

Paralel Enerji Nakil Hatlarında Dengesizlik ve Kayıplar Yönünden Optimum Faz Sıralaması ve İranspozisyon Seçimi *

Yazan :
Yüdz ABİKAN
ODTÜ

ÖZET

Bu yazıda enterkonnekte elektrik şebekelerine bağlı uzun, çok devreli, seri ve şönt kompanzasyonlu hâiz enerji nakil hatlarının karşı empedans ve admittanslarının sebep olduğu dengesizlik halleri incelenmiştir.

ÇifP devre bir enerji nakil hattında, mümkün olan 36 değişik transpozisyon ve faz sıralama durumlarının herbiri için hattın empedans ve admittans matrislerinin hesaplanması ile çok iletkenli hal için dalga denklemlerinin çözümünden hatların kompanzasyon dahil eşdeğer devrelerinin çıkarılışı, uç devreleri de göz önüne alınarak değişik yük durumlarında sistemin çeşitli noktalarındaki dengesizlikler ve hat kayıplarının bulunuşu gösterilmiştir.

Model sistem üzerinde yapılan incelemelerin sonuçlarının incelenmesinden, kayıplar ve dengesizlikler bakımından en iyi faz sıralaması ve transpozisyon durumunun tesbitine çalışılmıştır.

1. GİRİŞ

1.1. Problemin tanımı, ve gayesi :

Normal olarak 3 fazlı sistemler, elektrik karakteristikleri yönünden simetrik olarak yapılırlar. Sistemi meydana getiren elemanlar generatörler, transformatörler, enerji nakil hatları, kablolar ve yüklerdir. Bunlardan, generatörler ve transformatörler dengeli olmak üzere dizayn edilir ve yapılırlar. Yükler mümkün olduğu kadar her üç fazda simetrik tutulmaya çalışılır. Sekonder yükleri tam dengeli olmadığı hallerde bile primer tarafına bu dengesizlikler aksetmez. Böylece sistemde normal çalışma anında yegâne dengesizlik kaynağı faz iletkenlerinin birbirleri üzerindeki karşı endüktif ve kapasitif tesirleri yüzünden enerji nakil hatlarıdır. Herhangi bir şebekede devamlı işletmede* hat karakteristiklerinden dolayı ortaya çıkan dengesizlik sistem içinde istenmeyen negatif ve stfir bileşen akımlarının dolaşmasına sebep olmakta,

* Bu konferans 8.2.1972 tarihinde EİE İdaresi salonunda verilmiş olup, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumunun desteklediği ve Dr. Enerji Türelî (ODTÜ) ve Y. Müh. Arif Ertaş (ODTÜ) tarafından hazırlanan «Paralel Enerji Nakil Hatlarında Dengesizlik ve Kayıplar Yönünden Optimum Faz Sıralaması ve Transpozisyon Seçimi» isimli rapordan derlenmiştir. Konuşmacı halen bu konunun daha geliştirilmiş hali olan dengesizliğin tüm sistem üzerindeki etkilerini araştırmaktadır.

SUMMARY

in this paper the unbalances caused by the inductive and capacitive mutual couplings between parallel electric power transmission lines has been investigated. The lines have been considered to be long and including series and shunt compensation.

Methods for computing the impedance and admittance matrices of a double circuit line for 36 possible combinations of phase arrangements and transpositions, as well as the solution technique of multiconductor wave equations for obtaining the equivalent circuits of parallel lines and how these equivalent circuits can be used in the load flow solutions of the system for various receiving and loads and power factors has been shown.

Through an analysis of the results obtained for a model system, optimum phase arrangement and transposition condition has been pointed out which minimizes losses and unbalances together with the relative merits of transposition and phase arrangements.

dolayısıyla, bara voltajlarındaki dengeli voltaj durumu bozulmakta, generatör ve transformatörlerin ısınmasına ve dolayısıyla tam yüklenmelerine sebep olmakta ve aynı zamanda, dengesiz akımların yarattıkları ilâve enerji kayıplarından dolayı sistemin verimini düşürmektedirler.

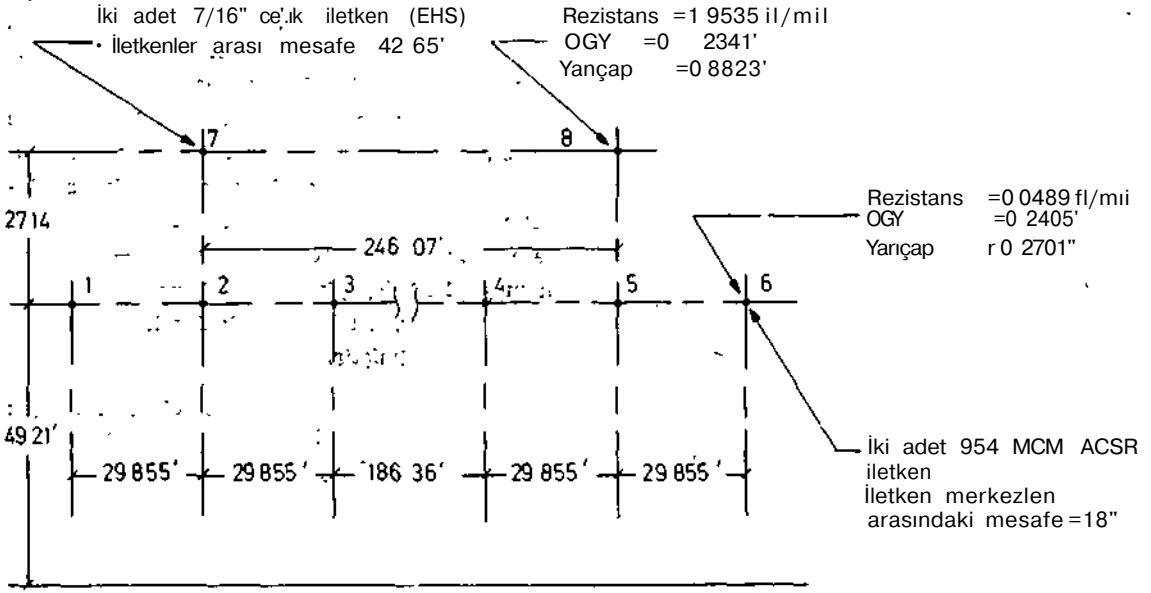
Türkiye'de halen kurulmakta olan 380 kV luk enerji nakil sistemi içinde bu problem varit olup, bu dengesizliğin önceden incelenmesi ve minimuma İndirecek şartların aranması ve ekonomik olduğu müddetçe, tasarımının ona göre yapılması gerekmektedir.

Burada 380 kV'luk sistemin bir kısmının teşkil eden Keban-Ankara hattı (Şekil 1.1, Şekil 1.2) üzerinde yapılan incelemelerden örnekler verilecektir.

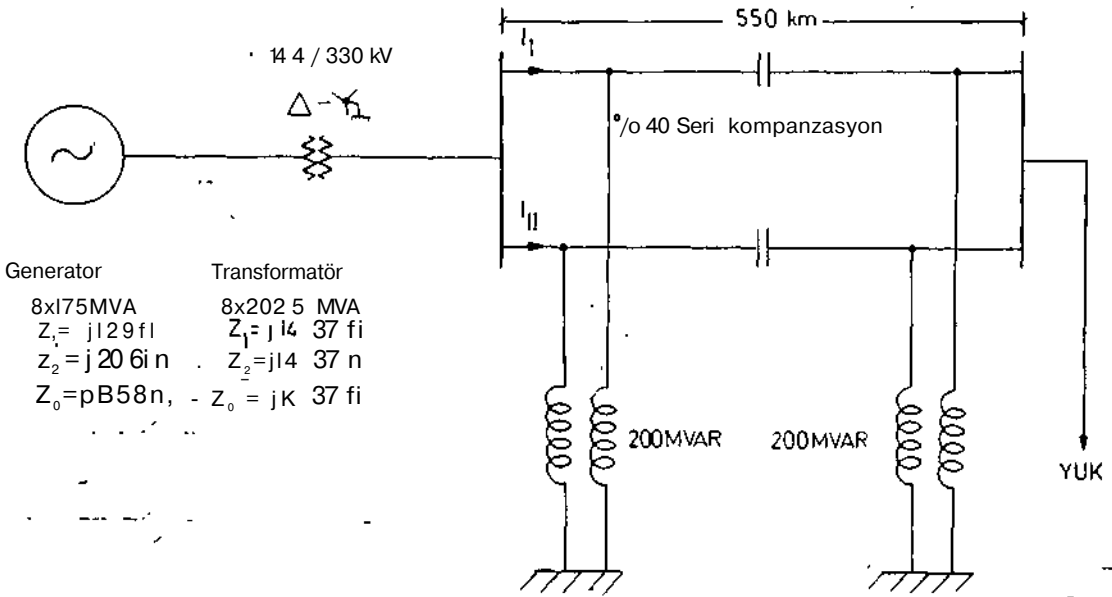
1.2. Enerji nakil hatlarında değişik faz sıralaması ve transpozisyon durumları* :

