UDK 621.311.1: 621.S84.389

Elektronik Hesap Mokinolon ile Enerji Şebekelerinin Analizi

Yazanlar :
Brian STOTT — Elek. Y. Müh. — O.D.T Ü.
Orhan TARKAN — Elek. Y. Müh. — E.E Î.M.

ÖZET:

Elektrik enerji şebekeleri etüdlerinın elektronik hesap maklnaları ile yapılması, bütün dünyada tercih edilen bir yol haline gelmiştir. Türk enterkonnekte şebekesinin de gün geçtikçe büyümesi modern analitik metotların kullanılmasını bir zaruret haline getirmektedir.

Bu makalede elektrik enerji şebekeleri etüdleri için elektronik hesap makınalannda kullanılan en önemli metotlar topluca verilmiş ve bu metotların çeşitli etüdlere nasıl uygularidıklarından bahsedilmiştir.

GİRİŞ :

Enerji nakil şebekelerinin analizi, şebeke planlaması ve işletmesinin en önemli kısımlarından birini teşkil eder. Yüksek kapasiteli modern elektronik hesap makınalarının ortaya çıkmasıyla bu iş artık g-ayet kolay ve çekici bir hale gelmiştir. Elektrik enerji şebekelerinin çözümlenmesi için geliştirilmiş bulunan çeşitli nümerik analiz metotları sayesinde devrenin bütün gerilim ve akım denklemleri makına tarafından otomatik olarak kurulmakta ve çözümlenmektedir.

Dünyanın birçok yerlerindeki büyük elektrik işletmeleri bu yola dönmüş bulunmaktadır, çünkü elektronik hesap maklnaları evvelce kullanılmakta olan şebeke analizörlerine nazaran daha ekonomik, emin ve süratlidir. Ayrıca birçok başka işleri yapabilme avantajları da vardır.

Türk enterkonekte şebekesi gün geçtikçe büyümekte ve gerek planlama gerek İşletme safhalarında süratli ve emin neticeler verecek modern analitik metotların kullanılması bir zaruret haline gelmektedir. Bu arada Türkiye'de mevcut elektronik hesap maklnalaruun sayısı da artmaktadır. Bu bakımdan, daha fazla elektrik mühendisinin elektronik hesap makinasına yakınlık duyması ve devre çözümleri için gerekli metotları öğrenmesi çok önemlidir.

Tecrübeler göstermiştir ki, elektronik hesap maklnaları büyük ölçüde kullanılmaya başladıktan sonra mevcut problemler çok kolaylaşmakta ve evvelce zorlukları yönünden bir kenara bırakılmış bulunanların yeniden ele alınmaları İmkânları doğmaktadır. ,

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Enerji Sistemleri Lâboratuvannda, Türk Enterkonekte Şebekesinin elektronik hesap makinalarında çözümlenmesi konusunda bir süredir araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalar neticesinde Türkiye'de ilk defa olmak üzere muhtelif, geniş ve teferruatlı elektronik hesap makinası programı doğmuştur.

KISA TARİHÇE :

Elektronik hesap maklnalannın elektrik şebekelerine tatbik edilmesi ve nümerik metotların önem kazanması 1950 senesinde ortaya çıkmıştır. Bu metodun en önemli yönü elektronik hesap makinasındaki otomatik çözümü çok kolaylaştıran «düğüm metodu» nu kullanmasıdır. Bundan sonra evvelce kullanılmakta olan çevre metodu tamamen terkedilmiş ve bilhassa çözümü süratlendirmek için çok miktarda araştırma yapılmış, önemli adımlar atılmıştır.

Büyük elektrik işletmeleri, elverişli şartlan ve mütehassıs teknik elemanları sayesinde yeni metotları derhal uygulamışlarsa da, elektronik hesap maklnaları ve şebeke analizörlerinln birbirlerine olan üstünlükleri elektrik mühendisliği çevrelerinde uzun bir süre tartışma konusu olarak kalmıştır.

Artık bugün üstünlükleri herkesçe kabul edildiği için elektronik hesap makinası daha fazla tercih edilmektedir. Elektronik hesap makinasınm üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir :

(I) Elektronik hesap maklnaları İçin donelerin hazırlanması, çözümden evvel analIzör üzerinde yapılan hazırlıktan çok daha kısa sürmektedir.

(II) Elektronik hesap maklnasıyla yapılan çözüm anallzörle yapılan çözümden çok daha kısa sürmektedir.

(HE) Elektronik maklnalarında elde edilen neticeler analizörde elde edilenlerden daha hassasdır. Analizörde, neticeler ölçü aletleri üzerinden okunur, hesap makinaları İse neticeyi arzu edilen hassasiyet derecesi üzerinden verir.

(IV) Nominal kademe dışında çalışan trafolar elektronik hesap makinası İle yapılan çözümde hiç bir zorluk çıkarmaz.

(V) Hesap makinaları şebeke problemleri haricinde her türlü hesap için kullanılabilir.

(VI) Elektronik hesap makinaları fiyat bakımından analizörlerle mukayese edilebilir.

(VII) Elektronik hesap maklnalarmda kullanılan personelin teknik personel olmasına lüzum yoktur.

TEMEL TEORÎ

I. İki Esas Tip Devre Çözümü :

1.1. Yük Akısı:

Yük akışı, enerji şebekesinin normal çalışma durumundaki çözümü olduğu ve neticesi diğer şebeke hesaplarının her safhasında kullanıldığı için en önemli sistem etüdüdür.

Problem, yük tevzi mühendisinin günlük problemi İle aynıdır: «Yüklerin çektiği aktif ve reaktlf güç, santrallerin gerilim genlikleri ve yükü karşüıyabllmek için ürettikleri aktif güç bilindiği veya tahmin edilebildiği zaman sistemdeki gerilim ve güç dağılışı ne şekilde olacaktır?»

Problemin bu basit tarifi, sistemdeki baralann yük ve santral haraları olmak üzere ikiye ayrılabileceğini kabul etmektedir. Aynı baranın hem yük hem santral barası olması hiç bir zorluk çıkarmaz.

Problemin esasını, güçler ve gerilim genlikleri teşkil ettiği için sistemdeki akım ve gerilimlerin çözümü cebirsel olarak lineer değildir. Dolayısıyla iterasyon usulünü kullanmak zorunluluğu vardır. Bu usûlde tütün gerilim değerleri için bir tahmin yapılır, sonra bu değerler otomatik olarak terakki ettirilerek neticeye ulaşılır.

1.2. Arıza EtUdleri:

Arıza etüdlerinin gayesi sistemdeki her hangi bir kısa devre anında, gerilim, güç ve akım dağılışlarını ve santralların reaktıf üretimlerini bulmaktır.

Bu etüdün neticeleri hatlardan ve diğer aksamdan geçecek aşırı akımların bulunmasında, hat kesicilerinin takatlarının tesbltlnde, koruyucu rölelerin ayarlanmasında ve .gerilim değişikliklerine karşı hassas olan yüklerin durumunun bulunmasında kullanılır.

Yük akışı ile karşılaştırıldığı zaman, dengeli hattâ dengesiz arıza etüdlerinin hesaplama yönünden daha kolay olduğu görülür. Çünkü gerilim kaynakları artık pasiftir ve lineer denklem sistemlerinin çözümünde kullanılan matematik metodlarmdan herhangi biri tatbik edilerek problem rahatlıkla çözümlenebilir.

Diğer taraftan arıza etüdü, yük akışı etüdüne sıkı sıkıya bağlıdır, çünkü devrenin tanımlanması her iki etüd için de aynıdır. Genellikle bu ikisi bir etüd içinde birleştirilir; zira kısa devre için santrallerin gerilimlerini bilmek gereklidir. Bu da ancak bir yük akışı etüdü sonunda bulunabilir.

Yukarıdaki sebepler yüzünden her iki çözümü birlikte mütalâa etmek lâzımdır.

2. Düğüm Metodu :

Elektrik devrelerinin çözümünde kullanılan iki metottan çevre metodu daha iyi bilinir ve tercih edilir. Bu metot, devrenin içinden • seçilen kapalı çevreler üzerinde «çevre gerilimleri» ve «çevre akımları» mefhumlarını kullanır.

Ancak bu mefhumlar enerji nakil devrelerine pek uygun düşmezler. Dolayısıyla bu gibi devrelerin çözümlerinde düğüm metodu kullanılır. Bu metodun sağladığı bazı kolaylıklar şunlardır :

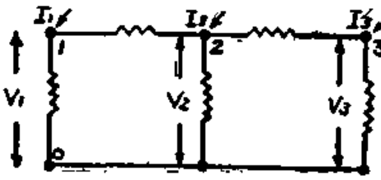
(I) Denklem sayısı daha azdır,

(II) Çift devreli hatlar denklem sayısını artırmaz,

(m) Birbirleri üzerinden atlıyan hatlar, denklemlerin kurulmasında zorluk çıkarmaz,

(IV) Nominal kademe dışında çalışan trafolar kolaylıkla tanımlanır.

İsminden de anlaşılacağı gibi düğüm metodunda değişkenler, «düğüm veya bara gerilimleri» ve «düğüm akımları» dır. Düğüm gerilimleri düğüm noktalan ile toprak arasındaki gerilimlerdir. Düğüm akımları İse devredeki her düğüm noktasındaki toplam akımdır. Baranın bir santral barası olması halinde düğüm akımı santral tarafından üretilen akımdır. Eğer düğüm noktası bir yük barası ise düğüm akımı yük tarafından çekilen akımdır ve üretilen akımla ters işaretlidir.



