

KISA DEVRE OLAYLARINDA

HATA ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Uğur ARİFOĞLU



000099510015

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Haziran 1987

Tezin Savunulduğu Tarih : 8 Temmuz 1987

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Nesrin TARKAN

Diğer Jüri Üyeleri : Yrd.Doç.Dr. Adnan KAYPMAZ

: Yrd.Doç.Dr. Sami GÜZELKOKAR



ÖNSÖZ

Enerji iletimini sağlayan ve yardımcı olan çok çeşitli elemanlar bulunmaktadır. Hiç şüphesiz bunda önemli bir görev enerji iletim hatlarına düşmektedir. Hatların korunması ise hatanın sürekliliğini ortadan kaldırmak için önem ifade eden bir konudur. Kesici gücünün tesbiti kısa devre hesaplamalarının yapılması ile mümkündür. Pratikte yapılan hesaplamalarda gerek güvenlik unsuru ve gerekse hesaplamalarda yapacağı kolaylık nedeni ile bazı kabuller yapılmaktadır.

Bu çalışmada pratikte yapılan kabullerin gerçek değerler ile olan farklılığı Bulgaristan' dan beslenen Trakya hattı esas alınarak incelenmiştir. Bugün için bu hesaplamaların bilgisayar dışında bir yol ile yapılması imkansız hale geldiğinden, bilgisayarı en ekonomik bir şekilde kullanmak için bazı yollar araştırılmıştır.

Özellikle yapılan tüm hesaplamalarda optimal bir çözümün arandığı yüzyılımızda, kısa devre hesaplamalarının sonuçlarına dayalı hat kesiti hesabında yapılan kabullerin, denklemlere negibi bir katsayı sokulması ile ortadan kaldırılmasının mümkün olup olmadığının cevabı önemlidir.

Yaptığım bu çalışmada bana yardımcı olan TEK Ankara Bim. Müdürü müh. sn. Nur Yıldırım, Kuzey Batı Anadolu Elektrik İşletmesi Müdürü müh. sn. Ahmet Birinci ve TEK Ümraniye teknik şefi sn. Seyhan Özmen'e teşekkürü bir borç bilirim.

Gerek lisans ve gerekse yüksek lisans eğitimim boyunca her konuda yardımını benden esirgemeyen sn. hocam Doc. Dr. Nesrin Tarkan'a nihayi teşekkürlerimi bildiririm.

Uğur Arifoğlu

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 Kısa Devre Hesaplamalarında Kullanılan Eşdeğer Devre Modellerinin Elde Edilmeleri.....	1
1.2 Üç Fazlı Kısa Devre.....	4
1.3 İki Fazlı Kısa Devre.....	5
1.4 İki Faz Toprak Kısa Devresi.....	6
1.5 Faz Toprak Kısa Devresi.....	7
BÖLÜM 2 DEĞİŞİK SİSTEM ARIZALARI İÇİN GENEL HESAP DENKLEMLERİ.....	9
2.1 Giriş	9
2.2 Kısa Devre Hesaplamaları.....	11
2.3 Hata Empedans ve Admitans Matrisinin Hesaplanması.....	16
BÖLÜM 3 HATLAR ARASINDAKİ ORTAK ENDÜKTANSIN HESAPLARA KATILMASI... ..	22
3.1 Giriş	22
3.2 Bara Admitans Matrisinin Hesaplanması.....	24
3.3 Sistem Değişikliği halinde Bara Empedans Matrisinin Değiştirilmesi	28
3.4 Faz Toprak Kısa Devre Hesabı.....	30
3.5 Büyük Sistemler için Matris Hesaplanması.....	32
3.6 Eşitliklerin Elde Edilmesi	32
3.7 Link İlave Edilmesi	36
3.8 Sistem Değişikliğinde Bara Empedans Matrisinin Değişimi.	39
3.9 Sayısal Örnek	41
SONUÇLAR ve ÖNERİLER	
KAYNAKLAR	
ÖZGEÇMİŞ	

NOTASYON LİSTESİ

Büyüklikler

- B : Toplam dal sayısı
E, e : Elektro motor kuvvet. Üzerinde çizgi var ise matris gösterimidir.
I, i : Akım. Eğer üzerinde çizgi var ise matris gösterimidir.
 \bar{J} : Bara akımları vektörü.
N : Toplam bara sayısı. (Toprak referans bara sayısı hariç)
 \bar{T} : Dönüşüm matrisi.
 \bar{U} : Birim matris
 \bar{V} : Gerilim vektörü
Y : Admitans. Eğer üzerinde çizgi var ise vektör gösterimidir.
Z, z : Empedans. Eğer üzerinde çizgi var ise matris gösterimidir.

Alt indisler

- f : Hata sonrası durumu gösterir.
g : Büyüklüğün toprak ile ilgisini gösterir.
m, n : Bara büyüklükleri için bara numaraları.
L : Çevre veya link gösteriminde kullanılır.
p, q : Dal büyüklükleri için bara numaraları.
pq,pq: Kol admitansı veya empedansını gösterir indis.
s : Dönüşüme uğramış büyüklüğü gösterir.
a,b,c: Gerçek faz büyüklüklerini gösterir.
1,2,0: Pozitif, negatif ve sıfır bileşen büyüklüklerini gösterir.

Üst indisler

- f : Hata sonrası değerleri gösterir.
o : Hata öncesi değerleri gösterir

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Dengesiz sistemlerin analizinde kullanılan fazörler	3
Kısa devre hata tiplerinin gösterimleri	3
Üç fazlı kısa devre eşdeğer şeması	4
İki fazlı kısa devre eşdeğer şeması	5
İki faz toprak kısa devre eşdeğer şeması	7
Faz toprak kısa devre eşdeğer şeması	8
Enerji sistemi yaklaşık eşdeğer şeması	10
Hatanın genel gösterimi	12
Dengesiz hata büyüklüklerinin gösterimi	16
Bara empedans matrisinin hesaplanmasına ilişkin işaret akış diyagramı	23
Bara empedans matrisinin değiştirilmesi	24
$p'_{oq'}$ dalının sisteme ilave edilmesi	33
$p'_{oq'}$ link dalının sisteme ilave edilmesi	37
Z_{mn} empedansının hesaplanması	41
Örnek sistem şeması	41
Örnek sistemin A ve B gibi iki alt devreye ayrılması	46
İncelenen iletim sisteminin gösterimi	48

TABLO LİSTESİ

Bazı transformatör bağlantı grupları için sıfır devre- eşdeğer şemaları	8
Hata tiplerine göre hata empedansı ve admitansı ifadesi ..	18
Hatlarda kısa devre oluşumu sonrasında akım ve gerilim büyüklükleri	19

ÖZET

Enerji İletim Sistemlerinde Kısa Devre Olaylarında Hata Hesaplamaları

Kısa devre olayları enerji iletimini sağlayan hatlar için kaçınılmaz ve aynı zamanda önemlidirler. Kısa devre hesaplamalarının sonuçları, baralara yerleştirilecek olan kesici güçlerini tayin edeceğinden çeşitli hesaplama yöntemleri geliştirilerek kısa devre güçleri hesaplanmıştır. Teknolojinin gelişmesi ile paralel olarak çözüm metodlarında da değişimler meydana gelmiş ve bilgisayarın yaygın kullanımı ile bilgisayar programları bu amaçlar için kullanılmıştır.

Çok fazla bara sistemine sahip olan bir ülkenin enterkonnekte enerji iletim sistemi için hesaplamaların daha önce göz önüne alınmayan bazı noktalarında hesaplamalara katılır hale gelmiştir. Bunların içinde belkide en önemlisi, saniyelerin önemli olduğu bilgisayarın kullanım süresinin minimum değere indirildiği, en az hatalı ve bilgisayar belleğini en az zorlayacak çözüm yöntemlerinin geliştirilme zorlugudur. İlk önceleri dijital bilgisayarlar ile ilk kısa devre hesaplamaları yük akışı sonuçları kullanılarak iteratif yol ile çözüme gitme şeklinde idi. Fakat bu metod bir çok hata türü ve noktası için akım ve gerilim değerlerinin bilinmesini gerekli kıldığından hesaplama zamanı ve bununla birlikte hata oranının artması nedeni ile verimsiz olmaktaydı.

Zamanla gelişen teknik bilgisayarda bara empedans matrisinin kullanımını mümkün hale getireğinden Thevenin Teoremine dayanarak istenen şartlarda çözüme ulaşım gerçekleşti. Bu yöntemin pratikteki uygulamasında bazı kabullerin yapıldığı bir gerçektir. Bu kabullerin sonuç değerlerini gerçek değerlerden uzaklaştırması ise kaçınılmaz olmakla birlikte, yukarıda bahsettiğimiz: bilgisayarın ekonomik kullanımı için, en az zamanda dataların bilgisayara yüklenmesi ve sonuçların alınması noktasında kaçınılmaz olmaktadır.

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen kabul yapmanın gerekliliğine inanarak fakat gerçek değerlere çok daha yakın olan çözüm şekilleri araştırılmıştır. Bu çözüm şekilleri 24 baralı Batı Trakya enerji iletim hattına uygulanmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu enerji sistemi üzerinde yapılan kısa devre incelemeleri üç ayrı modda incelenmiştir. Bu modlardan ilki kısa devre hesaplamalarında yapılan kabullerin yapılmadığı, tamamen gerçek değerlerin göz önüne alındığı ilk koşullar altında yapılan hesaplamaları içerirken, ikinci modda sistemin omik karakterinin göz önüne alınmadığı durumlarda kısa devre güçlerinin değişimi incelenmiştir. Üçüncü modda ise sistemdeki direnç değerlerinin vektörel olarak endüktif dirence ilavesi ile elde edilen sistem empedansının sonuçları etkilemesi araştırılmıştır. Sonuçta üçüncü modun tercih sebebi olabileceği anlaşılmıştır.

SUMMARY

Fault Calculations for Short Circuit Types at Energy Transmission Systems

Short circuit calculations provide current and voltages on a power system during fault conditions. This information is required to design an adequate protective relaying system and to determine interrupting requirements for circuit breakers at each switching location.

Relaying system must recognize the existence of a fault and initiate circuit breaker operation to disconnect faulted facilities. This action is required to assure minimum disrupting of electrical services and to limit damage in the faulted equipment. The currents and voltages resulting from various types of fault occurring at many locations throughout the power system must be calculated to provide sufficient data to develop an effective relaying and switching system.

To obtain the required information a special purpose analog computer, called a network analyzer, was used extensively for short circuit studies before digital techniques were available.

In general, sufficient accuracy in short circuit studies can be obtained with a simplified representation. The simplified three phase representation is obtained by

1. Representing each machine by a constant voltage equal 1 p.u behind the machine reactance, transient or subtransient.
2. Neglecting shunt connections, e.g. loads, lines charging, initially conditions etc.
3. Setting all transformers at nominal taps.
4. Neglecting real value of impedance of transmission lines and transformers.

At the study, short circuit currents of the power transmission system named The Northwest Anadolu system fed from Bulgaria are computed without neglecting above conditions. The aim of this research is to determine the difference between non-faulted circuit currents and faulted ones.

Before giving results, the study will be explained how to do these calculations and then results will be given.

The bus frame of reference in admittance form was employed in the first application of digital computers to short circuit studies. This method, which was patterned after similar techniques employed for load flow calculations, used an iterative technique. This required a complete iterative solution for each type and location. Consequently, this method was not adopted generally.

The development of techniques for applying a digital computer to form the bus impedance matrix made it feasible to use Thevenin's theorem for short circuit calculation. This approach provided an efficient means of determining short circuit currents and voltages because these values can be obtained with few arithmetic operations involving only related portions of the bus impedance matrix.

The concept of short circuit capacity takes on a much clearer significance when considered in connection with the very important Thevenin's circuit theorem. As the reader will recall from courses in elementary circuit theory, this theorem is useful in determining the changes that take place in currents and voltages of a linear network when an additional impedance is added between two nodes of the network. This situation clearly applies to a short circuit.

The Thevenin's theorem specifically states:

The changes that take place in the network voltages and currents due to the addition of an impedance between two network nodes are identical with those voltages and currents and would be caused by an emf placed in series with the impedance and having a magnitude and polarity equal to the prefault voltage that existed between the nodes in question and all other active sources being zeroed.

By this term we mean that all active sources are removed and the remaining open terminals shorted, in the case of voltage sources, and left open, in the case of current sources throughout this chapter and the next we shall indicate all prefault variables with the superscript 0. All postfault or fault variables will be indicated by the superscript f.

The use of the bus impedance matrix provides a convenient means of calculating short circuit currents and voltages when the is selected as reference.

One of the distinct advantages is that, once the bus impedance matrix is formed, the elements of this matrix can be used directly to calculate the currents and voltages associated with various types of faults and the fault locations.

The formulas developed for calculations of fault currents and voltages can be simplified for a balanced three phase network by using symmetrical components.

This method formulates a system of three, separate phasor systems which when superposed give the true unbalanced conditions in the circuit. It should be stressed that the systems to be discussed are essentially artificial and used merely as an aid to calculations. Thus various sequence component voltages and currents do not exist as physical entities in the network.

The method postulates that three phase unbalanced system of voltages and currents may be represented by the following three, separate systems of phasors.

- a) A balanced three phase system in the normal a b c sequence called-positive- right phase sequence system.
- b) A balanced three phase system of reversed sequence, i.e. a c b, called the-negative- opposite phase sequence system.
- c) Three phasors equal in magnitude and phase revolving in the right phase rotation, called the zero phase sequence system.

One of the more complicated aspects has been treatment of mutual impedances in the zero sequence network for example line to ground faults. The purpose of this is to present an analytical basis to include the effect of mutual impedances in a new matrix method and digital matrix program. The other name is bus impedance matrix method, because the matrix used is actually the open circuit driving point and transfer impedance matrix.

In developing this technique, particular emphasis was placed on developing a method applicable to the calculations short circuits for systems with large numbers of mutual impedances.

The main advantages of the new approach are given the following[7]

1. Considerable savings in computer storage requirements and in computing time have been realized because neither a transformation matrix nor matrix inversion is used.
2. Greater accuracy can be achieved than in an iterative method in which precision is questionable, especially where impedances are low.

3. The bus impedance matrices for both positive and zero sequence are calculated only once for anl system and retained for later use.
4. The impedance matrix can be modified easily for transmission system and capacity changes even when mutual impedances are affected.
5. System subdivisions can be handled easily by utilizing parts of the main program, thus increasing the maximum size of the power system that can be studied on any computer.

The bus impedance matrix method has been proved at this time to be most convinient for short circuis studies. Given complete branch information (branch impedances and branch interconnections) for a power system, efficient techniques have been developed for:

1. Computing bus impedance matrix.
2. Directly modifying the bus impedance matrix for system changes.
3. Easily subdiving a large network in order to study it on a relatively small computer.

It completely describes the construction of the power system and may be called its mathamatical model. It is equivalent to a completely plugged and set network analyzer.

The success of this method of solving complex problem has pointed to the need for more research into the understanding of mathematical model, such as better method of derivation modification, transformation, etc, in order to realize more fully the value of the high speed digital computer.

Short circuit events are both important and unavoidable for energy conducting systems. Since the result of short circuit calculations determine power of disjunctors to be placed on buses, several calculation techniques have been developed to calculate short circuit power. In parallel to developments in technology, several changes have taken place in solution techniques and with the wide use of computers computer programs have been used for these purposes.

Several points, previously disregarded, have begun to be taken into account for interconnected energy transmission system of a country who owns so many bus systems. Perhaps the most important one among these is the necessity of development of new solution method where the computer use, is minimized with the least error ratio.

At the beginning using digital computers, short circuit calculations could be done by obtaining solution by means of iterative way using results of load flow calculations. But, since this method necessitated the current and voltage values for several error type and error point, increase in time consume and error ratio made it impracticable.

Since the newly developed computers made the use of bus impedance matrix available it made it possible to find the results depending on Thevenin's Theorem. It true that some acceptances have been done in practice application of this method. Although these acceptances may lead to false results, as we mentioned above, its unavoidable from the point view that it spans a lot time.

Solution in this study, we researched for the methods to find the minimally deviated values believing in the necessity of making acceptance. These solution methods have been applied to West Trakya energy transmission system and the obtained results have been evaluated. Short circuit investigation have been evaluated in 3 different modes. While the lot one of these modes included calculations where acceptances have been made, but only real values are used, in the 2nd mode we observed the changes in short circuit power, in cases where omic characteristics of the system was disregarded.

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1 Kısa Devre Hesaplamalarında Kullanılan Eşdeğer Devre Modelleri

Bu bölümde kısa devre hesaplamalarında kullanılan transformasyon metodlarından birinin tanıtımı yapılacak, elde edilen denklemlerin konuya uygulanışı gösterilecektir. Bundan amaç diğer bölümlere ön bilgi sağlanmasıdır.

Simetrik olmayan kısa devrelere şebekelerde çok sık rastlanır. Bu bakımdan kısa devre durumlarının incelenmesi çok önemlidir. Hesaplamalarda kolaylık sağlamak için dengesiz sistemi çeşitli metodlar ile daha basit sistemlere çevirmek mümkündür. Gerçekte bu son sistemin hayali bir sistem olduğu unutulmamalıdır. Yapılan hesaplamalardan sonra aşağıda verilecek olan ters dönüşüm matrisleri ile gerçek sistem değerlerine dönülür. Burada bu amaçla simetrik bileşenler transformasyonu olarak adlandırılan dönüşümden faydalanılacaktır. Bu metod ile dengesiz sistem üç ayrı dengeli sisteme dönüştürülür. İşlemler bu bazda yapılarak bulunan değerler ters dönüşüm matrisleri kullanılarak gerçek sistem değerlerine dönülür. Birbirinden bağımsız üç ayrı dengesiz sistemlerin isimleri sırası ile doğru, ters ve sıfır sistemleridir. Doğru ve ters sistem bileşenleri, arasında 120 derecelik faz farkı bulunan ve ilki diğerine göre ters yönde dönen fazörler içeren büyüklüklerdir. Sıfır sistem bileşenleri ise aynı fazdadırlar. Şekil 1.1 de bunlar gösterilmiştir. Yukarıdaki açıklamalardan anlaşıldığı gibi gerçek faz büyüklükleri olarak adlandırılan a, b ve c fazlarının her birinin değeri sırası ile 0, 1 ve 2 indisleri ile gösterilen doğru, ters ve sıfır bileşen fazörlerinin transformasyon matrisince belirtilen vektörel toplamları ile gösterilebilir. Denklem (1.1) de matrisel formda gösterim verilmiştir. Burada kullanılan ifadeleri:

$$a = e^{j 120} \quad \text{ve} \quad a^2 = e^{j 240}$$

değerlerine eşittir. Bu eşitliğin sağ tarafındaki matris (T) dönüşüm matrisi olarak adlandırılır.

$$\begin{vmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_0 \end{vmatrix} \quad (1.1)$$

Yukarıdaki eşitliğin terside mümkündür. Gerçek faz büyüklükleri kullanılarak doğru, ters ve sıfır bileşen değerleri bu defa ters dönüşüm matrisi ile elde edilebilir. Bu matris T^{-1} ile gösterilmiştir ve denklem (1.2) de matrisel formda yazılmıştır.

$$\begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{vmatrix} \quad (1.2)$$

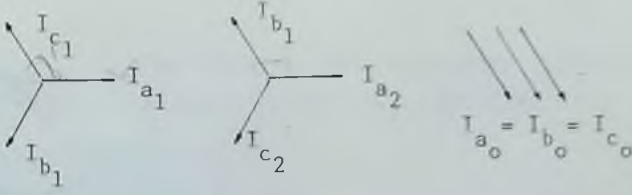
Yukarıda akımlar için yazılan eşitlikler gerçek sistemin gerilim ve empedans değerleri içinde aynı şekilde yazılabilir. Böylece gerçek sisteme ait akım, gerilim ve empedans matrislerine: doğru, ters ve sıfır bileşen matrisleri karşı düşecektir. Gerçek sistem olarak adlandırılan a, b ve c fazlarını içeren sistem içinde generatör elektromotor kuvveti (e.m.k) nin yine doğru, ters ve sıfır bileşen devrelerinde transformasyon matrisince belirlenen bir karşılığı vardır. Birbirinden bağımsız olan bu son üç bileşen devre elektromotor kuvvetleri değerleri T dönüşüm matrisinin kullanılması ile:

$$\begin{aligned} E_0 &= Z_0 I_0 + U_0 \\ E_1 &= Z_1 I_1 + U_1 \\ E_2 &= Z_2 I_2 + U_2 \end{aligned} \quad (1.3)$$

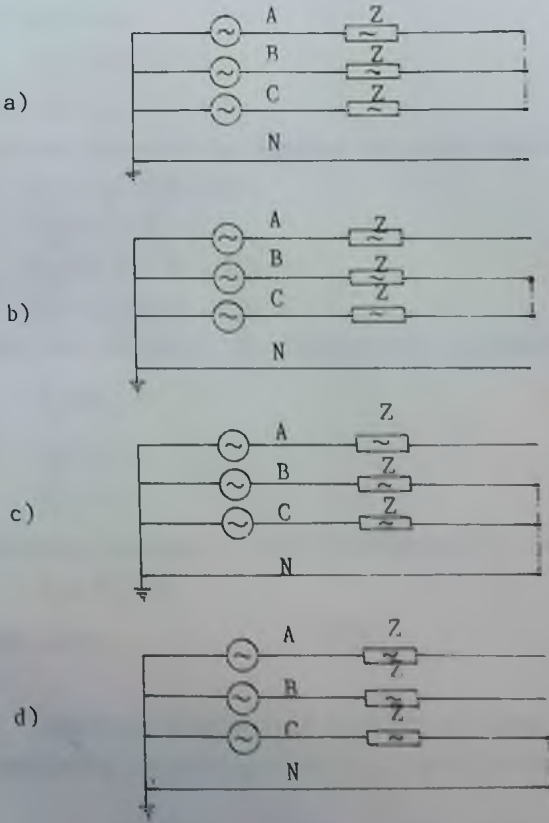
değerleri elde edilir. Yukarıda kullanılan empedans değerleri generatör faz empedansıda dahil olmak üzere kısa devre noktasına kadar olan gerçek sistem empedanslarının transformasyon ile elde edilen doğru, ters ve sıfır bileşen devre empedans karşılıklarıdır. Gerçek sistem e.m.k değerleri dengeli ve simetrik olduklarından dönüşüm bunlarada uygulanacak olursa :

$$\begin{aligned} E_1 &= E_m \\ E_2 &= E_0 = 0 \end{aligned}$$

değerleri elde edilecektir. E_m değeri kısa devre noktasındaki gerçek sistem büyüklük değeridir.