Enerji nakil hatlarında iletkenlerin öz ve karşı empedans ve admittansları, iletkenlerin uzayda birbirlerine göre konumlarına bağlıdır ve transpozisyon yoluyla üç fazında öz ve karşı empedans ve admittanslarını eşitlemek böylece dengesizliği ortadan kaldırmak mümkündür.

Tek devre (3 faz) enerji nakil hatlarının tam transpoze edilmesi için her bir faz iletkeni ener-



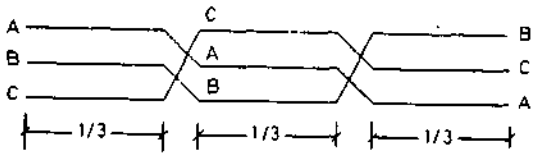
Şekil 1.1. Keban - Ankara 880 kV hatları konfigürasyonu OGY = Ortalama geometrik yarıçap (GMB).



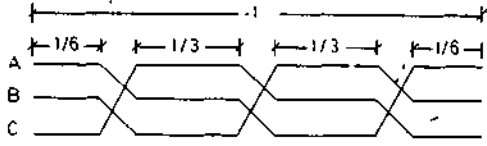
Şekil 1.2. İncelenen sistemin tek bat şeması.

İl nakil hattının alıcı ve verici uçları arasında, eşit uzunluklarda her üç faz konumunu almaktadır. Şekil 1.3. a Şematik olarak tek devre tam transpoze edilmiş enerji nakil hattını göstermektedir. Tatbikatta, değişik trafo istasyonlarında fazların standart konumlarında bulunmalarını temin etmek için Şekil 1.3. b'de gösterilen

transpozisyon şekli uygulanmaktadır. Hat uçlarındaki akım ve voltaj münasebetleri bakımından bu uygulamanın Şekil 1.3. b'deki uygulamadan farkı yoktur. Çift devre enerji nakil hatlarının tam transpozisyonu ise gene aynı esasa göre Şekil 1.4'de gösterildiği şekilde yapılabilir. Bu şekildeki transpozisyon, teknik ve

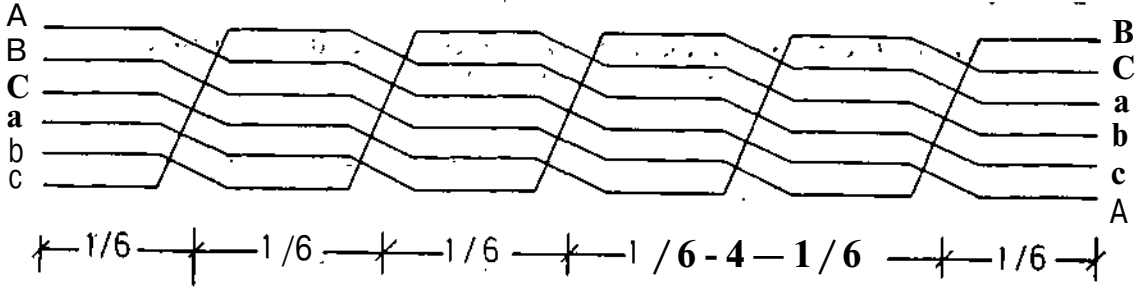


(a)



(b)

Şekül 1.3. Tam transpoze edilmiş tek devre enerji nakil hattı.



Şekilli 1.4. Tam transpoze edilmiş çift devre enerji nakil hattı.

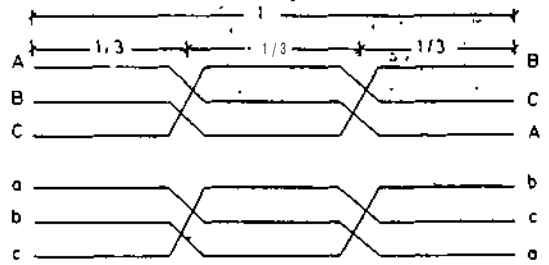
ekonomik mahzurlardan dolayı tatbikatta uygulanmamakta, her devre birbirinden müstakil olarak transpoze edilmektedir. Dolayısıyla her devrenin kendi iletkenleri arasındaki karşıt tesirleri ortadan kalkmasına rağmen, devreler arasındaki karşıt tesirler tamamen ortadan kalkmamaktadır ve böylece bu elemanlar tamamen simetrik olmamakta ve sistemin normal çalışmasında da dengesiz akımların akmasına sebebiyet vermektedir. Dolayısıyla dengesizliğin kaynağı olan bu elemanların sistem tasarımının, kayıplar ve dengesizlikler yönlerinden, en iyi olabilmesi için tam olarak incelenmesi gerekmektedir.

Çift devre enerji nakil hatlarının transpozisyon işlemi, devreler birbirinden müstakil olarak, ya aynı yönde veya, ters yönde olarak yapılabilir bu iki farklı transpozisyon durumu, Şekil-1.5.'a ve 1.5. b'de gösterilmiştir.

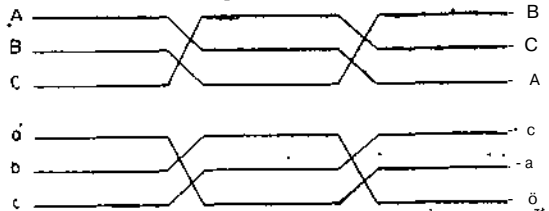
Transpoze edilmemiş çift devre enerji nakil hatlarında, faz iletkenlerinin yerleşme konumlarına göre değişik kombinasyonlar teşkil ettiği

görülmektedir. Dolayısıyla kombinasyon adedinin bilinmesi gerekmektedir. Çift devre hatlarda, devrelerden birinin faz iletkenleri; ya saat yönünden olarak ABC faz sıralama konumunda veya saat yönüne ters olarak ABC faz sıralama konumunda olarak farklı iki şekilde olabilir. İkinci devrenin birinci devreye göre faz sıralaması ise yine bir kombinasyon olup ft'dir. Böylece, 3 faz çift devreli hat için $2 \times 6 \text{ fe} = 12$ konumun yani 12 değişik faz sıralamasının olduğu görülmektedir. Bu 12 değişik faz konumu Şekil 16'da gösterilmiştir.

Problem daha genel olarak ele alınırsa çok devreli (N devreli) hatlarda değişik faz konum sayısının $6N/3$ olduğu görülür.