Şekil • 1 — Düğüm Metodundaki Değişkenler.

Şekil 1, bu prensibi açıklamaktadır. Şekilde düğüm akımları baralara «enfekte edilen» akımlar olarak gösterilmiştir, çünkü devre hesaplarında yük ve generatör empedanslarım kullanmaya lüzum yoktur. Bu kabul, ileride de gösterileceği gibi arıza etüdlerl için doğru değildir. Düğüm akımları aslında, aradaki bağlantı gösterilmediği halde, baralar ve toprak arasında akarlar.

Düğüm metodunda empedans yerine hatların admltanslarını kullanmak büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Bara gerilimi V ve admltans $\bar{Y}$ ile gösterilirse, k ve j baralan arasındaki hattan akan akım aşağıdaki ifade ile verilir.

$$I_{kj} = \bar{Y}_{kj}(V_k - V_j) \qquad (1)$$

k harasından çıkan toplam hat akımı bu baraya giren düğün akımına eşit olduğundan düğüm akımı aşağıdaki denklemle gösterilebilir.

$$I_k = \sum_{j=0}^{n} \bar{Y}_{kj}(V_k - V_j) \qquad (2)$$

Burada devredeki baralar «0» dan «n» ye kadar numaralanmış olup n +1 toplam bara sayısını verir.

Enerji şebekelerinde toprak barası referans noktası olarak seçilir ve «0» numara ile işaretlenir. Bu şekilde V_0 sıfıra eşit olmuş olur. Yukarıdaki kabul yapıldıktan sonra (2) numaralı denklem yeniden yazılabilir :

$$I_k = \sum_{j=0,k}^{n} \bar{Y}_{kj} V_k - \sum_{j=0,k}^{n} \bar{Y}_{kj} V_j \qquad (3)$$

Eğer yukandaki ifade k = 1........n için yazılırsa devreyi tam olarak tanımlıyan bir denklem sistemi elde edilmiş olur :

$$I_1 = (\bar{Y}_{12} + \bar{Y}_{13} + \ldots + \bar{Y}_{1n}) V_1 - \bar{Y}_{12} V_2 - \bar{Y}_{13} V_3 + \ldots - \bar{Y}_{1n} V_n$$

$$\vdots$$

$$I_k = -\bar{Y}_{k1} V_1 - \bar{Y}_{k2} V_2 + \ldots + (\bar{Y}_{k1} + \ldots + \bar{Y}_{kn}) V_k + \ldots - \bar{Y}_{kn} V_n \qquad (4)$$

$$\vdots$$

$$I_n = -\bar{Y}_{n1} V_1 - \bar{Y}_{n2} V_2 + \ldots + (\bar{Y}_{n1} + \bar{Y}_{n2} + \ldots + \bar{Y}_{nn-1}) V_n$$

(4) numaralı denklem sistemi düğüm metodunun esasını teşkil eder. Burada, normal enerji şebekelerinde bir baraya bağlı hat sayısı birkaç taneden fazla olmadığı için birçok Y_{kj} teriminin sıfır olduğuna dikkat edilmelidir.

Yukarıdaki denklem sistemi matris şeklinde de yazılabilir. Bunun için :

$$Y_{kk} = \sum_{j=0,\, j \neq k}^{n} \bar{Y}_{kj} \qquad (5)$$

ve

$$Y_{kj} = -\bar{Y}_{kj} \qquad (6)$$

olduğu kabul edilirse :

$$I = Y.V \qquad (7)$$

Burada I ve V bütün akım ve gerilimleri içine alan birer sütun matrisidirler. Y İse elemanları Y_{kj}, k, j = 1, ... n olan kare bir matrisdir.

Daha açık olarak yazılırsa :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \ldots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \ldots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \ldots & Y_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \qquad (8)$$

Y kare matrisi aşağıdaki özellikleri haizdir :

(I) Simetrik ve karmaşıktır.

(II) Diyagonal elemanları o baraya bağlı admitansların toplamı olup mutlaka sıfırdan değişiktir. Y_{kk} elemanı k sırasındaki admitanslann toplamının ters işaretlisine eşittir. Eğer k barası ile toprak arasında bir eleman varsa bunu da Y_{kk} üzerine ilâve etmek gereklidir.

Elektrik nakil hatları genellikle nominal π-devresi olarak gösterildiğinden hat kapasitansları şönt eleman olarak Y_{kk}ye ilâve edilir.

(III) Birçok elemanları sıfırdır.

(IV) Sıfırdan değişik olan diyagonal dışı elemanı Y_{kj}, k ve j baralan arasındaki admitansın ters işaretlisidir.

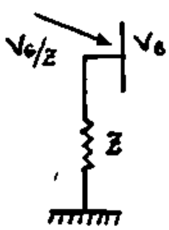
2.1. Gerilim Kaynaklanılın Akım Kaynaklarina Çevrilmesi :

Pasif devrelerde, sabit gerilimli bir kaynak, bağlı olduğu barada, düğüm metodu kullanılarak eşdeğer bir akını kaynağına çevrilebilir.

Şekil 2 de baraya empedansla bağlı bir gerilim kaynağı gösterilmiştir.

Şekil : 2 — Gerilim kaynağının akım kaynağına çevrilmesi.

Pratikte, arıza ve stabilite etüdleri için, gerilim kaynaklan bu şekilde gösterilir. Burada V_G kaynağın gerilimi, Z ise makine ve trafo empedanslarınm toplamıdır. Buradan devreye giren akım $(V_G - V_B)/Z$dir. Bu akımı gösterebilmek için devre Şekil -3 deki gibi değiştirilebilir. Şekil 3 de empedansı ' bara ile toprak arasına bağlanmış ve baraya V_G/Z gibi bir akımın enjekte edildiği kabul edilmiştir. Bu durumda empedanstan geçen akım V_B/Z, devreye giren akını ise $V_G/Z — V_B/Z$ veya eski değerine eşit olarak $(V_G—V_B)/Z$dir.



Şekil: 3 — Gerilim kaynağının aktm kaynağına çevrilmesi.

Bu şekilde yukarıda "gösterildiği gibi her baraya bir şönt eleman ilâve etmekle devre istenildiği gibi değiştirilmiş ve her bara akımı bilinmiş olur. , , | ! I]

3. Lineer Devrelerin Çözümü :

Gerilim kaynaklan bilinen herhangi bir lineer pasif devrenin (8) numaralı denklemle verilen akımları 2.1. numaralı bölümde özetlenen veya diğer metotlarla bulunabilir. Akımlar bulunduktan sonra geriye denklemin sağ tarafındaki vektörle gösterilen bara gerilimlerini çözmek kalır.

Bu standart bir nümerik analiz problemidir ve çeşitli çözüm yollan vardır. Çözüm usûlleri genellikle iki tipe âyrîıır :

a. Matrisin enversini almak yoluyla çözüm,
b. Matrisin enversini almadan yapılan çözüm.

3.1. Envers Almak Yoluyla Çözüm :

Enversi alınacak matris (nxn) derecesindeki Y matrisidir. Y-' ile gösterilen envers alındıktan sonra çözüm elde edilir :

$$V = Y^{-1} . I$$

veya

$$V = Z . I \qquad (9)$$

Enversl alınmak suretiyle elde edilen matrise «driving point and transfer impedance matrix» denir. Bir matrisin enyerslni almak için çeşitli metotlar mevcut olup burada onlardan bahsedilmiyecektir. Yalnız bir noktaya dikkat edilmelidir ki bu metotlar n» çarpma işlemini,ihtiva ederler. Y simetrik olduğu için bunun' enversl olan Zde simetriktir. Bu özellikten faydalanan bazı envers alma metotlan sayesinde işlem sayısı yarı yarıya azaltılabilir. Elektronik hesap maklnası kullanıldığı zaman enversin doğruluk derecesi makinanın aritmetik işlemler için ayırdığı noktadan sonra gelen ondalık hanelerin sayısıyla sınırlanmış olup gayet yüksektir.

3.2. Envers Almadan Yapılan Çözüm :

Bara gerilimi vektörü olan Vyi Y matrisinin enversini almadan ve sınırlı işlem kademesi kullanarak elde etmek de mümkündür.* Bu tip çözümler enerji şebekeleri için kullanılmazlar, çünkü yapılacak işlem sayısı envers almak için yapılan işlem sayısıyla aynıdır. Üstelik doğrudan doğruya envers elde etmenin sağladığı avantajlara da sahip değildir,

V gerilimleri envers^ almadan iteratif yollarla da elde edilebilir. Burada, kullanılan işlem kademesi sayısı sınırlı değildir. Bu çeşit metotlar enerji şebekeleri için çok mühimdir. Bunların en kuvvetlisi ilerideki kısımda izah edilmiştir.

3.3. İteratif Çözüm - Gauss - Seidel :

(8) numaralı denklem açılarak aşağıdaki şekilde yazılabilir :

$$I_1 — Y \quad V + Y \quad V \ 4- \qquad Y \quad V$$

$$I_2 = Y_2 , V , + Y_{22} V_2 + \ldots\ldots\ldots + Y_{2n} V_n \qquad (10)$$

.

