

YILDIZ TEKNİK UNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Elektrik Şeb. Diak. Yard. Inc.

Yüksek Lisans Tezi

Zekeriya Konaç

1988

R 152
87

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK ŞEBEKELERİNİN
DİAKOPTİCS YARDIMIYLA İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

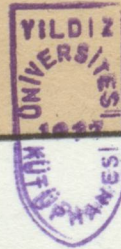
Elk. Müh. : ZEKERİYA KONAÇ

İstanbul — 1988

YILDIZ UNIVERSİTESİ
GENEL KİTAPLIĞI

R 152

Kot :
Alındığı Yer : 87
Fen Bilimleri East.
Tarih : 09/05/1991
Fatura :
Fiatı : 3500 TL
Ayniyat No : 1/3
Kayıt No : 47629
UDC : 621.3 378.242
Ek :



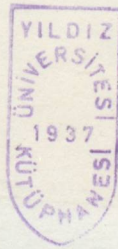
YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEŞEKKÜR

ELEKTRİK ŞEBEKELERİNİN
DIAKOPTICS YARDIMIYLA İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)



Elk.Müh. Zekeriya KONAÇ

İSTANBUL - 1988

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZET

SUMMARY

GİRİŞ

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında büyük yardımlarını gördüğüm, değerli fikir ve önerileri ile tezimde destek olan kıymetli hocam, Sayın Doç.Dr. Hüseyin ÇAKIR'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimin hazırlanması süresince bana her konuda yardımcı olan değerli arkadaşım Elk.Yük.Mühendis Ahmet TUNÇER'e de teşekkür ederim.

Öte yandan tezimin devamı süresince bana yardımcı olan, manevi güç ve destek sağlayan aileme'de teşekkür ederim.

TEZİN KONUSU VE KISALTIMLAR	26
1.1. Tez Konusu	26
1.2. Tezde Kullanılacak Bilgisayar Programları	27
1.3. Tezde Kullanılan Semboller	28
1.4. Tezde Kullanılan Kısaltmalar	29
1.5. Tezde Kullanılan İfade İşlemi	40
1.6. Tezde Kullanılan Gösterilerle İlgili Davranış	43
KAYNAKLAR	47
ÖZET	49

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZET

ÖZET

SUMMARY

GİRİŞ	1
1. BÖLÜM: ELEKTRİK ŞEBEKELERİNİN PARÇALAMA VE YENİDEN BİRLEŞTİRME YOLUYLA ANALİZİ (DİAKOPTİCS)	4
1.1. Giriş	4
1.2. Dügümlerden Parçalama Yoluyla Yapılan Diakoptics	5
1.3. Adım Adım Tersalma Yöntemi	11
2. BÖLÜM: DÜĞÜMLERDEN PARÇALAMA YOLUYLA YAPILAN DİAKOPTİCS'DE SPARSE DENKLEM SİSTEMLERİNİN ELDE EDİLMESİ	17
2.1. Giriş	17
2.2. Sparse Denklem Sistemlerinin Elde Edilmesi	17
3. BÖLÜM: DİAKOPTİCS YARDIMIYLA ELEKTRİK ŞEBEKELERİNİN DE ARIZA ANALİZİ	26
3.1. Giriş	26
3.2. Arıza Analizinde Kullanılacak Bilgisayar Programının Düzenlenmesi	27
3.3. Arızanın Çözümü	28
4. BÖLÜM: SONUÇ	38
EKLER	
EK-I. Piecewise Çözüm İşlemi	40
EK-II. Karşılıklı Çiftlerin İteratif Davranışı	45
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	49

ÖZET

Bu tezde elektrik enerji sistemlerinde bazı problemlerin Diakoptics yardımıyla incelenmesine ve çözülmesine ilişkin çalışmalar verilmiştir.

Birinci bölümde büyük boyutlu elektrik şebekelerinin analizinde komputer işlemlerinin ve bellek gereksinimlerinin azaltılması açısından yararlı bir yöntem olan diakoptics göz önüne alınmıştır.

İkinci bölümde diakoptics yardımıyla sparse devre denklemlerinin elde edilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Üçüncü bölümde diakoptics yardımıyla büyük elektrik şebekelerinde meydana gelen arızaların analizinin bilgisayarda programlanarak, çözümüne ilişkin bir yöntem incelenmiştir.

Dördüncü bölümde tezde anlatılanlara ilişkin değerlendirilmeler yapılarak kısaca açıklanmıştır.

SUMMARY

In this thesis, studies about investigating and solving some problems by the help of Diakoptics in electrical energy systems have been given.

In the first part, Diakoptics which is a useful method in decreasing the computer procedures and memory necessities of big dimensional electrical networks analyses.

In the third part by the help of Diakoptics a method of solving the big ilectrical network defects after analysing by the computer is investigated.

In the fourth part the evaluations about the thesis have been made and explained shortly.

$$Ax = B$$

biçiminde bir denklemler sisteminin çözümü gerektirmektedir.

Elektrik şebekelerinin topolojik özellikleri nedeniyle büyük boyutlu olan bir A matrisi olduğuna karşın (sıfır: bir) bir yapıdadır. Bu özellikteki katsayılar

G İ R İ Ş

Elektrik şebekeleri günümüzde tüketicilere elektrik enerjisinin taşınmasında kullanılmakta ve işletilmektedir.

Enerji sistemlerinin işletilmelerinde optimum işletme verimini elde etmek amacıyla farklı güç sistemlerini aralarında bağlayarak enterkonnekte şebekeler oluşturmak gerekmektedir.

Bu büyük şebekelerin analizinde computer kullanılması zorunluluk halini almıştır.

Böylece büyük boyutlu enerji şebekelerine ait problemlerin geniş boyutlarda incelenmesi mümkün olmaktadır. Ve ele alınan problemlerin en kısa zamanda çözümü sağlanabilmektedir.

Bara sayısının çok büyük olduğu elektrik şebekelerinin analizi A büyük boyutlu kare bir matris olmak üzere

$$Ax = B$$

biçiminde bir denklem sisteminin çözümünü gerektirmektedir.

Elektrik şebekelerinin topolojik özellikleri nedeniyle büyük boyutlu olan bir A matrisi oldukça sparse (sıfırı bol) bir yapıdadır. Bu özellikteki katsayılar

matrisleri birçok uygulamalarda karşımıza çıkar. Bu özellikten denklem sistemlerinin çözümünde yararlanılmak üzere yoğun bir çalışma yapılmış ve yeni bazı yöntemler geliştirilmiştir.

Bu çalışmalar diakoptics'in bir uzantısı olarak devam etmektedir.

Diakoptics'den amaç büyük boyutlu şebekelerin daha küçük alt-şebekelere ayrılması herbir alt-şebekeye ilişkin çözümlerin bulunması ve bu çözümler yardımıyla tüm şebekenin çözümünün elde edilmesidir.

Son yıllarda sparse matris tekniklerinin geliştirilmesi ve komputer hesaplarında kullanılmasının yararlarından dolayı diakoptics yolla sparse devre denklemlerinin elde edilmesine yönelik çalışmalar önem kazanmıştır.

Öte yandan diakoptics çalışmaları, verilen şebekenin daha küçük alt-şebekelere ayrılması işleminde tutulan yollar açısından da;

- Şebekeden eleman kaldırarak parçalama
- Şebekeyi düğümlerden parçalama

olmak üzere guruplanabilir.

Bugün diakoptics denilince genellikle bazı elemanların kaldırılmasıyla yapılan parçalama yoluyla analiz anlaşılmaktadır. Bu yolla yapılan parçalamada katsayılar matrisinin mertebesi kaldırılan eleman sayısı kadar artmaktadır.

Düğümlerden yapılan parçalamayla katsayılar matrisindeki bu büyüme ortadan kalkmaktadır.

İkinci bölümde şebeke alt şebekeler ayrılıyor. Burada alt şebekeler sadece bağlantı baraları göz önüne alınarak bu baraları uç kabul eden çok uçlu elemanlar olarak modellenmekte ve bu modellerden yararlanarak tüm şebekenin çözümü bulunmaktadır. Böylece sonuçta denklem sayısı oldukça küçültülmüş sparse devre denklemleri bulunmuştur.

Üçüncü bölümde diakoptics yardımıyla büyük elektrik şebekelerinde meydana gelen arızaların analizi bilgisayarda programlanarak çözümüne ilişkin bir yöntem incelenmiştir.

Bu tür elektrik şebekelerinin çözümünde olduğu kadar diğer fiziksel sistemlerin analizinde de kullanılan ve bilgisayar uygulamalarında yarar sağlayan bir yöntem "Yapısal ve Yeniden Doğrultulan Yöntem" dir (3).

1953-1955 yıllarında G.Kron ve denklemleri tabii biçiminde ayrıntılı modellenmiş sistemlerden oluşan bir şebekeye ilişkin bir barayı temsil eden bu modellerin yardımıyla hesaplayan bir yöntem geliştirmiştir (4).

Bu yöntem üç ana aşamadan oluşmaktadır:

1. Şebekedeki şebekelerin birbirinden yalıtılması ve daha küçük parçalara ayrılması,
2. Her alt şebekeye (küçük parçalara) ilişkin modellerin bulunması,
3. Alt şebekelere ilişkin modellerin (şebekelerin) kullanılmasıyla tüm şebekenin çözülmesi.

Şebekedeki alt şebekelere ayrılma değişik yollar incelenmektedir. Bunları gruplayacak olursak

BÖLÜM - 1

ELEKTRİK ŞEBEKELERİNİN PARÇALAMA VE YENİDEN BİRLEŞTİRME YOLUYLA ANALİZİ(DIAKOPTICS)

1.1. GİRİŞ

Bara sayısının çok büyük boyutlara ulaştığı elektrik şebekelerinin analizi $Ax=b$ biçiminde bir denklem sisteminin çözümünü gerektirmektedir.

Bu tür elektrik şebekelerinin çözümünde olduğu kadar öteki fiziksel sistemlerin analizinde de kullanılan ve komputer uygulamalarında yarar sağlayan bir yöntem "Parçalama ve Yeniden Birleştirme Yöntemi" dir (3).

1953-1954 yıllarında G.Kron uç-denklemleri $e=Z \cdot i$ biçiminde alınarak modellenmiş alt-sistemlerden oluşan bir şebekede bilinmeyen bara gerilimlerini bu modellerin yardımıyla hesaplayan bir yöntem geliştirmiştir (4).