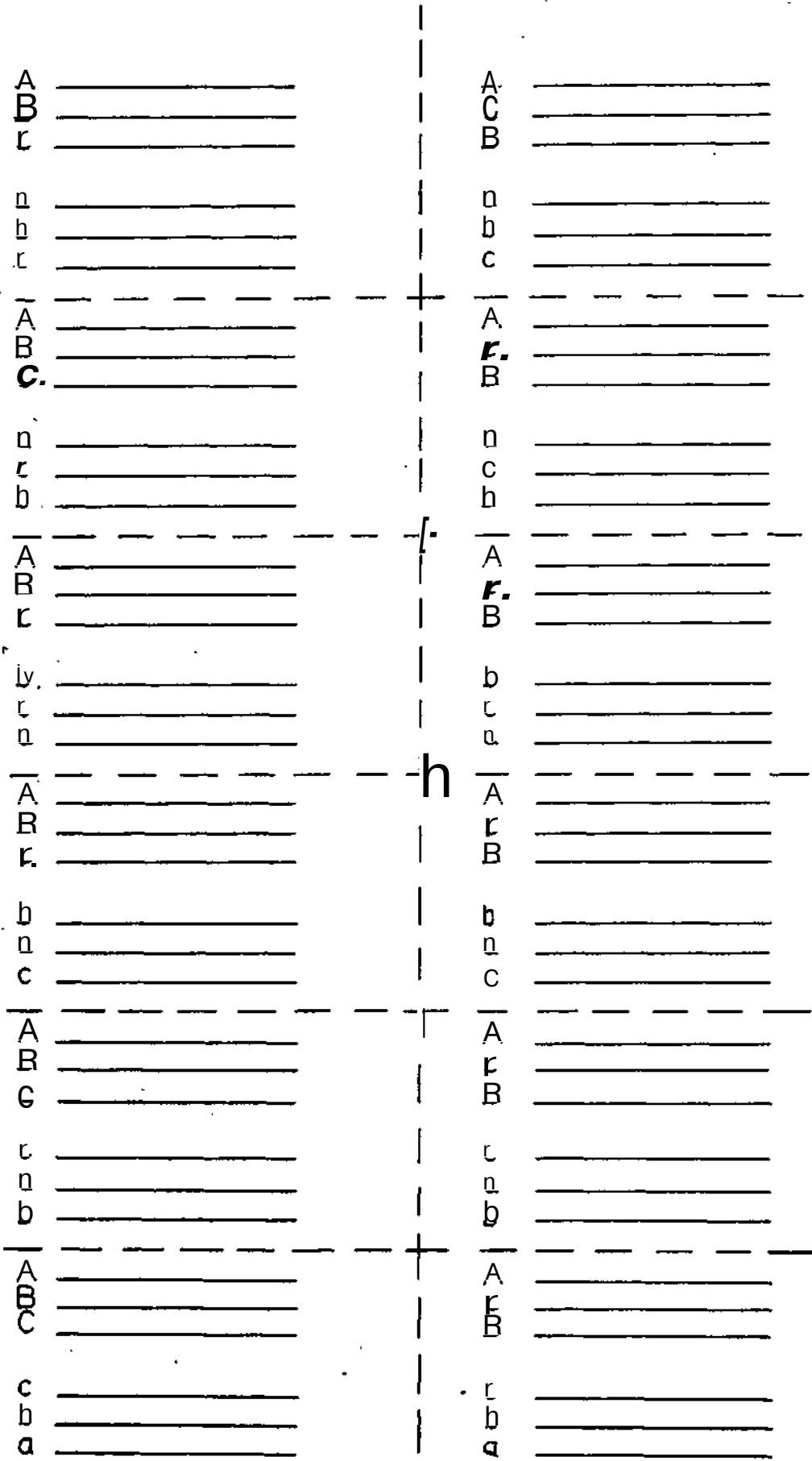


(a)

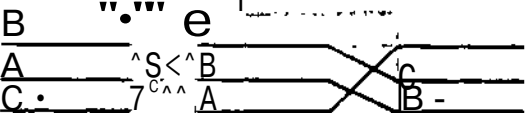
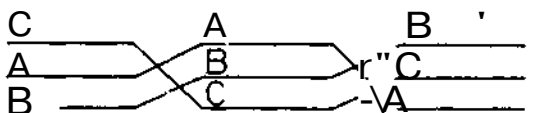
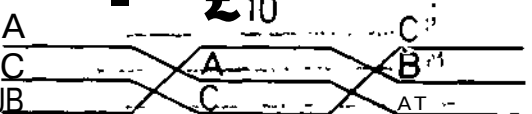
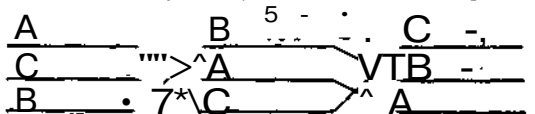
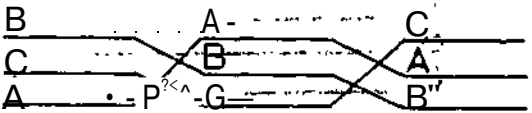
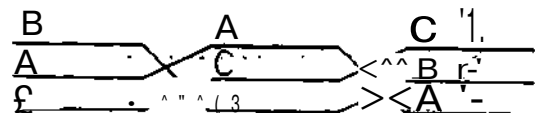
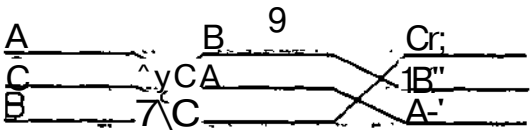
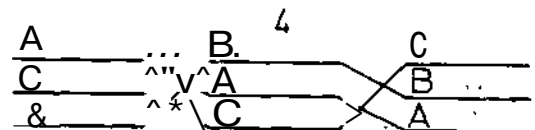
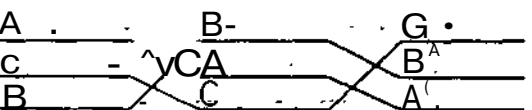
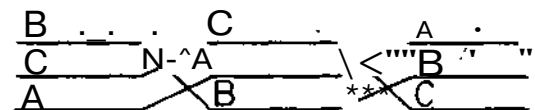
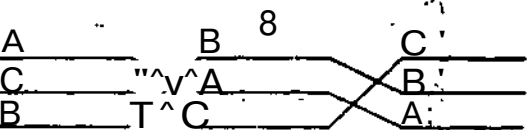
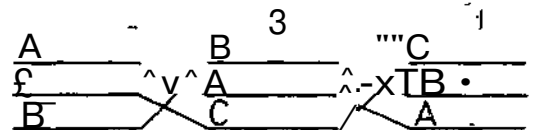
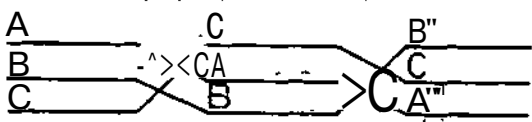
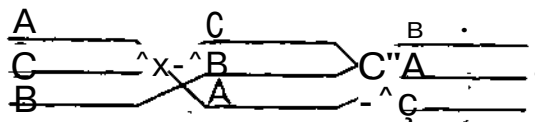
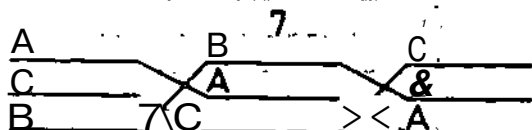
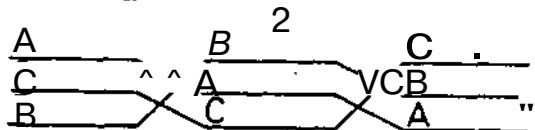
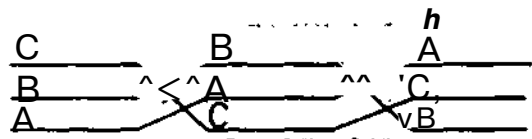
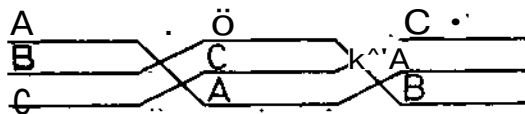
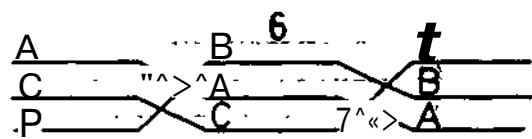
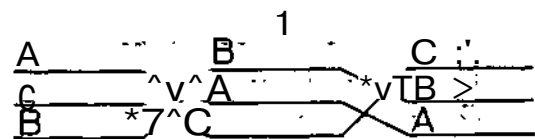


(b)