.

.

$$I_2 = Y_n , V . + Y_{n2} V_2 + \ldots\ldots\ldots + Y_{nn} V_n$$

Buradan gerilim değerleri çözülerek (11) numaralı denklem sistemi elde edilir :

$$V , = - \frac{1}{Y_{11}} (I_1 — Y_{12} V_2 — Y_{13} V_3 — \ldots Y_{1n} V_n)$$

---

* Sınırlı işlem kademesinden kastedilen şudur : Mesela, bir matrisin enversimlnl almak için yapılan İşlem 4 kademelidir. 1. Minör matrisini elde etmek, 2. Bu matrisi transpose etmek, 3. Determinantı elde etmek, 4. Transpose edilmiş, minör matrisini determinanta bölerek envers matrisi bulmak.

$$V_2 = \frac{1}{Y_{22}} (I_2 - Y_{21} V_1 - Y_{23} V_3 - \dots Y_{2n} V_n) \qquad (11)$$

$$\vdots$$

$$V_n = \frac{1}{Y_{nn}} (I_n - Y_{n1} V_1 - Y_{n2} V_2 - \dots Y_{n-1n} V_n)$$

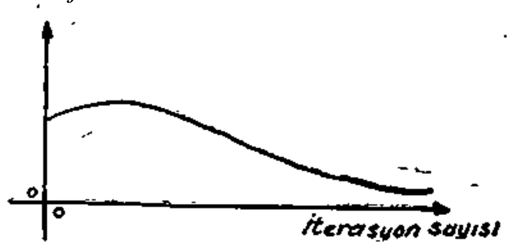
Denklem sistemi bu şekilde Gauss-Seidel çözümüne müsait bir hale gelmiş olur.

Çözüme başlıyabılmek için bütün gerilim değerlen için bir tahmin yapılır. Bu değerler (11) numaralı denklem sisteminin ilk denkleminde yerine konarak yeni bir V, değeri elde edilir. Bu yeni V_1 tahmin edilmiş bulunan $V_3, \dots, V_n$ değerleriyle beraber ikinci denkleme tatbik edilerek yem bir V_2 hesaplanır. Bu şekilde yeni değerler eskileriyle birlikte bütün denklemlere tatbik edilerek yeni gerilim değerleri elde edilmiş olur. Fakat, bulunan bu gerilimler doğru değerler olmadıkları için iterasyon halkasına devam edilir.

3.3.1. Çözümü Ekle Etmek :

Yukarıdaki işlemde iterasyon sayısı fazlalaştıkça elde edilen gerilimlerin bir evvelki iterasyondan bulunan gerilimlerle farkı azalır. Bu fark belli bir değerden az olduğu takdirde çözümün elde edildiği kabul edilir. Burada iteratif metotlarla hiç bir zaman neticeyi tam doğru olarak bulamıyacağını belirtmek gerekir. Ne var ki elektronik hesap makinası kullanıldığı zaman pratikte istenilen doğrulukta neticeler elde edilmektedir. 4 numaralı şekilde çözüm esnasında gerilimlerden birinin geçirdiği değişiklik tipik olarak görülmektedir.

Şekilden de anlaşılacağı üzere eğri eksene asimtot olduğundan hata miktarı hiç bir zaman sıfıra İnmez.



Şekil 4 — iterasyon sayısına göre gerilimdeki hatanın değişimi.

Çözümün doğruluk derecesi yapılan iterasyon sayısına bağlıdır. Arka arkaya yapılan iki iterasyon sonucunda elde edilen bütün gerilim değerleri içinde maksimum farkı veren bir tanesi çözümün elde edilip edilmediğini tesbit etmek için kullanılır. Çözüme varıldığı ancak,

$$k = 1, \dots n \text{ için } | V_k P - V_k P\text{-}1 | \ll C \qquad (12)$$

olduğu zaman anlaşılabilir. Burada p iteraayon sayısını, C ise pozitif ve küçük bir reel sayıyı göstermektedir.

3.3.2. Çözümü Etkiliyen Şartlar:

îterasyon metotlarında çözüme mutlaka ulaşılacağı hakkında hiçbir garanti yoktur. İterasyon sayısı çoğaldıkça hata miktarı azalacağı yerde gittikçe artabilir. Fakat iyi bir tesadüf eseri olarak enerji şebekelerinin birçoğunda hata miktarı azalmaktadır. Fakat çözümün kaç iterasyon sonra veya ne kadar zamanda elde edileceği çözülmek istenilen sisteme bağlı kalmaktadır. Genel olarak uzun nakil hattan, kablolar ve büyük kondensatörler çözümü güçleştirmektedir.

Admitans matrisindeki diyagonal elemanlar aynı sıra veya kolonda bulunan elemanlara nazaran ne kadar büyük olursa çözüme o kadar çabuk ulaşıljr. Bu, iteratif metotların teorisinde matematik yollarla ispat edilebilen bir husustur. Umumiyetle endüktif karakter gösteren devrelerde bu şart sağlanmış olur. Fakat devredeki bir baraya bağlı büyük bir kondensatör ilgili olduğu diyagonal teriminin mutlak değerini düşürdüğü için çözümü ağırlaştınr.

3.3.3. Çözümü Süratlendirme :

tteratif çözümün hızı «ivme katsayısı» adı verilen ve A ile gösterilen bir katsayı vasıtasıyla artırılabilir. îvme katsayısı 11 numaralı denklem sisteminden elde edilen her yeni $V_k P$ gerilimine tatbik edilebilen sabit bir sayıdır. Gerilimler değiştirilerek aşağıdaki şekle sokulur :

$$V_k P\text{-}1 + A (V_k P - V_k P\text{-}1), \qquad (13)$$

yani (p — 1) inci ve (p) inci ıterasyonlardan bulunan gerllemlerin farkı A katsayısı ile çarpılır. Eğer belli bir sistem için doğru A değeri bulunabilirse çözüm çok süratlenir. Genel olarak A'-nın optimum değeri karmaşıktır. Fakat normal olarak ivme faktörü reel olarak kabul edilir ve enerji gebekeleri için değeri ortalama olarak 1.6' dır.

3.4. Metot Seçimini Etkiliyen Faktörler :

8 numarada gösterilenler gibi bir denklem sistemini çözmek için enversiyon ve iterasyon metodu olmak üzere pratik iki çözüm yolu mevcuttur.

Devrenin denklemlerini kurmakta çıkacak zorluklar, düğüm metodu kullanılarak, asgariye indirilmiştir. Bu bakımdan denklemlerin rahatlıkla teşkil edildiği kabul edilirse, metod seçimini etkiliyen iki faktör kalır:

a. Metodun makina hafızasında işgal edeceği yer,

b. Çözümün ne kadar zamanda elde edileceği.

3.4.1. TVfn.lritnfl.nın TT«.f ırası ;

Çözülmeleri istenilen enerji şebekeleri genellikle büyük sistemler oldukları için kullanılan elektronik hesap makinasmın bütün doneleri saklamaya yeterli hafıza kapasitesine sahip olması gereklidir.

Devreyi karakterize eden admitans matrisinin birçok elemanı sıfırdır. Dolayısıyla (1) numaralı denklem grubunun sağ tarafındaki terimlerin çok azı sıfırdan değişiktir. Bazı özel teknikler kullanmak suretiyle Y matrisinin yalnız sıfırdan değişik olan elemanlarını hafızaya yerleştirmek mümkündür.

Misal olarak, 100 baralı bir sistemde her baraya ortalama 3 hat bağlandığı kabul edilirse makine hafızasına 400 karmaşık matris elemanı yerleştirmek gereklidir. •

Y matrisinin enverslnl alarak çözümü sağlıyan metodlar kullanıldığı takdirde, aynı 100 baralı sistem için 10000 karmaşık matris elemanını hafızaya yerleştirmek icabeder. Maamafih matris simetrik olduğu için bu iş 5050 elemanla da yapılabilir.

Görüldüğü gibi her iki metodun hafızada işgal ettikleri yerler arasında önemli bir fark vardır ve sistem genişledikçe bu fark artar.

Yukarıdaki açıklamadan anlaşılacağı gibi envers alma metodu kullanıldığı zaman çözülecek sistemin büyüklüğü doğrudan doğruya makinanjn hafıza kapasitesi ile sınırlanmıştır.

3.4.2. Çözümün Hızı:

Büyük enerji şebekelerinde Y matrisinin enversinl almak için yapılan işlem sayısı genellikle Gauss-Seitel tipi metotlarda kullanılan işlem sayısından çok daha fazladır. Bu özellik tek çözümlerde Gauss-Seitel metoduna avantaj sağlamaktadır.

Yalnız, pratikte sık sık karşılaşıldığı gibi, aynı sistemin, (7) numaralı denklemdeki akımlarda yapılan değişikliklerle, arka arkaya sürekli çözümleri istendiği zaman durum değişir.

Eğer Z matrisi elde edilmiş bulunuyorsa, akımları (9) numaralı denklemde yerlerine konarak gerilimler basit bir matris çarpımı ile elde edilir. İteratif metot kullanıldığı zaman her akım değişikliğinde bütün iterasyon halkasını yeni baştan tekrar etmek gerekir.