Bu yöntem üç ana aşamadan oluşmaktadır:

1. Büyük boyuttaki şebekelerin birbirinden yalıtılmış ve daha küçük parçalara ayrılması,
2. Her alt şebekeye (küçük parçalara) ilişkin modellerin bulunması,
3. Alt-şebekelere ilişkin modellerin (çözümlerin) kullanılmasıyla tüm şebekenin çözülmesi.

Şebeke alt-şebekelere ayrılırken değişik yollar izlenmektedir. Bunları gruplayacak olursak

- a) Şebekeden eleman kaldırarak alt-şebekelere ayırma,
- b) Şebekeyi düğümlerden parçalama.

Genel anlamda diakoptics'den anlaşılan eleman kaldırılarak yapılan alt-şebekelere ayırma yöntemidir. Fakat şebekeden eleman kaldırarak elde edilen alt-şebekelere ayırma yönteminde kaldırılan elemanların tümünün şebekenin bir alt-şebekesini oluşturduğu göz önüne alınacak olursa, bu parçalama işlemine de düğümlerden parçalama işleminin özel bir hali olarak bakılabilir.

Eleman kaldırılarak yapılan diakoptics'de bilinmeyen bara gerilimlerinin hesabında bara gerilimlerinin yanında kaldırılan elemanların akımlarında değişken olarak tutulmakta olup bu ise devre denklemlerinin karma biçimde elde edilmesine ve katsayılar matrisinin boyutlarının kaldırılan eleman sayısı kadar büyümesine neden olmaktadır. Düğümlerden yapılan parçalamayla katsayılar matrisindeki bu büyüme ortadan kaldırılabilir.

Düğümlerden parçalama yoluyla yapılan diakoptics'de (3) bilinmeyen uç gerilimlerinin belirlenmesi için gereken matris ters alma işlemini daha küçük matrislerin tersi alınarak, adım adım gerçekleştirilen bir algoritma gerçekleştirilmiştir.

1.2. DÜĞÜMLERDEN PARÇALAMA YOLUYLA YAPILAN DİAKOPTİCS:

İlk adımda verilen şebeke bazı baralarından parçalanarak daha küçük alt-şebekelere ayrılmaktadır. Bu yöntemde amaç birlikte çözülecek (Simultaneus) denklem sayısını küçültmek olduğundan, bu alt şebekeleri sadece parçalamanın yapıldığı baraları uç kabul eden çok-uçlu elemanlar olarak göz önüne almak yararlı olmaktadır.

Verilen karmaşık bir (D) şebekesinin analizi böylece iç yapıları daha az karmaşık olan (D_i), i=1,2,...,K alt-şebekelerinin analizine dönüştürmektedir.

Diakoptics'de ikinci adım her biri çok uçlu bir eleman olarak göz önüne alınan alt-şebekelere ilişkin matematiksel modellerin elde edilmesi gerekmektedir. Literatürde çok iyi bilinen yöntemlerle bu modeller hesaplanabilir (3,5,6).

Burada genel durumu yansıtması açısından, matematiksel modelleru bulunacak alt-şebekelerin akımın gerilim kaynaklarındaki içine alan 2 uçlu elemanlardan oluştuğu kabul edilmiştir.

Bu tür bir çok uçlunun matematiksel modelinin nasıl elde edileceği aşağıda açıklanmıştır. Referans (3)'de bu işlemler admitans parametreleri kullanılarak yapılmıştır. Burada ise değişiklik yapılarak empedans parametreleri kullanılmıştır.

D_i ile gösterilen bir alt-şebekenin, seçilen bir (T_i) uç grafına ilişkin uç-denklemlerinin empedans parametreleriyle ifade edilmesi isteniyorsa, KAY (Kiriş Akımları Yöntemi) kullanılması söz konusudur. 2-uçlu elemanlar, akım ve gerilim kaynaklarından oluşan bir alt şebekede aynı ağaca ilişkin temel çevre ve temel kesitleme denklemleri sırasıyla

$$\begin{bmatrix} B_1 & B_2 & \vdots & U \\ B_3 & B_4 & \vdots & U \\ B_5 & B_6 & \vdots & U \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e \\ v_d \\ v_k \\ v^* \\ v_j \end{bmatrix} = 0 \quad (1.1.1)$$

$$\begin{bmatrix} U \\ \vdots \\ U \\ \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -B_1^T & -B_3^T & -B_5^T \\ -B_2^T & -B_4^T & -B_6^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_e \\ i_d \\ i_k \\ i^* \\ J \end{bmatrix} = 0 \quad (1.1.2)$$

biçiminde yazılabilir. Burada (i_e, e) ve (J, V_j) , sırasıyla (D_i) alt-şebekesinde bulunan gerilim ve akım kaynaklarına ilişkin büyüklüklerdir. (i^*, V^*) çok-uçlunun aranılan matematiksel modelinin elde edilebilmesi için verilen alt-şebekenin (T_i) ile belirlenen kapılarına bağlanması gereken akım kaynaklarına ilişkin akım ve gerilim büyüklüklerini göstermektedir. (i_d, V_d) ve (i_k, V_k) da, sırasıyla alt-şebekenin (T_i) grafiindeki dal ve kırışlere ilişkin akım ve gerilim büyüklükleridir. Devredeki 2-uçlu elemanların uç denklemleri,

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_d \\ Z_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_k \end{bmatrix} \quad (1.1.3)$$

biçiminde alınacaktır. (2.1.1) de, kırış gerilimleri dal gerilimleri cinsinden ifade edildikten sonra (2.1.3) uç denklemlerinde yerine konularak elde edilen ifade (2.1.2) deki kesitleme denklemleri yardımıyla yeniden düzenlenirse

$$i_k = Z_1^{-1} Z_2 (-i^*) - |B_1 Z_3| \begin{bmatrix} e \\ j \end{bmatrix} \quad (1.1.4)$$

elde edilir. Burada $Z_1 = (Z_k + B_2 Z_d B_2^T)$, $Z_2 = B_2 Z_d B_4^T$ ve $Z_3 = B_2 Z_d B_6^T$ bağıntılarıyla verilmiştir. Kapılara bağlanan akım kaynaklarının v^* gerilimleri (1.1.2) den, e ve V_d

cinsinden bellidir. (1.1.3) den $V_d = Z_d \dot{I}_d$ olup, (1.1.2) kesitleme denklemleri gözönüne alınır,sa,

$$V^* = Z_4 (-\dot{I}^*) - Z_2^T \dot{I}_k - |B_3 Z_5| \begin{bmatrix} e \\ j \end{bmatrix} \quad (1.1.5)$$

bulunur. Burada $Z_4 = B_4 Z_d B_4^T$ ve $Z_5 = B_4 Z_d B_6^T$ dir. \dot{I}_k 'nin (1.1.4) deki ifadesi (1.1.5) de yerine konur. Ve çok-uç-luya ilişkin (v, i) uç-büyükükleri ile kapılara bağlı kaynaklara ilişkin (v^*, i^*) büyükükleri arasındaki $v^* = v$ ve $-\dot{I}^* = i$ bağıntıları gözönüne alınır,sa, çok-uçlunun aranılan uç-denklemleri,

$$v = Z_i \dot{I} + k \quad (1.1.6)$$

biçiminde elde edilir. Burada,

$$Z = Z_4 - Z_2^T Z_1^{-1} Z_2$$

ve

$$k = - |Z_2^T B_1 + B_3 : Z_2^T Z_3 - Z_5| \begin{bmatrix} e \\ --- \\ j \end{bmatrix} \quad (1.1.7)$$

ifadesiyle verilmiştir. Demek ki, (D_i) alt-şebekesinin (T_i) uç-grafına ilişkin uç denklemleri

$$V_i = Z_i \dot{I}_i + k_i \quad (i=1,2,\dots,k) \quad (1.1.8)$$

biçiminde olacaktır.

Parçalama ve Yeniden birleştirme yönteminde üçüncü adım, (D_i) çok uçlu elemanlarını birbirine bağlayarak (D) şebekesini yeniden oluşturmaktır. Çok uçluların bağlantı biçimi belli olduğundan bunlara ilişkin (T_i) uç graflarının birlikte oluşturdukları

$$G = \sum_{i=1}^k U_i T_i$$

grafıda bellidir. Bu bilgilerden (D) şebekesinin analizi yapılabilir. Ve böylece (D_i) alt-şebekelerine ilişkin bütün uç-gerilimleri ve uç-akımları belirlenebilir. Burada (D_i) lerin (T_i) lere ilişkin uç denklemleri (1.1.8) biçiminde olduğundan analiz için bu kezde KAY kullanılacaktır.

(G) bağlantı grafında seçilen bir T ağacı için (2.1.8) de ki uç denklemlerinin tümü

$$\begin{bmatrix} V_D \\ V_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_D \\ Z_K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_D \\ I_K \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_D \\ K_K \end{bmatrix} \quad (1.1.9)$$

biçiminde yazılabilir. Burada Z_D ve Z_K blok-köşegen matrisleridir. (G) grafında (T) ye ilişkin temel çevre denklemleri,

$$|B \quad U| \begin{bmatrix} V_D \\ V_K \end{bmatrix} = 0$$

biçimindedir. Öte yandan, (D_i) lere ilişkin tüm uç-akımları giriş akımlarına bağlı olarak,

$$\begin{bmatrix} I_D \\ I_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B^T \\ U \end{bmatrix} I_K$$

biçiminde ifade edilebilirler. (Giriş dönüşümü) (7)

(1.1.10) da önce (1.1.9) ifadesi, daha sonra da (1.1.11) ifadesi yerine konularak düzenleme yapılırsa, bilinmeyen giriş akımları,

$$I_k = -|Z_k + BZ_D B^T|^{-1} |B \quad U| \begin{bmatrix} K_D \\ K_K \end{bmatrix} \quad (1.1.12)$$

olarak bulunur. Buna göre, (1.1.11)'den,

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_D \\ \dot{I}_K \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} B^T \\ U \end{bmatrix} |Z_K + BZ_D B^T|^{-1} |B \Gamma U| \begin{bmatrix} K_D \\ K_K \end{bmatrix} \quad (1.1.13)$$

olur. Bu ifade (2.1.9) daki uç-denklemlerinde yerine konarak,

$$\begin{bmatrix} V_D \\ V_K \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} Z_D \\ Z_K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B^T \\ U \end{bmatrix} |Z_K + BZ_D B^T|^{-1} |B U| \begin{bmatrix} K_D \\ K_K \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_D \\ K_K \end{bmatrix} \quad (1.1.14)$$

bağıntısı elde edilir.