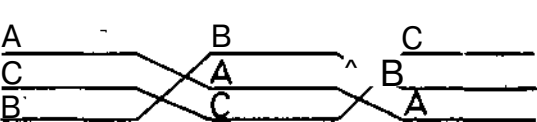
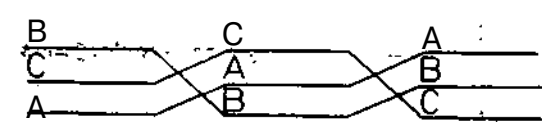
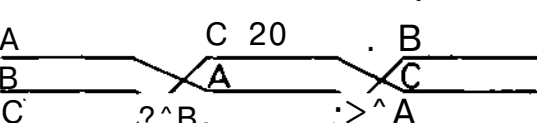
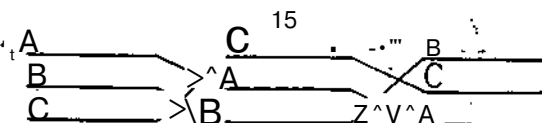
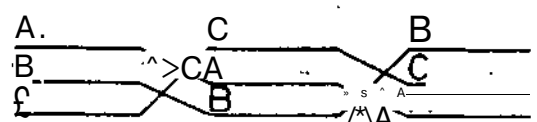
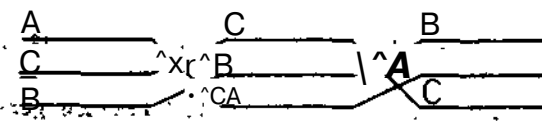
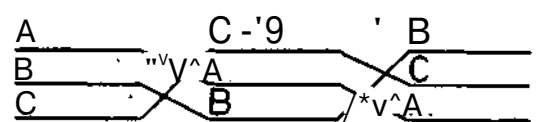
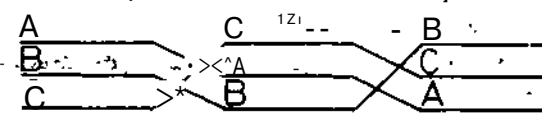
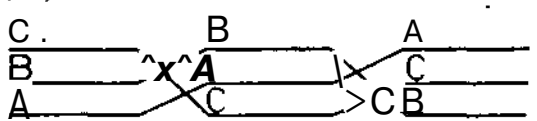
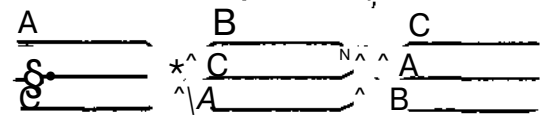
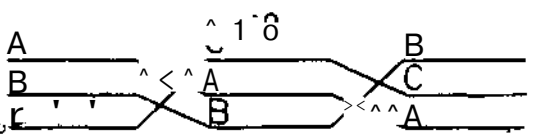
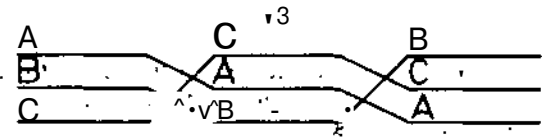
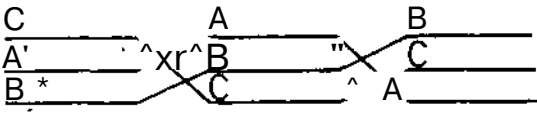
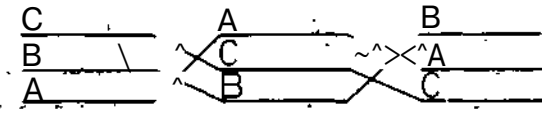
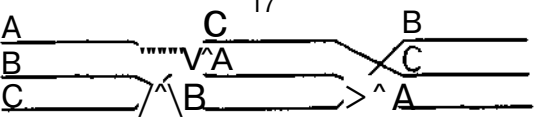
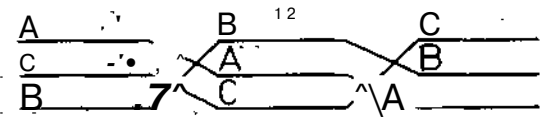
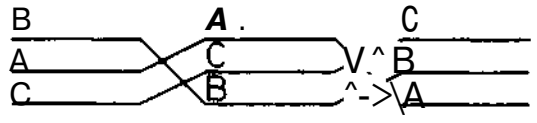
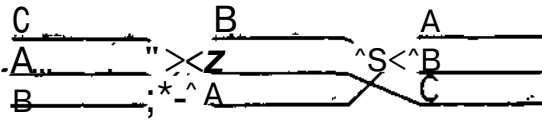
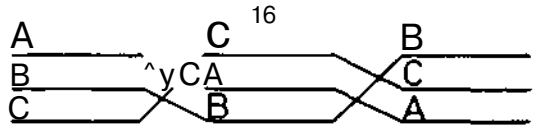
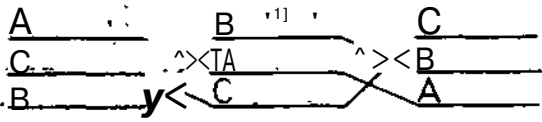
Şekil 1.5. Aynı ve ters yönlerde transpoze edilmiş çift devre enerji nakil hatları.



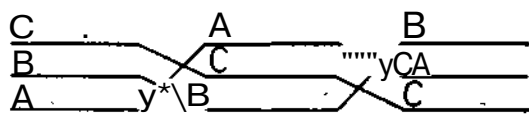
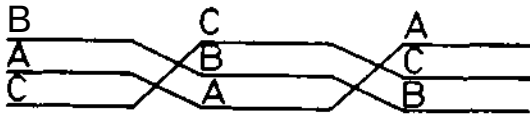
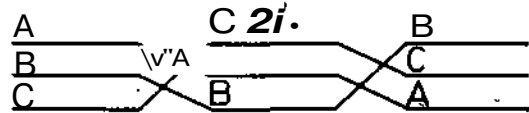
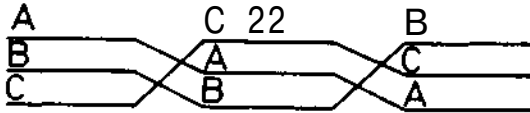
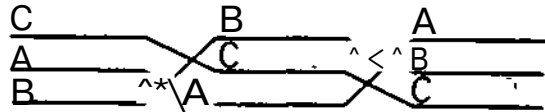
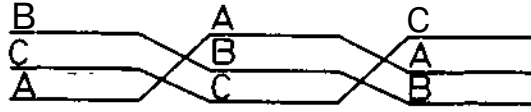
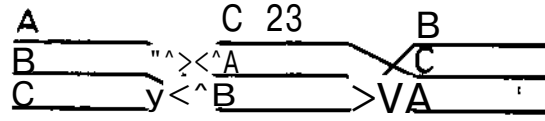
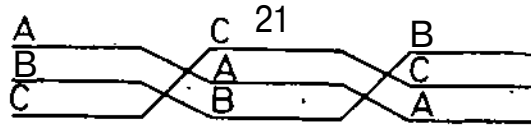
Şekli 1.6. Transpoze edilmemiş çift devre enerji nakil hatlarında 12 değişik toz smOaroafu



Şekil 1:7. Transpoze edilmiş çift d'vre enerji nakil batlarında 24 değişik faz sıralama ve trajispozisyon durumları..



Sekil 1.7'nin devamı.



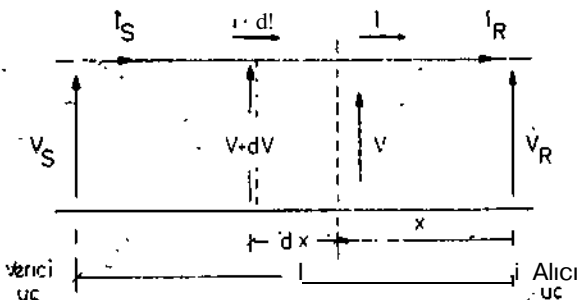
Şekil 1.7'nin devamı.