Şekil 1.1 Dengesiz sistemin analizinde kullanılan fazör gösterimleri.



Şekil 1.2 Kısa devre hata tiplerinin gösterimleri.

1.2 Üç Fazlı Kısa Devre [1]

Şekil 1.2a da temsili devre gösterilmiştir. (1.1), (1.2) ve (1.3) denklemleri gerilim ifadeleri için yazılırsa:

$$\begin{aligned} 3U_1 &= U_a + aU_b + a^2U_c = 0 \\ 3U_2 &= U_a + a^2U_b + aU_c = 0 \\ 3U_0 &= U_a + U_b + U_c = 0 \end{aligned}$$

denklemleri elde edilir. Ayrıca kısa devre ilk koşulları sonunda:

$$U_a = U_b = U_c = 0$$

kullanılarak:

$$U_1 = U_2 = U_0 = 0$$

elde edilir.

Denklem takımının bu değerler alınarak çözülmesinden:

$$\begin{aligned} U_1 &= E_1 - Z_1 I_1 = 0 \\ I_1 &= E_1 / Z_1 \\ U_2 &= I_2 Z_2 = 0, \quad I_2 = 0 \\ U_0 &= -I_0 Z_0 = 0, \quad I_0 = 0 \end{aligned}$$

değerleri bulunur. Bu değerler (1.1) denkleminde yerine konulursa:

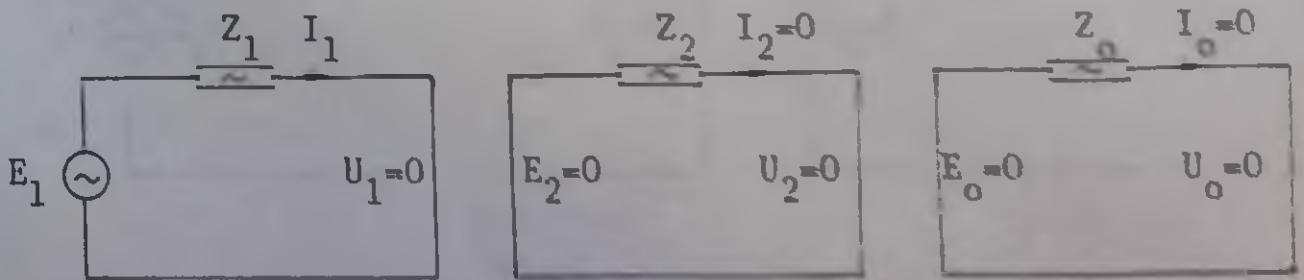
$$\begin{aligned} I_a &= I_1 \\ I_b &= a^2 I_1 \\ I_c &= a I_1 \end{aligned}$$

ifadeleri bulunur. (1.3) denklemlerinin toplanmasından:

$$I_k = E_m / Z_1 \quad (1.4)$$

elde edilir.

Yukarıda elde edilen denklemlere göre doğru, ters ve sıfır bileşen devrelerin aşağıda gösterildiği şekilde olduğu görülür.



Şekil 1.3 Üç fazlı kısa devre eşdeğer şeması

1.3 İki Fazlı Kısa Devre [1]

Şekil 1.2b de temsili devre gözükmemektedir. Devreden elde edilen ek denklemler aşağıdadır.

$$U_c = U_b, \quad I_b = -I_c, \quad I_a = 0$$

(1.2) denkleminde ise:

$$a^2 U_1 + a U_2 + U_0 = a U_1 + a^2 U_2 + U_0$$

$$U_1(a^2 - a) = U_2(a^2 - a)$$

$$U_1 = U_2$$

elde edilir. $I_b = -I_c$ eşitliği (2.1) denkleminde yerine konursa:

$$a^2 I_1 + a I_2 + I_0 = -(a I_1 + a^2 I_2 + I_0)$$

$$I_1(a^2 + a) + I_2(a + a^2) + 2I_0 = 0$$

$$I_1 + I_2 = 2I_0$$

eşitlikleri elde edilir.

$I_a = 0$ denkleminde ise:

$$I_1 + I_2 + I_0 = 0$$

elde edilir. Elde edilen son iki denklemden:

$I_0 = 0$, $I_1 = -I_2$ ifadeleri elde edilir.

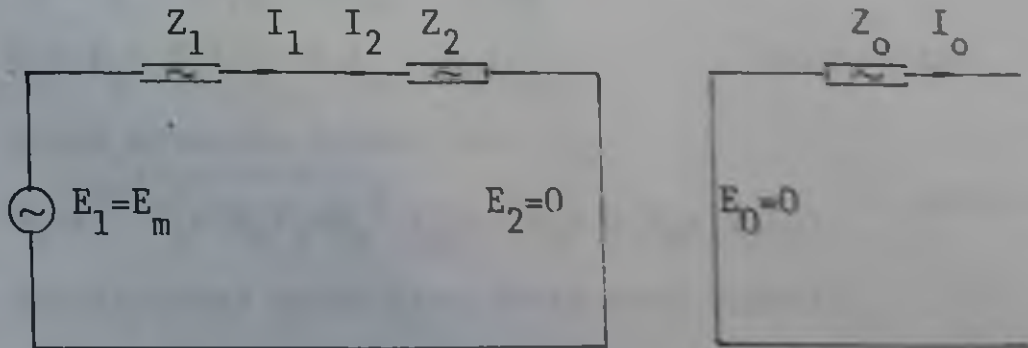
(1.1) denkleminde ise:

$$I_b = a^2 I_1 + a I_2 + I_0, \quad I_b = I_1 \sqrt{3}$$

$$I_b = I_c = I_k = 3E_m / (Z_1 + Z_2)$$

(1.5)

denklemleri elde edilir. Doğru, ters ve sıfır akım bileşeni denklemlerinden eşdeğer devrelerin aşağıdaki gibi olduğu görülmektedir.



Şekil 1.4 İki fazlı kısa devre eşdeğer şeması

1.4 İki Faz Toprak Kısa Devresi [1]

Şekil 1.2c de temsili devre gösterilmiştir. Buradaki kısa devre b ve c fazları ile sıfır yani nötr arasındadır. Buna göre aşağıdaki şartlar yazılabilir.

$$I_a = 0, \quad U_b = U_c = 0, \quad I_{ko} = I_b + I_c$$

Burada I_{ko} nötr iletkeninden geçen kısa devre akımıdır. (1.1), (1.2) ve (1.3) numaralı denklem sisteminden faydalanarak akım ve gerilimin simetrik bileşen karşılıkları için aşağıdaki değerler elde edilir.

$$\begin{aligned} U_0 &= U_1 = U_2 = Z_0 Z_2 E_m / (Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0) \\ I_0 &= -U_0 / Z_0 = -Z_2 E_m / (Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0) \\ I_1 &= (E_m - U_1) / Z_1 = (Z_0 + Z_2) E_m / (Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0) \\ I_2 &= -U_2 / Z_2 = -Z_0 E_m / (Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0) \end{aligned}$$

Yukarıda bulunan denklem sistemi (1.1) ve (1.2) denklemlerinde yerlerine konacak olur ise:

$$\begin{aligned} I_b &= ((a^2 - 1)Z_2 + (a^2 - a)Z_0) E_m / (Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0) \\ I_c &= ((a - 1)Z_2 - (a^2 - a)Z_0) E_m / (Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0) \\ U_a &= 3Z_0 Z_2 E_m / (Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0) \quad \text{yazılabilir.} \end{aligned}$$

U_a , U_b ve U_c fazgerilimlerini bunlara karşı düşen e.m.k ile simetrik akım bileşenleri tarafından meydana getirilen gerilim düşümlerinin farkları cinsinden yazacak olursak :

$$\begin{aligned} U_a &= E_m - Z_1 I_{1a} - Z_2 I_{2a} - Z_0 I_{0a} \\ U_b &= E_m - Z_1 I_{1b} - Z_2 I_{2b} - Z_0 I_{0b} \\ U_c &= E_m - Z_1 I_{1c} - Z_2 I_{2c} - Z_0 I_{0c} \quad \text{yazılabilir.} \end{aligned}$$

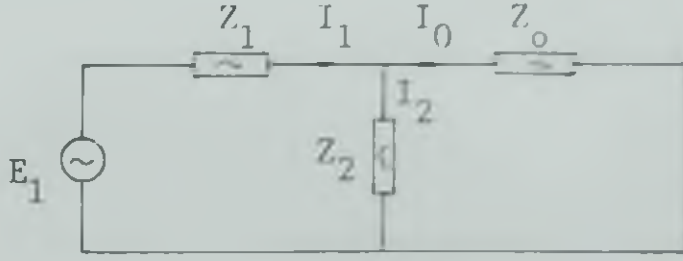
Kısa devre akımının değeri ise:

$$I_k = \sqrt{3} \sqrt{Z_2^2 + Z_0 Z_2 + Z_2^2} E_m / (Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0) \quad \text{değerindedir. (1.7)}$$

Nötr iletkeninden geçen kısa devre akım değeri:

$$I_{ko} = -3Z_2 E_m / (Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_0 Z_2) \quad (1.8)$$

Budurumda eşdeğer devre ise aşağıdaki gibi olacaktır:



Şekil 1.5, İki faz toprak kısa devre eşdeğer şeması

1.5 Faz Toprak Kısa Devresi [1]

Şekil 1.2d de temsili devre görülmektedir. İlk koşullardan aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$U_a = 0, I_b = 0, I_c = 0$$

(1.1) nolu denklem takımında yukarıdaki eşitlikleri kullanarak:

$$I_0 = I_a / 3 = I_1 = I_2 \quad \text{değeri bulunur.}$$

(1.3) nolu denklem takımından ise:

$$U_1 = E_1 - I_1 Z_1$$

$$U_2 = E_2 - I_2 Z_2$$

$$U_0 = E_0 - I_0 Z_0 \quad \text{ifadeleri elde edilir.}$$

(1.2) nolu denklem takımından yararlanarak:

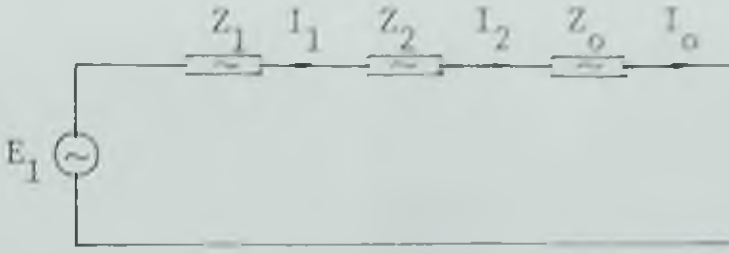
$$U_a = E_m - I_1 Z_1 - I_2 Z_2 - I_0 Z_0 = 0$$

$$I_1 = E_m / (Z_1 + Z_2 + Z_0) \quad \text{bulunur.}$$

Hata akımı ise aşağıdaki şekildedir:

$$I_k = 3E_m / (Z_1 + Z_2 + Z_0) \quad (1.9)$$

Eşdeğer devre ise aşağıdaki gibidir.



Şekil 1.6 Faz toprak kısa devre eşdeğer şeması

Yukarıda yapılan açıklamalardan görülecektir ki şebekede meydana gelen kısa devre şekline göre şebekenin besleme noktaları ile kısa devrenin meydana geldiği nokta arasında eşdeğer devreler oluşturulmaktadır. Bu eşdeğer devreler (doğru, ters ve sıfır) birbirinden bağımsız olup kısa devre tipine göre birbirlerine bağlanırlar. Doğru ve ters bileşen devreleri bağlantı şekillerine göre aynı olmakla birlikte sıfır bileşen devresi farklıdır. Yani sistemdeki transformatör bağlantı grubuna ve devre elemanlarının toprak ile alakasına göre sıfır bileşen devresi değişikliğe uğrar. Aşağıda bazı transformatör sargı şekillerine göre sıfır devre eşdeğer empedans bağlantıları verilmiştir.

Tablo 1.7 Bazı trafolar için sıfır devre eşdeğer şemaları.[2]

Primer	Sekonder	Sıfır bileşen devresi	Açıklama
			-Akımın sıfır bileşeni hem primer hem sekonder devreden geçer.
			-Akımın sıfır bileşeni primer devreden geçmez.
			-Akımın sıfır bileşeni üçgen sargıda sirkülasyona uğrar, sekonder tarafına geçemez.
			-Akımın sıfır bileşeninin akışı mümkün değildir.

BÖLÜM 2

Değişik Arızalar İçin Genel Hesap Denklemlerinin Elde Edilmesi

2.1 Giriş

Bir önceki bölümde gösterildiği gibi dört ayrı türde hatanın varlığı bir enerji iletim hattı için kaçınılmazdır. Bu bölümde yapılacak çalışmanın amacı tüm hata türlerini içeren genel çözüm denklemlerini bulmaktır. Zira hata empedansı veya admittansı hatanın türüne göre özel bazı değişikliğe uğramaktadır. Bu durumdan faydalanılarak karmaşık hesaplamalar için bilgisayar kullanımı dahada basit hale getirilerek hesaplamalar yapılabilir.

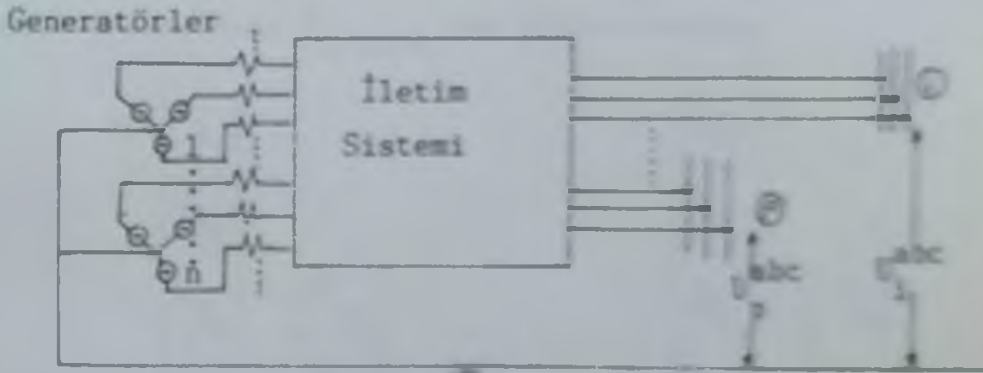
Dijital bilgisayar kullanılarak ilk kısa devre hesabı uygulamaları yük akışı sonuçları kullanılarak iteratif yolla çözüme gitme şeklinde yapılmaktaydı. Bu işlem bir çok hata türü ve hata noktası için akım ve gerilim değerlerinin bilinmesini gerekli kıldığından hesaplama zamanı açısından hayli bir kayıp söz konusuydu. Zamanla gelişen teknik, bara empedans matrisini dijital bilgisayarda kullanılabilir duruma getirdiğinden, bara empedans matris metodu olarak adlandırılan bu metod yaygınlaştı. Aynı zamanda bu metod ile bara empedans matrisinin yalnızca bir kısmı yani yalnızca hata ile ilgili bölümü göz önüne alınarak belli bir noktadaki hata kolaylıkla bulunur. Böylece hesaplama sayısında bir kısalma mümkün olmaktadır.[3]

Sürekli sinüzoidal halde bir güç sisteminin üç faz gösterim şeması şekil 2.1 de olduğu gibidir. Genelde kısa devre çalışmalarında basitleştirici kabullerden yola çıkılır. Bu kabuller ise şunlardır:[4]

- a) Tüm makina gerilimleri sabit ve bu makinalara ait transient ve subtransient empedanslar şebeke tarafında gösterilir.
- b) Şönt bağlantılar ihmal edilir. (Örneğin yükler, hattın paralel empedansları)
- c) Tüm transformatörler nominal yüklerindedir.
- d) Sistemin omik karakteri göz önüne alınmaz.

Aşağıda, kullanılacak semboller hakkında ön bir tartışma yapılmış, ve gerekli açıklamalarda bulunulmuştur.

- 1) Hata öncesi koşulları göstermek üzere " e " alt indisi,
- 2) Hata sonrası koşulları göstermek üzere " f " alt indisi,
- 3) Dönüşüme uğramamış faz büyüklükleri a, b, c ve bu baraları temsilen " p " alt indisi,
- 4) Dönüşüme uğramış fazlar 1, 2 ve 0 indisiyle,
- 5) Bara numaraları alt indis olarak kullanılarak rakamlar ile gösterileceklerdir. Bu kabullere dayanarak çizilen enerji sistemi eşdeğer şeması şekil 2.1 de görülmektedir.



Şekil 2.1 Enerji sistemi yaklaşık eşdeğer şeması

n baralı sistem için doğru bileşen bara admitans matrisi:

$$\bar{Y}_{l \text{ bara}} = \begin{vmatrix} Y_{l11} & \dots & Y_{l1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{ln1} & \dots & Y_{lnn} \end{vmatrix} \quad (2.1)$$

Bu matrisin tersi ise doğru bileşen empedans matrisidir. $\bar{Z}_{l \text{ bara}}$ ile gösterilir. $\bar{V}_{l \text{ bara}}$ ile doğru bileşen bara gerilim vektörü, $\bar{I}_{l \text{ bara}}$ ile de bara akımları gösterilmektedir. Yukarıda tanımlanan büyüklükler arasındaki ilişki ise aşağıda gösterildiği gibidir.

$$\bar{I}_{l \text{ bara}} = \bar{Y}_{l \text{ bara}} \bar{V}_{l \text{ bara}} \quad (2.2)$$

veya

$$\bar{V}_{l \text{ bara}} = \bar{Z}_{l \text{ bara}} \bar{I}_{l \text{ bara}} \quad (2.3)$$

2.2 Kısa Devre Hesaplamaları [4]

$\bar{J}_{1, \text{bara}}$ ve $\bar{V}_{1, \text{bara}}$ vektörleri aşağıdaki gibi yazılabilirler.

$$\bar{V}_{1, \text{bara}} = \begin{bmatrix} v_{1_1} \\ v_{1_2} \\ \vdots \\ v_{1_n} \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad \bar{J}_{1, \text{bara}} = \begin{bmatrix} J_{1_1} \\ J_{1_2} \\ \vdots \\ J_{1_n} \end{bmatrix} \quad (2.4a)$$

Yukarıda verilen ifadelerin benzeri ters ve sıfır bileşen devresi için de yazılabilir. Tüm sistemi içine alan bara gerilim vektörü ise $3n$ satır boyutu olan $\bar{V}_{s, \text{bara}}$ ile gösterilebilir.

$$\bar{V}_{s, \text{bara}} = \begin{bmatrix} v_{1_1} \\ v_{2_1} \\ v_{0_1} \\ \vdots \\ v_{1_n} \\ v_{2_n} \\ v_{0_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{v}_{s_1} \\ \vdots \\ \bar{v}_{s_n} \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad \bar{J}_{s, \text{bara}} = \begin{bmatrix} j_{1_1} \\ j_{2_1} \\ j_{0_1} \\ \vdots \\ j_{1_n} \\ j_{2_n} \\ j_{0_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{j}_{s_1} \\ \vdots \\ \bar{j}_{s_n} \end{bmatrix} \quad (2.4b)$$

Yukarıdaki ifadeler arasında:

$$\bar{J}_{s, \text{bara}} = \bar{Y}_{s, \text{bara}} \bar{V}_{s, \text{bara}} \quad (2.5)$$

eşitliği bulunmaktadır. Burada kullanılan $\bar{Y}_{s, \text{bara}}$ matrisi ise $3n \cdot 3n$ boyutunda olup, aşağıdaki biçimde ifade edilebilir.