Buraya kadar yapılan işlemlerde, verilen şebekede şebekenin parçalandığı baralara (ya da ilgilenilen baralara) ilişkin bilgiler elde edilmiştir. (D_i) lerin içinde yer alan baralara ilişkin gerilimlerin belirlenmesi istenirse, (D_i) alt-şebekelerinin matematiksel modelleri kurulurken elde edilen bağıntılara geri dönmek gerekir. Yapılacak bu işlemlere Diakoptics'in dördüncü adımı gözıyla bakılabilir. Gerçekten (1.1.2) ve (1.1.3) den, (D_i) lerin içindeki baralara ilişkin V_d gerilimleri

$$V_d = Z_d \dot{I}_d = Z_d |B_2^T \ B_4^T \ B_6^T| \begin{bmatrix} i_k \\ i^* \\ j \end{bmatrix} \quad (1.1.15)$$

bağıntısıyla bellidir. Burada i_k nin ifadesi (2.1.4) de verilmiştir. i^* ise, (1.1.13) deki akımın negatifine eşittir. Görüldüğü üzere bara gerilimlerinin belirtilmesinde (D_i) ler için bulunan (1.1.4) deki $Z_1 = Z_K + B^T Z_D B$ matrislerinin terslerinin bulunması gerekir. (D) nin parçalanması nedeniyle bu matrislerin boyutları oldukça küçüktür. Genel olarak (D_i) alt-şebekelerinin iç yapılarını basitleştirmek için bunların sayıları artırılabilir. Ancak Z_1 lerin boyutlarının küçülmesine karşılık bu durumda Z_A nin boyutları artacaktır.

1.3. ADIM ADIM TERS ALMA YÖNTEMİ:

Düğümlerden parçalama yoluyla yapılan Diakoptics' de uç-gerilimlerini belirlemek için

$$|U \quad Q_1| \begin{bmatrix} Y_1 \\ \\ Y_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ \\ Q_1^T \end{bmatrix} = Y_1 + Q_1 Y_2 Q_1^T$$

biçiminde bir matris tersinin hesaplanması gerekmektedir.

Bu matris, sistemi oluşturan tüm çok uçlu elemanların birbirleriyle aynı zamanda bağlanmaları durumunda elde edilmiştir. Matris temel alma işlemini kolaylaştırmak amacıyla çok uçlu elemanları birbirleriyle birkaç adımda bağlama yoluna gidilebilir. Böylece her adımda daha küçük matrislerin terslerini almak yeterli olur. Uç denklemleri admitans parametreleriyle verilmiş olan iki çok uçlu elemanın birbirleriyle bağlanmaları durumunda bu çok uçluların ortak uç sayısı mertebesinde tersinin alınması gerekmektedir.

Verilen şebekenin, N olan parçalama baralarından (uç barası, bağlantı barası), K tane alt şebekeye ayrıldığı varsayılırsa, bu durumda düğüm gerilimlerinin sayısı N-1 olarak bellidir. Bu sayı, adım adım ters alma yönteminde yok edilecek bara sayısı yada tersi alınacak matrisin mertebesidir. Yöntemde, her adımda sadece bir alt-şebekenin devreye sokulmasıyla tüm şebeke oluşturulmaktadır.

Bu ise K parçalı şebekede K-1 adımda gerçekleştirilebilir. Başka bir deyişle adım adım ters alma (yoketmede) adım sayısı K-1 dir. O halde mertebesi N-1 olan bir matrisin tersinin K-1 adımda alınması gerekmektedir. Her adımda tersi alınması gereken matrisin mertebesi $n_i (i=1,2, \dots, K-1)$ ile gösterilirse, K-1 adımda bu matrislerin mertebeleri toplamı

$$\sum_{i=1}^{K-1} n_i = N-1 = \text{Sabit} \quad (1.1.16)$$

olarak bellidir. Burada hem komputer işlem sayısı P nin, hemde bellek sayısı Q nun minimum eldesi söz konusudur.

$$P = \sum_{i=1}^{K-1} n_i^3 \text{ ve } Q = \sum_{i=1}^{K-1} n_i^2$$

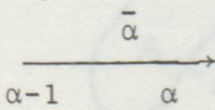
biçiminde ifade edilebilen bu büyüklüklerin minimize edilmesi gerekir. Lagrange çarpanları yöntemiyle (1.1.16) koşulu altında (P+Q) nun minimum aranır

$$n_1 = n_2 = \dots = n_{k-1}$$

olduğu görülür. Demekki her adımda tersi alınması gereken matrisin boyutu, ideal halde

$$\bar{\alpha} = \frac{\text{Yok edilecek bara sayısı}}{\text{Yok etmedeki adım sayısı}} = \frac{N-1}{K-1} \quad (1.1.17)$$

bağlantısıyla verilebilir. Genel olarak $\bar{\alpha}$ tamsayı olmayacağından en uygun matris boyutu, $\bar{\alpha}$ ya en yakın tam sayılar olacaktır. Daha açıkçası bu matrislerin mertebesi ya $\bar{\alpha}$ dan büyük tamsayıların en küçüğü α , ya da $\bar{\alpha}$ dan küçük tamsayıların en büyüğü $\alpha-1$ olacaktır.



$\bar{\alpha}$ tam sayı değilse, matrislerin rütbesinin mertebelerinin α yada $\alpha-1$ olması mümkün değildir.

Bu nedenle bunların bir kısmı α , bir kısmında $\alpha-1$ boyutunda olacaktır. Daha açıkçası bunlardan m_1 tanesini $\alpha-1$ boyutunda kabul edilirse, geriye kalan $m_2 = K-1-m_1$ tanesinde α boyutunda olacaktır. Buna göre

$$m_1(\alpha-1)+m_2\alpha=N-1$$

ya da

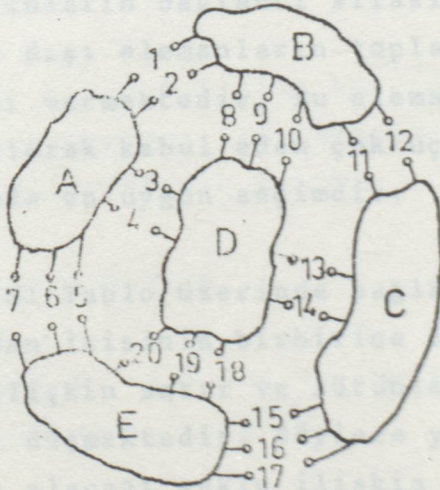
$$m_1(\alpha-1)+(K-1-m_1)\alpha=N-1$$

yazılabilir. Buradan

$$m_1=(K-1)\alpha-(N-1) = \text{tam sayı}$$

olarak elde edilir. Böylece uygun bağlamada tersi alınacak matrislerden kaç tanesinin mertebesinin $\alpha-1$ olacağı bellidir (7).

Örnek olarak $N=20$, $K=5$ olan bir şebeke göz önüne alınsın. Burada $\bar{\alpha}=4,75$ olarak bulunur. Buna göre $\alpha=5$ ve $\alpha-1=4$ olacaktır. Yukarıda bulunan bağıntılardan $m_1=1$ ve $m_2=3$ olduğu hesaplanabilir. Bu durumda bir tane 4., 3 tane 5. mertebeden matrisin tersinin alınması gerekmektedir.



Şekil-1.1.A,B,C,D,E çok uçlularından oluşan örnek şebeke.

Şekil (1.1) de verilen örnek için çok uçluların bağlantı durumları ile ilgili tablolar görülmektedir.

Tablo-I

	A	B	C	D	E
A	7	2	-	2	3
B	2	7	2	3	-
C	-	2	7	2	3
D	2	3	2	10	3
E	3	-	3	3	9

Tablo-II

AE	B	C	D
10	2	3	5
2	7	2	3
3	2	7	2
3	3	2	10

Tablo-III

AED	B	C
10	5	5
5	7	2
5	2	7

Tablo-IV

7	7
7	7

Tablo I de görülen köşegen üzerindeki değerler çok uçulların bara sayısını, köşegen dışı değerler ise çok uçulların ortak bağlantı baralarının sayısını göstermektedir. Buna göre çok uçulların birbirleriyle bağlanmalarında bu adımda tersi alınması gereken matrislerin mertebelerini vermektedir. Köşegen dışı elemanların kontrol edilmesiyle çok uçulların bağlantı sırasını tespit etmek mümkündür. Köşegen dışı elemanların toplamı bu adımda şebekenin bara sayısını vermektedir. Bu elemanların en büyüğünü ortak eleman olarak kabul eden çok uçulların birleştirilmeleri bu adımda en uygun seçimdir.

YÖNTEM: Tablo üzerinde bağlantı durumları verilen çok uçullardan ikisinin birbirine bağlanması tabloda iki çok uçluya ilişkin satır ve sütunların aralarında toplanmasına karşı düşmektedir. Böylece yapılan bağlantıdan sonra şebekenin alacağı şekle ilişkin tablo elde edilmiş olacaktır.

ALGORİTMA:

Birinci Adım: Tablo A.ve E. satır ve sütunlar kendi aralarında bağlanarak Tablo II elde edilir. Bu işlemle A ve E çok uçlularının ortak baraları yok edilmiş ve 3. mertebeden bir matrisin tersi alınmıştır.

İkinci Adım: Tablo I den en büyük köşegen dışı eleman tespit edilerek AE ile D çok uçlularının bağlanmalarının bu adımda uygunluğu belirlenir. AE. ve D. satır sütunları kendi aralarında toplanarak Tablo III oluşturur. Bu adımda 5. dereceden bir matrisin tersi alınmıştır.

Üçüncü Adım: Tablo III de en büyük köşegen dışı eleman 5 olduğu için AED ile C çok uçlularına ilişkin satır ve sütunlar aralarında toplanarak Tablo IV elde edilir. Bu adımda 5. mertebeden bir ters alma işlemi gerekmektedir.

Dördüncü Adım: Örnek için son adımdır. Tablo III de köşegen dışı eleman bir tanedir bu eleman 7 olduğuna göre, bara gerilimlerinin bir referans baraya göre belirlenmesi nedeniyle bu son adımda 7. mertebeden değil 6. mertebeden bir matris tersi alınarak bu gerilimler bulunur.

SONUÇ: A,B,C,D,E gibi boş çok uçlu elemandan oluşan şebekede algoritma ile belirlenen sırada bağlanırsa tersi alınan matrislerin toplamı

$$3+5+5+6 = N-1=19$$

olacak biçimde 3., 5., 5., 6., mertebeden matrislerin terslerinin alınması gerekir.