Böylece aynı sistem üzerinde yapılacak sürekli etüdlerde envers alma metodu daha avantajlı olmaktadır.

3.4.3. Şebekede Yapılan Değişiklikler :

Umumiyetle enerji şebekelerinde yapılan etüdlerde devrenin topolojisinde veya empedans değerlerlndeki değişikliklerin neticeye tesiri bilinmek istenir.

İteratif metotları kullanıldığı zaman, her yeni etüdte iterasyon halkası tekrarlandığı için, denklemler makina tarafından istenildiği gibi değiştirebilir.

Envers alma metotlannda ise her yeni etüdte Y matrisi değişeceği için, her seferinde Z matrisini yeniden hesaplamak durumu vardır. Yalnız bazı çok faydalı matematik formülleri sayesinde Y matrislndeki değişiklikler envers almaya lüzum kalmadan ve gayet az miktarda işlem yapılarak Z matrisine nakledllebilir. Bu şekilde anvers alma metodunun sürekli etüdler için sağladığı avantajlar koybolmamış olur.

İ. Yük Akışı Probleminin Çözümü

4.1. Düğüm Metodu :

1.1. numaralı kısımda açıklandığı gibi, problemin çözülebilmesi İçin yük haralarında karmaşık gücün, santral haralarında ise reel gücün ve gerilim genliklerinin bilinmesi gereklidir. 2.1. numaralı kısımda açıklanan gerilim kaynaklarının akım kaynaklarına çevrilmesi usûlünü bu probleme tatbik etmek mümkün değildir, çünkü karmaşık bara gerilim ve akımları çözümün sonunda elde edilecektir.

Toplam bara sayısı n olan bir sistem alınır ve santrallar 1 den m ye kadar numaralanırsa aşağıdaki denklemler yazılabilir :

$V_{ks} = (\mathrm{re} V^2_k)^{1/2}$, k = 1, ...m İçin (14>

Bu denklemde V_{ks} k barasındaki gerilimin genliğidir. Bunun çözüme başlamadan evvel bilinme-

$\mathrm{re}\, V_k\, \mathrm{re}\, I_k + \mathrm{im}\, V_k\, \mathrm{im}\, I_k = P_{ks}$ k = 2 ..... n için (15'

$-\mathrm{re}\, V_k\, \mathrm{im}\, I_k + \mathrm{im}\, V_k\, \mathrm{re}\, I_k = Q_{kj}$

k= (m + 1), ...,n için (16)

Burada P_{ks} ve Q_{ks}, k barasındaki aktif ve reaktif güçleri göstermektedir.

4.2. Salınım Harası :

(15) numaralı denklemde birinci santral için aktif *gücün* belirtilmemiş olması mühimdir.

Sistemin kayıpları çözümden evvel bilinemediği ve problemi matematik yönden tam olarak belirtmek gerekli olduğu için bu yola gidilmiştir. Şebekenin yükü kati olarak bilindiği zaman aantrallann toplam çıkığı hakkında kayıplar bilinmediği takdirde, bir şey söylemek mümkün değildir. Onun için, kayıplar çok yakın olarak tahmin edllebllse bile santrallardan birinin (umumiyetle 1 numaralı) aktif çıkığı belirtilmez ve bu çözümün sonunda elde edilir. Aktif çıkışı belirtilmeyen bu baraya salınım barası denir.

4.3. Çözümün tteratif Özelliği :

(14), (15) ve (16) numaralı ifadeler (8) numaralı denklemle birleştirildiği zaman çözülmesi istenilen şebekeyi tam olarak tarif ederler. Denklemlerin reel ve imafinar kısımları makinada ayrı ayrı saklanır. ı(14), (15) ve (16) numaralı denklemler lineer değildir. Bu bakımdan (8) numaralı denklemle beraber İteratif yoldan çözülmeleri gereklidir.

tteratif usûl istenildiği takdirde hem envers alma metoduna hem de Gauss-Seldel tipi metodlara tatbik edilebilir.

4.4. Sistemin Referans Gerilimi :

Sistemdeki karmaşık gerilimlerin faz açıları İçin bir referans gerilimi seçmek lâzımdır Bu gerilimin imajiner kısmının sıfır olması icabeder. Çözüme başlanmadan evvel gerilimi tamamen bilindiği için sistemin salınım barasını, faz referans noktası olarak seçmek çok elverişlidir.

4.5. Akımların Elemine Edilmesi :

(8) numaralı denklemdeki gerilimler (biri hariç) ve akımlar bilinmemektedir. Yalnız akımlar aşağıdaki münasebet kullanılarak elemine edilebilir.

$$I_k = \frac{P_k - jQ_k}{V_k^*} \qquad (17)$$

V_k^*, V_k geriliminin eşlendiğini göstermektedir. Bu denklem (15) ve (16) numaralı İfadelerin çözüm üzerine koydukları şartları sağlar.

(17) numaralı denklem (8), (9) ve (11) numaralı denklemlerde yerine konursa, bilinmeyenler olarak yalnız gerilimler kalır

$S_k = P_x, + N_{ta}$ olun»,

(11) numaralı denklem yeniden yazılır :

$$\frac{S_1^*}{V_1^*} = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + \dots + Y_{1n}V_n$$

$$\frac{S_2^*}{V_2^*} = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + \dots + Y_{2n}V_n \qquad (18)$$

$$\vdots$$

$$\frac{S_n^*}{V_n^*} = Y_{n1}V_1 + Y_{n2}V_2 + \dots + Y_{nn}V_n$$

Bu denklem sistemi 3.1. ve 3.3. numaralı kısımlarda açıklanan iteratif yollarla, gerilimler için çözülür. Çözüm esnasında, denklemlerin sol tarafının her iterasyon halkası İçin sabit kaldığı kabul edilir.

4.6. Salınım Barası Gerllimfinln Elemine Edilmesi :

V, gerilimi bilindiği için (18) numaralı denklem sisteminde n sayıda denkleme karşı (n — 1) tane bilinmeyen vardır. Bunun için denklemlerden bir tanesi fazladır ve elemine edilmesi gerekir. Umumiyetle elemine edilen ilk denklemdir.

4.7. Envers Alma Metodu :

(18) numaralı ifadeden ilk denklem çıkarılınca (n — 1) tane denklem ve $V_2, \dots V_n$ olmak üzere (n — 1) tane değişken kalır. Denklemlerin sağ tarafındaki «V,» 11 sabit terimler sol tarafa alınırra :

$$\frac{S_2^*}{V_2^*} - Y_{21}V_1 = Y_{22}V_2 + Y_{23}V_2 + \dots + Y_{2n}V_n \qquad (19)$$

$$\vdots$$

$$\frac{S_n^*}{V_n^*} - Y_{n1}V_1 = Y_{n2}V_2 + Y_{n3}V_3 + \dots + Y_{nn}V_n$$

Bu denklem sistemi matris şeklinde de yazılabilir:

$$\begin{bmatrix} \frac{S_2^*}{V_2^*} - Y_{21}V_1 \\ \vdots \\ \frac{S_n^*}{V_n^*} - Y_{n1}V_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{22} & \cdots & Y_{2n} \\ \vdots & & \vdots \\ Y_{n2} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \qquad (20)$$

Yeni admitans matrisi ilkinin birinci sıra ve kolonu çıkarılmış halidir.

Bu matrisin enversi alınırsa :

$$\begin{bmatrix} V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & \\ & Y^{-1} & \\ & (Z) & \\ & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{S_2^*}{V_2^*} - Y_{21} V_1 \\ \vdots \\ \frac{S_n^*}{V_n^*} - Y_{n1} V_1 \end{bmatrix} \qquad (21)$$

ve sabit terimler ayrılırsa :

$$\begin{bmatrix} V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & \\ & Y^{-1} & \\ & (Z) & \\ & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{S_2^*}{V_2^*} \\ \vdots \\ \frac{S_n^*}{V_n^*} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix} \qquad (22)$$

Gerilimler için genellikle 1 + jO olan, ilk kabuller yapılır. Bunlar (22) numaralı denklemin sağ tarafında yerlerine konulmak suretiyle yeni gerilim değerleri elde edilir. Bulunan yeni değerler tekrar yerlerine konulmak suretiyle neticeye daha yakın, daha doğru gerilimler elde edilir. Bu işleme bir gerilimin iki doğru arasındaki fark iyice azalana kadar devam edilir. Fark, istenildiği kadar küçülünce çözüm elde edilmiş olur.

4.7.1. Santral Baralan tein Reaktif Gücün Hesaplanması :

4.5. numaralı kısımda santrallann reaktlf üretimlerinin bilinmediği açıklanmıştı. Dolayisıyla yukarıdaki izahat eksiktir.

• Çözüm genel olarak bir yaklaştırma işlemi sonunda elde edilir. Gerilim değerleri her iterasyon halkası sonunda hakiki değerlerine bir az daha yaklaşmış olurlar. Şu halde santral baralarihın reaktif güçlerinin mesaplanan en yeni, dolayısıyla en doğru değeri,, denklemdeki' .yerine konursa çözümün genel gidişatı bozulmaz. .