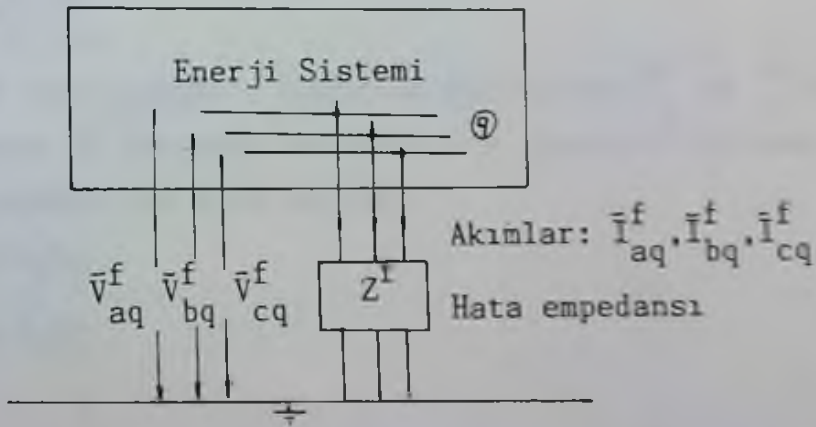
Yukarıda geçen $y_{1_{ij}}$, $y_{2_{ij}}$, $y_{0_{ij}}$ elemanları $\bar{Y}_{1, \text{bara}}$ matrisine aittir. $\bar{Z}_{s, \text{bara}}$ matrisi

$$\bar{V}_{s, \text{bara}} = \bar{Z}_{s, \text{bara}} \bar{J}_{s, \text{bara}}$$

eşitliği ile verilebilir. $\bar{Z}_{s, \text{bara}}$ ve $\bar{Y}_{s, \text{bara}}$ sırası ile simetrik bileşen bara empedans ve admitans matrisi olarak adlandırılır. En son denklemi alt vektörleri cinsinden yazarak (2.7) denklemi elde edilir.

$$\bar{Y}_{s, \text{bara}} = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cccc} y_{111} & 0 & 0 & \dots \\ 0 & y_{211} & 0 & \dots \\ 0 & 0 & y_{011} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{array} \right| \dots \left| \begin{array}{ccc} y_{11n} & 0 & 0 \\ 0 & y_{21n} & 0 \\ 0 & 0 & y_{01n} \\ \dots & \dots & \dots \end{array} \right| \\ \dots \\ \left| \begin{array}{cccc} y_{1n1} & 0 & 0 & \dots \\ 0 & y_{2n1} & 0 & \dots \\ 0 & 0 & y_{0n1} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{array} \right| \dots \left| \begin{array}{ccc} y_{1nn} & 0 & 0 \\ 0 & y_{2nn} & 0 \\ 0 & 0 & y_{0nn} \\ \dots & \dots & \dots \end{array} \right| \end{array} = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{ccc} \bar{Y}_{s11} & \dots & \bar{Y}_{s1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \bar{Y}_{sn1} & \dots & \bar{Y}_{snn} \end{array} \right| \end{array} \quad (2.6)$$

$$\begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} \bar{V}_{s1} \\ \bar{V}_{s2} \\ \vdots \\ \bar{V}_{sn} \end{array} \right| = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cccc} \bar{Z}_{s11} & \bar{Z}_{s12} & \dots & \bar{Z}_{s1n} \\ \bar{Z}_{s21} & \bar{Z}_{s22} & \dots & \bar{Z}_{s2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \bar{Z}_{sn1} & \bar{Z}_{sn2} & \dots & \bar{Z}_{snn} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \bar{J}_{s1} \\ \bar{J}_{s2} \\ \vdots \\ \bar{J}_{sn} \end{array} \right| \end{array} \quad (2.7)$$



Şekil 2.2 Hatanın genel gösterimi

Şekil 2.2 de görülen hata akımı, her üç fazdan \bar{I}_{aq}^f , \bar{I}_{bq}^f , ve \bar{I}_{cq}^f değerlerine eşit olur. q barasında meydana gelen hata sonunda bu bara-ya ait hata akım vektörü (2.8) denklemi ile verilmiştir.

$$\bar{I}_{pq}^f = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} I_{aq}^f \\ I_{bq}^f \\ I_{cq}^f \end{array} \right| \quad (2.8)$$

Aynı şekilde hatalı faza ait gerilim vektörü ise:

$$\bar{V}_{pq}^f = \begin{vmatrix} V_{aq}^f \\ V_{bq}^f \\ V_{cq}^f \end{vmatrix} \quad (2.9)$$

şeklinde ifade edilebilir. Son iki eşitlik arasında ise

$$\bar{V}_{pq}^f = \bar{Z}_{pq}^f \bar{I}_{pq}^f \quad (2.10)$$

denklemini ifade edilebilen bir bağıntı vardır. Son denklem (2.11) denkleminde olduğu gibide yazılabilir.

$$\bar{I}_{pq}^f = \bar{Y}^f \bar{V}_{pq}^f \quad (2.11)$$

(2.10) denkleminde geçen \bar{Z}^f matrisine hata empedans matrisi, (2.11) denkleminde geçen \bar{Y}^f ifadesine ise hata admitans matrisi denir. Son iki eşitliğe simetrik bileşen transformasyonu uygulanır ise:

$$\bar{V}_{sq}^f = \bar{Z}_s^f \bar{I}_{sq}^f \quad (2.12)$$

$$\bar{I}_{sq}^f = \bar{Y}_s^f \bar{V}_{sq}^f \quad (2.13)$$

denklemleri elde edilir. Yukarıda kullanılan \bar{Z}_s^f ve \bar{Y}_s^f matrisleri, hata empedans ve admitans matrislerine simetrik bileşen transformasyonu uygulanması ile elde edilir.

$$\bar{Z}_s^f = \bar{T}^{-1} \bar{Z}^f \bar{T} \quad (2.14)$$

$$\bar{Y}_s^f = \bar{T}^{-1} \bar{Y}^f \bar{T} \quad (2.15)$$

Sisteme Thevenin teoremi uygulanması ile hata sonrası gerilim:

$$\bar{V}_{s, \text{bara}}^f = \bar{V}_{s, \text{bara}}^0 + \bar{Z}_{s, \text{bara}}^f \bar{I}_{s, \text{bara}}^f \quad (2.16)$$

denklemini bulunabilir. Yukarıda geçen $\bar{I}_{s, \text{bara}}^f$ hata akımı vektörü (2.17) denklemini ile verilmiştir. Sistemde yalnız q barasında kısa devre olduğu kabul edilirse, hata akımının q barasından diğer baralara enjekte edildiği, dolayısı ile değerinin negatif olduğu bilinmektedir.

$$\bar{I}_{s, \text{bara}}^f = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ -\bar{I}_{sq}^f \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

Yukarıdaki denklemde geçen $\bar{V}_{s, \text{bara}}^0$ ve $\bar{Z}_{s, \text{bara}}$ vektörlerinin değerleri bilinmektedir. \bar{I}_{sq}^f değeri ise bilinmemektedir. Bunun için (2.16) denklemini bileşenlere ayırarak olursak:

$$\begin{aligned} \bar{V}_{s1}^f &= \bar{V}_{s1}^0 - \bar{Z}_{s1q} \bar{I}_{sq}^f \\ \vdots & \\ \bar{V}_{sq}^f &= \bar{V}_{sq}^0 - \bar{Z}_{sqq} \bar{I}_{sq}^f \\ \vdots & \\ \bar{V}_{sn}^f &= \bar{V}_{sn}^0 - \bar{Z}_{snq} \bar{I}_{sq}^f \end{aligned} \quad (2.18)$$

denklemleri elde edilir. (2.12) ve (2.18) ifadelerinden

$$\bar{Z}_s^f \bar{I}_{sq}^f = \bar{V}_{sq}^0 - \bar{Z}_{sqq} \bar{I}_{sq}^f \quad (2.19)$$

denklemini elde edilir. Uygun matematiksel işlemlerin yapılması ile aranan bara akım değeri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\bar{I}_{sq}^f = (\bar{Z}_s^f + \bar{Z}_{sqq}^f)^{-1} \bar{V}_{sq}^0 \quad (2.20)$$

Bu akım vektörü üç bileşene sahiptir. Hata sonrası akım bilindiğinden hata sonrası bara gerilimlerini bulmak mümkündür.

$$\bar{V}_{si}^f = \bar{V}_{si}^0 - \bar{Z}_{s iq}^f (\bar{Z}_s^f + \bar{Z}_{sqq}^f)^{-1} \bar{V}_{sq}^0, \quad i \neq q \quad (2.21)$$

Hatlı bara için bu ifade aşağıdaki değere sahip olacaktır.

$$\bar{V}_{sq}^f = \bar{Z}_s^f (\bar{Z}_s^f + \bar{Z}_{sqq}^f)^{-1} \bar{V}_{sq}^0 \quad (2.22)$$

Bu hesaplamalardan sonra hata akımının tüm hatlar boyunca alacağı değeri bulmak için kısa devre akımının m. baradan r. baraya aktığı kabul edilerek hata akım değeri (2.23) denklemi ile verilebilir.

$$\bar{I}_{s_{m n}}^f = \bar{Y}_{s_{m n}} (\bar{V}_{sm}^f - \bar{V}_{sn}^f) \quad (2.23)$$

Yukarıda kullanılan \bar{Y}_s matrisi m ve r baraları arasındaki hattın simetrik bileşenler cinsinden admitansını göstermektedir.

$$\bar{Y}_{s,m+n} = \begin{vmatrix} y_1 & 0 & 0 \\ 0 & y_2 & 0 \\ 0 & 0 & y_0 \end{vmatrix} \quad (2.24)$$

Şimdiye değin verilen denklem sistemlerinin daha iyi anlaşılması için aşağıdaki açıklamaların verilmesi uygun görülmüştür.

- 1) Verilen formüller n baralı herhangi bir sistem için geçerlidir.
- 2) $\bar{Y}_{s, \text{bara}}$ ve $\bar{Z}_{s, \text{bara}}$ matrisleri ait oldukları sistemin her türlü hatasında değişmeden geçerliliklerini korurlar.
- 3) $\bar{Z}_{s, ij}$ matrisi diagonal olduğu halde \bar{Z}_s^f diagonal değildir.
- 4) Her ne kadar $\bar{Y}_{s, \text{bara}}$ matrisi $3n \times 3n$ boyutunda ise de $\bar{Z}_{s, \text{bara}}$ yı elde etmek için $\bar{Y}_{s, \text{bara}}$ matrisini $n \times n$ boyutuna indirgeyip tersini almak hesapları çok daha kolaylaştırır.

5) Gerçek faz değerlerine geçmek için ters dönüşüm matrisi kullanılmalıdır.

6) Hata öncesi gerilimler dengeli ve simetrik kabul edildiğinden \bar{V}_{si} vektörünün ters ve sıfır bileşeni sıfırdır.

$$\bar{V}_{si}^0 = \begin{vmatrix} V_{11} & V_1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (2.25)$$

Hata öncesi gerilim, yük akışı hesabından elde edilen değerdedir.

7) Yukarıda kullanılan \bar{Z}_s^f matrisi bazı durumlarda tanımsız olabilmektedir. Bu durumda \bar{Y}_s^f matrisini kullanarak bu tanımsızlıktan kurtulunabilir. Bunun için yukarıda bulduğumuz ifadeleri \bar{Y}_s^f cinsinden tekrar elde etmek gerekmektedir. (2.19) formülü yerine

$$\bar{V}_{sq}^f = \bar{V}_{sq}^0 - \bar{Z}_{s, qq} \bar{Y}_s^f \bar{V}_{sq}^f \quad (2.26)$$

eşitliği kullanılırsa q. bara için hata sonrası değeri aşağıdadır.

$$\bar{V}_{sq}^f = (\bar{U} + \bar{Z}_{s, qq} \bar{Y}_s^f)^{-1} \bar{V}_{sq}^0 \quad (2.27)$$

Burada kullanılan \bar{U} birim vektördür. (2.11) denkleminde hata sonrası akım için:

$$\bar{I}_{sq}^f = \bar{Y}_s^f \bar{V}_{sq}^f = \bar{Y}_s^f (\bar{U} + \bar{Z}_{s, qq} \bar{Y}_s^f)^{-1} \bar{V}_{sq}^0 \quad (2.28)$$

yazılabilir.

Hatanın olmadığı bara gerilimleri için:

$$\bar{V}_{si}^f = \bar{V}_{si}^0 - \bar{Z}_{s_{iq}} \bar{I}_{sq}^f = \bar{V}_{si}^0 - \bar{Z}_{s_{iq}} \bar{Y}_s^f (\bar{U} + \bar{Z}_{s_{qq}} \bar{Y}_s^f) \bar{V}_{sq}^0, \quad i \neq q \quad (2.29)$$

denklemini yazılabilir.

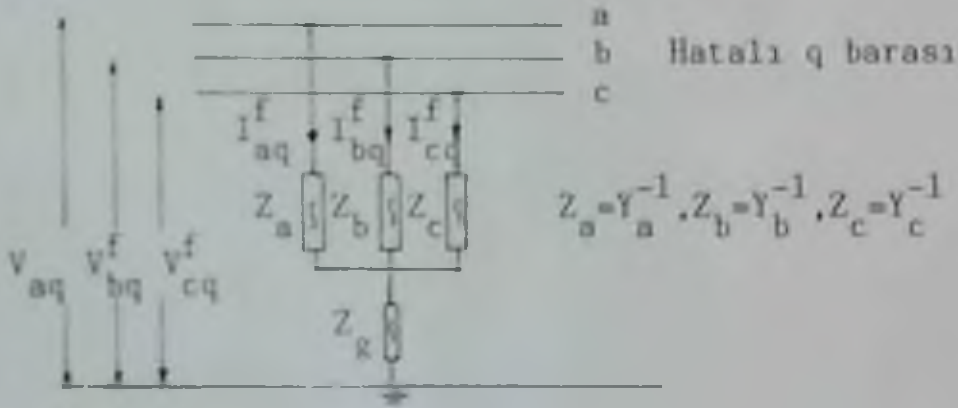
2.3 Hata Empeđans ve Admitans Matrisinin Hesaplanması [4]

Genel olarak enerji iletim hattında meydana gelebilecek tüm kısa devre hata şekilleri şekil 2.3 de gösterilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi empedansları açık devre veya kısa devre yaparak istenilen hata türü gerek metalik kısa devre gerekse metalik olmayan kısa devre şeklinde ifade edilebilmektedir. Örneğin:

$$Z_a = Z_g = 0 \text{ ve } Z_b = Z_c = \infty \text{ (Bir fazlı metalik kısa devre)}$$

$$Z_a = \infty \text{ ve } Z_b = Z_c = Z_g = 0 \text{ ise (metalik iki faz toprak kısa devre)}$$

ifadeleri verilebilir.



Şekil 2.3 Dengesiz hata büyüklüklerinin gösterimi

\bar{Z}_s^f ve \bar{Y}_s^f matrislerini hesaplamak için, verilen şekilden elde edilen genel denklemlere bakılması gerekir. Bu denklemler:

$$\bar{V}_{aq}^f = \bar{I}_{aq}^f Z_a + (\bar{I}_{aq}^f + \bar{I}_{bq}^f + \bar{I}_{cq}^f) \bar{Z}_g$$

$$\bar{V}_{bq}^f = \bar{I}_{bq}^f Z_b + (\bar{I}_{bq}^f + \bar{I}_{aq}^f + \bar{I}_{cq}^f) \bar{Z}_g$$

$$\bar{V}_{cq}^f = \bar{I}_{cq}^f Z_c + (\bar{I}_{aq}^f + \bar{I}_{bq}^f + \bar{I}_{cq}^f) \bar{Z}_g$$

(2.30)

şeklinde yazılabilir. Bunları vektörel formda yazacak olursak (2.31) denklemini elde ederiz.

Yukarıdaki eşitliğin sağ tarafındaki matris hata empedans matrisidir. Eğer simetrik bileşenler cinsinden ifade edilirse:

$$\bar{Z}_s^f = \frac{1}{3} \begin{vmatrix} Z_a + Z_b + Z_c & Z_a + a^2 Z_b + a Z_c & Z_a + a Z_b + a^2 Z_c \\ Z_a + a Z_b + a^2 Z_c & Z_a + Z_b + Z_c & Z_a + a^2 Z_b + a Z_c \\ Z_a + a^2 Z_b + a Z_c & Z_a + a Z_b + a^2 Z_c & Z_a + Z_b + Z_c + 9Z_g \end{vmatrix} \quad (2.32)$$

Şayet şekil 3.3 e ait devreyi admitans formda yazacak olursak:

$$\begin{vmatrix} I_{aq}^f \\ I_{bq}^f \\ I_{cq}^f \end{vmatrix} = \frac{1}{Y_a + Y_b + Y_c} \begin{vmatrix} Y_a(Y_g + Y_b + Y_c) & -Y_a Y_b & -Y_a Y_c \\ -Y_a Y_b & Y_b(Y_g + Y_a + Y_c) & -Y_b Y_c \\ -Y_a Y_c & -Y_b Y_c & Y_c(Y_g + Y_a + Y_b) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} V_{aq}^f \\ V_{bq}^f \\ V_{cq}^f \end{vmatrix} \quad (2.33)$$

eşitliğini elde ederiz. Eşitliğin sağında ilk matris Y^f hata admitans matrisidir. Bu ifadeye simetrik bileşenler transformasyonu uygulanacak olursa:

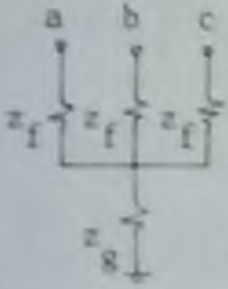
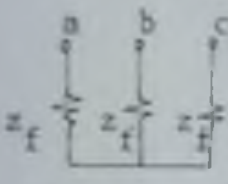

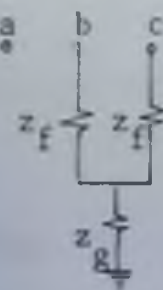
$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{1}{3} Y_g (Y_a + Y_b + Y_c) & A_4 &= Y_a Y_b + Y_b Y_c + Y_c Y_a \\ A_2 &= \frac{1}{3} Y_g (Y_a + a^2 Y_b + a Y_c) & A_5 &= Y_b Y_c + a Y_a Y_b + a^2 Y_a Y_c \\ A_3 &= \frac{1}{3} Y_g (Y_a + a Y_b + a^2 Y_c) & A_6 &= Y_b Y_c + a^2 Y_a Y_b + a Y_a Y_c \\ A_7 &= Y_a + Y_b + Y_c + Y_g \end{aligned}$$

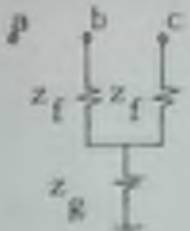
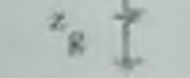
ifadelerini kullanarak:

$$\bar{Y}_s^f = \frac{1}{A_7} \begin{vmatrix} A_1 + A_4 & A_2 - A_5 & A_3 \\ A_3 - A_6 & A_1 + A_4 & A_2 \\ A_2 & A_3 & A_1 \end{vmatrix} \quad (2.34)$$

elde ederiz. Hem \bar{Z}_s^f ve hem de \bar{Y}_s^f matrislerinde hatanın türüne göre ve özellikle metalik kısa devre durumunda oluşacak belirsizlikler, bu iki matrisin limitinin sonsuzda alacağı değerler göz önüne alınarak giderilir. Bu durumda ise kısa devre durumlarına göre \bar{Z}_s^f ve \bar{Y}_s^f in gerçek faz değerleri ve simetrik bileşenlere göre alacağı değerler tablo 2.4 de gösterilmiştir.

Tablo 2.4 Hata tiplerine göre hata empedans ve admitans değerleri [5]

Hata tipi	Hata empedansı	Hata admitansı
 <p>(abc)</p> <p>(012)</p> <p>Üç faz toprak kısa devresi</p>	$\begin{vmatrix} z_f+z_g & z_g & z_g \\ z_g & z_f+z_g & z_g \\ z_g & z_g & z_f+z_g \end{vmatrix}$ $\begin{vmatrix} z_f+3z_g & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & z_f \end{vmatrix}$	$\frac{1}{3} \begin{vmatrix} y_o+2y_f & y_o-y_f & y_o-y_f \\ y_o-y_f & y_o+2y_f & y_o-y_f \\ y_o-y_f & y_o-y_f & y_o+2y_f \end{vmatrix}$ $\begin{vmatrix} y_o & 0 & 0 \\ 0 & y_f & 0 \\ 0 & 0 & y_f \end{vmatrix}$
 <p>(abc) Tanımlanmamıştır</p> <p>(012)</p> <p>Üç faz kısa devresi</p>	$\begin{vmatrix} \infty & 0 & 0 \\ 0 & \infty & 0 \\ 0 & 0 & \infty \end{vmatrix}$	$\frac{y_f}{3} \begin{vmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{vmatrix}$ $y_f \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$
 <p>(abc)</p> <p>(012) Tanımlanmamıştır</p> <p>Faz toprak kısa devresi</p>	$\begin{vmatrix} z_f & 0 & 0 \\ 0 & \infty & 0 \\ 0 & 0 & \infty \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} y_f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$ $\frac{y_f}{3} \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$
 <p>(abc)</p> <p>(012) Tanımlanmamıştır</p> <p>İki faz toprak kısa devresi</p>	$\begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_f+z_g & z_g \\ 0 & z_g & z_f+z_g \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{z_f+z_g}{z_f+2z_fz_g} & \frac{-z_g}{z_f+2z_fz_g} \\ 0 & \frac{-z_g}{z_f+2z_fz_g} & \frac{z_f+z_g}{z_f+2z_fz_g} \end{vmatrix}$ $\frac{1}{3(z_f+2z_fz_g)} \begin{vmatrix} 2z_f & -z_f & -z_f \\ -z_f & 2z_f+3z_g & -(z_f+3z_g) \\ -z_f & -(z_f+3z_g) & 2z_f+3z_g \end{vmatrix}$

Hata tipi	Hata empedansı	Hata admitansı
 <p>(abc) 'Tanımlanmamıştır'</p>		$\frac{y_f}{2} \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \end{vmatrix}$
 <p>(012) 'Tanımlanmamıştır'</p>		$\frac{y_f}{2} \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \end{vmatrix}$
İki faz kısa devresi		

Yukarıda kullanılan y_o ifadesinin değeri (2.35) denklemi ile verilmiştir.

$$y_o = \frac{1}{z_f + 3 z_g}$$

Şu halde hatlar arasında ortak endüktansın olmadığı durumlar için kısa devre anı sonundaki hat akımı ve gerilim değerlerinin bulunması mümkün olmaktadır. Bu bölümde daha önce geçen denklem sistemleri tablo 2.4 den yararlanarak çözümleri halinde tablo 2.5 deki ifadelerin bulunması mümkün olmaktadır.