Öteki bağlantı dizileri gözönüne alınırca,

- 1- A ile E birleştirilerek (3,5,5,6)
- 2- C ile E birleştirilerek (3,5,5,6)
- 3- B ile D birleştirilerek (3,4,6,6)
- 4- D ile E birleştirilerek (3,5,5,6)

Daha önce hesapladığımız gibi ideal çözüm (4,5,5,5) dir. Matrislerin terslerinin alınmasında komputerde yapılan işlem sayısı n matris boyutu olmak üzere n^3 , katsayılar matrisinin tutulmasında bellek sayısı n^2 ile göz önünde tutularak karşılaştırma yapılırsa

İdeal Çözümde İşlem sayısı $P=4^3+5^3+5^3+5^3 = 439$

Bellek $Q=4^2+5^2+5^2+5^2 = 91$

Uygun Çözümde İşlem sayısı $P=3^3+5^3+5^3+5^3 = 495$

Bellek $Q=3^2+5^2+5^2+5^2 = 95$

Uygun Olmayan Çözümde İşlem Sayısı $P=3^3+4^3+6^3+6^3 = 523$

$Q=3^2+4^2+6^2+6^2 = 97$

bulunur. Uygun çözümde işlem ve bellek sayısı gereksiniminin daha az olduğu görülmektedir.

1-2. SPARSE DENKLEMLERİNİN ELDE EDİLMESİ:

Sparses denklem sistemini elde etmek için düğümlere bir parçalanma yöntemi kullanıldığı takdirde alt çabekeler çok azdır ve dolayısıyla analiz sonucu kadar tutulması gerekmektedir. Literatürdeki çalışmalara uygun olarak bakıldığında ve karşılaştırma yapılabilir sonuçlarla karşılaştırma gereksinimlerini kullanacaktır.

3 üçlü elemanlar, skin ve gevilme katmanlarında oluşan (b) alt çabekesi çok üçlü bir eleman olarak görülmektedir. Bu alt çabekesinin matematiksel modelini

BÖLÜM - 2

DÜĞÜMLERDEN PARÇALAMA YOLUYLA YAPILAN DIAKOPTİCS'DE SPARSE DENKLEMLERİNİN ELDE EDİLMESİ

2.1. GİRİŞ:

Diakoptics'de çalışmalar genellikle büyük boyutlu şebekelerin analizinde ortaya çıkan devre denklemlerini sparse bir denklem sistemi olarak elde etmektir. Söz konusu edilen denklemlerin sparse matris teknikleri ile çözülmesi kompüter açısından ekonomi sağladığı bilinmektedir.

Tezin bu bölümünde düğümlerden parçalama yoluyla yapılan diakoptics'de sparse denklem sistemlerinin, yöntemin doğal bir sonucu olarak topolojik zorlama ve kısıtlamaya gerek kalmaksızın elde edilebileceğini göstermektedir.

2.2. SPARSE DENKLEMLERİNİN ELDE EDİLMESİ:

Sparse denklem sistemini elde etmek için düğümlerden parçalama yöntemi kullanıldığı takdirde alt şebekeler yok edilirken dal gerilimlerinin analiz sonuna kadar tutulması gerekmektedir. Literatürdeki çalışmalara uygunluğu bakımından ve karşılaştırma yapabilmek amacıyla sınıtans parametrelerini kullanacağız.

2 uçlu elemanlar, akım ve gerilim kaynaklarında oluşan (D) alt şebekesi çok uçlu bir eleman olarak göz önüne alındığında bu alt şebekenin matematiksel modelini

elde etmek üzere bu çok uçlunun kapılarından gerilim kaynaklarıyla uyarılması gerekir. Bu uyarma biçimine ilişkin devre grafından yararlanarak yazılacak olan temel kesitleme ve temel çevre denklemleri aşağıdaki biçimde olur.

$$\begin{bmatrix} U & \vdots & Q_1 & Q_2 \\ & U & \vdots & Q_3 & Q_4 \\ & & U & \vdots & Q_5 & Q_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_e \\ i^* \\ i_d \\ i_k \\ j \end{bmatrix} = 0 \quad (2.2.1)$$

ve

$$\begin{bmatrix} -Q_1^T & -Q_3^T & -Q_5^T & \vdots & U \\ & -Q_2^T & -Q_4^T & -Q_6^T & \vdots & U \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e \\ v^* \\ v_d \\ v_k \\ v_j \end{bmatrix} = 0 \quad (2.2.2)$$

uyarıcı gerilim kaynaklarına ilişkin graf elemanları alt-şebekesi (T_i) uç-grafını oluşturmaktadır.

Alt şebekeyi oluşturan 2 uçlu elemanların uç denklemleri de,

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_d \\ \\ \\ Y_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_d \\ v_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} J_d \\ J_k \end{bmatrix} \quad (2.2.3)$$

biçiminde alınabilir. (2.2.1) den, dal akımları

$i_d = -Q_5 i_k - Q_6 j$ bağıntısıyla bellidir. Bu bağlantıda önce (2.2.3) uç denklemleri yerine konulup daha sonra 2.2.2'deki giriş gerilimlerinde kullanılarak gerekli işlemler yapılarak

$$Y_1 V_d + Y_2 v = - |Y_3 \ Q_6| \begin{vmatrix} e \\ j \end{vmatrix} - |U \ Q_5| \begin{vmatrix} j_d \\ j_k \end{vmatrix} \quad (2.2.4)$$

bağıntısı elde edilir.

$$\text{Burada } v = v^*, y_1 = y_d + Q_5 Y_k + Q_5^T$$

$Y_2 = Q_5 Y_k Q_3^T$ ve $Y_3 = Q_5 Y_k Q_1^T$ alınmıştır. (2.2.1) den kapıları uyaran gerilim kaynaklarına ilişkin akımlar

$$-i^* = Q_3 i_k + Q_4 j \quad (2.2.5)$$

biçiminde ifade edilir. (2.2.3) den $i_k = Y_k V_k + J_k$ (2.2.5) de yerine konulup (2.2.2) den de kriz gerilimlerinin ifadesi göz önüne alınırsa çok uçlunun uç akımları

$$i = i^* \text{ için}$$

$$i = Y_2^T V_d + Y_4 v + |Y_5 \ Q_4| \begin{vmatrix} e \\ j \end{vmatrix} + Q_3 j_k \quad (2.2.6)$$

bağıntısı elde edilir. Burada, $Y_4 = Q_3 Y_k Q_3^T$ ve $Y_5 = Q_3 Y_k Q_1^T$ dir. Böylece alt-şebekeye ilişkin uç denklemleri seçilen (T) uç-grafı için (2.2.4) ve (2.2.6) bağıntılarıyla verilmiş olmaktadır.

Bir (D) şebekesinin çok sayıda (D_i) alt-şebekelelerinden oluştuğu varsayılırsa, her bir alt-şebeke için seçilen (T_i) uç-graflarına ilişkin bu uç denklemleri,

$$Y_1^i V_d^i + Y_2^i V^i = k_1^i \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (2.2.7)$$

bağıntıları sağlamak üzere

$$i^i = (Y_2^i)^T V_d^i + Y_4^i V^i + k_2^i \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (2.2.8)$$

biçiminde olacaktır.

$$\begin{bmatrix} i_D \\ \vdots \\ i_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_2^{1T} \\ Y_2^{2T} \\ \vdots \\ Y_2^{nT} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_d \\ \vdots \\ V_D \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{2D} \\ \vdots \\ K_{2K} \end{bmatrix} \quad (2.2.14)$$

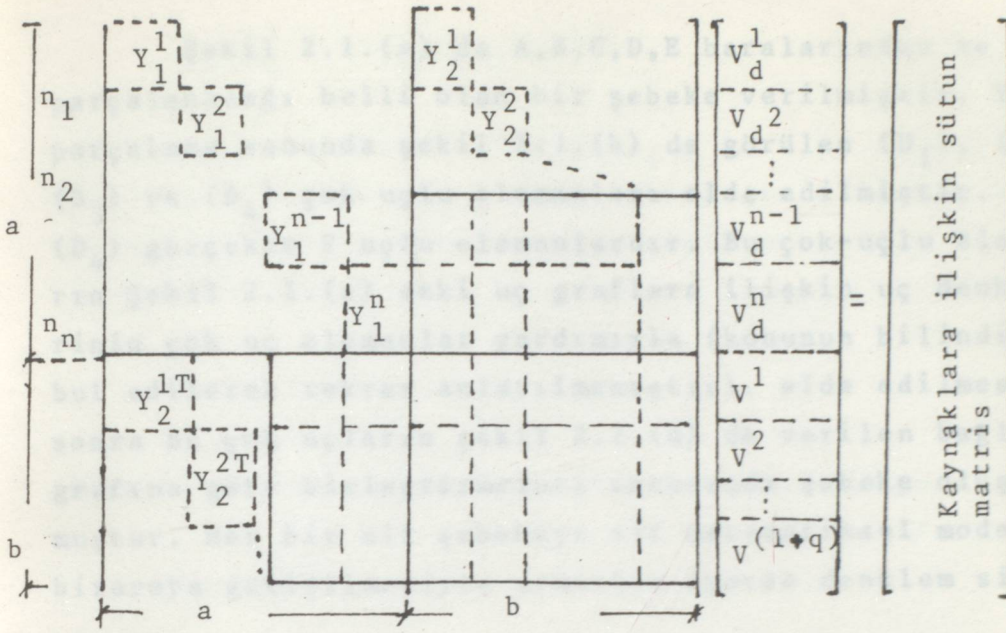
denklem sistemi elde edilir. (2.2.11) bağıntısı göz önüne alınırsa, (2.2.14) nin her iki yanı soldan (2.2.11) deki katsayılar matrisiyle çarpılırsa

$$\begin{bmatrix} \dots \\ \dots \\ \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_d \\ \dots \\ V_D \end{bmatrix} = [U \quad Q] \begin{bmatrix} K_{2D} \\ \dots \\ K_{2K} \end{bmatrix} \quad (2.2.15)$$