- Santral .haralarının reaktif güçleri aşağıdaki gibi hesaplanır :

$$Q_k = \mathrm{im}\,(V_k I_k^*), \quad k = 2, \ldots, m \text{ için} \qquad (23)$$

(21) numaralı denklemden :

$$V_k = \sum_{j=2}^{n} Z_{kj} (I_j - Y_{j1} V_1) \qquad (24)$$

veya,

$$V_k = \sum_{j=2}^{n} Z_{kj} \left(\frac{S_j^*}{V_j^*} - Y_{j1} V_1 \right), \quad k = 2, \ldots n \text{ için} \qquad (25)$$

Yukarıdaki ifadeler kullanılarak I_k- için düğüm gerilimleri cinsinden bir denklem bulunur,':

$$I_k = \frac{1}{Z_{kk}} \left[V_k - \sum Z_{kj} \left(\frac{S_j^*}{V_j^*} - Y_{j1} V_1 \right) \right] + Y_{k1} V_1 \qquad (26)$$

Bu denklemler (23) numarada yerlerine konarak Q_k hesap edilir.

4.7.2. Santral Haralarımla Gerilim Genliği :

Santral baralanndaki gerilimin genliğinin çözümden evvel bilinmesi ve,çözüm sırasında sabit tutulması lâzım geldiği .belirtilmişti. Bunu,, sağlamak için gerilimler hesaplandıkça, genlikleri evvelce belirtilmiş olan değerlere eşitlenir :

$$V_k \text{yeni} = V_k, \quad »$$
$$V_k \text{ (yeni)} = V_k \text{ (eski)} \qquad (27)$$

4.7.8. Çözüm Yolunun özeti :

-Santral haraları 1 den- m ye kadar numaralanmıştır-:

(I) $V_2, \ldots 2V_n$ gerilimleri için ilk. değerler tahmin edilir.

(II) (20) numaralı denklem kullanılarak $\left(\frac{S_k^*}{V_k^*} - Y_{k1} V_1 \right)$ hesaplanır. Çözümün bu safhasında, santral baralanndaki Q_k için bir tahmin yapılamıyacağı İçin bu hesabı yapmak zaruridir.

(III) Birinci sırası ve kolonu çıkarılmış olan admitans matrisinin enversi alınır.

(IV) (26) ve (23) numaralı denklemler kullanılarak Qj hesaplanır.

(V) Bulunan Q_2 kullanılarak $\left(\frac{S_2^*}{V_2} - Y_{21} V_1 \right)$ yeniden hesaplanır.

(VI) (II) ve (V) maddelerde bulunan değerler (21) numaralı denklemde kullanılarak yeni V_2 değeri hesaplanır.

(VII) V_2 değeri (27) numaralı ifadeler vasıtasıyla değiştirilir.

(VIII) 2 numaralı bara için hesaplanan en son değerler (IV) ve (V) inci maddelerde 3 numaralı baraya tatbik edilir. I-S——Y . V. I ifadesinin en son değerleri (21) numaralı denklemde V_3 için kullanılır. (27) numaralı İfadeler vasıtasıyla V_3 değiştirilir ve (VIII) numaralı madde V_3 için tekrar edilir.

(DC) Yukarıdaki işlemler bütün santral baraları için aynıdır. Yük baraları için V_k ve

$$\left(\frac{S_k^*}{V_k^*} - Y_{kl} V_l\right)$$ değerlerinin hesaplanmasına devam edilir. Yalnız <J_k hesaplanmaz ve gerilim genliği değiştirilmez.

(X) Bütün V_k değerleri hesaplandıktan sonra 2 numaralı baradan başlanarak, yaklaşım elde edilene kadar bütün işleme devam edilir.

4.8. Gauss-Seidel Metodu :

Eldeki denklemleri (18) numaralı denklemde olduğu gibi ifade etmek Gauss - Seidel metoduna daha uygun düşmektedir.

Denklemenin sol tarafındaki terimlerin geçici bir süre için sabit kaldıkları kabul edilir ve bunlar V_2,..., V_n için çözülürse denklemler Gauss-Seidel tipi çözüme hazır hale gelmiş olur. Eskisi gibi ilk denklem ihmal edilerek :

$$V^* = \frac{1}{\ldots} \left(\frac{S_2^*}{V_2^*} - \sum_{j=3}^{n} Y_{2j} V_j\right) \qquad (28)$$

$$\vdots$$

$$V_n = \frac{1}{Y_{nn}} \left(\frac{S_n^*}{V_n^*} - \sum_{j=2,n-1}^{n} Y_{nj} V_j\right)$$

veya (28) numaralı denklem sistemi genelleştirilerek :

$$V_k = \frac{1}{Y_{kk}} \left(\frac{S_k^*}{V_k^*} - \sum_{j=1,k}^{n}\right) Y_{kj} V_j \quad , k = 2, \ldots \text{nigln} \qquad (29)$$

elde edilir.

Eğer (29) numaralı denklemin sağ tarafındaki gerilimlerin o an için sabit olduğu kabul edilerek V_k için yeni bir değer hesaplanırsa, bunun çözüme eski değerden daha yakın olması icap eder. Yeni bir gerilim değeri hesap edilince (29) numaralı denklemin sağ tarafında yerine konularak V_{k+1} hesaplanır, işlem bu şeklide neticeye kâfi derecede yaklaşılıncaya kadar devam eder. Yukarıda tarif edilen işlem, lineer denklemlerin çözümünde kullanılan Gauss-Seldel metodundan elde edilmiştir.

Santral Karalarının Reaktif Güçlerinin hesaplanması :

4.7.1. numaralı kısımda olduğu gibi santral baralarındaki reaktif gücün (^,k) (29) numaralı denklem kullanılmadan evvel hesap edilmesi lazımdır. Evvelce olduğu gibi yine (23) numaralı denklem kullanılır. Yalnız, bu sefer I_k, düğüm denkleminden çıkarılır:

$$I_k = \sum_{i=1} Y_{kj} V_j \quad k=2 \ldots \text{niçin} \qquad (30)$$

4.8.2. Santral Barasi Gerilim Genliği':

Santral baralannın gerilim genlikleri aynen 4.7.2. numaralı kısımda olduğu gibi değiştirilir. (29) numaralı denklem kullanılarak elde edilen gerilimlerin açılan değiştirilmeden genleklerl düzeltilir.

4.8.3. Çözüm Yolunun özeti:

(I) $V_2 \ldots V_n$ gerilimleri için ilk değerler tahmin edilir.

(II) (30) ve (23) numaralı denklemlerden Q_k hesap edilir.

(İÜ) (29) numaralı denklemden V_2 geriliminin yeni değeri bulunur.

(IV) (27) numaralı denklem vasıtasıyla V_2 geriliminin genliği düzeltilir.

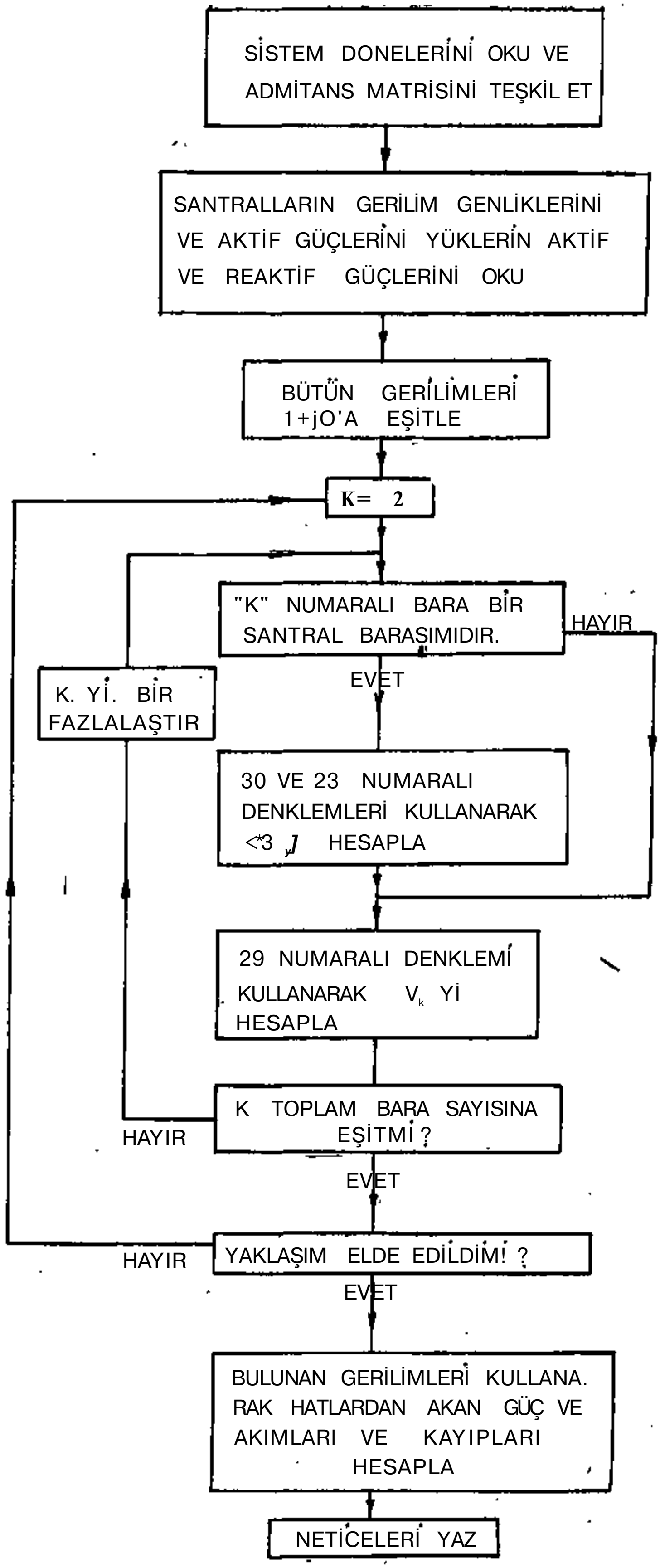
(V) Q_3 (II) maddedeki gibi fakat yeni V_2 değeri kullanılarak hesap edilir.