Tablo 2.5. Hatlarda kısa devre meydana geldiği anda akım ve gerilim değerleri

a) Üç fazlı kısa devre

Hatalı (p) barada:

Akım değeri

$$\bar{I}_{p(f)}^{abc} = \frac{E_{p(o)}}{z_f + z_{1pp}} \begin{vmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{vmatrix}$$

Gerilim değeri

$$\bar{E}_{p(f)}^{abc} = \frac{z_f E_{p(o)}}{z_f + z_{1pp}} \begin{vmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{vmatrix}$$

Diğer (i) barada:

Gerilim değeri

$$\bar{E}_{i(f)}^{abc} = \bar{E}_{i(o)} - \frac{z_{1ip} E_{p(o)}}{z_f + z_{1pp}} \begin{vmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{vmatrix}$$

b) Faz toprak kısa devresi

Hatalı (p) barada:

Akım değeri

$$\bar{I}_{p(f)}^{abc} = \begin{vmatrix} \frac{3E_{p(o)}}{z_{0pp} + z_{1pp} + z_{2pp}} \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

Gerilim değeri

$$\bar{E}_{p(f)}^{abc} = \frac{E_{p(o)}}{z_{0pp} + z_{1pp} + z_{2pp}} \begin{vmatrix} 3z_f \\ z_{0pp} (a^2-1) + z_{2pp} (a^2-a) + 3a^2 z_f \\ z_{0pp} (a-1) + z_{2pp} (a-a^2) + 3az_f \end{vmatrix}$$

Diğer (i) barada:

Gerilim değeri

$$\bar{E}_{i(f)}^{abc} = \begin{vmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{vmatrix} E_{i(o)} - \frac{E_{p(o)}}{z_{0pp} + z_{1pp} + z_{2pp} + 3z_f} \begin{vmatrix} z_{0ip} + z_{1ip} + z_{2ip} \\ z_{0ip} + a z_{1ip} + a z_{2ip} \\ z_{0ip} + a z_{1ip} + a^2 z_{2ip} \end{vmatrix}$$

c) Faz faz kısa devresi

Hatalı (p) barada:

Akım değeri

$$\bar{I}_{p(f)}^{abc} = \begin{vmatrix} 0 \\ \frac{(a^2-a)E_{p(o)}}{2z_f + z_{1pp} + z_{2pp}} \\ \frac{-(a^2-a)E_{p(o)}}{2z_f + z_{1pp} + z_{2pp}} \end{vmatrix}$$

Gerilim değeri

$$\bar{E}_{p(f)}^{abc} = \frac{E_{p(o)}}{2z_f + z_{1pp} + z_{2pp}} \begin{vmatrix} 2z_f + z_{2pp} \\ 2a^2 z_f - z_{2pp} \\ 2az_f - z_{2pp} \end{vmatrix}$$

Diğer (i) barada:

Gerilim değeri

$$\bar{E}_{i(f)}^{abc} = \begin{vmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{vmatrix} E_{i(o)} + \frac{E_{p(o)}}{2z_f + z_{1pp} + z_{2pp}} \begin{vmatrix} z_{2ip} - z_{1ip} \\ az_{2ip} - a^2 z_{1ip} \\ a^2 z_{2ip} - az_{1ip} \end{vmatrix}$$

d) İki faz toprak kısa devresi

Hatalı (p) barada

Akım değeri

$$A = z_{1pp} z_{2pp} + z_{0pp} z_{1pp} + z_{0pp} z_{2pp}$$

olmak üzere:

$$\bar{I}_{p(f)}^{abc} = \frac{E_{p(0)}}{A} \begin{vmatrix} z_{2pp} (a^2 - 1) + z_{0pp} (a^2 - a) \\ z_{2pp} (a - 1) + z_{0pp} (a - a^2) \end{vmatrix}$$

Gerilim değeri

$$\bar{E}_{p(f)}^{abc} = \frac{E_{p(0)}}{A} \begin{vmatrix} 3z_{0pp} z_{2pp} \\ \cdot 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

Diğer (i) barada:

Gerilim değeri

$$\bar{E}_{i(f)}^{abc} = a^2 \bar{E}_{i(0)} - \frac{E_{p(0)}}{A} \begin{vmatrix} z_{2pp} (z_{1ip} - z_{0ip}) + z_{0pp} (z_{1ip} - z_{2ip}) \\ z_{2pp} (a^2 z_{1ip} - z_{0ip}) + z_{0pp} (a^2 z_{1ip} - a z_{2ip}) \\ z_{2pp} (a z_{1ip} - z_{0ip}) + z_{0pp} (a z_{1ip} - a^2 z_{2ip}) \end{vmatrix}$$

BÖLÜM 3

Hatlar Arasındaki Ortak Endüktansın Hesaplamalara Dahil Edilmesi

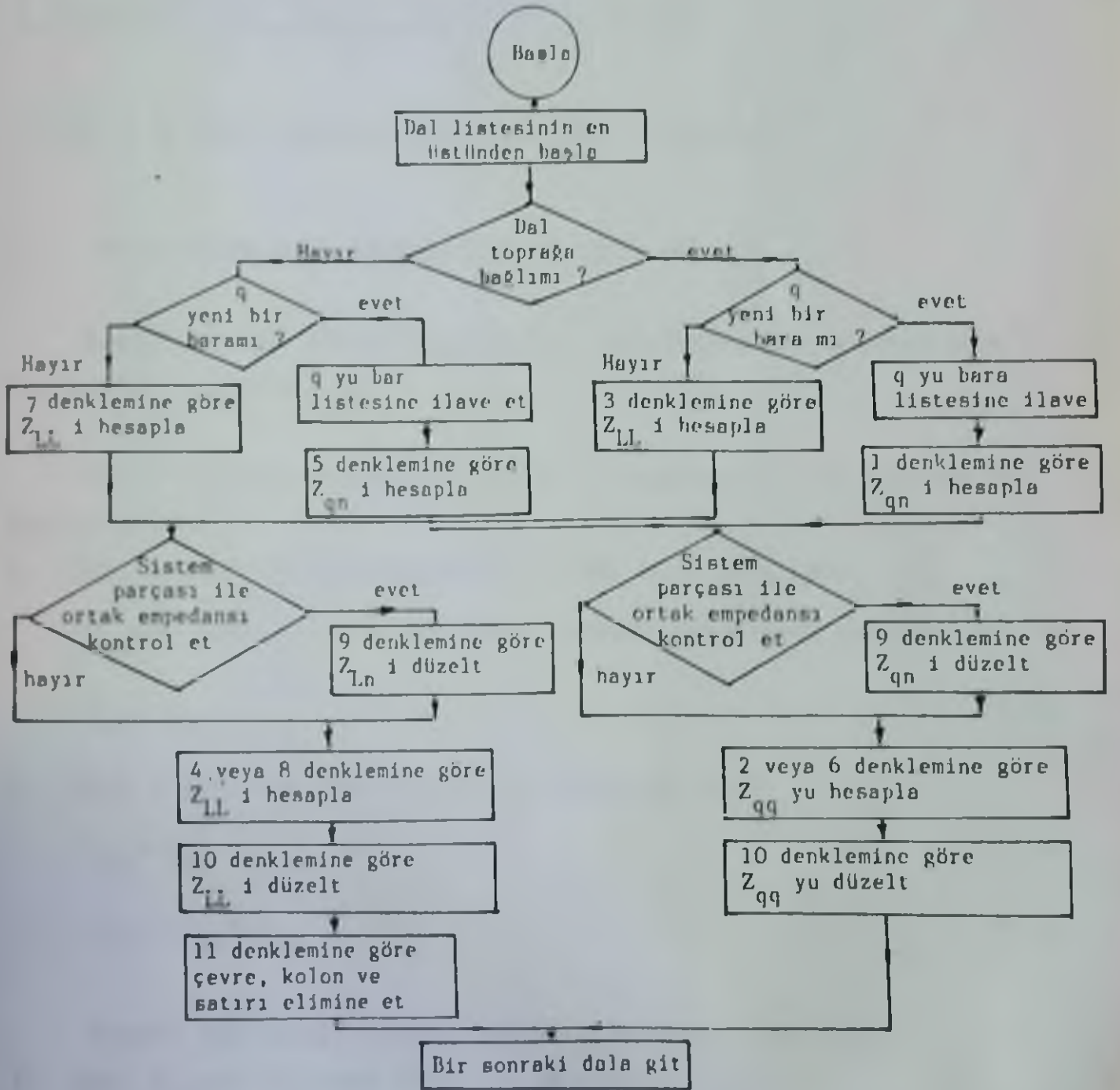
3.1 Giriş

Bu bölümde daha önceki açıklamalara ilave olarak sistem hatları arasında var olan ortak endüktansın göz önüne alınması halinde bara empedans matrisinde yapılacak değişimin nasıl gerçekleştirileceği anlatılacaktır. Kullanılan metod ile eski bara empedans matrisinin tümünü değiştirmeden, hat ilavesi veya çıkarılması halinde işlemlerin basitleştirdiği görülecektir. Ayrıca çok büyük sistemlerin daha küçük sistemlere ayrılıp çözümlenmesi için geliştirilen hesaplama yöntemleri açıklanacaktır. Son olarak örnek bir sistemde tüm bu anlatılanların sayısal uygulamasına ilişkin bir problem çözülecektir.

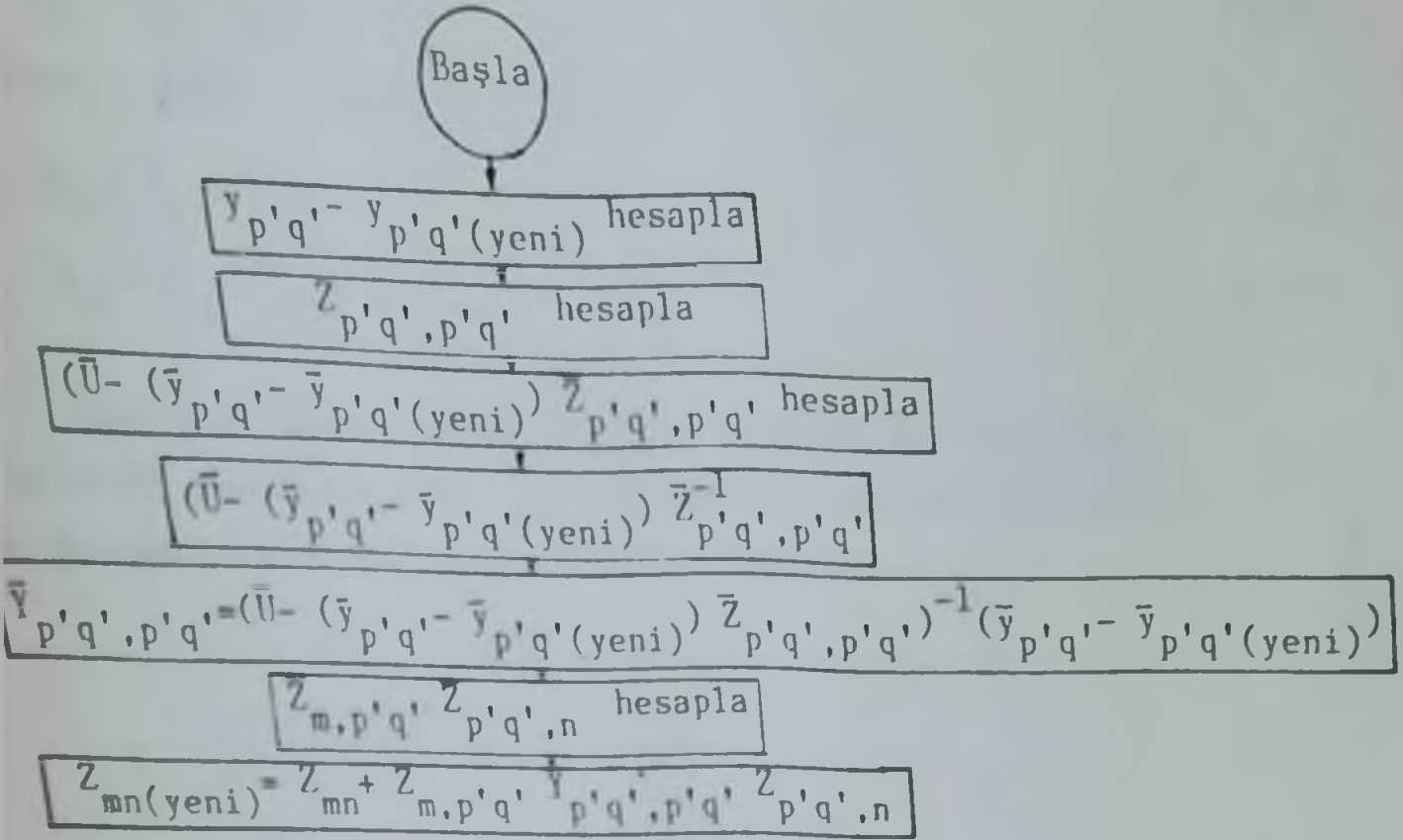
Kısa devre hesaplamalarında en karmaşık işlem faz toprak hatlarında gerekli olan sıfır empedans devresindeki ortak endüktansın hesaba dahil edilmesidir. Bu bölümde dijital kompüter hesaplamalarında kullanılan matris metodu için ortak empedansın hesaba katılması, işaret akış diyagramı ve gerekli formüller ile beraber anlatılacaktır. Burada kullanılan metoda bara empedans matris metodu adı verilmiştir. Bu ismin verilmesinin nedeni, sisteme akım enjekte edilen noktalarda açık devre empedans değerlerinin kullanılması ve transfer empedans matrisinin elde edilmesidir. Bu metod sayesinde kısa devre hesaplamalarında çok sayıda ortak empedansın göz önüne alınabilmesi mümkün olabilmektedir. Aynı zamanda hatanın ortadan kalkması sağlanacağı gibi yüksek hızlı kompüter kullanımı mümkün olabilmektedir.[6]

Kısaca yeni metodun avantajları şöylece özetlenebilir: Hesaplama zamanının kısalması, empedansın küçük olmasından dolayı zaten güvenilirliği düşük olan iteratif metoddan daha güvenli olması, geniş bir sistemin daha küçük olan alt sistemlere indirgenmesini mümkün kılması ve böylece küçük hacimli kompüter kullanımının mümkün hale gelmesi, empedans matrisindeki değişiklik durumunda uygun işlemler ile yeni empedans matrisine geçilebilmesi.

Şekil 3.1 de bara empedans matrisinin hesaplanmasının işaret akış diyagramı görülmektedir. Şebekeye yeni bir dal ilavesi ile (yani sisteme yeni bir hat girmektedir) şu sonuçlar ortaya çıkabilir: Bu dal ya yeni bir bara oluşturur veya yeni bir kapalı çevre oluşturur. Bu ise sistem matrisine yeni bir satır ve sütun ilavesi demektir. Eğer yeni bir dal sisteme eklenirse bundan dolayı matriste oluşacak satır ve sütunun her bir elemanının değeri değişir. Bu değişiklik yeni dal ile diğer dallar arasındaki ortak endüktans değerine göre yapılır. Şekil 3.2 de sistemdeki değişiklik halinde bara empedans matrisindeki değişikliği gösteren işaret akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.1 Bara empedans matrisinin hesaplanmasına ilişkin işaret akış diyagramı



Şekil 3.2 Bara empedans matrisinin değiştirilmesi

3.2 Bara admitans matrisinin hesaplanması [6]

Aşağıdaki eşitlikler bara empedans matrisinin hesaplanmasında kullanılır. (Şekil 3.1)

Ortak empedans olmaksızın toprak ile bağlantılı dal için akı(Ø) değeri sıfır:

1- Eğer q yeni bir bara ise (yani O_q bir ağaç dalı ise)

$$Z_{qn} = 0 \quad (\text{yani köşegen dışındaki elemanların değeri sıfır}) \quad (3.1)$$

$$Z_{qq} = z_{oq} \quad (3.2)$$

2- Eğer q yeni bir bara değilse (O_q bir link ise)

$$Z_{ln} = Z_{qn} \quad (3.3)$$

$$Z_{ll} = -Z_{lq} + z_{oq} \quad (3.4)$$

Toprak bağlantısı olmayan ortak empedanssız dal için:

1- Eğer q yeni bir bara ise:

$$Z_{qn} = Z_{qn} \quad (3.5)$$

$$Z_{qq} = Z_{pq} + z_{pq} \quad (3.6)$$

2- Eğer q yeni bir bara değilse:

$$Z_{Ln} = Z_{pn} - Z_{qn} \quad (3.7)$$

$$Z_{LL} = Z_{Lp} - Z_{Lq} + z_{pq} \quad (3.8)$$

Eğer yeni ilave edilen dal, bir grup dal pq (p_1q_1, p_2q_2, \dots) ile ortak empedansa sahip ise dal empedans matrisi oluşturulur. Bu durumdaki yeni dal $p'_0q'_0$ olarak adlandırılır.

$$\bar{z}_{p'_0q'_0, p'_0q'_0} = \begin{array}{c} p'_0q'_0 \\ p'_0q'_0 \end{array} \begin{array}{c} p'_0q'_0 \\ p'_0q'_0 \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline z_{p'_0q'_0, p'_0q'_0} & z_{p'_0q'_0, p'_0q'_0} \\ \hline \hline z_{p'_0q'_0, p'_0q'_0} & z_{p'_0q'_0, p'_0q'_0} \\ \hline \hline \end{array}$$

Yukarıda $z_{p'_0q'_0, p'_0q'_0}$ yeni ilave edilen dalda dahil olmak üzere bunun etki ettiği tüm elmanları içine alan dal empedans alt matrisidir. $z_{p'_0q'_0, p'_0q'_0}$ ise yeni ilave edilen dalın self empedansdır.

$$\bar{z}_{p'_0q'_0, p'_0q'_0} = \begin{array}{c} p'_0q'_0 \\ p'_0q'_0 \end{array} \begin{array}{c} p'_0q'_0 \\ p'_0q'_0 \end{array} \begin{array}{|c|c|c|} \hline z_{p'_0q'_0, p'_0q'_0} & z_{p'_0q'_0, p'_0q'_0} & z_{p'_0q'_0, p'_0q'_0} \\ \hline \hline z_{p'_0q'_0, p'_0q'_0} & z_{p'_0q'_0, p'_0q'_0} & z_{p'_0q'_0, p'_0q'_0} \\ \hline \hline \end{array}$$

Son ifade ise p_1q_1, p_2q_2, \dots gibi dallar ile $p'_0q'_0$ yeni dali arasındaki ortak empedansı içeren satır alt matrisidir.

$$\bar{z}_{p'_0q'_0, p'_0q'_0} = \begin{array}{c} p'_0q'_0 \\ p'_0q'_0 \end{array} \begin{array}{c} p'_0q'_0 \\ p'_0q'_0 \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline z_{p'_0q'_0, p'_0q'_0} & z_{p'_0q'_0, p'_0q'_0} \\ \hline \hline z_{p'_0q'_0, p'_0q'_0} & z_{p'_0q'_0, p'_0q'_0} \\ \hline \hline \end{array}$$

Son ifade $z_{p'_0q'_0, p'_0q'_0}$ matrisinin transpozesidir. (Simetriden dolayı)

Aşağıdaki matris ise $p'_1q'_1, p'_2q'_2, \dots$ gibi bir grup dalın birbiri üzerindeki etkisini gösteren dal empedans alt matrisidir.

$$\bar{z}_{p'q', p'q'} = \begin{array}{c} p_1'q_1' \\ p_2'q_2' \\ p_3'q_3' \end{array} \begin{array}{|c|c|c|} \hline z_{p_1'q_1'} & z_{p_1'q_1', p_2'q_2'} & z_{p_1'q_1', p_3'q_3'} \\ \hline z_{p_2'q_2', p_1'q_1'} & z_{p_2'q_2'} & z_{p_2'q_2', p_3'q_3'} \\ \hline z_{p_3'q_3', p_1'q_1'} & z_{p_3'q_3', p_2'q_2'} & z_{p_3'q_3'} \\ \hline \end{array}$$

Genelde ortak ortak empedansların bir çoğu sıfır olacaktır.

Daha önce verilen $z_{p'q'}$, alt matrisinin tersi aşağıda verildiği gibidir.

$$\bar{y}_{p'q'} = \bar{z}_{p'q'}^{-1} = \begin{array}{c} p_0'q_0' \\ p'q' \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline y_{p_0'q_0'} & y_{p_0'q_0', p'q'} \\ \hline y_{p'q', p_0'q_0'} & y_{p'q', p'q'} \\ \hline \end{array}$$

Burada:

$\bar{y}_{p'q'}$: dal admitans alt matrisi

$y_{p_0'q_0'}$: yeni ilave edilen $p_0'q_0'$ dalının self admitansıdır.

$$\bar{y}_{p_0'q_0', p'q'} = \begin{array}{c} p_1'q_1' \\ p_2'q_2' \\ p_3'q_3' \end{array} \begin{array}{|c|c|c|} \hline y_{p_0'q_0', p_1'q_1'} & y_{p_0'q_0', p_2'q_2'} & y_{p_0'q_0', p_3'q_3'} \\ \hline \end{array}$$

En son ifade yeni dal $p_0'q_0'$ ile $p_1'q_1', p_2'q_2' \dots$ dalları arasındaki ortak admitans gösteren satır alt matrisidir.

$$\bar{y}_{p'q', p_0'q_0'} = \begin{array}{c} p_1'q_1' \\ p_2'q_2' \\ p_3'q_3' \end{array} \begin{array}{|c|} \hline y_{p_1'q_1', p_0'q_0'} \\ \hline y_{p_2'q_2', p_0'q_0'} \\ \hline y_{p_3'q_3', p_0'q_0'} \\ \hline \end{array}$$

Son ifade $\bar{y}_{p_0'q_0', p'q'}$ ifadesinin simetriden dolayı transpozesidir.

Aşağıdaki ifade $p'q', p'q' \dots$ gibi dalların birbirini üzerindeki etkisini gösteren dal admitans alt matrisidir.

$$\bar{y}_{p'q',p'q'} = \begin{array}{c} p_1'q_1' \\ p_2'q_2' \\ p_3'q_3' \end{array} \begin{array}{c} p_1'q_1' \quad p_2'q_2' \quad p_3'q_3' \\ \hline y_{p_1'q_1'} \quad y_{p_1'q_1',p_2'q_2'} \quad y_{p_1'q_1',p_3'q_3'} \\ \hline y_{p_2'q_2',p_1'q_1'} \quad y_{p_2'q_2',p_2'q_2'} \quad y_{p_2'q_2',p_3'q_3'} \\ \hline y_{p_3'q_3',p_1'q_1'} \quad y_{p_3'q_3',p_2'q_2'} \quad y_{p_3'q_3'} \end{array}$$

$$\bar{z}_{p'q',n} = \begin{array}{c} p_1'q_1' \\ p_2'q_2' \\ p_3'q_3' \end{array} \begin{array}{c} n \\ \hline Z_{p_1'n} - Z_{q_1'n} \\ \hline Z_{p_2'n} - Z_{q_2'n} \\ \hline Z_{p_3'n} - Z_{q_3'n} \end{array}$$

Burada $Z_{p_1'n}$, $Z_{q_1'n}$ parça matris elemanlarıdır. n ise yeni ilave edilen r ile birlikte parça bara listesinin tüm değerlerini alır.

$$Z_{rn} \text{ (düzeltmiş)} = Z_{rn} \text{ (düzeltilmemiş)} - \frac{\bar{z}_{p_0'q_0',p'q'} \bar{y}_{p'q',p'q'} \bar{z}_{p'q',n}}{1 - \bar{z}_{p_0'q_0',p'q'} \bar{y}_{p'q',p_0'q_0'}} \quad (3.9)$$

$$Z_1 = \bar{z}_{p_0'q_0',p'q'} \bar{y}_{p'q',p'q'} \bar{z}_{p'q',r}$$

$$Z_2 = \bar{z}_{p_0'q_0'} \bar{z}_{p'q',p'q'} \bar{y}_{p'q',p_0'q_0'}$$

olmak üzere,

$$Z_{rr} \text{ (düzeltmiş)} = Z_{rr} \text{ (düzeltilmemiş)} - \frac{Z_1 - Z_2}{1 - \bar{z}_{p'q',p'q'} \bar{y}_{p'q',p'q'}} \quad (3.10)$$

Yukarıda verilen denklemler ile birlikte aşağıdaki açıklamayı vermeyi uygun gördük.