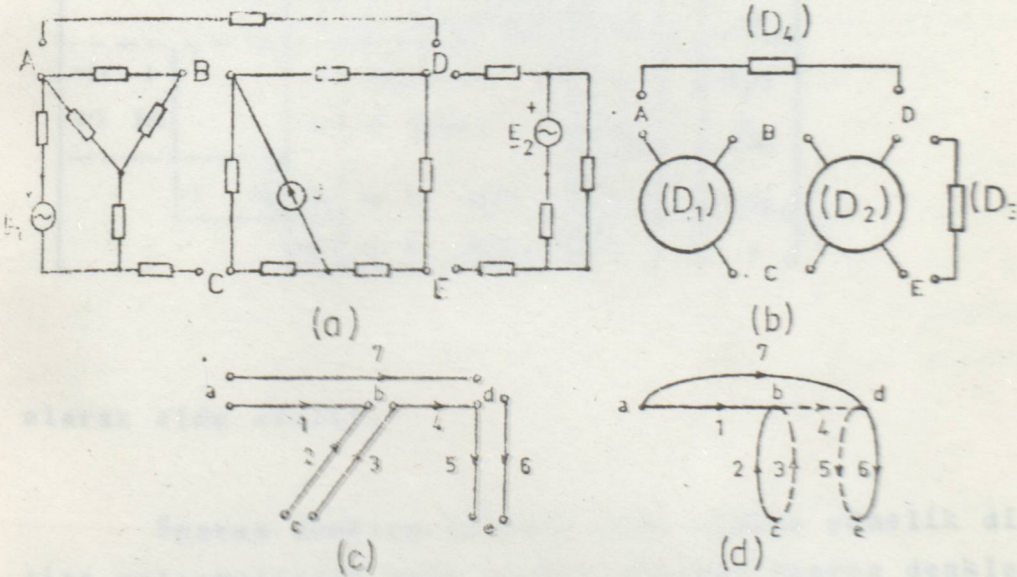
biçiminde bir ifade elde edilebilir. Öte yandan (2.2.7) bağıntıları (2.2.15) ile birlikte gözönüne alınırsa, aranan sparse denklem sistemi, (2.4.16) daki biçimde bulunur. Burada (a), şebekeyi oluşturan çok-uçlularda bağlantı baraları dışında kalan bara sayısını, (b) de G bağlantı grafında alınan bir referans baraya göre, dal gerilimlerinin sayısını göstermektedir. Buna göre bağlantı grafi G de, N bara varsa

$$b=N-1$$

olacaktır. Bu matriste (a+b) ise tüm şebekedeki dal sayısı (gerilimleri) olarak bellidir.



ÖRNEK: Dügümlerden parçalama yoluyla Diakoptics'de ortaya çıkan devre denklemlerinin sparse bir denklem sistemi olarak elde edilmesi Ref (10). S.(136). P.4.9.1'de göz önüne alınan problemin çözülmesi:



Şekil-2.1. Sparse denklem elde edilmesini göstermek üzere, örnek.

$$\beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_k + \beta_{k+1} = N-1$$

bağıntısı yazılabilir. Burada $\beta_i = i = 1, 2, \dots, k$ blok matrislerin boyutunu, β_{k+1} de yan band genişliğini, $N-1$ ise katsayılar matrisinin boyutunu göstermektedir. Burada optimum boyut koşulu

$$\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_{k+1} = \beta$$

gözönüne alınırsa, optimum çözümün teorik değeri

$$\beta = \frac{N-1}{k+1}$$

olarak elde edilir.

BÖLÜM - 3

DIAKOPTICS İLE PROGRAMLAMA

3.1. GİRİŞ:

Bu program güç sistemi simülasyon programlarının bir entgere paketinin dengesiz hata analiz modülünü tarif eder (8).

Bu hesap yönteminin kullanılmasının önemli nedenlerinden biri, güç sistem mühendislerinin sistem modülündeki yüksek derecede detayın gerektiği problemlerin kullanılması ihtiyacıdır.

Bu programların dizaynındaki amaçlardan biride sistem modülündeki, çıkışta olağanüstü şartları kullanabilme kabiliyeti ve çok yüksek derecedeki esnekliktir.

Bu yüzden bir çok geleneksel arıza analiz programları hata yakınlığında çıkış şartlarıyla sınırlıyken bu program şebekenin bütün noktalarındaki squence faz gerilimi ve akımlarının hesaplanmasını sağlar. İstek üzerine bulunan çıkışın, mühendisin kullanmasına kolayca sunulabilir.

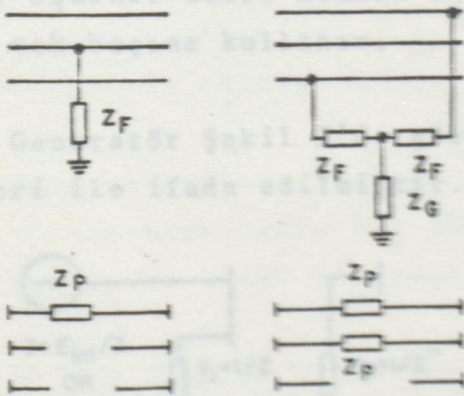
Program paketinin yapısı hakkındaki bilgi kaynak (9) den temin edilebilir.

3.2. ARIZA ANALİZİNDE KULLANILACAK BİLGİSAYAR PROGRAMININ DÜZENLENMESİ:

Arıza analizinin hesaplama görevini kolaylaştırmak için sık sık yapılan basitleştirmelerin çoğu burada kullanılmıyor. Özellikle bu program a,b,c,d,e şıklarının kesin davranışını içermektedir.

- Bütün dalların direnç, reaktans ve şarj suseptans,
- Toprağa göre şönt admitans olarak ($G+j\beta$) temsil edilen yükler,
- Nominal dönüşüm oranı,
- Generatör iç gerilimi esas durumda yük akışı ile saptandığı gibi gerak büyüklük ve fazda kurulur.
- Sıfır squence devrede müşterek kuplas daldan da la büyük gruplardır.

Şekil 2'de gösterilen programdaki arıza modellerinin tipleridir.



Şekil-2. Programdaki arıza modellerinin tipleri.

Program kullanıcıya üç ardışık parçanın çıkışını ve herhangi bir veya bütün dal gerilimleri ve akımları için tüm üç faz seçmelerine izin verir.

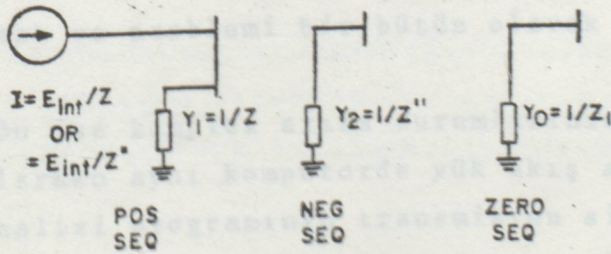
Program o zaman; elektrik düzenleyicisi dizaynı, sistem dizaynı gibi alanlarda kullanım için etkili bir araçtır. Tipik bir uygulama nakille görülen gerçek faz akımları ve gerilimlerinin bir hesaplaması, onların doğru veya yanlış olarak çalışıp çalışmadığını saptamak için gerekli olan yerlerde altdurum arızasının yeniden incelenmesi olabilir.

Temeli oluşturan bir alçak gerilim hattındaki eş zamanlı bir L-L-G hatası üreten zarara sebep olan, bir yüksek gerilim yolundaki bir başlangıç L-G hatası, detaylı sistem ve arıza modelleme kapasitesinin gerekebileceği yerdeki bir olayın örneğidir.

3.3. ARIZANIN ÇÖZÜMÜ

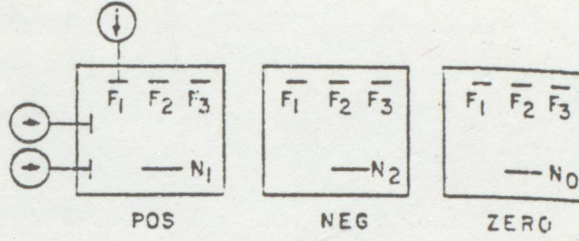
Transmisyon şebekelerinde arıza analizinde simetrik bileşenler yöntemi kullanılır. Arıza analizi programında hata program ve bölüm kapasiteleri öyle ayarlanır ki pozitif squence devre mümkün olan bütün komputer kapasitesini tek başına kullanır.

Generatör Şekil 3'de gösterildiği gibi norton eşdeğerleri ile ifade edilmiştir.



Şekil-3. Generatörün norton eşdeğerleri ile temsili.

Norton Şönt admitanslarını içeren squence devrenin basit bir modeli şekil 4'de verilmiştir.



Şekil-4. Squence devreler ve devrede generatör norton Admitans kaynaklar.

Dengesiz arızaların sonunda üç squence devre arasında bağlantı kurulur. Ve sonuçta pozitif squence devrenin oluşturduğu düğümlerin üç misli düğüm içeren yeni karışık bir devre oluşur.

Çok geniş kapsamlı arızalarda ilgili squensler arasındaki ilişkiler kaynak (10) ve (11) de verilmiştir.

Basit bir ilişki örneği şekil A1'de verilmiş olan L-L-G arızasıdır.

Generatöre pozitif squence norton kaynak akımı verilerek düğüm gerilimleri için bu karışık devre arıza analizi programıyla çözülmelidir.

Bunu gerçekleştirme yöntemlerinden biri karışık devrelerin tam tanımını veren bir düzenlemeyle sürekli eşitlikler kurmak ve problemi bir bütün olarak çözmektir.

Bu ise kompleks arıza durumlarının çözümünde esneklik sağlarken aynı komputerde yük akış analizi yapılacak arıza analizi programının transmisyon sistemine gidecek olan kısmını üçtebir büyüklüğünde sınırlar. Bu durumda dikkat her seferinde çalışan hafızada her üç squence devresi ayrı ayrı işleyen parça parça çözüm metoduna çevrilir.

Şebeke çözümlerinde genellikle kullanılan parçalı çözüme varmanın geleneksel yolu, terminallerden görüldüğü gibi her bir squence devrenin bir thevenen eşdeğerlerini içeren yapıdadır. Bu thevenen eşdeğerleri arızalı düğümler için eksenlere sahip sadece küçük matrisler için kullanılmış ve böylece arızanın gerektirdiği biçimde birbirine irtibatlandırıldığında, üretilen karışık devre * hafıza açısından sorun yaratmaz.

Squence devre bağlantıları veya onların thevenen eşdeğerlerinin yerine simetrili bileşenlerle ifadesi basit bir arıza için doğrudur fakat squence devre bağlantıları içine ideal faz dönüştürücü transformatörlerini koymaya, çok yönlü arızaları çözmek içinde programlama formülasyonuna gerek duyulabilir.

Thevenen eşdeğeri yaklaşımının önemli bir varyasyonu, üç ayrı squence'nin thevenen eşitliklerini bir fazlı koordinat eşitliklerine çevirmesidir. Böylece bundan sonra dengesiz arızalar faz koordinatlarıyla temsil edilebilirler.