(VI) *(TL),* (V) maddeler bütün santral baralan İçin tekrar edilir.

(VH) Santral haralarının işlemleri bittiği zaman (29) numaralı denklem yük baralan İçin kullanılır. Denklemin sağ tarafındaki ifadede daima gerilimlerin en son hesaplanan değeri kullanılmalıdır.

(VIII) Bütün gerilimler hesaplandıktan sonra (II) maddeye döndürülür ve bütün işlemler netice elde edilinceye kadar tekrar edilir.

Elektronik hesap makinası kullanılırken, programın safhalarım kolaylıkla takibedebilmek için, «akış. diyagramı» denilen bir şema çizmek çok faydalı olmaktadır. Dört numaralı şekilde yükakışı için Gauss-Seidel metodunun basitleştirilmiş akis diyagramı görülmektedir.


SİSTEM DONELERİNİ OKU VE
ADMİTANS MATRİSİNİ TEŞKİL ET
SANTRALLARIN GERİLİM GENLİKLERİNİ
VE AKTİF GÜÇLERİNİ YÜKLERİN AKTİF
VE REAKTİF GÜÇLERİNİ OKU
BÜTÜN GERİLİMLERİ
1+jO'A EŞİTLE
K= 2
"K" NUMARALI BARA BİR
SANTRAL BARASIMIDIR.
HAYIR
EVET
K. Yİ. BİR
FAZLALAŞTIR
30 VE 23 NUMARALI
DENKLEMLERİ KULLANARAK
HESAPLA
29 NUMARALI DENKLEMİ
KULLANARAK V_k Yİ
HESAPLA
K TOPLAM BARA SAYISINA
EŞİTMİ ?
HAYIR
EVET
YAKLAŞIM ELDE EDİLDİMİ ?
HAYIR
EVET
BULUNAN GERİLİMLERİ KULLANA.
RAK HATLARDAN AKAN GÜÇ VE
AKIMLARI VE KAYIPLARI
HESAPLA
NETİCELERİ YAZ

Şekil : 5

4.8.4. Çözümün Hızlandırılması:

Yukarıda tarif edilen işlem, 3.3.3 numaralı kısımda anlatılan ivme katsayısı kullanılmadan da yapılabilir. Eğer bu katsayı kullanılırsa, her gerilime bunlar elde edilir, edilmez tatbik edilmelidir.

4.0. Yaklaşım Faktörü:

4.3.1. numaralı kısımda gösterildiği gibi lterasyon metotlarında, sözümün herhangi bir safhasında doğru neticeye ne kadar yaklaşılmış, olduğunu kati olarak tesbit etmeye İmkan yoktur.

Bu iş İçin kullanılan en yaygın test (12) numaralı formül ile verilmiştir. Yalnız gerilimler karmaşık olduğu için bu formül pratikte aşağıdaki gibi değiştirilir:

$$\sqrt{(\mathrm{re}\ V_k^P - \mathrm{re}\ V_k^{p-1})^2 + (\mathrm{im}\ V_k^P - \mathrm{im}\ V_k^{P-1})^2} = ç\ C \qquad (31)$$

Enerji şebekeleri çözümlerinde, genellikle bir baza göre normalize edilmiş değerler kullanıldığından, işe yarar doğrulukta neticeler elde edebilmek için C umumiyetle 0—0001 seçilir.

Bazen, yük akışı programlarında kullanılan ve yukardakinc nazaran daha iyi neticeler veren bir diğer test usulünde ise, sistemdeki her baraya giren ve çıkan MVA değerleri kullanılır. Doğru neticeye ancak giren miktarın çıkana eşit olduğu zaman ulaşılırsa da aradaki fark belli bir değerden az olursa neticeye varıldığı kabul edilir.

Hangisi kullanılırsa kullanılsın, her iterasyon halkası sonunda test tatbik edilmelidir

4.10. Sistemdeki Akışların Hesaplanması:

Gerilimler hesaplandıktan sonra sistemdeki akımlar güç akışları ve santralların reaktif çıkışları kolaylıkla bulunabilir.

k harasından j harasına akan I_{kj} akımı •

$$I_{kj} = Y_{kj}\ (V_k - V_j) \qquad (32)$$

denklemi ile verilir. Hattın her ıkı ucundaki güç ise:

$$S_{kj} = V_k\ I_{kj}\ ,\ S_{jk} = V_j\ I_{kj} \qquad (33)$$

dir.

Pratikte, bir hattan bir baraya giren hakiki reaktif gücü bulmak için hattın şarj kapasitesini de hesaba katmak lazımdır. Genellikle kapasitans değeri hattın her iki ucunda toplanmış kabul edilir.

Sistemdeki kayıplar hattın I2R kayıplarını toplamak suretiyle elde edilir.

4.11. Yük Akışı Metodlan Hakkında Genel Mülahazalar:

Evvelki kısımlarda anlatılanlar yük akışı problemi ıçm geliştirilmiş bulunan bir çok ınetodtan yalnız iki tanesidir. Bunlar şimdiye kadar denenmiş olanlar içinde en fazla muvaffak olanlardır ve genel olarak, enerji şebekeleri analizinin özünde yatan basit 'fakat temel matematlk prensipleri kullandıkları için mühim metodlardır.

Gauss-Seidell metodu, daha evvel geliştirilmiş olduğu daha küçük makina hafızasına İhtiyaç gösterdiği, biraz da nisbeten kolay anlaşıldığı ve programlanabildiği için ikisi arasmdan en fazla tercih edilenidir.

Diğer taraftan çözümün önemli bir kademesi admitans matrisinin enversini alarak atlatıldığı için enversiyon metodu, çözüme çok daha çabuk ulaşır. Elektronik hesap makinasının hafıza kapasitesinin müsaade ettiği hallerde, her iki metod yapılacak etüdlerin sayısı ve cinsi göz önünde bulundurularak mukayese edilmelidir. Karar verilirken matris enversıyonunun çok zaman aldığı unutulmamalıdır.

Gsnel kıstas olarak, yapılacak etüdlerin sayısı arttıkça enversiyon metodu avantajlı duruma geçmektedir. Çok büyük sistemler için yapılacak ctüdler buna bir istisna teşkil edebilir. Çünkü, o zaman matrisin enversini almak çok uzun bir zamana ihtiyaç gösterir.

Bu arada, sön senelerde ortaya atılan çok kullanışlı bir envers alma usulünün, bu metodun avantajlarının artırdığını da ilave etmek yerinde olur.

4.12. Pratik Yük—Akışı Programları:

Yük akışı probleminin temel teorisi evvelki kısımlarda izah edildi. Hakiki enerji şebekelerinin analizini yaparken, izah edilenlere ilaveten birçok problem daha doğmaktadır. Bunların en önemlilerinden bir tanesi, işlem sayısını ve hafıza ihtiyacını minimuma indirecek, kullanışlı bir program hazırlamaktır.

Program hazırlanırken doğan problemlerin bir kısmı aşağıya yazılmıştır:

(I) Sistemin donelerini en elverişli ve kolay bir şekilde hazırlanabilir halde maklnaya verebilmek ve denklemlerin otomatik olarak teşkili.

(II) Nominal kademe dışında çalışan trafoların işleme dahil edilmesi.

(III) Santralların reaktif çıkışları için alt ve üst lımıtlsr koymak.

(IV) En elverişli salınım harasının seçilmesi.

• (V) En elverişli İvme katsayısının seçilmesi

(VI) Çeşitli planlama ve kontról hesapları için, iteratif çözümü bozmadan, ve makineyi durdurup yeniden yüklemeden, şebekenin topolojisini veya sabitlerinin değiştirebilen bir sistemin teşkili.

5. Arıza Etüdlerl:

Arıza etüdlerinde, İncelenen şebeke pasif bir devre olarak gösterilir. Dolayısıyla devreyi karakterize eden denklemler sistemi lineerdir. Bu denklemler 3.1. ve 3.3. numaralı bölümlerde izah edilen metodlarla çözümlenebilir. Arıza etüdü bir kısa devre anında sistemin emniyetle plup olmadığını kontrol etmek için yapılıyorsa, en büyük arrza akımlarına sebebiyet veren 3 fazlı dengeli kısa devre hali incelenir. Dengeli kısa devre etüdü yapıldığı zaman devrenin tanımlanması yük akışında olduğu gibidir ve aynı sistem doneleri kullanılır.

Dengeli kısa devreler için genellikle simetrik bileşenler metodu kullanılır, dolayısıyla bileşen devreleri İçin İlave empedans değerlerine ihtiyaç vardır.

Arıza etüdlerl umumly,etle tek bir kısa devre için yapılmaz. Fakat sistemin muhtelif noktalarındaki arızalar İçin müteaddit defalar tekrarlanır.