1- Eğer yeni ilave edilen dal ağaç dalı ise:

$r = q_0'$ değerini alır.

Şayet yeni ilave edilen dal link ise

$r = L$ değerini alır.

Z_{11} (düzeltilmemiş) değeri (3.2), (3.4), (3.6), (3.8) eşitlikleri kullanılarak Z_{22} 'nin düzeltilmiş değerinden hesaplanır.

Yeni ilave edilen çevreden dolayı oluşan matrisin satır ve sütunlar yok etmek için jüde bara empedans matrisinin her bir elemanı aşağıdaki eşitliğe göre düzeltilmelidir.

$$Z_{mn} \text{ (düzeltilmeden sonra)} = Z_{mn} \text{ (düzeltilmeden önce)} - \frac{Z_{1m} Z_{1n}}{Z_{11}} \quad (3.11)$$

3.3 Sistem değişikliklerinde bara empedans matrisinin değiştirilmesi[6]

Eğer bara empedans matrisinin hesaplanmasından sonra sistemde bir değişiklik meydana gelirse, matrisin her bir elemanının düzeltilmesi yoluna gidilir. Akal olan yol yeni bara empedans matrisinin tekrar oluşturulmasına çalışılmaz. Eğer sistemdeki değişiklik oldukça ağır ise yeniden matris oluşturma yolu tercih edilebilir. Fakat genelde böyle olaylara pek rastlanmaz. Yeni sistemde çok az sayıda yeni dal ilavesi veya çıkarılması, kısaca birkaç dalın empedansında değişiklik olur. Hatta aşmak self empedansını büyük bir değere ulaştır- mak ve aynı zamanda ortak empedansı sıfıra eşitlemek anlamına gelir. Yeni dallar sisteme ilk empedans matrisini oluştururken kullanılan metoda benzer şekilde ilave edilebilir. Bir kaç daldaki değişiklik bara empedans matrisine aşağıdaki denklem yansıtılarak ilave edilebilir.

$$Z_{mn} \text{ (yeni)} = Z_{mn} \text{ (eski)} + \bar{Z}_{m,p'q'} \bar{Y}_{p'q',p'q'} \bar{Z}_{p'q',n} \quad (3.12)$$

Burada Z_{mn} bara empedans matrisinin herhangi bir elemanıdır.

$$\bar{Z}_{m,p'q'} = m \begin{bmatrix} p'_1 q'_1 & p'_2 q'_2 & p'_3 q'_3 \\ Z_{mp'_1} - Z_{mq'_1} & Z_{mp'_2} - Z_{mq'_2} & Z_{mp'_3} - Z_{mq'_3} \end{bmatrix}$$

$$\bar{Z}_{p'q',n} = \begin{bmatrix} p'_1 q'_1 & n \\ p'_2 q'_2 & Z_{p'_2 n} - Z_{q'_2 n} \\ p'_3 q'_3 & Z_{p'_3 n} - Z_{q'_3 n} \end{bmatrix}$$

$$\bar{Y}_{p'q',p'q'} = \bar{U} - (\bar{y}_{p'q'}(\text{yeni}) \bar{Z}_{p'q',p'q'} (y_{p'q'} - y_{p'q'}(\text{yeni}))) \quad (3.13)$$

Burada:

$y_{p'q'} = Z_{p'q'}^{-1}$, değiştirilmiş dalları içeren dal admitans alt matrisi.

$y_{p'q'}(\text{yeni}) = Z_{p'q'}(\text{yeni})^{-1}$ değişimden sonraki aynı dal admitans alt m.

$$\bar{Z}_{p'q',p'q'} = \begin{array}{c} p_1'q_1' \quad p_2'q_2' \quad p_3'q_3' \\ \begin{array}{c|c|c} p_1'q_1' & Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ \hline p_2'q_2' & Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} \\ \hline p_3'q_3' & Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} \end{array} \end{array} \quad (3.12)$$

Burada:

$$Z_{11} = Z_{p_1'p_1'} - Z_{p_1'q_1'} - Z_{q_1'p_1'} + Z_{q_1'q_1'}$$

$$Z_{21} = Z_{p_2'p_1'} - Z_{p_2'q_1'} - Z_{q_2'p_1'} + Z_{q_2'q_1'}$$

$$Z_{31} = Z_{p_3'p_1'} - Z_{p_3'q_1'} - Z_{q_3'p_1'} + Z_{q_3'q_1'}$$

$$Z_{12} = Z_{p_1'p_2'} - Z_{p_1'q_2'} - Z_{q_1'p_2'} + Z_{q_1'q_2'}$$

$$Z_{22} = Z_{p_2'p_2'} - Z_{p_2'q_2'} - Z_{q_2'p_2'} + Z_{q_2'q_2'}$$

$$Z_{32} = Z_{p_3'p_2'} - Z_{p_3'q_2'} - Z_{q_3'p_2'} + Z_{q_3'q_2'}$$

$$Z_{13} = Z_{p_1'p_3'} - Z_{p_1'q_3'} - Z_{q_1'p_3'} + Z_{q_1'q_3'}$$

$$Z_{23} = Z_{p_2'p_3'} - Z_{p_2'q_3'} - Z_{q_2'p_3'} + Z_{q_2'q_3'}$$

$$Z_{33} = Z_{p_3'p_3'} - Z_{p_3'q_3'} - Z_{q_3'p_3'} + Z_{q_3'q_3'}$$

eşitlikleri yazılabilir.

Yukarıdaki açıklamalardan sonra aşağıdaki ifadeleri yazabiliriz.

1- Eğer değişken hatlar birbiri ile ilişkiye sahip değilse (3.12)

denklemini kısalar.

$$Z_{mn}(\text{yeni}) = Z_{mn}(\text{eski}) + \frac{(Z_{pm} - Z_{qm})(Z_{pn} - Z_{qn})(y_{pq} - y_{pq}(\text{yeni}))}{1 - (y_{pq} - y_{pq}(\text{yeni}))(Z_{pp} + Z_{qq} - 2Z_{pq})} \quad (3.14)$$

- 2- (3.12) ve (3.13) eşitlikleri bara empedans matrisinde değişiklik olması halinde bu matrisin her bir elemanındaki değişikliği hesaplar,
- 3- Eğer sistemdeki değişiklik kalıcı ise bara empedans matrisinin her bir elemanı hesaplanmalıdır. Eğer değişiklik geçici ise orijinal hat akımının yolunu kapatmak için hatın açılması anındaki empedans değişikliğinde olduğu gibi. Bu durumda Z_{mn} (yeni) matrisinin tüm elemanlarını tekrar hesaplamak gerekmez.
- 4- $Z_{m,p}q'$ $Z_{p'q',m}$ in transpozesidir. Bu yüzden m ya da n , 1, 2, ..., N değerlerini aldıkları için sadece $Z_{p',q',n}$ in hesaplanması gerekir. Son iki empedans matrisinde son ikisinin transpozesidir.

3.4 Faz toprak kısa devre hesabı [8]

Kısa devre analizmaları için gerekli büyüklükler doğru ve tara bil-
leşen bara empedans matrislerinden hesaplanır. (a) fazında n barasında
faz toprak kısa devresi meydana gelmesi halinde ($I_{n(a)}=0$)

$$I_{n(a)} = \frac{-3}{2Z_{nn(1)} + Z_{nn(0)}} \quad (3.15)$$

$$I_{n(1)} = I_{n(2)} = I_{n(0)} = \frac{-1}{2Z_{nn(1)} + Z_{nn(0)}} \quad (3.16)$$

$$E_{m(1)} = 1 - \frac{Z_{mn(1)}}{2Z_{nn(1)} + Z_{nn(0)}} \quad (3.17)$$

$$E_{m(2)} = \frac{-Z_{mn(2)}}{2Z_{nn(1)} + Z_{nn(0)}} \quad (3.18)$$

$$E_{m(0)} = 1 - \frac{-Z_{mn(0)}}{2Z_{nn(1)} + Z_{nn(0)}} \quad (3.19)$$

$$E_{m(n)} = 1 - \frac{2Z_{mn(1)} + Z_{mn(0)}}{2Z_{nn(1)} + Z_{nn(0)}} \quad (3.20)$$

$$I_{pq(1)} = I_{pq(2)} = \frac{-(Z_{pn(1)} - Z_{qn(1)})}{Z_{pq(1)}(2Z_{nn(1)} + Z_{nn(0)})} \quad (3.21)$$

$$i p_1' q_1'(o) = \frac{-1}{2Z_{nn(1)} + Z_{nn(o)}} \left(\bar{y}_{p_1' q_1', p' q'(o)} \bar{z}_{p' q'(o), n} \right) \quad (3.22)$$

$$i p_1' q_1'(a) = \frac{-1}{2Z_{nn(1)} + Z_{nn(o)}} \left(\frac{2(Z_{p_1' n(1)} - Z_{q_1' n(1)})}{z_{p_1' q_1'(1)}} + \bar{y}_{p_1' q_1', p' q'(o)} \bar{z}_{p' q'(o), n} \right) \quad (3.23)$$

Yukarıda kullanılan ifadelerin açık şekilleri aşağıdadır.

$$\bar{y}_{p' q'(o)} = (\bar{z}_{p' q'(o)})^{-1} = \begin{array}{c} p_1' q_1' \\ p_2' q_2' \\ p_3' q_3' \end{array} \begin{array}{|c|c|c|} \hline y_{p_1' q_1'(o)} & y_{p_1' q_1', p_2' q_2'} & y_{p_1' q_1', p_3' q_3'} \\ \hline y_{p_2' q_2', p_1' q_1'(o)} & y_{p_2' q_2'(o)} & y_{p_2' q_2', p_3' q_3'} \\ \hline y_{p_3' q_3', p_1' q_1'(o)} & y_{p_3' q_3', p_2' q_2'(o)} & y_{p_3' q_3'(o)} \\ \hline \end{array}$$

$$p' q' = \begin{array}{c} p_1' q_1' \\ p_2' q_2' \\ p_3' q_3' \end{array} \begin{array}{|c|} \hline y_{p_1' q_1', p' q'(o)} \\ \hline y_{p_2' q_2', p' q'(o)} \\ \hline y_{p_3' q_3', p' q'(o)} \\ \hline \end{array}$$

$$\bar{y}_{p_1' q_1', p' q'(o)} = \begin{array}{c} p_1' q_1' \\ p_2' q_2' \\ p_3' q_3' \end{array} \begin{array}{|c|c|c|} \hline y_{p_1' q_1'(o)} & y_{p_1' q_1', p_2' q_2'(o)} & y_{p_1' q_1', p_3' q_3'(o)} \\ \hline \end{array}$$

$$\bar{z}_{p' q'(o), n} = \begin{array}{c} p_1' q_1' \\ p_2' q_2' \\ p_3' q_3' \end{array} \begin{array}{|c|} \hline Z_{p_1' n(o)} - Z_{q_1' n(o)} \\ \hline Z_{p_2' n(o)} - Z_{q_2' n(o)} \\ \hline Z_{p_3' n(o)} - Z_{q_3' n(o)} \\ \hline \end{array}$$

3.5 Büyük sistemler için matris hesaplanması [9]

Eğer sistem bir devre üzerinde çalışılmıyacak kadar büyük ise iki veya daha çok alt devrelere ayrılabilir. Her birinin ayrı ayrı hesaplanmasından sonra alt devrelerin birbiri üzerindeki kuplaj etkisi göz önüne alınır. Bu işlem için izlenecek basamaklar aşağıdaki esasları dayandır.

1- Esas devre o şekilde alt devrelere ayrılır ki her biri yaklaşık olarak aynı büyüklükte olsun. Bu işlemin yapılabilmesi için gerekli noktalar baralardır. (Kesilen hattın direnci sıfır alınacak) Kesme işlemi ise herhangi iki taksım arasındaki kesme noktaları sayısı minimum olacak şekilde gerçekleştirilecektir.

2- Her bir kesme için bara empedans matrisi normal olarak bulunur.

3- B alt devresinin A alt devresi üzerindeki etkisi aşağıdaki şekilde hesaba sokulur:

a) İki alt devrenin bara empedans matrislerinin bara numaralarının mukayese edilmesi ve ortak baraların saptanması.

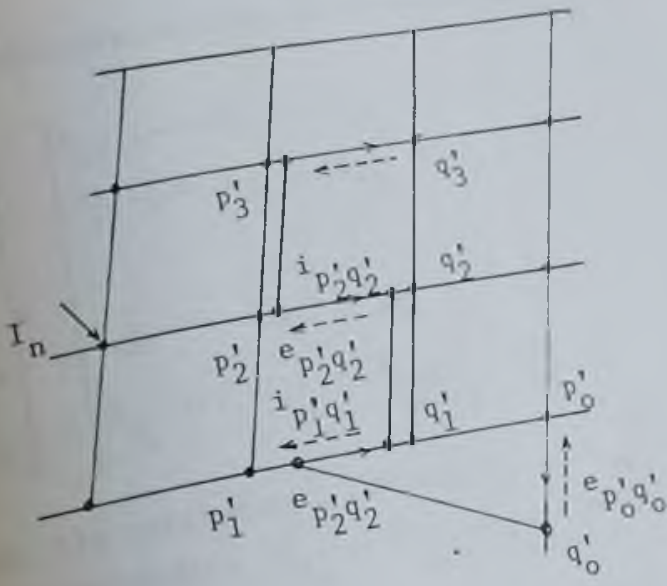
b) B alt devresi eşdeğer matrisinin oluşturulması. Bu matris B alt devresinin baralarından devreye doğru bakılınca görülen transfer empedans matrisine eşittir.

c) B alt devresinin A alt devresine olan etkisinin A alt devresine bir grup dalın eklenmesi halinde gibi olduğu düşünülmelidir. Öyle ki bu ilave edilen dallar A devresini ait bara empedans matrisine yeni çevre (link) ilavesi etkisi gösterir. Elbette bu ilaveler daha önce gösterildiği gibi elimine edilecek ve diğer elmanlara dahil edilecektir. Sonuç matrisi A ile aynı büyüklüktedir. Fakat hem A hem de B alt devrelerini temsil eden bara empedans matrisi konumundadır.

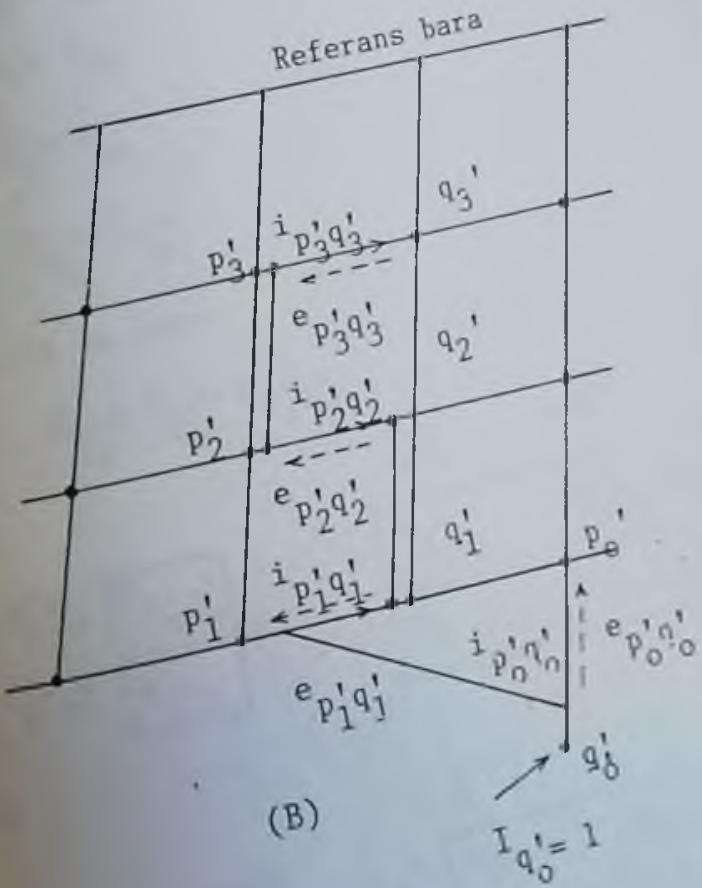
4) Aynı işlemleri B matrisi üzerinde A'nın etkisi göz önüne alınarak yapmalıyız.

3.6 Eşitliklerin elde edilmesi [9]

Şekil 3.3 de $p_1'q_1', p_2'q_2', \dots$ gibi bir grup dalı içeren bir sistem parçasına, bu dallar ile etkileşim halinde bulunan $p_0'q_0'$ barasının eklenme işlemi görülmektedir.



(A)



(B)

Şekil 3.3 $p'_0 q'_0$ dalının sisteme ilave edilmesi
 (A) $Z_{q'_0 n}$ nün hesabına ait
 (B) $Z_{q'_0 q'_0}$ nün hesabına ait

Yeni dal eklendikten sonra devre parçasının temsili eşitliği:

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_n \\ \vdots \\ E_{q'_0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & \dots & Z_{1n} & \dots & Z_{1q'_0} \\ Z_{21} & \dots & Z_{2n} & \dots & Z_{2q'_0} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Z_{n1} & \dots & Z_{nn} & \dots & Z_{nq'_0} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Z_{q'_0} & \dots & Z_{q'_0} & \dots & Z_{q'_0 q'_0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_3 \\ \vdots \\ I_{q'_0} \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

ifadesi ile verilebilir. Burada $Z_{11}, \dots, Z_{1n}, \dots, Z_{nn}, \dots$ daha önceden hesaplanan değerlerdir. $Z_{q'_0}, \dots, Z_{q'_0}, \dots, Z_{q'_0 q'_0}$ ise bulunabilir,

1- $Z_{q'_0 q'_0}$ bulmak için tüm akımlar sıfır alınır. ($I = 1$ p.u)

$$E_2 = Z_{1n}$$

$$E_2 = Z_{2n}$$

$$\vdots$$

$$E_n = Z_{nn}$$

$$\vdots$$

$$E_{q'_0} = Z_{q'_0 n}$$

(3.25)

Şekil 3.3A ya göre:

$$E_{q'_0} = E_{p'_0} - e_{p'_0 q'_0} \quad (3.26)$$

$$\begin{bmatrix} p'_0 q'_0 \\ p'q' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{p'_0 q'_0} \\ e_{p'q'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p'_0 q'_0 & p'q' \\ p'_0 q'_0 & p'q' \\ p'q' & p'q' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_{p'_0 q'_0} & z_{p'_0 q'_0, p'q'} \\ z_{p'q', p'_0 q'_0} & z_{p'q', p'q'} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ i_{p'q'} \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

veya

$$\begin{bmatrix} p'_0 q'_0 \\ p'q' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ i_{p'q'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p'_0 q'_0 & p'q' \\ p'_0 q'_0 & p'q' \\ p'q' & p'q' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{p'q'} & y_{p'q', p'q'} \\ y_{p'q', p'_0 q'_0} & y_{p'q', p'q'} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{p'_0 q'_0} \\ e_{p'q'} \end{bmatrix} \quad (3.28)$$



$$\begin{array}{l} p'_o q'_o \\ p'q' \end{array} \begin{array}{c} e_{p'_o q'_o} \\ e_{p'q'} \end{array} = \begin{array}{l} p'_o q'_o \\ p'q' \end{array} \begin{array}{c} E_{p'_o} - E_{q'_o} \\ -E_{p'} - E_{q'} \end{array} \quad (3.29)$$

eşitlikleri yazılabilir. 3/25, 26, 27, 28 ve 29 no lu eşitliklerden:

$$Z_{q'_o, n} = Z_{p'_o, n} - \frac{\bar{z}_{p'_o q'_o, p'q'} \bar{y}_{p'q', p'_o q'_o} (Z_{p'n} - Z_{q'n})}{1 - \bar{z}_{p'_o q'_o, p'q'} \bar{y}_{p'q', p'_o q'_o}} \quad (3.30)$$

denklemini yazılabilir.

Eğer yeni ilave edilen dal devrenin diğer elemanları ile bir ilişkiye sahip değilse $p'q'$ ortadan kalkar ve ilave edilen dal pq olarak isimlendirilir. Buna göre (3.30) eşitliği aşağıdaki hale gelir.

$$Z_{qn} = Z_{pn} \quad (3.31)$$

Eğer p toprak barası ise:

$$Z_{qn} = 0 \quad (3.32)$$

2- $Z_{p'_o q'_o}$ ifadesini bulmak için (3.24) ifadesindeki $I_{p'_o} = 1$ p.u dışındaki akım değerleri sıfır alınır. Ohalde

$$\begin{array}{l} E_1 = Z_{1q'_o} \\ \vdots \\ E_n = Z_{nq'_o} \\ \vdots \\ E_{q'_o} = Z_{q'_o q'_o} \end{array} \quad (3.33)$$

Şekil 3.3B den

$$E_{q'_o} = E_{p'_o} - e_{p'_o q'_o} \quad (3.34)$$

ve

$$\begin{array}{l} p'_o q'_o \\ p'q' \end{array} \begin{array}{c} e_{p'_o q'_o} \\ e_{p'q'} \end{array} = \begin{array}{l} p'_o q'_o \\ p'q' \end{array} \begin{array}{c} z_{p'_o q'_o} \\ \bar{z}_{p'q', p'_o q'_o} \end{array} \begin{array}{c} \bar{z}_{p'_o q'_o, p'q'} \\ z_{p'q', p'q'} \end{array} \begin{array}{c} -1 \\ i \end{array} \quad (3.34a)$$

veya

$$\begin{array}{l} p'_o q'_o \\ p'q' \end{array} \begin{array}{c} -1 \\ i_{p'q'} \end{array} = \begin{array}{l} p'_o q'_o \\ p'q' \end{array} \begin{array}{c} y_{p'_o q'_o} \\ \bar{y}_{p'q', p'_o q'_o} \end{array} \begin{array}{c} \bar{y}_{p'_o q'_o, p'q'} \\ y_{p'q', p'q'} \end{array} \begin{array}{c} e_{p'_o q'_o} \\ e_{p'q'} \end{array} \quad (3.34b)$$

3/ 26, 29, 30, 31, 32 eşitliklerini kullanarak (3.35) ifadesi bulunur.

$$z_{q_0 q_0} = z_{p_0 q_0} + z_{p_0 q_0} - \bar{z}_{p_0 q_0, p' q'} \bar{y}_{p' q', p' q'} (\bar{z}_{p' n} - \bar{z}_{q' n}) - \frac{\bar{z}_{p_0 q_0} B}{1 - B} \quad (3.35)$$

Burada,

$$B = \bar{z}_{p_0 q_0, p' q'} \bar{y}_{p' q', p' q'} \quad \text{eşitliği geçerlidir.}$$

Eğer yeni ilave edilen dal ile devrenin diğer kısmı arasında bir ilgi yok ise $p' q'$ ortadan kalkar, ilave edilen dal $p q$ olarak kalır. Buna göre (3.35) denklemi aşağıdaki değere sahip olur.

$$Z_{qq} = Z_{pq} + z_{pq} \quad (3.36)$$

Eğer p toprak(referans) barası ise yani, $p = :$ ise:

$$Z_{qq} = z_{oq} \quad (3.37)$$

ifadesi verilebilir.