Tranpose edilmiş, çift devre enerji nakil hattının verici ucu 12 değişik faz konumunda olabileceği ve aynı zamanda daha önce söylenildiği üzere hatların aynı veya ters yönde tranpose edilebilecekleri göz önüne alınırsa 24 değişik durum ortaya çıkmaktadır. Bu 24 değişik durum Şekil 1.7'de gösterilmiştir.

2. TEK FAZ UZUN ENERJİ NAKİL HATLARININ MODELLENİRİLMESİ

2.1. Dalga denklemlerinin elde edilmesi :

Şekil 2.1'de görüldüğü üzere hattın dx boyunca çok küçük bir kısmını ele alalım ve bu elemanın iki ucu arasındaki voltajlar ve akımlar arasındaki farkı hesaplayalım, z ve y hattın birim uzunluğunun empedansı ve admıtansı; göstermek üzere, zdx , dx uzunluğundaki hattın sert empedansı, ydx de dx uzunluğundaki hattın şönt admıtansı verir.



Şekil 2.1. Tek İletkenli tranpose edilmiş enerji nakil hattının şematik diyagramı:

Alıcı uçtan x mesafede voltaj V akım I olsun. dx uzunluğundaki hattın öbür ucunda voltaj $V + dV$ aynı zamanda

$$dV = I z dx$$

$$\text{veya } \frac{dV}{dx} = Iz \quad (2.1)$$

I akımının genliği ve fazı hattın dağılmış şönt admıtansı yüzünden mesafe ile değişir ve x ile dx mesafesinde akım dI 'dir.

dI kadar akım şönt admıtansa ydx üzerinden akar.

$$dI = -Vy dx$$

$$\frac{dI}{dx} = -Vy \quad (2.2)$$

denklem 2.1 ve denklem 2.2'nin ielirar lue göre türevi alındığında

$$\frac{d^2V}{dx^2} = \frac{dI}{dx} z \quad (2.3)$$

$$\frac{d^2I}{dx^2} = \frac{dV}{dx} y$$

$\frac{dI}{dx}$ ve $\frac{dV}{dx}$ tekrar yerine konduğunda.

$$\frac{d^2V}{dx^2} = -Vy z \quad (2.4)$$

$$\frac{d^2 I}{dx^2} = Izy \quad (2.5)$$

(2.4) denkleminde değişken sadece V ve x,

(2.5) denkleminde değişken sadece I ve x'dir.

$$\frac{d^2 V}{dx^2} = \gamma^2 V \quad \text{denklemini inceleyelim. Bu}$$

denklemin çözümünün iki defa x'e göre türevi alındığında $\gamma^2 V$ vermelidir. Bunu dikkate alarak

$V = V_x e^{\gamma x} + V_a e^{-\gamma x}$ çözümünü kabul edelim V'nin ikinci derece türevi

$$\frac{d^2 V}{dx^2} = \gamma^2 (V_1 e^{\gamma x} + V_2 e^{-\gamma x}) \text{ 'dir.}$$

(2.1) denkleminde $\frac{dV}{dx}$ yerine konulduğunda

akım $I = \frac{dV}{dx} = \gamma V$ 'den

$$I = \frac{1}{z/y} \gamma V_1 e^{\gamma x} - \frac{1}{z/y} \gamma V_2 e^{-\gamma x} \text{ olarak elde edilir.} \quad (2.6)$$

burada V_x ve V_2 keyfi integrasyon sabitleri olup alıcı ve verici uç şartları yerine konularak tespit edilir.

$V = 0, V = V_R$ yerine konulduğunda

$$V_R = V_1 + V_2$$

$$I_R = \frac{1}{z/y} (\gamma V_1 - \gamma V_2)$$

$$Z_c = \sqrt{z/y}$$

$$V_1 = \frac{V_R + I_R Z_c}{2}$$

$$V_2 = \frac{V_R - I_R Z_c}{2}$$

$$\gamma = zy$$

$$V = \frac{V_R + I_R Z_c}{2} e^{\gamma x} + \frac{V_R - I_R Z_c}{2} e^{-\gamma x} \quad (2.7)$$

$$I = \frac{V_R / Z_c + I_R}{2} e^{\gamma x} - \frac{V_R / Z_c - I_R}{2} e^{-\gamma x} \quad (2.8)$$

burada Z_c hat karakteristik empedansı, $\gamma = \sqrt{zy}$ ise propogasyon sabitidir (2.7) ve (2.8) numaralı denklemler alıcı uçtan x mesafede bir noktada voltaj ve akımın rms değeri ve faz açısını verir. Gene bu denklemlerden görüldüğü üzere hattın herhangi bir noktasındaki V ve I tamamen hat parametrelerine ve alıcı uç voltaj ve akün şartlarına bağlıdır.

2.2. Dalga denklemlerinin hiperbolik forma sokulması :

(2.7) ve (2.8) no'lu denklemler hattın herhangi bir noktasındaki voltaj ve akımın hesaplanması bakımından pratik değildir. Hiperbolik fonksiyonlar kullanılarak daha müsait bir şekle getirilebilir. -

$$\sinh Q = \frac{e^Q - e^{-Q}}{2}$$

$$\cosh Q = \frac{e^Q + e^{-Q}}{2}$$

$$V = V_R \cosh \gamma x + I_R Z_c \sinh \gamma x \quad (2.9)$$

$$I = I_R \cosh \gamma x - \frac{V_R}{Z_c} \sinh \gamma x \quad (2.10)$$

$$x = l \text{ uzunluğunda yani verici uçta} \\ V_s = V_R \cosh \gamma l + I_R Z_c \sinh \gamma l \quad (2.11)$$

$$I_s = I_R \cosh \gamma l - \frac{V_R}{Z_c} \sinh \gamma l \quad (2.12)$$

(2.11) ve (2.12)'den

$$V_R = V_s \cosh \gamma l - I_s Z_c \sinh \gamma l \quad (2.13)$$

$$I_R = I_s \cosh \gamma l - \frac{V_s}{Z_c} \sinh \gamma l \quad (2.14)$$

2.3. Genelleştirilmiş devre sabitleri :

(2.11) ve (2.12) yeniden yazılacak olursa,

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \gamma l & Z_c \sinh \gamma l \\ \frac{\sinh \gamma l}{Z_c} & \cosh \gamma l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

genel olarak

$$\begin{bmatrix} V \\ I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \text{ ile}$$

mukayese edildiğinde

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \gamma l & Z_c \sinh \gamma l \\ \frac{\sinh \gamma l}{Z_c} & \cosh \gamma l \end{bmatrix}$$

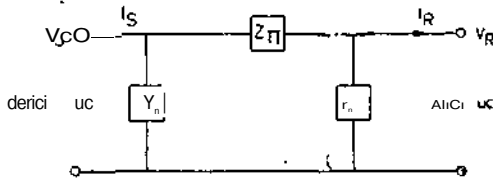
olduğu görülür.

A, B, C, ℓ > sabitlerinin bilinmesi bir- çok pratik-
-problemlerde alıcı uç akım ve voltajları önceden bi-
-lindiğinde verici uç akım ve voltajlarının bulun-
-masına veya V_s, I_s bilindiğinde V_R, I_R 'nin bulun-
-masına kolaylık sağlar.

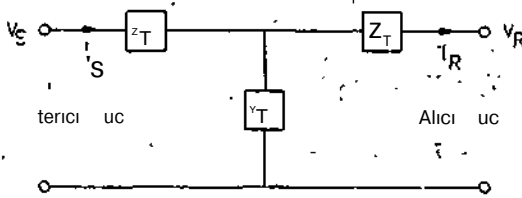
24- Eşdeğer , ve T devrelerinin bulunması:

Tek faz bir enerji nakli hattı için eşdeğer 17
yeya-T devresi elde edilebilir.

Bu devreler Şekil 2.2 ve 2.3'de gösterilmiştir.
Şekil 2.2'den



Şekil 2.2. Tek iletkenli bir enerji nakil hattının eşdeğer (,) devresi.



