.000	2.500	1.583
66	3	1.030	-94.384	0.000	0.000	2.500	1.583
67	3	1.030	-124.401	0.000	0.000	2.500	1.583
68	3	1.030	-154.394	0.000	0.000	2.500	1.583
69	3	1.030	175.586	0.000	0.000	2.500	1.583
70	3	1.030	145.588	0.000	0.000	2.500	1.583
71	3	1.030	115.637	0.000	0.000	2.500	1.583
72	3	1.030	85.632	0.000	0.000	2.500	1.583
73	3	1.024	55.043	0.000	0.000	3.333	2.083
74	3	1.030	25.754	0.000	0.000	3.333	2.083
75	3	1.030	-4.286	0.000	0.000	3.333	2.083
76	3	1.031	-34.287	0.000	0.000	3.333	2.083
77	3	1.031	-64.249	0.000	0.000	3.333	2.083
78	3	1.031	-94.242	0.000	0.000	3.333	2.083
79	3	1.030	-124.232	0.000	0.000	3.333	2.083
80	3	1.030	-154.224	0.000	0.000	3.333	2.083
81	3	1.031	175.747	0.000	0.000	3.333	2.083
82	3	1.030	145.748	0.000	0.000	3.333	2.083
83	3	1.031	115.778	0.000	0.000	3.333	2.083
84	3	1.031	85.771	0.000	0.000	3.333	2.083

85	3	0.201	-0.105	0.000	0.000	0.000	0.000
86	3	0.200	-0.013	0.000	0.000	0.000	0.000

KISA DEVRE ANALİZİ

Bara No	Bara Tipi	Gerilim	Açı
1	3	0.058947	0.000002
2	3	0.058947	-120.000000
3	3	0.058947	120.000000
4	3	0.419536	-1.559911
5	3	0.419115	-124.671400
6	3	0.399443	116.936700
7	3	0.196040	2.372360
8	3	0.218211	-132.141800
9	3	0.230210	119.268800
10	4	1.070000	0.000000
11	4	1.070000	-120.000000
12	4	1.070000	120.000000
13	4	1.070000	-1.719965
14	4	1.070000	-121.720000
15	4	1.070000	118.280000
16	5	0.000000	0.000000
17	5	0.000000	0.000000
18	3	0.851127	-2.480133
19	3	0.852197	-122.811100
20	3	0.851980	117.291600
21	4	1.070000	-1.908519
22	4	1.070000	-121.908500
23	4	1.070000	118.091500

24	5	0.000000	0.000000
25	5	0.000000	0.000000
26	5	0.000000	0.000000
27	5	0.000000	0.000000
28	5	0.000000	0.000000
29	5	0.000000	0.000000
30	5	0.000000	0.000000
31	5	0.000000	0.000000
32	5	0.000000	0.000000
33	5	0.000000	0.000000
34	5	0.000000	0.000000
35	5	0.000000	0.000000
36	5	0.000000	0.000000
37	3	0.401870	56.578260
38	3	0.371249	26.401810
39	3	0.355004	-2.075529
40	3	0.356095	-32.125550
41	3	0.356959	-65.289450
42	3	0.357729	-95.156020
43	3	0.375325	-123.424500
44	3	0.375025	-153.257500
45	3	0.357274	178.527000
46	3	0.356188	148.578900
47	3	0.354639	115.308700
48	3	0.353862	85.175090
49	3	0.211250	56.232030
50	3	0.203128	26.125950
51	3	0.193583	-2.329859
52	3	0.193884	-32.354460
53	3	0.194425	-65.645580
54	3	0.194634	-95.577360
55	3	0.204249	-123.783400
56	3	0.204163	-153.699200
57	3	0.194198	177.977000
58	3	0.193897	148.002100
59	3	0.193773	114.654100
60	3	0.193562	84.585950

61	3	0.307625	56.165810
62	3	0.260467	26.084330
63	3	0.248821	-2.383107
64	3	0.249501	-32.412440
65	3	0.250167	-65.606430
66	3	0.250588	-95.480800
67	3	0.262880	-123.715000
68	3	0.262637	-153.574000
69	3	0.249989	178.168900
70	3	0.249311	148.199700
71	3	0.248548	114.881600
72	3	0.248123	84.755690
73	3	0.384538	55.748130.
74	3	0.124883	25.787910
75	3	0.119703	-2.676991
76	3	0.120328	-32.621250
77	3	0.120758	-65.626110
78	3	0.120939	-95.337460
79	3	0.126650	-123.492400
80	3	0.126231	-153.276300
81	3	0.119916	178.492000
82	3	0.119290	148.441900
83	3	0.118672	114.991600
84	3	0.118487	84.698090
85	3	0.205922	2.383197
86	3	0.200201	-0.172088

L-G SHORT S/C AT BUS NO 25
S/C CURRENT= 1.45281 149.173

L-G SHORT S/C AT BUS NO 26
S/C CURRENT= 2.08027 119.323

L-G SHORT S/C AT BUS NO 27
S/C CURRENT= 2.01422 90.697

L-G SHORT S/C AT BUS NO 28
S/C CURRENT= 1.99227 60.908

L-G SHORT S/C AT BUS NO 29
S/C CURRENT= 1.96727 29.039

L-G SHORT S/C AT BUS NO 30
S/C CURRENT= 1.95043 -1.427

L-G SHORT S/C AT BUS NO 31
S/C CURRENT= 1.99608 -31.230

L-G SHORT S/C AT BUS NO 32
S/C CURRENT= 2.00159 -61.875

L-G SHORT S/C AT BUS NO 33
S/C CURRENT= 1.96626 -91.479

L-G SHORT S/C AT BUS NO 34
S/C CURRENT= 1.98851 -121.666

L-G SHORT S/C AT BUS NO 35
S/C CURRENT= 2.01108 -153.210

L-G SHORT S/C AT BUS NO 36
S/C CURRENT= 2.02740 177.257

ÖZGEÇMİŞ

Erdin GÖKALP

Elektrik Yüksek Mühendisi
(1988 Yıldız Teknik Üniversitesi)

Doğum Tarihi ve Yeri

09.04.1962, İstanbul

1981-1985

Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü

1977-1979

İstanbul Pertevniyal Lisesi

1975-1977

Ahmet Rasim Orta Okulu

1970-1975

Yavuz Sultan Selim İlkokulu

GÖREVİ

1986-1994

Araştırma Görevlisi
Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı

Yabancı Dil

İngilizce