3.7 Link ilave edilmesi [6]

Şekil 3.4 de bu işlem gösterilmiştir. Link dalı olan $p_0 q_0$ içinde $p_1 q_1, p_2 q_2 \dots$ gibi dallarıda içeren devre parçasına ait elemanlar ile etkileşim halindedir. Bu ilgi direk veya indirek olabilir. Yeni linki ilave ettikten sonra parça sistemin denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_n \\ \vdots \\ E_n \\ \vdots \\ E_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} \cdots Z_{1n} \cdots Z_{1L} \\ Z_{21} \cdots Z_{2n} \cdots Z_{2L} \\ \vdots \\ Z_{n1} \cdots Z_{nn} \cdots Z_{nL} \\ \vdots \\ Z_{L1} \cdots Z_{Ln} \cdots Z_{LL} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \\ \vdots \\ I_L \end{bmatrix} \quad (3.38)$$

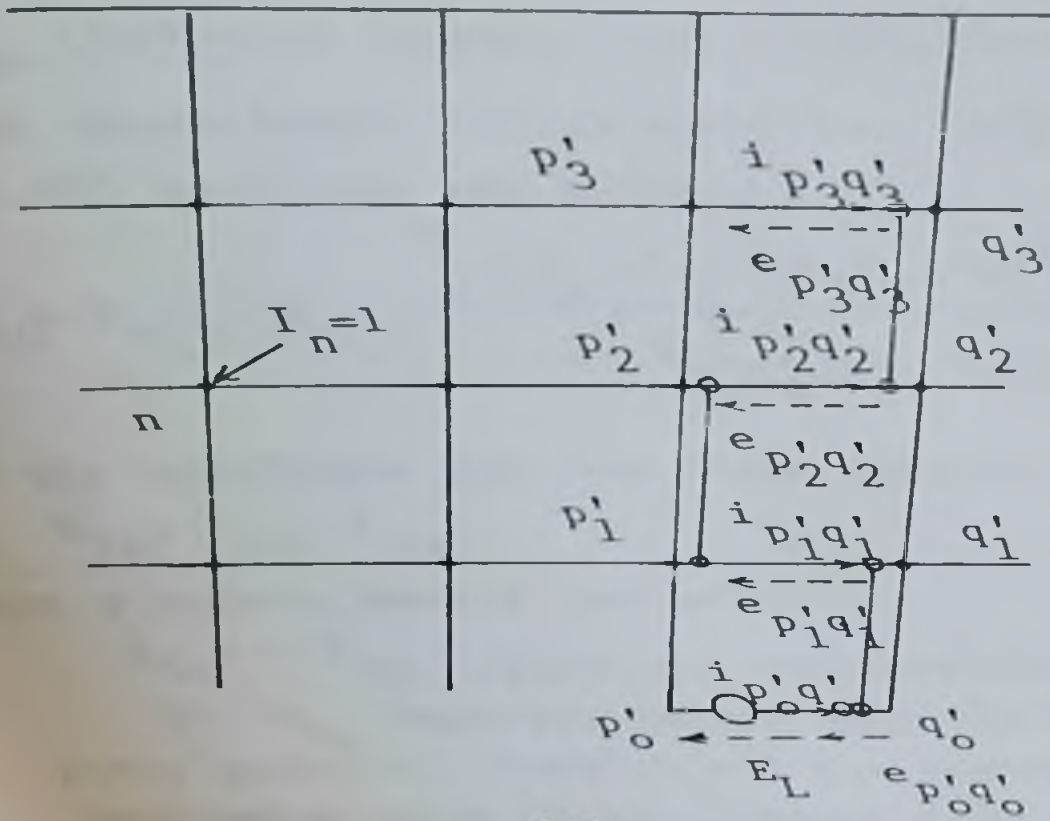
Burada:

E_L : $p_0 q_0$ link gerilim kaynağı (normalde sifıra eşittir)

I_L : linkakımı ($-i_{p_0 q_0}$)

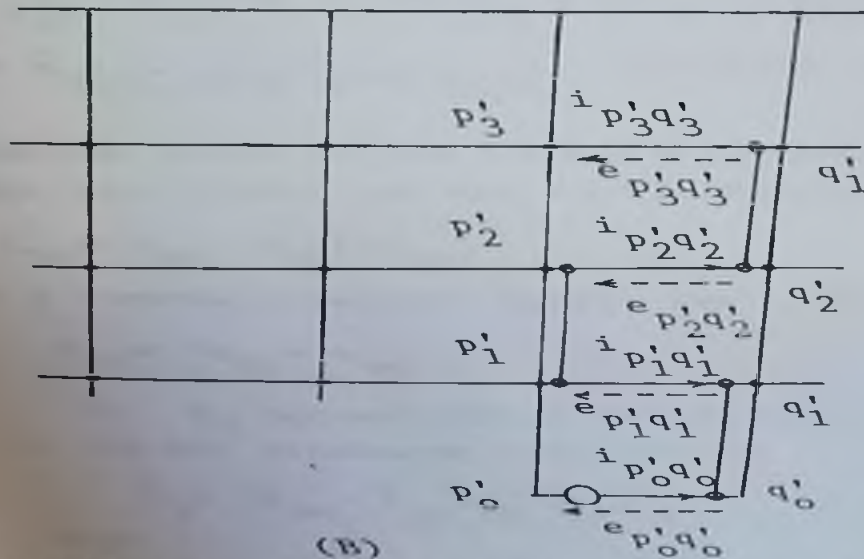
ifadeleri vardır. $Z_{11}, \dots, Z_{L1}, \dots, Z_{LL}$ bulunabilir. Z_{11}, \dots, Z_{nn} önceden bilinen değerler olduklarından Z_{1n} ve Z_{LL} değerleri bulunmalıdır.

Şekil 3.4 e göre :



(A)

Referans bara



(B)

Sekil 3.4 $p'_0 q'_0$ link dalinin sisteme ilave edilmesi.

(A) Z_{Ln} nin hesaplanmasına ait ($E_L, I_L=0$)

(B) Z_{LL} nin hesaplanmasına ait ($E_L, I_L=1$)

$$E_L = E_{p'_o} - E_{q'_o} - e_{p'_o q'_o} \quad (3.39)$$

1- Z_{1n} ifadesini bulmak için (3.38) denklemindeki akımlar $I_n = 1$ hariç olmak üzere hepsi sıfıra eşittir. 3/27, 28, 29 ve 39 denklemlerinden (3.40) eşitliği yazılabilir.

$$Z_{1n} = Z_{p'_o n} - Z_{q'_o n} - \frac{\bar{z}_{p'_o q'_o, p'_o q'_o} \bar{y}_{p'_o q'_o, p'_o q'_o} (\bar{z}_{p'_o n} - \bar{z}_{q'_o n})}{1 - \bar{z}_{p'_o q'_o, p'_o q'_o} \bar{y}_{p'_o q'_o, p'_o q'_o}} \quad (3.41)$$

Eğer bir etkileşim yok ise ifade kısalır:

$$Z_{Ln} = Z_{pn} - Z_{qn}$$

Eğer p toprak barası ise ($p=0$):

$$Z_{Ln} = -Z_{qn} \text{ ifadeleri verilebilir,}$$

2- Z_{LL} değerini bulmak için (3.38) denklemindeki tüm akımlar sıfır yapılır. Fakat $I_L = 1$ p.u olarak alınır. 3/ 29, 34a, 34b, 39 denklemlerinden (3.41) ifadesi elde edilebilir.

$$Z_{LL} = Z_{p'_o L} - Z_{q'_o L} + \bar{z}_{p'_o q'_o, p'_o q'_o} \bar{z}_{p'_o q'_o, p'_o q'_o} \bar{y}_{p'_o q'_o, p'_o q'_o} (\bar{z}_{p'_o L} - \bar{z}_{q'_o L}) - \frac{\bar{z}_{p'_o q'_o, p'_o q'_o} C}{1 - C} \quad (3.41)$$

Burada $C = \bar{z}_{p'_o q'_o, p'_o q'_o} \bar{y}_{p'_o q'_o, p'_o q'_o}$ eşitliği vardır.

Sisteme ilave edilen link ile sistemin diğer elemanları arasında herhangi bir ilişki yok ise (3.42) denklemi yazılabilir.

$$Z_{LL} = Z_{pL} - Z_{qL} + z_{pq} \quad (3.42)$$

Eğer p toprak(referans) barası ise (3.43) denklemi yazılabilir.

$$Z_{LL} = -z_{qL} + z_{oq} \quad (3.43)$$

3- E_L normal olarak sıfıra eşit olduğundan (3.38) denklemi kısalır (3.44) ifadesine eşit olur.

$$\bar{E}_m = (\bar{Z}_{mn} - \bar{Z}_{nL} \bar{Z}_{LL}^{-1} \bar{Z}_{Ln}) \bar{I}_n \quad (3.44)$$

veya

$$Z_{mn} \text{ (eliminasyondan sonra)} = Z_{mn} \text{ (eliminasyondan önce)} - \frac{Z_{mL} Z_{Ln}}{Z_{LL}} \quad (3.45)$$

3.8 Sistem değişikliğinde bara empedans matrisinin değiştirilmesi (10)

Bara empedans matrisinin hesaplanmış olduğu bir sistemde,

$$\bar{E}_m = \bar{Z}_{mn} \bar{I}_n \quad (3.46)$$

eşitliği geçerlidir. Bir grup dalın sisteme dahil olmasından sonra son ifade aşağıdaki halı alır.

$$\bar{E}_m(\text{yeni}) = \bar{Z}_{mn}(\text{yeni}) \bar{I}_n \quad (3.47)$$

veya

$$\bar{E}_m(\text{yeni}) = \bar{Z}_{mn}(\bar{I}_n + \Delta \bar{I}_n) \quad (3.48)$$

Burada $\Delta \bar{I}_n$ değiştirilmemiş sistem üzerine ilave edilen hayali akımdır.

Şekil 3.5 e göre :

$$I_n = 1 \text{ p.u.}, \quad n = n_0 \text{ için}$$

$$I_n = 0 \text{ p.u.}, \quad n \neq n_0 \text{ için}$$

$$\Delta I_n = \Delta i_{p',q'}, \quad n = p' \text{ için}$$

$$\Delta I_n = -\Delta i_{p',q'}, \quad n = q' \text{ için}$$

$$I_n = 0, \quad n \neq p' \text{ ve } n \neq q' \quad \text{ifadeleri verilebilir.} \quad (3.48a)$$

(3.48) ifadesi (3.48a/ da yerine konulursa

$$\bar{E}_m(\text{yeni}) = \bar{Z}_{mn_0} + (\bar{Z}_{mp'} - \bar{Z}_{mq'}) \Delta i_{p',q'} \quad (3.48b)$$

$$\bar{E}_m(\text{yeni}) = \bar{Z}_{mn_0} + \bar{Z}_{m,p',q'} \bar{i}_{p',q'} \quad \text{elde edilir.} \quad (3.49)$$

Burada:

$$\bar{Z}_{m,p',q'} = (\bar{Z}_{mp'} - \bar{Z}_{mq'}) \quad (3.50)$$

$$\bar{i}_{p',q'} = (\bar{y}_{p',q'} - \bar{y}_{p',q'}(\text{yeni})) \bar{e}_{p',q'}(\text{yeni}) \quad (3.51)$$

$$\bar{e}_{p',q'}(\text{yeni}) = \bar{E}_{p'}(\text{yeni}) - \bar{E}_{q'}(\text{yeni}) \quad (3.52)$$

eşitlikleri geçerlidir.

3/ 48a, 51, 52 nolu eşitliklerden:

$$\begin{aligned} \bar{e}_{p',q'}(\text{yeni}) &= (\bar{Z}_{p',n_0} - \bar{Z}_{q',n_0}) + (\bar{Z}_{p',p'} - \bar{Z}_{p',q'} - \bar{Z}_{q',p'} + \bar{Z}_{q',q'}) \bar{i}_{p',q'} \\ &= \bar{Z}_{p',q',n_0} + \bar{Z}_{p',q',p',q'} \bar{\Delta} i_{p',q'} \end{aligned} \quad (3.53)$$

ifadeleri elde edilir.

Burada:

$$\bar{Z}_{p',q',n_0} = (\bar{Z}_{p',n_0} - \bar{Z}_{q',n_0}) \quad (3.54)$$

ifadesi geçerlidir.

Ayrıca,

$$\bar{Z}_{p',q',p',q'} = (\bar{Z}_{p',q'} - \bar{Z}_{p',q'} - \bar{Z}_{q',p'} + \bar{Z}_{q',q'}) \quad (3.55)$$

ifadesi de yazılabilir. 3/ 51, 53 denklemlerinden :

$$i_{p',q'} = (\bar{U} - (\bar{y}_{p',q'} - \bar{y}_{p',q'}(\text{yeni}))) \bar{Z}_{p',q',p',q'}^{-1} \bar{D} \quad (3.56)$$

$$\bar{D} = (\bar{y}_{p',q'} - \bar{y}_{p',q'}(\text{yeni})) \bar{Z}_{p',q',n_0}$$

elde edilir. Sonuç olarak:

$\Delta i_{p',q'} = \bar{Y}_{p',q',p',q'} \bar{Z}_{p',q',n_0}$ ifadesi elde edilir. Bu son ifadede

$$\bar{Y}_{p',q',p',q'} = (\bar{U} - (\bar{y}_{p',q'} - \bar{y}_{p',q'}(\text{yeni}))) \bar{Z}_{p',q',p',q'}^{-1} \bar{D} / \bar{Z}_{p',q',n_0}$$

eşitliği yazılabilir. 3/56 denklemi (3.49) denklemine yerine konursa

$$\bar{E}_m(\text{yeni}) = \bar{Z}_{mn_0} + \bar{Z}_{m,p',q'} \bar{Y}_{p',q',p',q'} \bar{Z}_{p',q',n_0} \quad (3.57)$$

denklemi elde edilir. n noktasındaki $I_{n_0} = 1$ p.u değeri hariç $I_n = 0$ değeri için (3.47) no lu eşitlikten:

$$\bar{E}_m(\text{yeni}) = \bar{Z}_{mn_0}(\text{yeni})$$

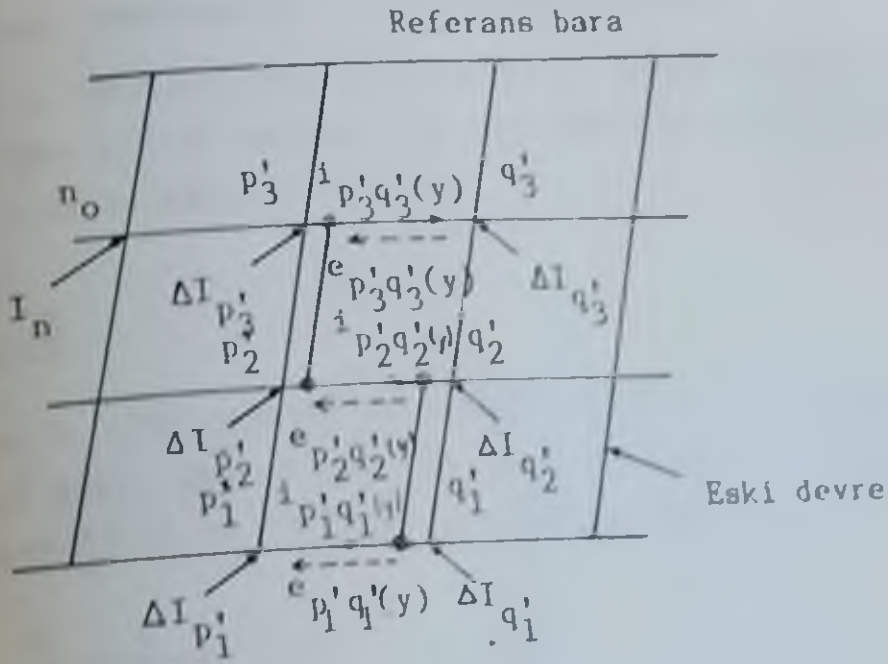
n_0 herhangi bir bara olabileceği için

$$\bar{Z}_{mn}(\text{yeni}) = \bar{Z}_{mn}(\text{eski}) + \bar{Z}_{m,p',q'} \bar{Y}_{p',q',p',q'} \bar{Z}_{p',q',n} \quad (3.58)$$

denklemi yazılabilir.

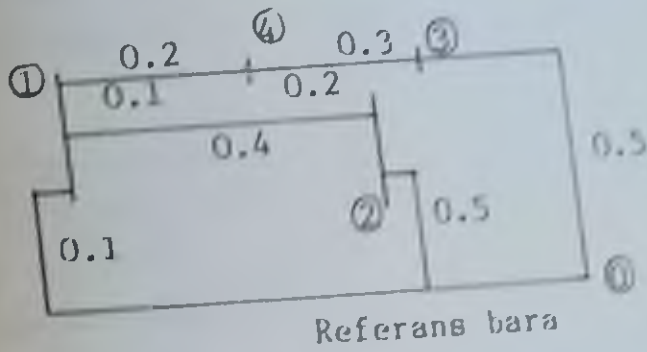
Değişikliğe uğrayan dallar arasında bir ilişki yok ise (3.12) denklemi kısalır ve (3.59) denklemine dönüşür.

$$\bar{Z}_{mn}(\text{yeni}) = \bar{Z}_{mn}(\text{eski}) + \frac{(Z_{pm} - Z_{qm})(Z_{pn} - Z_{qn})(z_{pq}^{-1} - z_{qq}^{-1}(\text{yeni}))}{1 - \left(\frac{1}{z_{qq}} - \frac{1}{z_{qq}(\text{yeni})}\right)(Z_{pp} - 2Z_{pq} + Z_{qq})} \quad (3.59)$$



Şekil 3.5 Z_{mn} nin hesaplanmasına ilişkin.

3.9 Sayısal örnek [6]



Şekil 3.6 Örnek sistem

Tablo 3.7 Örnek sisteme ait veriler.

Adım Sayısı	Dal (p-q)	self Empedans	Ortak Empedans	Ortak Esp. Değ.
1	0-1	0.1		
2	0-2	0.5		
3	0-3	0.5		
4	1-2	0.4	1-4	0.1
			3-4	-0.2
			1-2	0.1
5	1-4	0.2	1-2	-0.2
6	3-4	0.3		

a) Bara empedans matrisinin değiştirilmesi

Adım 1. Birinci dalı ilave et:0-1. Toprak bağlantısının varlığına bak. Eğer 1 yeni bir bara ise onu bara listesine ilave et. Bunun için (3.2) no lu eşitliği kullan.

$$1 \begin{array}{|c|} \hline 0.1 \\ \hline \end{array}$$

Adım 2. Bir sonraki dalı ilave et:0-2. Toprak bağlantısının varlığına bak. Eğer 2 yeni bir bara ise onu bara listesine ilave et. Bunun için (3.1) ve (3.2) no lu eşitliği kullan.

$$\begin{array}{c} 1 \quad 2 \\ 1 \begin{array}{|c|c|} \hline 0.1 & \\ \hline \end{array} \\ 2 \begin{array}{|c|c|} \hline & 0.5 \\ \hline \end{array} \end{array}$$

Adım 3. Bir sonraki dalı ilave et:0-3. Toprak bağlantısının varlığına bak. Eğer 3 yeni bir bara değilse onu bara listesine ilave et. Bunun için (3.1) ve (3.2) no lu eşitliği kullan.

$$\begin{array}{c} 1 \quad 2 \quad 3 \\ 1 \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0.1 & & \\ \hline \end{array} \\ 2 \begin{array}{|c|c|c|} \hline & 0.5 & \\ \hline \end{array} \\ 3 \begin{array}{|c|c|c|} \hline & & 0.5 \\ \hline \end{array} \end{array}$$

Adım 4. Bir sonraki dalı ilave et:1-2. Toprak bağlantısının varlığını kontrol et. Eğer 2 yeni bir bara değilse bu dal bir çevreye aittir. Bunun için (3.7) ve (3.8) no lu eşitliği kullan. Bu dal ile devrenin geri kalan kısmı arasında hiç bir ortak empedans yoktur.

$$\begin{array}{c} 1 \quad 2 \quad 3 \quad L \\ 1 \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 0.1 & & & 0.1 \\ \hline \end{array} \\ 2 \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline & 0.5 & & -0.5 \\ \hline \end{array} \\ 3 \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline & & 0.5 & 0 \\ \hline \end{array} \\ L \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 0.1 & -0.5 & 0 & 1 \\ \hline \end{array} \end{array}$$

Yukarıdaki L yi yok etmek için (3.11) no lu eşitliği kullan.