Şekil 2.3. Tek iletkenli bir enerji nakil hattının eşdeğer (T) devresinin

$$V_s = V; 4 - (Y_n, V_R + I_R) Z_{\pi}$$

$$V_s = (1 + Y_{\pi} Z_{\pi}) V_R + Z_{\pi} I_R$$

$$I_s = (I_R + Y_{\pi} V_R) + Y_{\pi} V_s$$

$$= Y_{\pi} (2 + Y_{\pi} Z_{\pi}) V + (1 + Y_{\pi} Z_{\pi}) I$$

elde edilir. Bu denklemler matris halinde :

$$i_s - J = [y^{\wedge}ta + Y^{\wedge}z^{\wedge}) \quad 1 + r_w z^{\wedge}]. J I i_R -]$$

halinde yazılıp elemanları A, B, C, D, sabitleri ile karşılaştırıldığında :

$$Z_{\pi} = B \quad Z_{\pi} = Z_c \sinh \gamma \ell$$

$$Y_{\pi} = \frac{-1}{B} \quad \frac{1}{A-B} \text{ veya } Y_{\pi} = \frac{1}{Z_c} \frac{\cosh \gamma \ell - 1}{2}$$

olduğu görülür.

Aynı şekilde hattın eşdeğer T devresi de A, B, C, D sabitleri cinsinden :

$$Y_T = C$$

$$Y_T = AC - C \text{ olarak bulunur.}$$

3. ÇOK İLETKENLİ UZUN ENERJİ NAKİL HATLARININ MODELLENDİRİLMESİ

3.1. Dalga denklemlerinin elde edilmesi:

Şekil 2.1'de gösterilen nakil hattının herhangi, bir noktasında, alıcı uçdan" x mesafede, vbf-
-tajlah. "ve aklanlar aralıhdaki münasebeti belir-
-ten esas denklemler:

$$\frac{dV}{dx} = ZI$$

$$\frac{dI}{dx} = YV$$

(3.1)

olarak yazılabilir. Burada V -ve I, Jvoltage; ve akım
kolon matrisleri, Z ve Y hattın seri empedans ve
gönt admitans matrisleridir.

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} Y_a & & \\ & Y_b & \\ & & Y_c \end{bmatrix}$$

denklem (3.1)'in tekrar" türevi alındığında= İ-

$$\frac{d^2V}{dx^2} = ZYV \quad (3-2)$$

$$\frac{d^2I}{dx^2} = YZI \text{ hat dalga denklemlert-elde edilir.}$$

Bu denklemlerin çözümü :

$$V(x) = \exp(-p^{1/2} x) V + \exp(p^{1/2} x) V_r \quad (33)$$

$$I(x) = Y_o [- \exp(-p^{1/2} x) V_i + \exp(p^{1/2} x) V_r] \quad (34)$$

olarak V, ve V_r keyfi entegrasyon voltaj kolon matrisleri cinsinden veya

$$V(x) = Z_o [- \exp(-p^{1/2} x) I_i + \exp(p^{1/2} x) I_r] \quad (35)$$

$$I(x) = \exp(-p^{1/2} x) I_i + \exp(p^{1/2} x) I_r$$

olarak I ve I_r keyfi akım kolon matrisleri cinsinden bulunur.

$$p = ZY$$

$$P_T = YZ$$

$$Y_o = Z^{-1} p^{1/2}$$

$$Z_o = Y^{-1} pV = \text{dir}$$

Denklem (3.2)'deki ifadeler tek hat için çıkar dıgımız ifadelere benzer görölmekle birlikte 7 ve Y matris oldukları ve ZY jfc YZ olduğu için burada aynı şekilde çözüme gidemeyiz.

Çözümü ana kısımlarından toiri pV² ve exp (pV²x) gibi matris fonksiyonlarının tarifi v>. dolayısıjüa sayısal değeriendirilmesidir. Bu da ancak p matrisinin köşegenleştirilmesiyle mümkündür.

$$V = QV' \text{ alalım} \quad (3.7)$$

$$\frac{d^2(QV)}{dx^2} = pQV'$$

$$\frac{Qd^2V}{dx^2} = pQV'$$

$$\frac{d^2V}{dx^2} = Q^{-1} pQV' \quad (3.8)$$

$$Q^{-1} pQ = \Lambda^{-1}$$

$$P = Q \Lambda Q^{-1}$$

burada \ (nxn) dereceli (n hattaki iletken sayısı) köşegen bir matris olup, elemanları p matrisinin karakteristik değeriilerin ^ Q ise singüler olmayan (nxn) dereceli kare bir matris olup p matrisinin karakteristik vektörlerini ihtiva eder.

$$\frac{d^2V'}{dx^2} = Q^{-1} pQV'$$

matris diferansiyel denklemi artık birbirine bağılı olmayan n tane 2'noi derece linear diferansiyel denklem haline dönüşmüştür. Eğer j^ ve Q bilinirse p'nin herhangibir analitik fonksiyonunu ^'n'in fonksiyonu olarak ifade etmek mümkündür.

$$f(p) = Qf(\Lambda) Q^{-1} \text{ burada } f(.) = \exp(.) \text{ alırsak} \quad (3.9)$$

$$f(p) = \exp(p^{1/2}x) = Q \exp(\Lambda^{1/2}x) Q^{-1} \text{ haline dönüşür ve dolayısı ile:} \quad (3.10)$$

$$V(x) = Q \left[\exp(-\Lambda^{1/2}x) Q^{-1} V_r + \exp(\Lambda^{1/2}x) Q^{-1} V_l \right] \quad (3.11)$$

$$I(x) = Y_o \left[-Q \exp(-\Lambda^{1/2}x) Q^{-1} V_r + Q \exp(\Lambda^{1/2}x) Q^{-1} V_l \right] \quad (3.12)$$

şeklinde yazılabilir.

Hattın alıcı ucu voltaj ve akım vektörleri sırasıyla V_R ve I_R olsun, x = 0 için

$$V(0) = V_R \quad I(0) = I_R ; \text{ denklem, (3.11) ve (3.12), den:}$$

$$V_R = V_o + V_r$$

$$I_R = Y_o (-V_o + V_r)$$

ve buradan :

$$V_o = \frac{1}{2} (V_R + Z_o I_R) \quad (3.13)$$

$$V_r = \frac{1}{2} (V_R - Z_o I_R) \quad (3.14)$$

elde edilir. Yerine konulduğunda :

$$V(x) = \frac{1}{2} Q [\exp(\Lambda^{1/2}x) + \exp(-\Lambda^{1/2}x)] Q^{-1} V_R + \frac{1}{2} Q [\exp(\Lambda^{1/2}x) - \exp(-\Lambda^{1/2}x)] Q^{-1} Z_o I_R \quad (3.15)$$

ve

$$I(x) = \frac{1}{2} Y_o Q [\exp(\Lambda^{1/2}x) - \exp(-\Lambda^{1/2}x)] Q^{-1} V_R + Y_o Q [\exp(\Lambda^{1/2}x) + \exp(-\Lambda^{1/2}x)] Q^{-1} Z_o I_R \quad (3.16)$$

Matris şeklinde ifade edildiğinde

$$V(x) = \frac{1}{2} Q \left[\cosh(\Lambda^{1/2}x) + \sinh(\Lambda^{1/2}x) \right] Q^{-1} V_R + \frac{1}{2} Q \left[\sinh(\Lambda^{1/2}x) - \cosh(\Lambda^{1/2}x) \right] Q^{-1} Z_o I_R \quad (3.17)$$

Böylece, hattın herhangi bir noktasındaki voltaj ve akım vektörleri, alıcı uç voltaj ve akım vektörleri cinsinden hesaplanabilir.

• 32-. Genelleştirilmiş devre sabit **matrisleri** :

Basit tek devrs hatlarda olduğu gibi burada n iletkenii hatlar içinde A, B, C, D sabit (matrisleri bulmak mümkündür.