Genellikle bu tip etüdlerde haralarda meydana gelen kısa devreler incelenir. Çok uzun hatlar üzerinde yapılan özel çalışmalarda, hattın üzerindeki bir noktada meydana gelen.kısa devre de İncelenebilir. Bunun İçin, o noktada bir bara bulunduğu farz edilir.

Arıza etüdlerlnln netlcelerindeki hassasiyet derecesinin pek yüksek olmasına lüzum bulunmadığından devreyi ve İşlemleri basitleştirerek bazı kabuller yapmak mümkündür. Bu kabulleri, netice üzerine yaptıkları etkiler yönünden gruplandırmak mümkündür. Aşağıda neticenin doğrulunu fazla etkilemiyen bazı kabuller İzah edilmiştir.

8.1. 3—Fazlı Devre

5.1.1. Yapılan Kabuller

(I) Senkron makina grupları, istenilen zaman aralığına bağlı olarak tranziyen veya subtranzlyen empedanslann ardındaki gerilimlerle tanımlanır. Bu gerilimin değeri arızadan evvelki yükleme durumuna bağlıdır.

(II) Yükler eşdeğer şönt admitans değerleri ile gösterilir.

(III) Nakil hatları karmaşık impedanslar İle gösterilir ve şarj kapasite değerleri ihmal edilir.

Yukarıdaki maddelerin her birinde daha Heri giderek bazı kabuller daha yapmak mümkündür. Mesela, sistem empedanslannm tamamen reaktif kabul edilmesi, yüklerin İhmal edilmesi gibi.

Fakat yapılan kabuller ne olursa olsun çözüm metodü değişmediğinden burada en doğru'neticeyi veren kabuller incelenmiştir.

Aşağıdaki izahatta ayrıca, sistemin arızadan evvelki durumunu bildiren bir yük akıgr etüdü yapıldığı da kabul edilmiştir.

5.1.2. Makinaların Tanımlanması:

Sistemdeki, kafi derecede büyük bütün makina grupları birer gerilim kaynağı olarak gösterir. Ancak çok büyük yükler bu şekilde, tanımlanırlar.

Bir arada arızadan evvelki güç P +'JQ, gerilim V ise, makina reaktansl Z(buna trafo impedansı da dahil edilebilir) nln ardındaki E gerilimi aşağıdaki şekilde hesaplanın:

$$E = V + \frac{P - JQ}{V^*} Z \qquad (34)$$

Bu durum aynen Şekil 2 de' gösterildiği gibidir. Gerilim kaynağı değeri E/Z olan birakımı kaynağına çevrilir. l/Z admitansı bara İle toprak araşma bağlanır. Bu admitans o baranın yalnız self-admltansına tesir eder ve matrlsdeki diyagonal elemanının kuvvetlenmesine, sebep olur.

5.1.3. Pasif Yüklerin Tanımlanması :

Bir yük barasının arızadan evvelki gücü P + }Q gerilimi de V İse bu baranın eşdeğer ad-mıtansı aşağıdaki şekilde bulunur :

$$Y_o = \frac{P - jQ}{V^2} \qquad (35)$$

Bu admitans devreye İlave edildiği zaman bağlı olduğu baranın şelf admltansım etkiler ve matrlsdeki diyagonal elemanını kuvvetlendirir. Bu tip baralara herhangi bir kaynak bağlı olmadığı İçin, bunların düğüm akımları sıfırdır.

4.1.4. ·Arızanın Tanımlanması :

Yukarıdaki kaynak ve yük tanımlamaları devreye tatbik edildiklerinde, bu devreyi 4 numaralı kısımda olduğu gibi, bir seri düğüm denklemi ile tarif etmek mümkündür.

Kaynakların bağlı olduğu baraları «I»den «j» ye kadar, yüklerlnkl İse «k» den «n» ye kadar $(k = j + 1)$ numaralanırsa, denklemler aşağıdaki şekli alır :

$$
\begin{aligned}
V_1 &= Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + \dots + Y_{1n}V_n \\
&\vdots \\
E_j/Z_j &= Y_{j1}V_1 + Y_{j2}V_2 + \dots + Y_{jn}V_n \\
0 &= Y_{k1}V_1 + Y_{k2}V_2 + \dots + Y_{kn}V_n \qquad (36) \\
&\vdots \\
0 &= Y_{n1}V_1 + Y_{n2}V_2 + \dots + Y_{nn}V_n
\end{aligned}
$$

5.1.5. Enversiyon Metodu :

(36) numaralı denklemler devreye herhangi bir kısa devre konmadan, Y matrasainln enversini almak suretiyle çözülürse :

$$V = Z \cdot I$$

elde edilir.

Şimdi «k» harasına bir kısa devre tatbik edilmiş ve kısa devre akımı I'_k olmuş, olsun. Bu durumda devredeki gerilimler aşağıdaki gibi bulunur:

$$V' = Z\left[I - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ I'_k \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}\right] \qquad (37)$$

ve «j» barası için :

$$V'_j = V_j - V_k \qquad (38)$$

Arıza admıtansının Y_k olduğu kabul edilirse :

$$I'_k = Y_k V'_k \qquad (39)$$

ve (38) numaralı denklemden :

$$V'_j = V_j - \frac{Z_{jk}Y_kV_k}{1 + Z_{kk}Y_k} \qquad (40)$$

Eğer arıza empedansı yoksa (40) numaralı denklem aşağıdaki şekli alır :

$$V'_j = V_j - \frac{Z_{jk}}{Z_{kk}} V_k \qquad (41)$$

Böylece k barasındaki bir kısa devre için sistemdeki bütün gerilimler, arızadan evvelki gerilimler ve Y matrisin enverslni almak suretiyle (40) ve (41) numaralı denklemlerden bulunur. Gerilimler bulunduktan sonra, 4.10 numaralı kısımda açıklandığı gibi, akımlar ve güçler kolayca hesaplanır.

5.1.6. Gauss—Seldel Metodu :

(36) numaralı denklemler (10) numaralı denklemlere çok benzediği için Gauss-Seidel metoduyla çözümlenebilir.

Eğer Y_k gibi bir arıza admitansı varsa, bu k harasının selfadmltansına İlave edilir ve $V_1, \dots, V_n$ gerilimleri (11) numaralı denklemlerde olduğu gibi çözülür.

Eğer arıza impedansı yoksa $Y_k \to \infty$ dur. Fakat denklemlerde «Y_k» yi bu şekilde göstermek doğru bir yol değildir. Onun yerine arıza noktasındaki gerilimin sıfır olduğunu kullanmak daha doğrudur. V_k geriliminin sıfır olduğu bilindiğinden, k harasının denklemi (10) numaralı denklem sisteminden çıkarılır. Bu suretle geriye kalan (n—1) tane denklem, V_k İhmal edilerek $V_1, \dots, V_n$ gerilimleri İçin çözülür.

5.1.7. S Fazlı Kısa Devreler İçin Genel Mülahazalar :

Enerji şebekeleri için sık sık ve çok miktarda 3 fazlı kısa devre etüdleri yapılması, yukarıda bahsi geçen iki metodtan hangisinin seçileceği konusunu çok yakından ilgilendirir.

Admitans matrisin bir kere enversl alındıktan sonra, bir şebeke İçin bütün 3 fazlı devre halleri (40) ve (41) numaralı denklemler kullanılmak suretiyle kolaylıkla incelenebilir.

tteratif metot kullanıldığı zaman, her bir kısa devre hail İçin Gauss-Seldel çözümünü yeniden tekrarlamak lazımdır. Denklemler lineer olduğu ve eşdeğer yük ve santral admitansları matrlsdekl diyagonal elemanlarını kuvvetlendirdiği için, Gauss-Seldel metoduyla yapılan bir kısa devre etüdü uzun zaman almaz. Ayrıca kısa devre etüdlerinin neticelerinin fazla hassas olmasına lüzum bulunmadığından, çözüm yük akışına nazaran daha az iterasyon yapılarak elde edilir.

Enversiyon metodu, etüd sayisı arttıkça Gauss-Seldel metoduna nazaran daha süratli netice verdiği için elektronik hesap makinasının hafıza kapasitesinin, enversi alınmış admitans matrisinin tamamını saklıyabilecek büyüklükte olduğu hallerde, tercih edilmelidir.

5.2. Dengesiz Kısa Devre Arızalan :

6.2.1. Tapılan Kabuller :

Dengeli kısa devreler için yapılan kabuller dengesiz-kısa devreler için de geçerlidir. Yalnız dengesiz kısa devreler için bir takım İlaveler daha yapmak lazımdaır.

(I) Senkron makinalar yalnız doğru bileşen gerilimlerini üretir.

(II) Enterkonekte bileşen devrelerine simetrik bileşenler metodu uygulanlır.

5.2.2. Denklemlerin Kurulması ve Çözümü:

• " Dengesiz arıza halini karakterlze etmek için, bileşen devreleri birbirlerine bağlandığından, sonuca ortaya çıkan devre, dengeli kısa devreler için meydana gelen. devreden (doğru bilegen devresi) ortalama olarak 3 defa büyüktür. Doğru bilegen devresinin toprağı gerilim için referans noktası olarak kabul edilir ve diğer bilegen devrelerinin topraklan normal birer bara olarak kabul edilirse, bu büyük devre düğüm metodu ile tanımlanabilir.