	1	2	3
1	0.09	0.05	0
2	0.05	0.25	0
3	0	0	0.5

Adım 5. Bir sonraki dalı ilave et:1-4. Toprak bağlantısının varlığını kontrol et. Eğer 4 yeni bir bara ise onu bara listesine ilave et. Bunun için (3.5) no lu eşitliği kullan. Bunun ile devrenin diğer elemanları arasındaki ortak empedans değerine bak. Bunun için (1.2) ile (3.9) no lu eşitliği kullan. Sonra (3.6) no lu eşitliği kullan. (3.10) no lu denklem ile ortak empedans değerini düzelt.

$$\bar{z}_{p'q'} = \begin{array}{c} 1-4 \quad 1-2 \\ 1-4 \quad 1-2 \\ \hline \begin{array}{|c|c|} \hline 0.2 & 0.1 \\ \hline 0.1 & 0.4 \\ \hline \end{array} \end{array}$$

$$\bar{y}_{p'q'} = \begin{array}{c} 1-4 \quad 1-2 \\ 1-4 \quad 1-2 \\ \hline \begin{array}{|c|c|} \hline 5.71 & -1.43 \\ \hline -1.43 & 2.86 \\ \hline \end{array} \end{array}$$

$$Z_{4-1} = 0.09 - \frac{(0.1) - (2.86)(0.09 - 0.05)}{1 - (0.1)(-1.43)} = 0.08$$

Aynı yolla:

$$Z_{4-2} = 0.1 \text{ ve } Z_{4-3} = 0 \text{ bulunur.}$$

$$Z_{4-4} = 0.08 + 0.2 - \frac{(0.1)(2.86)(0.08 - 0.1) - (0.2)(0.1)(-1.43)}{1 - (0.1)(-1.43)} = 0.26$$

	1	2	3	4
1	0.09	0.05	0	0.08
2	0.05	0.25	0	0.1
3	0	0	0.5	0
4	0.08	0.1	0	0.26

Adım 6. Bir sonraki dalı ilave et:3-4. Toprak bağlantısının varlığını kontrol et. Eğer 4 yeni bir bara değilse bu dal bir çevrenin içindedir. Bunun için (3.7) no lu eşitliği kullan. Devrenin diğer elemanları ile olan ortak empedansı düzelt. Bunun için (3.9) no lu eşitliği kullan. Sonra (3.8) no lu eşitliği kullan. En sonra (3.10)

no lu eşitliği kullanarak ortak empedansı düzelt.

$$\bar{z}_{p'q'} = \begin{array}{c|cc} & \begin{array}{c} 3-4 \\ 1-2 \\ 1-4 \end{array} & \begin{array}{c} 1-2 \\ 1-4 \end{array} \\ \begin{array}{c} 3-4 \\ 1-2 \\ 1-4 \end{array} & \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0.3 & -0.2 & 0 \\ \hline -0.2 & 0.4 & 0.1 \\ \hline 0 & 0.1 & 0.2 \\ \hline \end{array} & \end{array}$$

$$\bar{y}_{p'q'} = \begin{array}{c|cc} & \begin{array}{c} 3-4 \\ 1-2 \\ 1-4 \end{array} & \begin{array}{c} 1-2 \\ 1-4 \end{array} \\ \begin{array}{c} 3-4 \\ 1-2 \\ 1-4 \end{array} & \begin{array}{|c|c|c|} \hline 5.4 & 3.08 & -1.54 \\ \hline 3.08 & 4.62 & -2.31 \\ \hline -1.54 & -2.31 & 6.15 \\ \hline \end{array} & \end{array}$$

$$Z_{L1} = 0 \quad \begin{array}{c|cc} & \begin{array}{c} 4.61 \\ -2.31 \end{array} & \begin{array}{c} -2.31 \\ 6.16 \end{array} \\ \begin{array}{c} -0.08 \\ (-0.2 \quad 0) \end{array} & \begin{array}{|c|c|} \hline 0.09 & -0.05 \\ \hline 0.09 & -0.08 \\ \hline \end{array} & = -0.06 \\ \hline 1 & \begin{array}{|c|c|} \hline -0.02 & 0 \\ \hline 3.08 \\ -1.54 \\ \hline \end{array} & \end{array}$$

Benzer şekilde $Z_{L2} = -0.2$, $Z_{L3} = 0.5$, $Z_{L4} = -0.02$ değerleri bulunur.

$$Z_{LL} = 0.5 - (-0.22) + (0.3) - \frac{\begin{array}{c|cc} & \begin{array}{c} 4.62 \\ -2.31 \end{array} & \begin{array}{c} -2.31 \\ 6.16 \end{array} \\ \begin{array}{c} 0.02 \quad 0 \\ -0.06 - (0.02) \end{array} & \begin{array}{|c|c|} \hline 0.06 - (0.02) & 0.06 - (0.02) \\ \hline -0.3 & -0.2 \quad 0 \\ \hline 3.08 \\ -1.54 \\ \hline \end{array} & \begin{array}{c} 1.54 \\ 1.54 \end{array} \end{array}$$

$Z_{LL} = 0.944$ değeri elde edilir.

$$\bar{z}_{mn} = \begin{array}{c|cccc|c} & 1 & 2 & 3 & 4 & L \\ \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ L \end{array} & \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline 0.09 & 0.05 & 0 & 0.08 & -0.06 \\ \hline 0.05 & 0.25 & 0 & 0.1 & -0.20 \\ \hline 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0.5 \\ \hline 0.08 & 0.1 & 0 & 0.26 & -0.22 \\ \hline -0.06 & -0.20 & 0.5 & -0.22 & 0.94 \\ \hline \end{array} & \end{array}$$

L, (3.11) no lu eşitlik kullanılarak yok edilirse:

$$\bar{z}_{mn} = \begin{array}{c|cccc} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{array} & \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 0.086 & 0.037 & 0.032 & 0.066 \\ \hline 0.037 & 0.208 & 0.106 & 0.053 \\ \hline 0.032 & 0.106 & 0.234 & 0.117 \\ \hline 0.066 & 0.053 & 0.117 & 0.209 \\ \hline \end{array} & \end{array}$$

b) Sistem değişmelerinde Z_{mn} in değiştirilmesi

z_{3-4} değerini 0.3 değerinden 0.24 değerine $z_{3-4,1-2}$ değerini -0.2 değerinden 0 değerine deęiştir.

	1-2	1-4	3-4
1-2	0.4	0.1	-0.2
1-4	0.1	0.2	0
3-4	-0.2	0	0.3

	1-2	1-4	3-4
1-2	4.615	-2.308	3.077
1-4	-2.308	6.154	-1.358
3-4	3.077	-1.358	5.385

	1-2	1-4	3-4
1-2	0.1	0.1	0
1-4	0.1	0.2	0
3-4	0	0	0.24

	1-2	1-4	3-4
1-2	2.857	-1.429	0
1-4	-1.429	5.714	0
3-4	0	0	4.167

	1-2	1-4	3-4
1-2	1.758	-0.879	3.077
1-4	-0.879	0.440	-1.538
3-4	3.077	-1.538	1.218

$\bar{y} = \bar{y}_{p'q'} - \bar{y}_{p'q'}(\text{yeni})$

	1-2	1-4	3-4
1-2	0.219	0.036	-0.087
1-4	0.036	0.163	0.057
3-4	-0.087	0.057	0.038

Aşağıda verilen matrisin simetrik olması gerekmektedir.

$$\overline{Y}_{p'q', p'q'} =$$

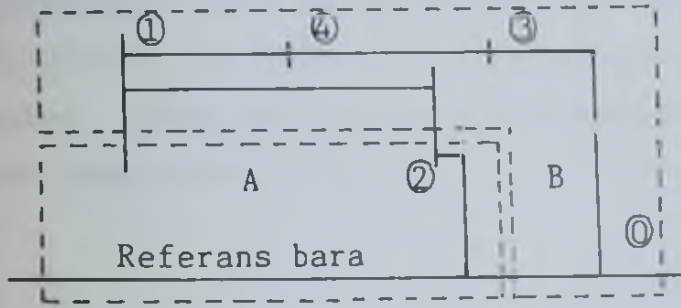
	1-2	1-4	3-4
1-2	3.395	-1.997	4.775
1-4	-1.991	0.995	-2.376
3-4	4.775	-2.387	3.475

$$\overline{Z}_{mn(\text{yeni})} =$$

	1	2	3	4
1	0.083	0.042	0.040	0.059
2	0.042	0.240	0.049	0.074
3	0.040	0.049	0.250	0.130
4	0.059	0.074	0.130	0.192

c) Ana devrenin alt devrelere ayrılması

Ana sistemi A ve B olmak üzere iki eşit devreye ayıralım:



Şekil 3.7 Örnek sistemin A ve B gibi iki alt devreye ayrılması

$$\overline{z}_A =$$

	0-1	0-2
0-1	0.1	
0-2		0.5

$$\overline{z}_B =$$

	0-3	3-4	4-1	1-2
0-3	0.5			
3-4		0.3		-0.2
4-1			0.2	-0.1
1-2		-0.2	-0.1	0.4

$$\bar{Z}_{A+B} = \begin{array}{c} 1 \\ 2 \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline 1 & 2 \\ \hline 0.086 & 0.037 \\ \hline 0.037 & 0.207 \\ \hline \end{array}$$

$$\bar{Z}_{B+A}(\text{eşdeğer}) = \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 0.086 & 0.037 & 0.032 & 0.066 \\ \hline 0.037 & 0.208 & 0.106 & 0.053 \\ \hline 0.032 & 0.106 & 0.234 & 0.117 \\ \hline \end{array}$$

Şimdiye karar yapılan işlemleri açıklayıcı özelliğe sahip olması dolayısı ile aşağıdaki bilgilerin verilmesi uygun görülmüştür. [6]

Yukarıdaki işlemlerin en önemli özelliği büyük boyutta matris tersinin alınmamasıdır. Ayrıca transformasyon matriside kullanılmamış olması da diğer bir özelliğidir. İşlemler sırasında görülmektedirki ancak matris boyutu oldukça küçük olanların tersi alınmaktadır. Ayrıca empedans matrisinin değiştirilmesi gerektiğinde yapılan işlemler sayı olarak bara admitans metoduna göre oldukça azdır. Örnek sistemde kompleks ifade kullanılmamasının nedeni yalnızca hesapları basitleştirmek amacından dolayısıdır.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada kısa devre hesaplamalarında pratikte yapılan kabullerin zorunluluğuna inanarak fakat gerçek değerlere çok daha yakın çözüm yolları araştırılmıştır. Bu yolların ayrı ayrı, 24 baralı Batı Trakya enerji iletim sisteminde yapılan kısa devre hesaplamalarına uygulanması sonucu elde edilen değerler yorumlanmıştır.

24 baralı Batı Trakya enerji iletim sistemi birbirinden ayrı olarak tanımlanmış üç farklı modda incelenmiştir. Bu modlardan ilki kısa hesaplamalarında yapılan kabullerin geçerli olmadığı tamamen gerçek değerlerin ele alındığı ilk koşullar altında bara empedans matrisi metodu ile yapılan hesaplamaları içermektedir. İkinci mod ise sistemdeki tüm omik direnç değerlerinin göz ardı edildiği, hat kapasitelerinin ihmal edildiği, yüklerin açık devre edildiği ilk koşullar altında yapılan hesaplama sonuçlarını içermektedir. Üçüncü mod ise sistemdeki omik direnç değerlerinin vektörel olarak endüktif dirence ilavesi ile elde edilen sistem empedansının bara empedans matrisinde kullanımı sonucu ortaya çıkan değerleri temsil etmektedir. Bu sonuçları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür:

-Yapılan her üç modda yük değerleri ihmal edilmeden hesaplamalar yapılmıştır. Bunun nedeni ise bazı baralarda açma gücünü etkileyen yük değerlerinin varlığı olmuştur.

-Bara gerilimlerinin 1 p.u. olarak ele alınması sonucu elde edilen değerler ile gerçek bara gerilimleri arasındaki fark üç mod arasındaki sonuç değerlerini etkileyecek boyutta bulunmamıştır.

-Hatların kapasitelerinin etkileri üzerinde yapılan incelemede orta uzunlukta kabul edilen hatlarda alıcı ve verici uç taraflarında çok dallanma olan baralarda olmamak şartı ile göz önüne alınmaması mümkündür. Aksi halde optimal çözümden uzaklaştırıcı sonuçlara ulaşılabilir.

-İkinci mod sonuçları bazen %25 hatalara varabilen hatalara varabilmektedir. Bu hatalara sebep olan en büyük etken generatör ve transformatör değerlerinden çok hatların omik karakterleridir.

-Genel hata yığılmaları %15 civarında olmaktadır. Bu hata oranı ikinci mod ile birinci mod arasındaki ortalama farkı göstermektedir.

-Kullanılan bara empedans yönteminde ters alma işleminin varlığından dolayı ihmal edilen bazı bara büyüklükleri, diğer baralara ait sonuçlarda önemli değişiklikler meydana getirebilmektedir. Özellikle ikinci mod kullanımı halinde bu olay daha çok göze çarpmıştır.

-Gerçek sonuçların mod 1 de olduğu gibi hesaplanması en ideal çözüm olmakla birlikte yukarıda anlatılan bilgisayarın ekonomik kullanımı ve dataların kısa zamanda belleğe yüklenmesi zamanının azaltılması zorunluluğundan dolayı mod 3 gerçek değerlere daha yakın sonuçlar verebilmektedir.

-Eğer mod 2 nin kullanılması gerekiyor ise tez sonuçlarına değerlendirerek emniyet katsayısı adını verdiğimiz çarpanın daha doğru tesbiti mümkün olabilmektedir. Bu değer optimal çözüm arayışlarında kullanılabilir bir değer olabilir.

-Sonuç olarak gerçek değerlere yakın olan optimal bir kısa devre hesaplanması yapılabilmesi için yukarıda anlatılanların göz önüne alınması ile üçüncü mod kullanımı tercih edilen yol olacaktır.

FILE: INV

AVASIDAK - PROGRAM 24 BARALI BIR ENERJİ LETİM SİSTEMİNDE HER BİR BARADA MEYDANA GELEBİLECEK HATALARDAN DOLAYI OLUSAN KISA DEVRE AKIM DEĞERİNİ P.O.U OLARAK HESAPLAR.

24 BARALI SİSTEME AIT VERİLER, DOKÜMANTERİ VE SIFIR SİSTEMİN BARA ADMİTANS DEĞERLERİ OLARAK KAYITLI AYRI AYRI DATA YA YAKLEMLERİ SIFIR SİSTEM DİSKTE DOKÜMANTERİ SİSTEM DATA GİRİŞLERİ, 7 NOLU DİSKTE SIFIR SİSTEM DATA GİRİŞLERİ BULUNMAKTADIR.

HAZIRLANAN BİR EXEC PROGRAM YARDIMI İLE ANA PROGRAM BU İKİ AYRI DATA DAN SÜREKLİ OLARAK DEĞER OKUMAKTA VE BUNLARI KULLANMAKTADIR. AYNI SEKİLDE BU EXEC PROGRAM İLE BİR SONUÇ DOSYASI OLUŞTURULMAKTA VE ÇIKIŞLAR BU DOSYAYA ATANMAKTADIR.

GEREK DOKÜMANTERİ VE GEREKSE SIFIR SİSTEME AIT DATA GİRİŞLERİ SATIR SATIR VERİLMEKTE VE DATA DOSYASININ HER BİR SATIRINA BARA ADMİTANS MATRİSİNİN BİR ELEMANI YAZILMAKTADIR.

MOD 1, MOD 2 VE MOD 3 İFADELERİ ÜÇ AYRI DATA DEĞERİ İÇİN HESAPLAMALARIN SONUÇLARINI GÖSTERMEKTEDİR.

PROGRAM AKIŞI İÇİNDE HATA TURLERİNİ GÖSTEREN İFADELERİ TAKİBEN KULLANILAN DİZİLEMLERİ EĞER 1 RAKAMINI İÇERİYOR İSE MOD 1, 2 RAKAMINI İÇERİYOR İSE MOD 2, 3 RAKAMINI İÇERİYOR İSE MOD 3 DEĞERLERİNE KARŞI DÜŞER.

EXTERNAL CMPLX, SQRT, CONJG, REAL, AIMAG, ABS
DIMENSION B1(576,1), B2(24,24), B3(576,1), B4(24,24), A1(24,24),
*A3(24,24), A2(24,24), A9(24,24), E1(24), E2(24), E3(24), G1(24), G2(24),
*G3(24), A11(24,24), A12(24,24), P1(24), P2(24), P3(24), Y1(24), Y2(24),
*Y3(24), U1(24), U2(24), U3(24), U1(24), U2(24), U3(24), A18(24), A19(24),
*A20(24), R1(24), R2(24), R3(24)
COMPLEX B1, B2, B3, B4, A1, A3, A2, A9, E1, E2, E3, G1, G2, G3, A11, A12, U1, U2,
*U3, A18, A19, A20, S
COMPLEX B3, U3, V, D(24,24)
COMPLEX B T2, A13(24)

DO 1 I=1,576
DO 1 J=1,1
READ(5,*) B1(I,J)
CONTINUE
J=0

DO 2 I=1,24
M=24*I
M=M-23
DO 2 K=N,M
IF(J.EQ.24) J=0
J=J+1

DO 2 L=1,1
B2(I,J)=B1(K,L)
CONTINUE
DO 50 I=1,24
DO 50 K=1,24
A1(I,K)=B1(I,K)*CMPLX(1.,0.)
CONTINUE

DOKÜMANTERİ SİSTEME AIT (576,1) BOYUTUNDAKİ DATA GİRİŞLERİ (24,24) BOYUTUNA AKTARILMIŞTIR.

DO 3 I=1,576
DO 3 J=1,1
READ(7,*) B3(I,J)
CONTINUE
J=0

DO 4 I=1,24
M=24*I
M=M-23
DO 4 K=N,M
IF(J.EQ.24) J=0
J=J+1

DO 4 L=1,1
B4(I,J)=B3(K,L)
CONTINUE
DO 51 I=1,24
DO 51 K=1,24
A3(I,K)=B4(I,K)*CMPLX(1.,0.)
CONTINUE

SIFIR SİSTEME AIT (576,1) BOYUTUNDAKİ DATA GİRİŞLERİ (24,24) BOYUTUNA AKTARILMIŞTIR.

CALL TEPI(A1)
CALL TEPI(A3)
A1 VE A3 MATRİSLERİNİN TERSİ ALINMIŞTIR.

DO 41 K=1,24
DO 41 J=1,24
A2(K,J)=B2(K,J)-CONJG(B2(K,J))*CMPLX(0.5,0.)
CONTINUE
DO 42 K=1,24
DO 42 J=1,24
A9(K,J)=B4(K,J)-CONJG(B4(K,J))*CMPLX(0.5,0.)
CONTINUE

CALL YEPI(B2, A11)
CALL YEPI(B4, A12)
A2 VE A9 MATRİSLEKİNİN ELEMANLARININ MODÜLÜ İHAJİNER KISIMA ATANMIŞTIR.