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

Denklem (3.17)'de $x = 1$ konulduğunda:

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q \cosh(\Lambda^{1/2} l) Q^{-1} \\ Y_0 Q \sinh(\Lambda^{1/2} l) Q^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

(3.18) ve (3.19) nolu denklemler karşılaştırıldığında :

$$\begin{bmatrix} t & : & 1 \\ : & 1 & - \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q \cosh(\Lambda^{1/2} l) Q^{-1} \\ Y_0 Q \sinh(\Lambda^{1/2} l) Q^{-1} \\ Q \sinh(\Lambda^{1/2} l) Q^{-1} Z_0 \\ Y_0 Q \cosh(\Lambda^{1/2} l) Q^{-1} Z_0 \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

3.3. Eşdeğer $\hat{\pi}$ ve T devre matrisleri :

Tek iletkenli bir enerji nakil hattında uygulanan metod kullanılarak, çok iletkenli bir hattın eşdeğer $\hat{\pi}$ ve T matris devrelerini bulmak mümkündür.

$$\begin{aligned} Z_{\pi} &= B & Y_T &= C \\ Y_{\pi} &= B^{-1} A - B^{-1} Z_T & Z_T &= A C^{-1} - C^{-1} \end{aligned}$$

Burada Z_{π} , Y_{π} , Y_T ve Z_T birer matris halindedir.

3.4. Transpozisyon ve sert ve şönt kompanzasyonu Jitlva eden bir hattın eşdeğer $\hat{\pi}$ devre matrislerinin çıkarılması:

Şekil 3.1'de gösterilen hattın eşdeğer $\hat{\pi}$ devre matrislerinin çıkarılması için hat yine Şekil 3.1'de gösterildiği şekilde uniform kısımlara ayrılır ve her kısmın A, B, C, D parametreleri hesaplanır. Kısımlar birbirlerine seri bağlı olduklarından bu matrislerin çarpımı neticesinde hattın (kompanzasyon dahil) A, B, C, D parametreleri bulunur. Bu parametrelerden de 3.3'de anlatıldığı şekilde, hattın eşdeğer $\hat{\pi}$ devre (matrisleri elde edilir.

Şekil 3.1'de bu işlemler gösterilmiştir.

3-5. Simetrik bileşen devreler :

Bir hattın eşdeğer $\hat{\pi}$ matris devresinin çıkarılmasında kullanılan Z ve Y matrisleri iletkenlerin öz ve iletkenler arası karşıt empedans ve admitans elemanlarından veya hattın simetrik bileşen devreleri öz ve karşıt empedans ve admitans elemanları cinsinden hesaplanabilir, tek durumda voltaj ve akım kolon matrisleri fazların voltaj ve akımlarından teşekkül eder. İkinci durumda ise bu voltaj ve akımlar simetrik bileşen voltaj ve akımlarıdır. Bu durumda elde

edilen hatön eşdeğer $\hat{\pi}$ veya T matris devresi, hattın bileşen devreleri ve bu devreler arasındaki kuplajlan temsil etmektedir.

4. SİMETRİK OLMİYAN ELEMANLARI OLAN GÜÇ SİSTEMLERİNDE YÜK AKIŞI ANALİZİ

4.1. Sistem denklemlerinin formülasyonu ve çözümü:

Bu bölümde Şekil 4.1'de gösterilen güç eiftemi, Şekil 4.2'deki matris devresi ile temsil edilecek paralel devre faz iletkenlerinin tek devrenin demet iletkenleri şeklinde mülahasası ile Şekil 4.2, Şekil 4.3'e irca edilecektir.

Şekil 4.3'deki devrenin düğüm metodu kullanılarak ve voltaj kaynağı da akım kaynağına çevrilerek denklemleri yazıldığında

$$\begin{bmatrix} Z_s^{-1} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{SS} & Y_{SR} \\ Y_{RS} & Y_{RR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_s \\ V_R \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

elde edilir.

Burada $Y_{SS} = Y_A + Z_L^{-1} + Z_S^{-1}$

$$Y_{RR} = Y_B + Z_L^{-1}$$

$$Y_{SR} = -Z_L^{-1}$$

$$Y_{RS} = -Z_L^{-1} \text{ dir.}$$

Denklem (4.1)'den

$$\begin{bmatrix} P \\ V_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P \\ V_s \end{bmatrix} \ll \begin{bmatrix} V_s \\ V_R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_s^{-1} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_s \\ V_R \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

V_s ve V_R belde olduğunda I_G generatör akımı,

I_R ve I_B yük akımları ve Şekil 4.2'de belirtilen çift devre enerji nakil hattının verici ucu akımları I_1 ve I_2 aşağıdaki denklemlerden hesaplanır.

$$I_G = Z_s^{-1} (E - V_s) \quad (4.3)$$

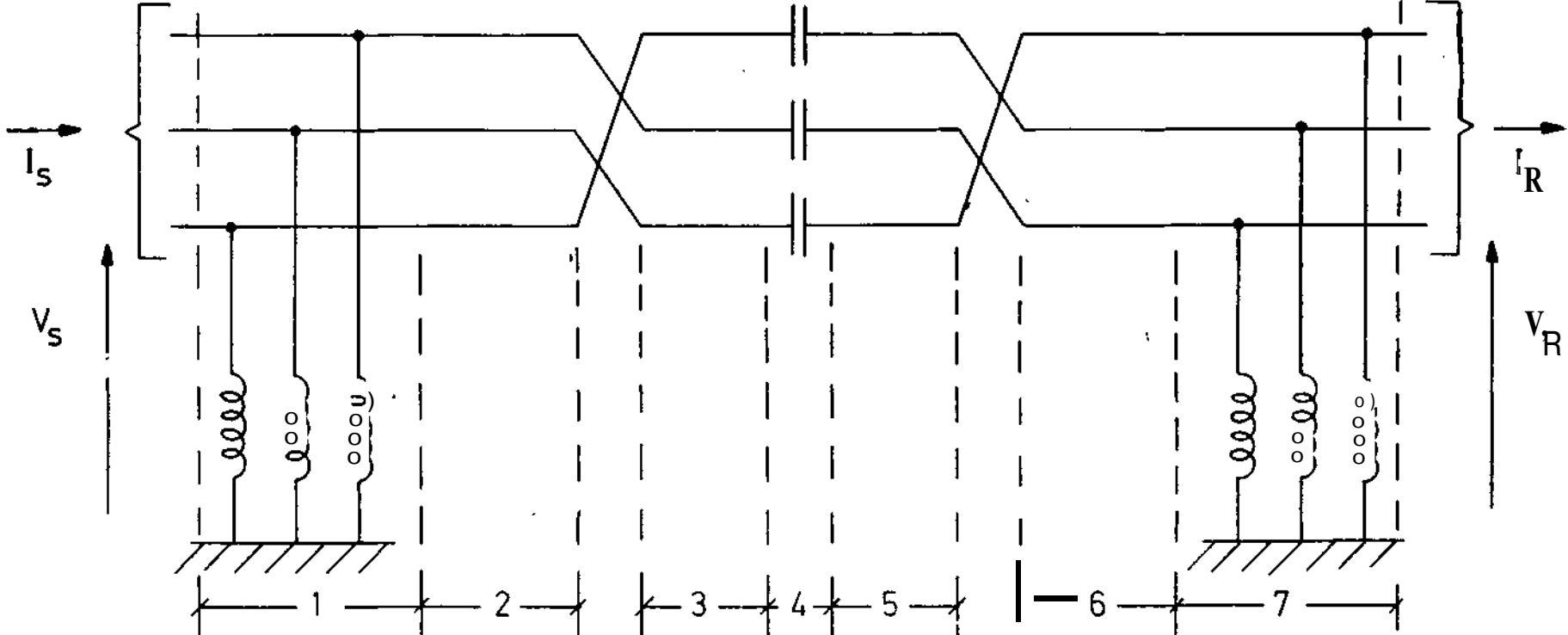
$$I_A = Y_A V_s \quad (4.4)$$

$$I_B = Y_B V_R \quad (4.5)$$

$$T_{ij} = \begin{bmatrix} Z_{11}^{-1} & 0 \\ 0 & Z_{22}^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U - U \\ U - U \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_s \\ V_R \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

4.2. AJam ve voltaj dengesizlik faktörleri :

Voltaj ve akım vektörlerinde en büyük simetrik bileşenin pozitif bileşen olduğu ve negatif ve sıfır bileşenlerin pozitif bileşenle kıyaslandığında çok küçük olduğu görüldüğünden negatif ve sıfır bileşenleri pozitif bileşenin yüzdesi olarak ifade etmek uygun olacaktır.