Bu; arızaların simetrili bileşenlerle ifade edilmeksizin faz dönüştürücü transformatörlerinin kullanılması ihtiyacını ortadan kaldırır fakat o zamanda bununla ilgili yere uygulanması gereken bu iki dengesiz faz-toprak koordinatları ile diğer gerekli faz-faz koordinatlarının uyumsuzluğu problemlerine sebebiyet verir.

Faz koordinat uyumsuzluğu problemini çözen parçalı çözüme yaklaşım alternatifi; karışık simetrili bileşenler devresine Happ'ın diakoptik metodunu uygulamaktadır.

Diakoptik metodu Thevenen eşitliği yaklaşımının genel formülasyonu olarak kabul edilebilir.

Esasen, çözümlenmesi gereken bütün devre eşdeğerlerinin sadece alt devreler arasındaki bağlantıların eşdeğerini tanımlayan, ilave bir "alt şebeke bölümleri" ile iç iribatları yapılmamış her alt devre için yeni bir eşdeğer temin edecek kadar alt devrelere bölünerek bütün devrenin problemi çözülebilir.

Diakoptik usul her alt devre denkleminin müstakil surette daha sonraki alt devre denklemi kullanarak, müstakil çözümlerinin üzerine çakıştırılmış bağlantılarının, sonuçları ile birlikte çözümlenmesine izin verir. Bu alt şebekeler arasındaki bağlantı işlemi, kapalı bir şekil (tekrar etmeye dayalı) hesabıdır. Böylece her alt devre problemi ayrı ayrı ele alınarak komputerin belleğine yardımcı olunur. Diakoptik metod komputerin çalışma zamanının belirlenmesinde (kısaltılmasında) etkilidir.

Diakoptik metoda alt devreler arasında denklemlerin depo edilmesi gereği; alt devreler arasındaki bağlantı sayısının hızlı bir şekilde artmasına neden olurlar.

Metotlarda optimum avantajı elde eden alt devre seçimi, diakoptiğin genel şebekelere uygulanmasında önemli problem olabilirler fakat bizim uygulamamız için hiç bir problem teşkil etmez.

Çünkü düşünülen karışık devre gerçekte üç iyi alt devreden teşekkül etmektedir.

Normalde arıza analizi, diakoptik kullanmak için tabii bir problemdir. Çünkü Squence devreleri arasındaki bağlantılar; dengesiz arızalar tarafından meydana getirilebilirler.

Bundan dolayı squens devrenin komplek olması ve büyüklüğü, her koşulda sayısal olarak sınırlıdır.

Happ tarafından verilen diakoptik çözüm formülasyonu, problemimizin squenceler arası bağlantılarla ortaya çıkan ideal çeviricilerle düzenlenebilmesini sağlamaz.

Happ tarafından verilen ortogonal devre teorisi squenceler arasındaki bağlantılarda kısıtlamasız olarak ideal dönüştürücülerini kullanılmasına müsaade eder ve direkt hesaplanabilen bağlantılar olarak kullanılabilir.

Uygulama 1 arıza analizi programında gereken faz çevirici transformatörünü kullanacak diakoptik formüllerinin genişletilmiş düzenini verir.

Uygulama 1 squence devrenin üç birim eşitliğinin empedans matrisleri bakımından çözüm işlemlerinin geliştirirken, bunları kullanmak arzu edilmez.

Empedans matrisleri tamamen doludur. Bu yüzden bunlar aşırı miktarda computer hafıza deposunda gereksinim gösterirler ve komputer zamanı göz önüne alındığında bunlar yetersizdir.

Arıza analiz programı yapılırken Y_{11} , Y_{22} , Y_{00} bilinen referans admitans matrisleri Z_{11} , Z_{22} , Z_{00} 'ın tersidir. Squence admitans matrisi çözümünü içeren işlemler Ek 1'in squence empedans matrisi ifadeleri bölümünde aşağıdaki surette kullanılmıştır.

a) Z_{11} matrislerinin arızalı düğüm kolonları (örneğin Z_{11} , Z_{22} , Z_{00} 'ın arızalı düğüm kolonları)

b) Çözüm işleminin birinci basamağında $E(0)$ vektörünün hesaplanması.

Z. Matris kolonları oluşturulması: 0 düğüme uyan Z matris kolonu ile aynı düğümdeki gerilim vektörünü

oluşturacak olan, düğüme uygulanacak ortak akımdır (kullanır). Bu işlem sırasında generatör dahili gerilimi veya akım kaynağı sıfıra ayarlanmalıdır. Herhangi bir squence empedans matrisinin her bir kolonu, bundan dolayı $Z_{co} = Y_{ss}^{-1} \cdot j$ eşitliği çözülerek yapılır.

j : Z matris kolonu gerektiren düğüme ilgili değerler hariç bütün elemanları sıfır olan bir vektördür.

Y_{ss} : Pozitif, negatif veya sıfır squence matrisidir.

Z_{co} : İstenilen empedans matrisinin kolonudur.

$E(0)1$ 'in Ek 1'in birinci basamağında hesaplanabilmesi basitçe aşağıdaki denklemin çözümü ile elde edilir.

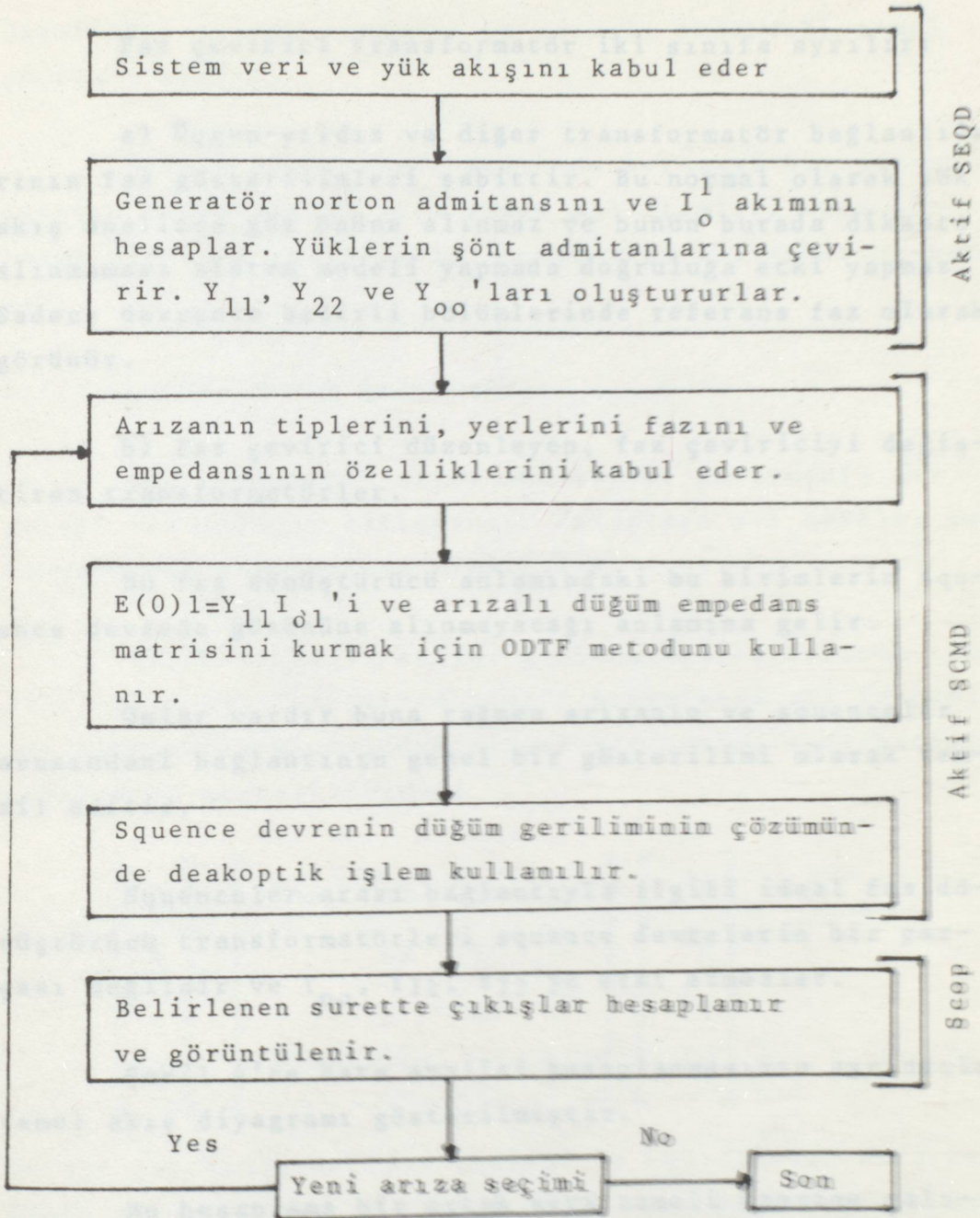
$$E(0)1 = Y_{11}^{-1} \cdot I(0)^1$$

I_0^1 verilir.

Generatör düğümlerindeki generatör norton akımlarının sıfır ve sıfır olmayan tüm giriş eşitlikleri ve herhangi bir yerdeki sıfır girişleridir.

Uygun düzende üçgen faktör metodunu (OOTF) alt ve üst üçgen faktörler L ve U ya uygulayarak referans 4 te açıklanmış olan (1) ve (2) yi çözeriz.

Squence devrede faz değiştirme elemanlarının yokluğu halinde alt faktör L, U'nun transpozesidir, depolanması gereksizdir. Bu göz önüne alındığında hafıza kapasitesi bakımından büyük bir avantajdır. Ama squence devredeki faz değiştirme transformatörü programda göz önüne alınmaz.



Şekil-5. Parçalı Arıza Hesap metodu için akış diyagramı.

Faz çevirici transformatör iki sınıfa ayrılır:

a) Üçgen-yıldız ve diğer transformatör bağlantılarının faz gösterilimleri sabittir. Bu normal olarak yük akış analizinde göz önüne alınmaz ve bunun burada dikkate alınmaması sistem modeli yapmada doğruluğa etki yapmaz. Sadece devrenin belirli bölümlerinde referans faz olarak görünür.

b) Faz çevirici düzenleyen, faz çeviriciyi değiştiren transformatörler.

Bu faz dönüştürücü anlamındaki bu birimlerin squence devrede gözönüne alınmayacağı anlamına gelir.

Onlar vardır buna rağmen arızanın ve squenceler arasındaki bağlantının genel bir gösterilimi olarak temsil edilir.

Squenceler arası bağlantıyla ilgili ideal faz dönüştürücü transformatörleri squence devrelerin bir parçası değildir ve Y_{00} , Y_{11} , Y_{22} 'ye etki etmezler.