Evvelce olduğu gibi gerilim kaynakları akım kaynaklarına çevrillrse, aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\begin{bmatrix} I_+ \\ I. \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \; Y \; \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V- \end{bmatrix} \qquad (42)$$

Akım matrisinin I_+ kısmı, santrallar için "akım kaynaklarını ve yükler îçin sıfırları ihtiva etmektedir. I_- ve I_Q normal olarak sıfırdır. V- matrlsindeki gerilimler ise doğru bilegen devresinin toprağına göredir.

Matrisler kurulduktan sonra (42) numaralı denklemi bilegen gerilimleri için enversiyon veya iterasyon metodlarından biriyle çözmek lâzımdır.

Her bilegen devresindeki, hakiki faz-toprak ters ve sıfır bilegen gerilimleri çıkarma yoluyla elde edilir.

Bu gerilimlerden ve bilegen admitanslarından, bilegen akımları elde edilir. Daha sonra bu değerlerden aşağıdaki transformasyon kullanılarak faz değerlerine geçilir:

$$\begin{bmatrix} X_Q \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_0 \\ X_+ \\ X_- \end{bmatrix} \qquad (43)$$

Burada, $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ dir.

8.2.3. Diğer Çözüm Yollan :

Bilegen devrelerinin birbirlerine ilavesiyle doğan matrisin dengeli kısa devreler için kurulan matristen çok daha büyük olduğundan bahsedllmigtlr. Dolayısıyla dengesiz kısa devreler için makina hafızasında daha büyük yer kullanmak zorunluluğu vardır.

(42) numaralı denklem iterasyon metodlan ile çözüldüğü zaman, hafıza ihtiyacı 3 misil, enverslyon metodunda 9 misli artar. Ayrıca enversiyon metodunda iglem sayısı da 27 defa artmaktadır.

Birçok hallerde artan hafıza ihtiyacı incelenecek sistemin büyüklüğünü sınırlar. Bu bakımdan ters ye sıfır biiegen devrelerini egdeğer birer impedans haline getirmek faydalıdır.

Bu devrelerin diğer devrelerle birlegtikleri noktadan görülen eşdeğer impedanslan her biri için bir yük akışı uygulamakla bulunabilir.

Eşdeğer empedanslar bulunurken bilegen devresinin arıza ve toprak noktalan arasına değeri. 1 + jO olan bir, akım kaynağı bağlamak faydalıdır. Bu durumda devredeki akımlar hesaplandığında akımlar için «dağılım katsayıları» bulunmuş olur. Bu katsayılar o bileşen devresinin hakiki anza ·akımı İle çarpıldıklarında devredeki hakiki akımlan verirler. Hakiki anza akımını bulmak için ise egdeğer empedanslar toplanarak doğru bilegen devresinin ama ve toprak noktalan arasına bağlanarak yük akıgı tatbik edilir. Bir faz toprak amalarında bilegen devreleri seri olarak bağlandığından, her bileşen devresinin- anza ve toprak noktaları arasından geçen akım kolaylıkta bulunur. Bu şekilde ·bütün bileşen devrelerlndeki hakiki akımlar ortaya çıkar. Aynı iglemler gerilimler için dağılım katsayılan bulunarak da yapılabilir. Her iki metodu birleştirmek de mümkündür.

5.2.4 Dengesiz Arızalar îçin Genel Mülahazalar :

Genel olarak, dengesiz amaları hesaplamakla, dengelileri hesaplamak arasında zorluk bakımından fazla bir fark yoktur. Yalmz daha fazla zamana ve daha büyük hafıza kapasitesine İhtiyaç vardır. Bilhassa, enversiyon metodu kullanıldığında daha da fazla zamana ihtiyaç vardır, çünkü çözüm zamanı bara sayısının kübüyle doğru orantılıdır.

Evvelki kısımda, dengeli arızalar için incelenecek kısa devre sayısının fazla olmasının enversiyon metodu için büyük bir avantaj olduğundan bahsedilmişti. Dengesiz arızalar için durum tamamen değişmektedir. Çünkü her seferinde bileşen devrelerinin yeniden bağlanması gereklidir, bileşen devrelerinin bağlanması gereklidir. Bileşen devrelerinin yeniden bağlanmasını Y matrisinin enversini yeniden almadan yapmak da mümkündür. Fakat bu iş oldukça karışık olup çok sayıda işleme ihtiyaç gösterir.

Diğer taraftan iteratlf metod makina hafızası yönünden daha şanslıdır, ve bileşen devrelerini yeniden teşkil edip birbirlerine bağlamak bu metod kullanıldığı takdirde nisbeten daha kolaydır.

6. Devre Çözümlerinin Hızı ve Makina Hafızası Üzerine Ek.

Enversiyon ve Iterasyon metodlarının bilhassa 3.4, 4.11, 5.1.7 ve 5 2 4 numaralı kısımlarda yapılan mukayeseleri, kullanılan elektronik hesap makfnası için yapılan bazı kabullere göre doğrudur.

Burada elektronik hesap .makinalarının bazı yapım özelliklerinden kısaca bahsetmek gereklidir.

Elektronik hesap makınaları sürat ve kapasite bakımından büyük değişiklikler gösterirlerse de, temel olarak yapı ve çalışma tarzları aynıdır. Bütün elektronik hesap makinalarının, işlemlerin yapıldığı bir aritmetik üniteleri vardır, tki sayı üzerinde bir işlem yapılacağı zaman bu sayılar normal olarak bulundukları hafıza ünitesinden alınarak aritmetik üniteye getirilirler, tşlem bittikten sonra ise tekrar yerlerine dönerler.

Makinanın hafızası «core-hafıza» dan ve diğer destekleyici hafızalardan teşekkül eder. Sayıların core-hafızadan aritmetik üniteye transfer zamanlan çok küçüktür. Diğer destekleyici hafızaların transfer zamanları oldukça ağırdır. Destekleyici hafızalar manyetık-drum, disk veya teyp olabilir. Genellikle bunların kapasiteleri core-hafızadan çok daha büyüktür.

Eğer hazırlanan program destekleyici hafızadan aritmetik üniteye çok sayıda transfer yapılmasını icap ettiriyorsa, çözüm zamanı büyük.

Bütün doneleri core-hafızadan saklanabilen bir program, destekleyici hafızaya ihtiyaç gösteren programlardan daha süratli netice verir.

Çeşitli çözüm yolları mukayese edilirken bu faktörlere dikkat edilmelidir.

Bu makale, en çok karşılaşılan enerji şebekeleri problemlerinin elektronik hesap makinasında (Çözülebilmeleri için gerekli teoriyi vermektedir.

Bu problemler için daha başka çözüm yolları da vardır. Fakat burada bahsedilenler mevcut metodlar içinde en temel ve en çok kullanılanlar olup, enversiyon ve iterasyon metodları arasındaki fark açıkça belirtmektedir.

Burada verilen .teori pratik programların hazırlanabilmesi için kâfi değildir. Daha çok mütehassısları ilgilendirdiği için, programlamanın özel problemlerinden, donelerin en uygun şekilde nasıl hazırlanacağından, neticelerin nasıl yazılacağından bahsedilmemiştir. Diğer taraftan, bu programlar birçok mühendis tarafından kullanılabileceğinden, temel teori ve prensiplerin bilinmesi çok faydalıdır. Mütehassıslar için de mevcut programlarında, ek malumat elde etmek için bazı değişikliklerin yapılması sağlanabilir.

Bibliyografya :

1 — WARD, J. B.', HALE H. W.: Digital eomputer solution of power flow problems, AIEE Transactıons 1955, cilt 73, sayfa 1696.

2 — GLIMM, A F., STAGG,' G. W.: Automatic calculatıon of load flo^s AIEE Traıısactlons 1957, cilt 76. Kısım UT, sayfa 817.

3 — BROWN, R. J, TINNEY, W. F.: Digital Solutions for large power netvvorks AIEE Transactions 1957, cilt 76 Kısım III. sayfa 347

4 — BENNETT, J, M. Digital computers and the load-flow problem Proc. IEEE. 1956, cilt 103B, Suppl. 1, sayfa 16. •

5 — HALE H. W., GOODRICH, R. W.: Digital computation of power flow-some new aspects AIEE Trans 1959, cilt 78, Kısım III. sayfa 919.

6 — VAN NESS, J. E . Iteration methods for digital load flow studies, AIEE Trans. 1959, cilt 78, Kısım III, sayfa 583.

7 — JOHN, M. N.: A general method of digital network analysis particularly suitable for use with low-speed computers, Proc. IEE, 1961, cilt 108A, sayfa 383.

8 — BYERLEY, R. T , LONG, R. W., BALDWIN, C J., KING,, C. W : Digital calculation of power system networks under faulted conditıons, AIEE Trans 1959, cilt 77, Kısım HI, sayfa 1296.

9 — BROWN, H. E , PERSON, C E , KIRCHMAYER, L. K., STAGG, G. W • Digital calculatıon of three-phase short cırcuit by matrix nıethod; AIEE Trans. 1961, cilt 79, Kısım IH, sayfa 1277

10 — STOTT, B., TARKAN, O.: Elektrik enerji şebekeleri çözümlerinde modern metotlar (kitap, basımda).