DO 42 I=1,24

INV00010
INV00020
INV00030
INV00040
INV00050
INV00060
INV00070
INV00080
INV00090
INV00100
INV00110
INV00120
INV00130
INV00140
INV00150
INV00160
INV00170
INV00180
INV00190
INV00200
INV00210
INV00220
INV00230
INV00240
INV00250
INV00260
INV00270
INV00280
INV00290
INV00300
INV00310
INV00320
INV00330
INV00340
INV00350
INV00360
INV00370
INV00380
INV00390
INV00400
INV00410
INV00420
INV00430
INV00440
INV00450
INV00460
INV00470
INV00480
INV00490
INV00500
INV00510
INV00520
INV00530
INV00540
INV00550
INV00560
INV00570
INV00580
INV00590
INV00600
INV00610
INV00620
INV00630
INV00640
INV00650
INV00660
INV00670
INV00680
INV00690
INV00700
INV00710
INV00720
INV00730
INV00740
INV00750
INV00760
INV00770
INV00780
INV00790
INV00800
INV00810
INV00820
INV00830
INV00840
INV00850
INV00860
INV00870
INV00880
INV00890
INV00900

FILE: INV

FDRTRAK A1

01/13/67

11042:00

ITU - KAKKA

PAGE 007

```

F1(I)=CMPLX(1.,0.)/A1(I,I)
F2(I)=CMPLX(1.,0.)/A2(I,I)
F3(I)=CMPLX(1.,0.)/A11(I,I)
CONTINUE
CALL ZEP(E1,P1)
CALL ZEP(E2,P2)
CALL ZEP(E3,P3)
GIRIS DEGERLEKININ MODULU BULUNDU.
WRITE(6,34)
FORMAT(/,15X,5HMODX1,4X,5HMODX2,4X,5HMODX3)
DO 43 I=1,24
WRITE(6,35) P1(I),P2(I),P3(I)
FORMAT(/,10X,E9.3,4X,E9.3,4X,E9.3)
CONTINUE
FAZ TOPRAK KISA DEVKE AKIMLARI
DO 44 I=1,24
G1(I)=CMPLX(3.,0.)/(12.,0.)*A11(I,I)+A1(I,I)
G2(I)=CMPLX(3.,0.)/(12.,7.)*A2(I,I)+A9(I,I)
G3(I)=CMPLX(3.,0.)/(12.,0.)*A11(I,I)+A12(I,I)
CONTINUE
CALL ZEP(G1,Y1)
CALL ZEP(G2,Y2)
CALL ZEP(G3,Y3)
DO 45 I=1,24
WRITE(6,36) Y1(I),Y2(I),Y3(I)
FORMAT(/,10X,E9.3,4X,E9.3,4X,E9.3)
CONTINUE
FAZ FAZ KISA DEVKE AKIMLARI
DO 47 I=1,24
O1(I)=CMPLX(0.,-1.74)/CMPLX(2.,0.)*A11(I,I)
O2(I)=CMPLX(0.,-1.74)/CMPLX(2.,0.)*A2(I,I)
O3(I)=CMPLX(0.,-1.74)/CMPLX(2.,0.)*A11(I,I)
CONTINUE
CALL ZEP(O1,U1)
CALL ZEP(O2,U2)
CALL ZEP(O3,U3)
DO 48 I=1,24
WRITE(6,37) U1(I),U2(I),U3(I)
FORMAT(/,10X,E9.3,4X,E9.3,4X,E9.3)
CONTINUE
IKI FAZ TOPRAK KISA DEVKESI
CALL WEP(A1,A3,A18)
CALL WEP(A2,A9,A19)
CALL WEP(A11,A12,A20)
CALL ZEP(A18,K1)
CALL ZEP(A19,K2)
CALL ZEP(A20,K3)
DO 49 I=1,24
WRITE(6,38) K1(I),K2(I),K3(I)
FORMAT(/,10X,E9.3,4X,E9.3,4X,E9.3)
CONTINUE
STOP
END
SUBROUTINE TEP(A7)
DIMENSION A7(24,24)
COMPLEX A7
DO 7 K=1,24
DO 8 J=1,24
IF(J.NE.K) A7(K,J)=A7(K,J)/A7(K,K)
A7(K,K)=CMPLX(1.,0.)/A7(K,K)
DO 7 I=1,24
IF(I.EQ.K) GO TO 7
DO 9 J=1,24
IF(J.NE.K) A7(I,J)=A7(I,J)-A7(I,K)*A7(K,J)
A7(I,K)=-A7(I,K)*A7(K,K)
CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE YEP(Q,A10)
DIMENSION A10(24,24)
COMPLEX*32 D3,V,Q(24,24)
COMPLEX Q,A10
DO 11 K=1,24
DO 11 J=1,24
D1=REAL(Q(K,J))
D2=ABS(D1)
V=Q(K,J)
D3=QIMAG(V)
D4=ABS(D3)
D5=D2**2.+D4**2.
D6=SQRT(D5)
A10(K,J)=CMPLX(0.,1.)*D6
RETURN
END
SUBROUTINE ZEP(A13,A14)
DIMENSION A14(24)
COMPLEX*8 T2,A13(24)
COMPLEX A13
DO 40 I=1,24
T1=REAL(A13(I))
T2=AIMAG(A13(I))
T3=ABS(T1)
T4=ABS(T2)
T5=T3**2.+T4**2.
T6=SQRT(T5)
A14(I)=T6
RETURN
END
SUBROUTINE WEP(A15,A16,A17)
DIMENSION A15(24,24),A16(24,24),A17(24),S(24)
COMPLEX A15,A16,A17,S
DO 46 I=1,24
S(I)=A15(I,I)*A15(I,I)+CMPLX(2.,0.)*A15(I,I)+A15(I,I)
A17(I)=A15(I,I)*CMPLX(-1.,-1.74)+A16(I,I)*CMPLX(0.,-1.74)/S(I)
RETURN
END

```

INV00910
INV00920
INV00930
INV00940
INV00950
INV00960
INV00970
INV00980
INV00990
INV01000
INV01010
INV01020
INV01030
INV01040
INV01050
INV01060
INV01070
INV01080
INV01090
INV01100
INV01110
INV01120
INV01130
INV01140
INV01150
INV01160
INV01170
INV01180
INV01190
INV01200
INV01210
INV01220
INV01230
INV01240
INV01250
INV01260
INV01270
INV01280
INV01290
INV01300
INV01310
INV01320
INV01330
INV01340
INV01350
INV01360
INV01370
INV01380
INV01390
INV01400
INV01410
INV01420
INV01430
INV01440
INV01450
INV01460
INV01470
INV01480
INV01490
INV01500
INV01510
INV01520
INV01530
INV01540
INV01550
INV01560
INV01570
INV01580
INV01590
INV01600
INV01610
INV01620
INV01630
INV01640
INV01650
INV01660
INV01670
INV01680
INV01690
INV01700
INV01710
INV01720
INV01730
INV01740
INV01750
INV01760
INV01770
INV01780
INV01790
INV01800
INV01810
INV01820
INV01830
INV01840
INV01850
INV01860
INV01870
INV01880
INV01890
INV01900
INV01910
INV01920
INV01930
INV01940
INV01950
INV01960

1. 24) = 0.174015E-010.980970E-01
 1. 25) = 0.167709E-020.116040E-01
 1. 26) = 0.117099E-030.338950E-01
 1. 27) = 0.114800E-010.315976E-01
 1. 28) = 0.133012E-010.345544E-01
 1. 29) = 0.140012E-010.343789E-01
 1. 30) = 0.148507E-010.344101E-01
 1. 31) = 0.174910E-010.345300E-01
 1. 32) = 0.117879E-010.345148E-01
 1. 33) = 0.110008E-010.344448E-01
 1. 34) = 0.751015E-010.476740E-01
 1. 35) = 0.170509E-010.350000E-01
 1. 36) = 0.169001E-010.350200E-01
 1. 37) = 0.130001E-010.376304E-01
 1. 38) = 0.170245E-010.351283E-01
 1. 39) = 0.143139E-010.379041E-01
 1. 40) = 0.103570E-010.310356E-01
 1. 41) = 0.279875E-010.409660E-01
 1. 42) = 0.249546E-010.471676E-01
 1. 43) = 0.473317E-010.372072E-01
 1. 44) = 0.474735E-010.376311E-01
 1. 45) = 0.702673E-010.566100E-01
 1. 46) = 0.267445E-010.977656E-01
 1. 47) = 0.430019E-010.170079
 1. 48) = 0.290722E-010.978075E-01
 1. 49) = 0.429023E-020.117178E-01
 1. 50) = 0.125705E-010.352760E-01
 1. 51) = 0.155433E-010.346759E-01
 1. 52) = 0.173199E-010.344632E-01
 1. 53) = 0.100139E-010.341153E-01
 1. 54) = 0.008715E-010.339494E-01
 1. 55) = 0.274399E-010.989571E-01
 1. 56) = 0.156435E-010.345008E-01
 1. 57) = 0.116443E-010.345299E-01
 1. 58) = 0.348454E-010.474094E-01
 1. 59) = 0.121799E-010.346603E-01
 1. 60) = 0.115900E-010.349099E-01
 1. 61) = 0.041384E-020.410497E-01
 1. 62) = 0.171554E-010.388759E-01
 1. 63) = 0.639547E-010.451448E-01
 1. 64) = 0.163705E-010.549149E-01
 1. 65) = 0.247270E-010.477034E-01
 1. 66) = 0.211641E-010.513351E-01
 1. 67) = 0.467149E-010.280216E-01

4. 16) = 0.119676 v.107357E-01
 4. 17) = 0.120734 0.800310E-02
 4. 18) = 0.126376 -0.585158E-01
 4. 19) = 0.130824 0.563079E-02
 4. 20) = 0.134076 0.433143E-02
 4. 21) = 0.138359 0.534577E-01
 4. 22) = 0.140534 0.400805E-01
 4. 23) = 0.990917E-010.571060E-01
 4. 24) = 0.109777 0.476752E-01
 4. 25) = 0.111209E-010.933449E-02
 4. 26) = 0.960077E-010.615644E-01
 4. 27) = 0.173527 0.133597
 4. 28) = 0.190050 0.162910
 4. 29) = 0.216583 0.201309
 4. 30) = 0.236276 0.191575
 4. 31) = 0.104248 0.916511E-01
 4. 32) = 0.170052 0.137052
 4. 33) = 0.173471 0.131062
 4. 34) = 0.100041 -0.963395E-01
 4. 35) = 0.170364 0.480339E-02
 4. 36) = 0.171370 0.173127E-02
 4. 37) = 0.174404 -0.987100E-02
 4. 38) = 0.120605 0.470770E-02
 4. 39) = 0.256010E-01 -0.811895E-01
 4. 40) = 0.121906 0.341034E-02
 4. 41) = 0.124832 0.459013E-03
 4. 42) = 0.124376 -0.671526E-01
 4. 43) = 0.132677 -0.243514E-02
 4. 44) = 0.130052 -0.401310E-02
 4. 45) = 0.100037 0.477039E-01
 4. 46) = 0.112994 0.427226E-01
 4. 47) = 0.104751 0.516256E-01
 4. 48) = 0.114170 0.414560E-01
 4. 49) = 0.120701E-010.079447E-02
 4. 50) = 0.103203 0.564975E-01
 4. 51) = 0.107357 0.124791
 4. 52) = 0.206374 0.154006
 4. 53) = 0.236295 0.191573
 4. 54) = 0.267995 0.239241
 4. 55) = 0.111097 0.457300E-01
 4. 56) = 0.107340 0.150170
 4. 57) = 0.107097 0.127473
 4. 58) = 0.106513 -0.111951
 4. 59) = 0.120075 -0.331097E-02

1. 11) = 0.255925E-020.144040E-01
 1. 12) = 0.724907E-020.121708E-01
 1. 13) = 0.979093E-020.101636E-01
 1. 14) = 0.103757E-010.904105E-02
 1. 15) = 0.111241E-010.800238E-02
 1. 16) = 0.120147E-010.689794E-02
 1. 17) = 0.077110E-020.114965E-01
 1. 18) = 0.901546E-020.100079E-01
 1. 19) = 0.901401E-020.100101E-01
 1. 20) = 0.129105E-01-0.434988E-02
 1. 21) = 0.170307E-010.710034E-02
 1. 22) = 0.133197E-010.484094E-02
 1. 23) = 0.140721E-010.675629E-02
 1. 24) = 0.170633E-010.719667E-02
 1. 25) = 0.712949E-01-0.754303E-02
 1. 26) = 0.170079E-010.711459E-02
 1. 27) = 0.137694E-010.694913E-02
 1. 28) = 0.174575E-01-0.547086E-02
 1. 29) = 0.187945E-010.706797E-02
 1. 30) = 0.153451E-010.609920E-02
 1. 31) = 0.930164E-020.112443E-01
 1. 32) = 0.101273E-010.109700E-01
 1. 33) = 0.072793E-020.114939E-01
 1. 34) = 0.103267E-010.108910E-01
 1. 35) = 0.775219E-020.121353E-01
 1. 36) = 0.609516E-010.674388E-01
 1. 37) = 0.060019E-010.894034E-01
 1. 38) = 0.910633E-010.661779E-01
 1. 39) = 0.963057E-010.615603E-01
 1. 40) = 0.103203 0.564975E-01
 1. 41) = 0.790120E-010.609920E-01
 1. 42) = 0.069297E-010.680361E-01
 1. 43) = 0.060019E-010.893312E-01
 1. 44) = 0.966377E-01-0.471001E-01
 1. 45) = 0.109135 0.429563E-01
 1. 46) = 0.111107 0.399270E-01
 1. 47) = 0.116201 0.343797E-01
 1. 48) = 0.109300 0.429666E-01
 1. 49) = 0.495791E-01-0.664513E-01
 1. 50) = 0.111014 0.137375E-01
 1. 51) = 0.114651 0.407800E-01
 1. 52) = 0.170050 -0.170054E-01
 1. 53) = 0.177291 0.401044E-01

6. 12) = 0.124617 -0.716202E-02
 6. 13) = 0.127276 -0.146660E-01
 6. 14) = 0.124117 -0.346244E-02
 6. 15) = 0.207713E-01-0.851140E-01
 6. 16) = 0.153590 -0.495076E-02
 6. 17) = 0.170155 -0.019798E-02
 6. 18) = 0.122992 -0.725616E-01
 6. 19) = 0.120004 -0.117147E-01
 6. 20) = 0.140181 -0.136207E-01
 6. 21) = 0.114700 0.414787E-01
 6. 22) = 0.119943 0.760423E-01
 6. 23) = 0.111099 0.457116E-01
 6. 24) = 0.120000 0.346198E-01
 6. 25) = 0.120596E-020.114994E-01
 6. 26) = 0.798739E-010.009784E-01
 6. 27) = 0.959990E-010.607367E-01
 6. 28) = 0.909377E-010.571141E-01
 6. 29) = 0.104754 0.513377E-01
 6. 30) = 0.111107 0.457197E-01
 6. 31) = 0.108075 0.151569
 6. 32) = 0.957536E-010.600744E-01
 6. 33) = 0.956408E-010.595706E-01
 7. 10) = 0.977616E-01-0.700999E-01
 7. 11) = 0.166066 0.973701E-01
 7. 12) = 0.170153 0.979322E-01
 7. 13) = 0.179639 0.852348E-01
 7. 14) = 0.166461 0.974008E-01
 7. 15) = 0.977419E-01-0.951759E-01
 7. 16) = 0.166324 0.964557E-01
 7. 17) = 0.175674 0.944833E-01
 7. 18) = 0.229055 -0.118000E-02
 7. 19) = 0.108912 0.467906E-01
 7. 20) = 0.195905 0.972117E-01
 7. 21) = 0.114644 0.140504
 7. 22) = 0.127103 0.145234
 7. 23) = 0.108800 0.151536
 7. 24) = 0.129075 0.144082
 7. 25) = 0.901911E-01-0.142000E-01
 7. 26) = 0.069297E-010.800361E-01
 7. 27) = 0.150093 0.195614
 7. 28) = 0.162795 0.140643
 7. 29) = 0.123591 0.130092
 7. 30) = 0.107340 0.127340

2. 1) = 0.121125 0.460000E-01
 2. 2) = 0.040000E-010.704121E-01
 2. 22) = 0.902303E-010.754546E-01
 2. 23) = 0.790740E-010.809701E-01
 2. 24) = 0.917446E-010.746323E-01
 2. 25) = 0.900303E-020.101677E-01
 2. 26) = 0.888070E-010.694834E-01
 2. 27) = 0.154095 0.140879
 2. 28) = 0.167500 0.140879
 2. 29) = 0.177971 0.141377
 2. 30) = 0.187354 0.174791
 2. 31) = 0.959927E-010.607510E-01
 2. 32) = 0.954700 0.145644
 2. 33) = 0.954233 0.146679
 2. 34) = 0.950000 0.710034E-01
 2. 35) = 0.950000 0.171050E-01
 2. 36) = 0.957376 0.136943E-01
 2. 37) = 0.959927 0.744479E-02
 2. 38) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 39) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 40) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 41) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 42) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 43) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 44) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 45) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 46) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 47) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 48) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 49) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 50) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 51) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 52) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 53) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 54) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 55) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 56) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 57) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 58) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 59) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 60) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 61) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 62) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 63) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 64) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 65) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 66) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 67) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 68) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 69) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 70) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 71) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 72) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 73) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 74) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 75) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 76) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 77) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 78) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 79) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 80) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 81) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 82) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 83) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 84) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 85) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 86) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 87) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 88) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 89) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 90) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 91) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 92) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 93) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 94) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 95) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 96) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 97) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 98) = 0.954700 0.136943E-01
 2. 99) = 0.954700 0.744479E-02
 2. 100) = 0.954700 0.136943E-01

ER(21, 1) = 0.940300 - 0.112623E-01
 ER(21, 2) = 0.844476E-01 0.704940E-01
 ER(21, 3) = 0.999530E-01 0.572730E-01
 ER(21, 4) = 0.103716 0.534370E-01
 ER(21, 5) = 0.108397 0.476653E-01
 ER(21, 6) = 0.119565 0.413977E-01
 ER(21, 7) = 0.114995 0.148713
 ER(21, 8) = 0.998780E-01 0.566041E-01
 ER(21, 9) = 0.997193E-01 0.560997E-01
 ER(21, 10) = 0.913723E-01 0.635960E-01
 ER(21, 11) = 0.172526 0.912390E-01
 ER(21, 12) = 0.176471 0.866090E-01
 ER(21, 13) = 0.185912 0.783785E-01
 ER(21, 14) = 0.172929 0.913030E-01
 ER(21, 15) = 0.940906E-01 0.100714
 ER(21, 16) = 0.175780 0.902099E-01
 ER(21, 17) = 0.182132 0.879308E-01
 ER(21, 18) = 0.228720 0.112098E-01
 ER(21, 19) = 0.195622 0.891030E-01
 ER(21, 20) = 0.202028 0.897954E-01
 ER(21, 21) = 0.234232 0.424116
 ER(21, 22) = 0.262739 0.420228

ER(23, 18) = 0.955052 0.149587E-02
 ER(23, 19) = 0.188913 0.962991E-01
 ER(23, 20) = 0.195986 0.972121E-01
 ER(23, 21) = 0.116464 0.148504
 ER(23, 22) = 0.127184 0.145235
 ER(23, 23) = 0.101172 0.360763
 ER(23, 24) = 0.129035 0.144282
 ER(24, 1) = 0.103326E-01 0.108936E-01
 ER(24, 2) = 0.917546E-01 0.748165E-01
 ER(24, 3) = 0.106170 0.518462E-01
 ER(24, 4) = 0.109702 0.476572E-01
 ER(24, 5) = 0.114182 0.414373E-01
 ER(24, 6) = 0.120071 0.345997E-01

ER(21, 23) = 0.117077 0.140678
 ER(21, 24) = 0.137904 0.140404
 ER(22, 1) = 0.102437E-01 0.109002E-01
 ER(22, 2) = 0.910664E-01 0.747583E-01
 ER(22, 3) = 0.105532 0.521398E-01
 ER(22, 4) = 0.109151 0.479832E-01
 ER(22, 5) = 0.113522 0.418069E-01
 ER(22, 6) = 0.119460 0.350721E-01
 ER(22, 7) = 0.128687 0.144317
 ER(22, 8) = 0.105435 0.514601E-01
 ER(22, 9) = 0.105241 0.509555E-01
 ER(22, 10) = 0.892070E-01 0.705218E-01
 ER(22, 11) = 0.181714 0.102037E-01
 ER(22, 12) = 0.185447 0.775191E-01
 ER(22, 13) = 0.194580 0.682719E-01
 ER(22, 14) = 0.189130 0.822614E-01
 ER(22, 15) = 0.896485E-01 0.108556
 ER(22, 16) = 0.181077 0.809675E-01
 ER(22, 17) = 0.191305 0.707443E-01
 ER(22, 18) = 0.232603 0.258897E-01
 ER(22, 19) = 0.205144 0.786743E-01

ER(24, 7) = 0.129835 0.144282
 ER(24, 8) = 0.106069 0.511642E-01
 ER(24, 9) = 0.105872 0.506788E-01
 ER(24, 10) = 0.892144E-01 0.712501E-01
 ER(24, 11) = 0.182777 0.816893E-01
 ER(24, 12) = 0.186501 0.788829E-01
 ER(24, 13) = 0.195056 0.575160E-01
 ER(24, 14) = 0.183199 0.817257E-01
 ER(24, 15) = 0.896817E-01 0.109480
 ER(24, 16) = 0.186046 0.884139E-01
 ER(24, 17) = 0.195385 0.725510E-01
 ER(24, 18) = 0.233458 0.269445E-01
 ER(24, 19) = 0.206278 0.780184E-01
 ER(24, 20) = 0.213694 0.251581E-01

ER(22, 20) = 0.212007 0.884712E-01
 ER(22, 21) = 0.267777 0.417805
 ER(22, 22) = 0.370156 0.851127
 ER(22, 23) = 0.170708 0.348300
 ER(22, 24) = 0.149449 0.134548
 ER(23, 1) = 0.622598E-02 0.114977E-01
 ER(23, 2) = 0.780368E-01 0.804788E-01
 ER(23, 3) = 0.929998E-01 0.873092E-01
 ER(23, 4) = 0.998998E-01 0.513480E-01
 ER(23, 5) = 0.108774 0.316700E-01
 ER(23, 6) = 0.113107 0.472179E-01
 ER(23, 7) = 0.108827 0.378500
 ER(23, 8) = 0.942715E-01 0.607427E-01
 ER(23, 9) = 0.918448E-01 0.693300E-01
 ER(23, 10) = 0.975017E-01 0.886099E-01
 ER(23, 11) = 0.136812 0.975194E-01
 ER(23, 12) = 0.170123 0.929326E-01
 ER(23, 13) = 0.179272 0.857078E-01
 ER(23, 14) = 0.135881 0.758897E-01
 ER(23, 15) = 0.975017E-01 0.951700E-01
 ER(23, 16) = 0.148920 0.848012E-01
 ER(23, 17) = 0.175874 0.943875E-01

ER(24, 20) = 0.213694 0.781561E-01
 ER(24, 21) = 0.173112 0.140745
 ER(24, 22) = 0.148041 0.137040
 ER(24, 23) = 0.19816 0.144245
 ER(24, 24) = 0.204377 0.359282
 ER(24, 25) = 0.177437 0.140244
 ER(24, 26) = 0.148141 0.135246
 ER(24, 27) = 0.179856 0.144245

KAYNAKLAR

- [1] Bodurođlu, T., Elektrik Makinaları Dersleri, İ.T.Ü. İstanbul, Cilt 3, Kısım 1, Sayfa 180-188 1976.
- [2] Weedy, B. M., Electric Power Systems, John Wiley and Sons Ltd. Londra 1974.
- [3] Coomble, W., Digital Calculations of Short Circuit Currents in Large Complex Impedance Network, AIEE Trans., pt. 3 vol. 74, pp. 1394, 1956.
- [4] Elgerd Olle I., Electric Power Systems Theory an Introduction. McGraw Hill Book Company, Newyork, 1971
- [5] Stagg, G.W., and El abiad, A., Computer Method in Power System Analysis, McGraw Hill Book Com., Newyork, 1968.
- [6] El Abiad, A., Digital Calculations of Line to Ground Short Circuits by Matrix Method, Trans., AIEE, vol 79, part 3, pp. 1285, 1960.
- [7] Byerly, R.T., Digital Calculations of Power System Networks Under Faulted Conditions, Ibid, vol. 74, pp. 1285, 1955.
- [8] Lantz, M. J., Digital Short Circuit Solution of Power System Networks Including Mutual Impedance, Trans. AIEE vol. 76 pt. 3, pp. 1230-1235, 1957.
- [9] Siegel, J.W., Nodal Representation of Large Complex Element Network Including Mutual Impedance, Ibid, vol. 77 pp. 1276, 1958.

ÖZGEÇMİŞ

Yazar, Temmuz 1962, Kilimli- Zonguldak doğumludur. İlk okulu ve orta okul 1. sınıfı Çaycuma ilçesinde bitirmiş daha sonra ailesinin İstanbul'a yerleşmesi nedeni ile öğrenimine Vefa Lisesi'nde devam etmiştir. 1980 yılında İ.T.Ü. Elektrik Fakültesi'ne giren yazar 1984 yılında burayı bitirmiş ve aynı yıl yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Yazar halen İ.T.Ü. Sakarya Mühendislik Fakültesi'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.