Şekil 4'te hata analizi hesaplanmasının ayrıntılı temel akış diyagramı gösterilmiştir.

Bu hesaplama bir ortak veri temeli üzerine çalışan üç ayrı program modülü ile elde edilmektedir.

Birinci modül SNQD: Pozitif squence devresi dahil ön işlem fonksiyonların elde eder ve uç squence admitans matrislerinin faktörlerini elde eder.

Ana işlem modülü SCMU kullanıcıyı dahili çalışan konsol vasıtasıyla arızaların kombinasyonunu belirlemeye

davet eder çözümleri tamamlar ve arızalı bölümdeki temel şartları sağlar.

Üçüncü modül SCOP; sistemde herhangi bir durumda sequence koordinatlar veya fazda dal akımları veya herhangi bir bara geriliminin seçilmesini kullanmasını sağlar.

Sıfır Sequence Ortak İndüktansı:

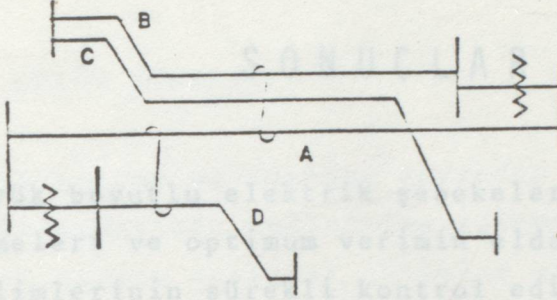
Güç sisteminin arıza analizinde gelişmenin bir gereği transmisyon hatlarından ortaklaşa yol hakkını kullanan büyük gruplarının temsilidir.

Ortak kuplajlı kollar grubunu içeren durumun temsili yol hakkı içindeki muhtelif noktalarda ana transmisyon hattına paralel giden birçok alt transmisyon hatları şekil 5'te gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \\ V_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{AA} & Z_{AB} & Z_{AC} & Z_{AD} \\ & Z_{BB} & Z_{BC} & 0 \\ & & Z_{CC} & 0 \\ \text{Symetrical} & & & Z_{DD} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \\ I_D \end{bmatrix}$$

Bu alt şebekenin kolları işlemlerle belirlenir. Yedi değişik baranın tek bir grupta müşterek olarak kuplajı üstteki denkleme gösteriyor.

Şimdi müşterek kuplajlı büyük grupların sonuçları kolaylıkla Z_{00} düğüm empedans matrisinin içine dahil edilebilir. Bunların seyrekliği dolayısıyla Y_{00} admitans matrisi sorunlar doğurur.



Şekil-5. Dört müşterek kuplajlı hattın alışılmış tipte uygun gruplanması.

a) Y matrisinin hesaplanmasında müşterek kuplajların etkilerinin kompleks ve zaman alıcı olduğu göz önünde tutulur.

b) Müşterek kuplajlı hatların herhangi bir grubun çıkışı:Y matrisinde gösterecek surette büyük hesaplama gerekecektir.

c) Müşterek kuplaj sonunda müşterek kuple edilmiş kolların bağlandığı baraların admitans matrisi gösterilirken etkindir. Buna ilaveten şebekenin topolojisinin bağımsız kuple edilmesi nedeniyle üçgen faktör yaratma esnasında sparse muhafaza etmek için optimum düzenlemenin elde edilmesi ciddi surette bozulabilir.

Bu problemler göz önüne alınırsa, kollar arasında müşterek kuplaj elde etmek için iterative metod kullanmak avantajlıdır. Böylece Y_{00} elde edilirken ortak kuplajın sonuçlarını dahil etme gereğinden kaçınılıyor.

Ek 2 de tanımlı yapılan bu metod sıfır squence empedans matrisi oluşturmak için (1)'i çözümlemede OOTF'nin basit uygulamasının yerine kullanılır.

EKLER
BÖLÜM - 4

SONUÇLAR

Büyük boyutlu elektrik şebekelerinde ekonomik işletilebilmeleri ve optimum verimin elde edilebilmesi için bara gerilimlerinin sürekli kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu tür şebekelerin analizinde komputer kullanımı kaçınılmaz bir zorunluluk halini almıştır. Boyutları giderek büyüyen bu şebekelerin planlanması ve işletilmesi sırasında ortaya çıkan sorunların analizinde komputere uygulamada yararlı bir yöntem olan Diakoptics konusu incelenmiştir. Ve klasik yöntemlere göre komputerin çalışma zamanının kısaltılması ve bellek gereksiniminin azaldığı gösterilmiştir.

Düğümlerden parçalama yoluyla yapılan komputer işlemlerinin sayısını küçültmek amacıyla analiz sonunda tersi alınması gereken matrisin tersinin her adımda daha küçük mertebeden matrislerin terslerinin alınmasıyla, adım adım hesaplanmasına yönelik bir yöntem geliştirilerek bir algoritma verilmiştir.

Diakoptics yardımıyla sparse denklem sistemi elde edilmiştir. Verilen şebekede sparse olarak elde edilmesi istenen denklemde katsayılar matrisinin köşegeni üzerindeki blok matrislerin boyutlarının optimum değerlere getirecek önlemlerin, parçalanmanın gerçekleşmesi sırasında alınmasının mümkün olduğu gösterilmiştir.

Tezin son bölümünde diakoptics yardımıyla komputerde arıza analizine yönelik bir çalışma yapılmış ve program yapısı anlatılmıştır.

E K L E R

EK-1.

PIECEWISE ÇÖZÜM YÖNTEMİ:

Bu uygulama uç squence devreden oluşan karışık devrenin çözümlenmesinde kullanılan işlemleri belirler. Sadece göze çok çarpan noktalar gözönüne alınmıştır.

Şekil A1 de görülen squenceler arası bağlantılar için iki faz toprak arızası için metod geliştirmektedir.

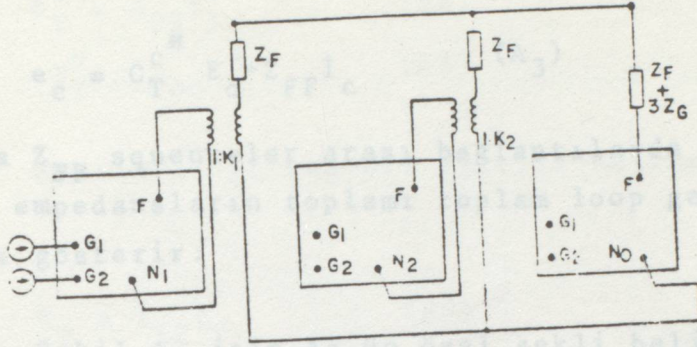
İlk adımda gerçek her squence devresini üç eşdeğer birimi ile şekil A2 de görüldüğü gibi yerine koymaktır.

Açık yol ve kapalı yol akımları I_o ve i_o şekil A2 de gösterildiği gibi tanımlayınız. Eşdeğer devrede açık yol akımları I_o ve kapalı yol gerilimleri e_o dır. Açık yol gerilimleri, benzer şekilde düğüm gerilimleri belirlenmelidir.

İdeal faz değiştirme transformatörleri ve birim ağaçlarının arızalı düğüm kolları tarafından, çevrim oluşturmak için yol tayin edilmediğine dikkat çekeriz.

Bu nedenle bu loop'ların çevresinde akan akımlar müstakil değişkenler değildir.

Fakat i_{c1} ve i_{c2} lineer kombinasyonları; kombinasyon katsayıları ile transformatör katsayıları ile birlikte transformatör oranları vasıtasıyla temin edilir.



Şekil A1: L-L-G arızası için squenceler arası bağlantı.

Diakoptics çözüm işlemi birim ağaç dalları içinden akan I_T toplam akımlarına kapalı yön akımlarının dağıtımını ifade eden C_T matrisinin oluşturulmasına gerek duyar. Böylece bütün ağaçların dal akımları aşağıdaki biçimde ifade edilebilir.

$$I_T = C_T^C \dot{I}_c + I_o$$

C_T^C matrisi kontrol vasıtasıyla kurulabilir. Şekil A2'deki örnek için A1'in özel şekli

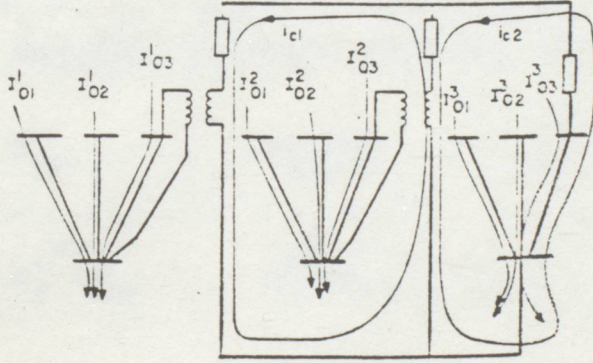
$$\begin{bmatrix} I_{T1}^1 \\ I_{T2}^1 \\ I_{T3}^1 \\ I_{T1}^2 \\ I_{T2}^2 \\ I_{T3}^2 \\ I_{T1}^0 \\ I_{T2}^0 \\ I_{T3}^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ K_1^* & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -K_2^* & K_2^* \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{c1} \\ I_{c2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_{o1}^1 \\ I_{o2}^1 \\ I_{o3}^1 \\ I_{o1}^2 \\ I_{o2}^2 \\ I_{o3}^2 \\ I_{o1}^0 \\ I_{o2}^0 \\ I_{o3}^0 \end{bmatrix} \quad (A_2)$$

Toplam kapalı yön gerilimleri e_{c1} , e_{c2} ifadelerini yazmak mümkündür. Genel form

$$e_c = C_T^C E_o + Z_{FF} i_c \quad (A_3)$$

Burada Z_{FF} squenceler arası bağlantılarda gördükleri gibi arıza empedansların toplamı toplam loop gerilimlerine katkısını gösterir.

Şekil A₂ için A₃ ün özel şekli belirlenir.



Şekil A2:Çözüm için kapalı ve açık yol eşitliklerinin gösterilişi.

$$\begin{bmatrix} e_{c1} \\ e_{c2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & K_1 & 0 & 0 & -K_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K_2 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{T1}^1 \\ E_{T2}^1 \\ \vdots \\ E_{T3}^1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2Z_F & -Z_F \\ -Z_F & (2Z_f + 3Z_G) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{c1} \\ i_{c2} \end{bmatrix} \quad (A4)$$

Şebekenin tüm tarifi üç denklem ve karşılıkları ile beraber (A1) ve (A3) eşitliği ile şimdi veriliyor.

$$E_T^1 = Z_{11} I_T^1 \quad (A5)$$

$$E_T^2 = Z_{22} I_T^2 \quad (A6)$$

$$E_T^0 = Z_{00} I_T^0 \quad (A7)$$

A5 ile A7 yi tek bir eşitlik halinde yazmak uygundur.

$$E_T = Z_{TT} I_T \quad (A5)$$

Burada Z_{tt} üç ayrı devrenin empedans matrisinin diagonal matrisidir.

A_1 ve A_3 'ü A_8 'de yerine koyarak tüm sistem eşitliğinde Happ'in parçalara ayrılmış formunu elde ederiz.

$$\begin{bmatrix} E_T \\ e_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{TT} & Z_{TT} \cdot C_T^c \\ \hline C_T^c \cdot Z_{TT} & C_T^c \cdot Z_{TT} \cdot C_T^c + Z_{FF} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_o \\ \hline i_c \end{bmatrix} \quad (A9)$$

biz şimdi gerçek sistem karakteristiklerinden yani e_c 'nin sıfır olduğu ve I_o 'ın sadece pozitif squencedeki generatör düğümleri için sıfır olmayan girişleri içermesinden yararlanabiliriz.

Bunları göz önüne alarak (A9) un özel formunu

$$\begin{bmatrix} E_T^1 \\ E_T^2 \\ E_T^0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & & & \\ & Z_{22} & & \\ & & Z_{TT} \cdot C_T^c & \\ \hline & & & Z_{cc} \\ C_T^c \cdot Z_{TT} & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_o^1 \\ 0 \\ 0 \\ \hline i_c \end{bmatrix} \quad (A10)$$

Burada

$$Z_{cc} = C_T^c \cdot Z_{TT} \cdot C_T^c + Z_{FF} \quad A(11) \text{ dir.}$$

A_{10} 'nun piecewise çözümü bilinen I_o^1 ile şimdi bel-
lidir.

1. Verilen geçici $E^{(o)}$ vektörünü hesapla

$$E^{(o)} = \begin{bmatrix} E^{(o)1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} \cdot I_o^1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad A(12)$$

2. Geçici

$$e_c^{(o)} = - C_T^c \cdot E^{(o)} \quad A(13)$$

vektörünü hesapla

3. A(10) in son yatay satırına A(13) ve A(12) yi
koyarak I_c yi çözün.

$$I_c = Z_{cc}^{-1} \cdot e_c^{(o)} \quad A(14)$$

$$4. \begin{bmatrix} I_o^{(c)1} \\ I_o^{(c)} \\ I_o^{(c)3} \end{bmatrix} = C_T^c I_c \quad A(15)$$

vektörünü hesapla.

$$5. E_T^1 = Z_{11} I_o^{(c)1} + E^{(o)1} \quad A(16)$$

$$E_T^2 = Z_{22} I_o^{(c)2} \quad A(17)$$

$$E_T^o = Z_{oo} I_o^{(c)o} \quad A(18)$$

denklemlerinden düğüm gerilimlerini hesapla.

EK-11. Böylece enerji sisteminin bütün hatlarındaki squence gerilimleri E_T^1 , E_T^2 , E_T^0 belirlenir. Hata akımı, dal akımları gibi istenen bütün değerler yalnız dal squence empedansları hesaplanarak bulunabilir.

İşlemin etkin hesabının yapımı sadece C_T^C matrisindeki sıfır olmayan elemanların arızalı düğümlere karşılık gelen satırlarda görüldüğü ve bundan dolayı sadece hatalı düğümlere karşılık gelen Z_{TT} nin sütunlarını matris ürünü, $C_T^{C^*} Z_{TT} C_T^C$ matris işlemi ve A(16), A(17), A(18) eşitliklerinin gerektirdiği tanıma bağlıdır.

Z_{TT} 'yi oluşturan üç squence empedans matrisi Z_{11} , Z_{22} , Z_{00} aralarında ortak kuplaj olmaksızın içerdiği için ayrı ayrı kurulabilir ve kullanılabilir. A(20)

eşitliğini kullanıyoruz.

Y^a : Karşılıklı şifflerin etkilerini içermeyen devre düğüm admittansmatrisidir.

ΔI : Devre üzerindeki karşılıklı şifflerin etkileşimi sonucu düğümlerden geçen akım vektörü ΔI nin hesabı

$$V_b = Z_{bb} I_b \quad A(21)$$

ilişkisine bağlıdır.

V_b = Karşılıklı yolların gerilimi

I_b = Yol akımları

Z_{bb} = Karşılıklı şifflerin etkilerini içeren yolların empedans matrisi

Z_{bb} matrisi giriş verilerinden yararlanılarak hesaplanabilir.

EK-II.

KARŞILIKLI ÇİFTLERİN İTERATİF DAVRANIŞI:

Y: Karşılıklı çiftlerin etkilerini içeren tüm devrenin admitans matrisidir.

$$I = YV \quad A(19)$$

devre eşitliğini çözmek istiyoruz.

I: Verilen düğüm kaynak akım vektörü Y matrisi mevcut olmadığı için

$$I + \Delta I = Y^a V \quad A(20)$$

eşitliğini kullanıyoruz.

Y^a : Karşılıklı çiftlerin etkilerini içermeyen devre düğüm admitansmatrisidir.

ΔI : Devre üzerindeki karşılıklı çiftlerin etkileşmesi sonucu düğümlerden geçen akım vektörü ΔI nın hesabı

$$V_b = Z_{bb} I_b \quad A(21)$$

ilişkisine bağlıdır.

V_b = Karşılıklı yolların gerilimi

I_b = Yol akımları

Z_{bb} = Karşılıklı çiftlerin etkilerini içeren yolların empedans matrisi

Z_{bb} matrisi giriş verilerinden yararlanılarak direkt olarak kurulabilir.

I_b devredé ortak kuplajı içeren yollarda düğüme giren ve çıkan akımların vektörüdür. Fakat Y^a matrisi bu yollardaki ortak kuplajdan etkilenmez.

$$I_b^i = Y_{bb} V_b \quad A(22)$$

Burada

Y_{bb} : Yollardaki self empedanslarının içeren diagonal matrisidir.

Böylece akım vektörü ΔI A(21) ve A(22) den hesaplanarak

$$\Delta I_b = (Z_{bb}^{-1} - Y_{bb}) V_b \quad A(23)$$

daha sonra ΔI_b nin her bir elemanı sırayla yollardan düğümlere uygulanarak elde edilir.

Burada iterative işlemi

a) Y^a ve $(Z_{bb}^{-1} - Y_{bb})$ kurulur ve Y^a çarpanlarına ayrılır.

b) ΔI vektörü belirlenir.

c) V için A(20) nin çözümünde OOTF Metodu kullanılır.

d) V den V_b 'yi, A(23) den ΔI_b hesaplanır ve ΔI_b 'den ΔI^i vektörü elde edilir.

e) Yeni ΔI vektörünün hesaplanması gerekirse

$$\Delta I^{\text{yeni}} = A \cdot \Delta I^i (I - A) \Delta I^{\text{eski}}$$

(A: Hızlandırma vektörü)

ve c şikkına geri dön.

KAYNAKLAR

1. J.FALLOU, "Genel Elektroteknik Dersleri", Cilt 1, Kitap 2, Üçler Basımevi 1950 (Haldun Gürman tarafından dilimize çevrilmiştir.)
2. Doç.Dr.Yük.Müh. Hüseyin ÇAKIR, "Elektrik Güç Sistemleri Analizi" Yıldız Üniversitesi Elektrik Fakültesi Yayınları 1986.
3. Y.TOKAD, "Devre Analizi Dersleri", Kısım II, İstanbul, İ.T.Ü. Müh. ve Mim. Fakültesi Yayınları 120, 1977.
4. G.KRON, "A Method of Solving Very Large Physical Systems in Easy Stages Proceedings of the I-R-E", 42, (1954), 680-686.
5. Vincentelli, A.L.S., Chen, L.K., Chua, L.O., "An Efficient Heuristic Cluster Algorithm for Tearing Large-Scale Networks IEEE Trans.Power App. and Sys. Pas 89 1, (1970), 141-150.
6. İrisarri, G., Sasson, A.M., Hodger, S.F., "An Optimal Ordering Algorithm for Sparse Matrix Applications", IEEE Trans.Power App. And Syst. Pas-97,6, (1978), 2253-2261.
7. Yük.Müh. Adnan KAYPMAN, "Elektrik Şebekelerinin Çok-Uçlu Eleman Kavramıyla İncelenmesi", Doktora Tezi, 1981, İ.T.Ü.
8. J.M.Undrilli, T.E. Kostyniak, "Advanced Power System Fault Analysis Method" IEEE Trans.Power App. and Syst., Vol Pas-94 No.6, 1975.

9. J.M.Undrill, F.D. de Mello, T.C. Kostyniak, R.J.Mills, "Interactive Computation in Power System Analysis" IEEE Proceedings, Vol.62, pp.1009-1018, 1974.
10. Transmission and Distribution Handbook, Westinghouse Corporation, East Dittsburgh, 1964.
11. D.R.Smith, "Digital Simulation of Simultaneous Unbalances Involving Open and Faulted Conductors" IEEE Trans., Vol. Pas-89, pp.1826-1836, 1970.

24.8.1963'te Elazığ ilinde doğdum. İlkve ortaokulu mu Bursa'da bitirdim. İlk lise eğitimime Bursa Demirtaşpaşa Meslek lisesinin elektrik bölümünde başladım. Ordan Bursa Demirtaşpaşa Teknik lisesinin elektrik bölümüne geçtim ve mezun oldum.

O günkü adıyla İTÜMarmara Yıldız Üniversitesi'nin Mühendislik Fakültesi elektrik bölümüne girdim. Buradan 1985 yılında mezun oldum. Açılan sınavı kazanarak Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Bölümüne girdim. Hâlen orada okumaktayım.

Ö Z G E Ç M İ Ş

24.8.1963'te Elazığ ilinde doğdum. İlkve ortaokulumu Bursa'da bitirdim. Lise öğrenimime Bursa Demirtaşpaşa Meslek lisesinin elektronik bölümünde başladım. Ordan Bursa Demirtaşpaşa Teknik lisesinin elektrik bölümüne geçtim ve mezun oldum.

O günkü adıyla İDMMA olan Yıldız Üniversitesi'nin Mühendislik Fakültesi elektrik bölümüne girdim. Buradan 1985 yılında mezun oldum. Açılan sınavı kazanarak Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Bölümüne girdim. Halen orada okumaktayım.