1a)

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_6 \\ I_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_7 & B_7 \\ C_7 & D_7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

(b)

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

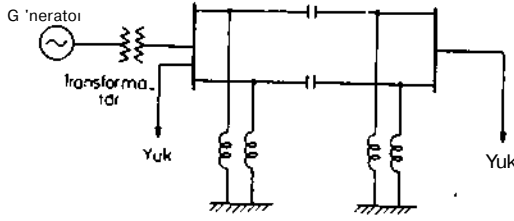
(c)

$$Z_{\pi} = B$$

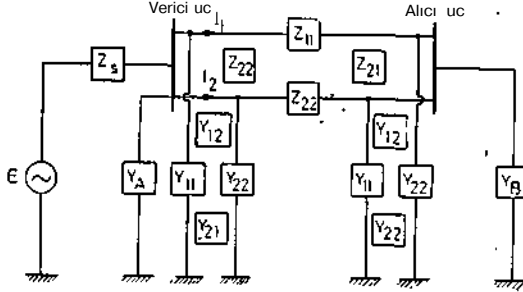
$$Y_{\pi} = B^{-1} A - B^{-1}$$

(d)

Şekil 8.1. Transpoze edilmiş ve şönt ve seri kompanzasyonu halde bir hattın eşdeğer matris devresinin çıkarılması.

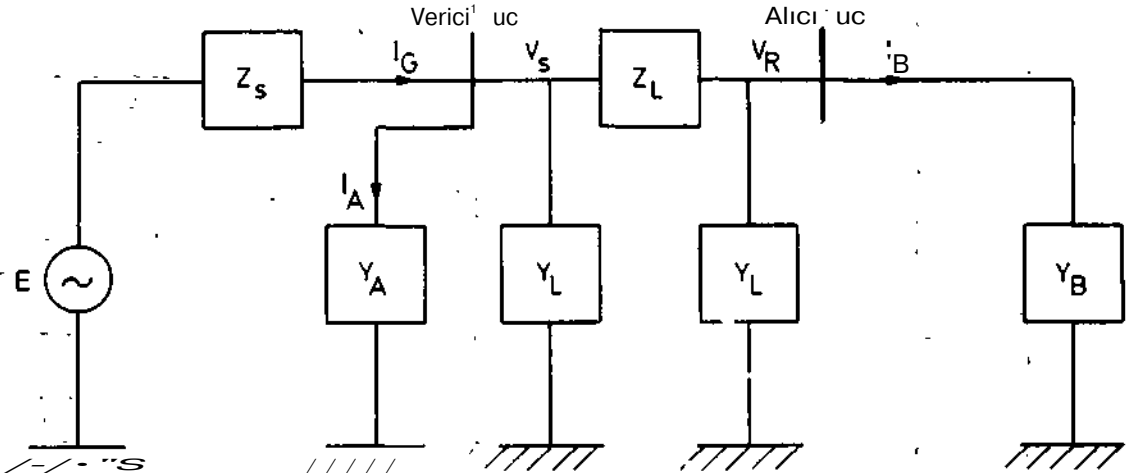


Şekil 4.1. Çift devre enerji nakil sistemi :
Not : Sistem parametreleri Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Çift devre enerji nakil sisteminin eşdeğer matris devresi :

- Z^{\wedge} : Derecesi (3x3) olan kaynak empedans matrisi.
- Y_A, Y_B : Derecesi (3x3) olan yük admitans matrisleri.
- $Z_n, Z_{12}, Z_{21}, Z_{22}$: Derecesi (3x3) olan çift devre enerji nakil hattının devresinin seri ve öz ve karşit empedans matrisleri.
- $Y_n, Y_{12}, Y_{21}, Y_{22}$: Derecesi (3x3) olan çift devre enerji nakil hattının eşdeğer devresinin şönt öz ve karşit admitans matrisleri.
- E : Generator voltaj vektörü.



Şekil 4.3. Şekil 4.2'de gösterilen çift devre enerji nakil sisteminin bafitleştirilmiş eşdeğer devresi.

$$m_{01} = \frac{I_0}{I_1} \times 100 \quad (4.7)$$

$$m_{02} = \frac{I_2}{I_1} \times 100 \quad (4.8)$$

$$M_{01} = \frac{V_0}{V_1} \times 100 \quad (4.9)$$

$$M_{21} = \frac{V_2}{V_1} \times 100 \quad (4.10)$$

olarak ifade edilir.

4.3. Hali kayıplarının hesaplanması :

Hat üzerinde meydana gelen güç kayıpları hattın venci alıcı uçlarındaki güçlerin farkından hesaplanabilir.

Verici uç güçleri a fazı simetrikli - bileşenleri cinsinden

$$P_s + j Q_s - 3 (V_{s0} I_{s0}^* + V_{s1} I_{s1}^* + V_{s2} I_{s2}^*) \quad (4.11)$$

$$P_R + j Q_R + 3 \{ V_{R0} I_{R0}^* + V_{R1} I_{R1}^* + V_{R2} I_{R2}^* \} \quad (4.12)$$

ve hatta meydana gelen aktif ve reaktif güç kayıpları sırasıyla

$$P_L + P_S - P_R \quad \text{ve} \quad Q_L + Q_S - Q_R \quad (4.13)$$

$$Q_L + Q_S - Q_R \quad \text{ve} \quad P_L + P_S - P_R \quad (4.14)$$

4.4. Madel sistemin dengesizlik faktörleri ve hat kayıplarının hesaplanması :

Bölüm 1.2'de belirtildiği gibi model sistemde kullanılan çift devre hatta uygulanan transpozisyon şekline ve iletken konumlarına bağlı ola-

rak hattın elektrik parametreleri 36 değişik değer alabilmektedir. Bu 36 durumun herbiri için alıcı uçtan

- i) 900 MW, güç faktörü = 0,9 kapasitif
1,0
0,9 endüktif
ii) 600 MW, güç faktörü = 0,8 endüktif
0,9 »
1,0

çekilirken, % 40 seri ve her uçta 200 MVAR'lık, şönt kompanzasyon mevcut olarak, sistemin yük tevzii analizi yapılmış, dengesizlik faktörleri VP hat kayıpları hesaplanmıştır.

4.5. Sonuçların değerlendirilmesi :

Keban - Ankara hattı için yapılan çalışmanın sonuçları incelendiğinde dengesizlik ve kayıpların esas olarak faz sıralaması ve transpozisyon şekline bağlı olduğu, taşınan yükün ise bunlara (izafi olarak) tes'ir etmediği görülmektedir.

4.5.1 Transpozisyon olmadığı durumlar :

Hatların alıcı ve verici uç voltajlarında meydana gelen dengesizlikler bilhassa transpozisyon olduğu durumlarda çok küçük olup pratik mahzur taşımamaktadır.

Yine sonuçlar incelendiğinde minimum kayıpları veren faz sıralama durumlarında hatlardaki dengesizliklerin de minimum olduğu, fakat kaynak tarafı akım dengesizliklerinin maksimum veya çok büyük olduğu görülür.

Kaynak tarafı akımlarındaki dengesizliklerin minimum veya çok küçük olduğu faz sıralama durumlarında ise kayıpların (maksimum veya çok büyük olduğu görülür.

Yukarıda görüldüğü gibi en iyi faz sıralama durumunu ortaya çıkarabilmek için genel bir esas söylemek imkânsızdır. Dolayısıyla seçilecek faz sıralaması bu hatların bulunduğu sistemde kayıpların veya generatör ve transformatörlerden geçecek negatif ve sıfır bileşen akımlarının önemine göre kararlaştırılabilir.

4.5.2. Transpozisyon olduğu durumlar:

Sonuçlar incelendiğinde i) minimum kayıpları, ii) kaynak tarafı ifafo ve generatörlerden geçen minimum negatif bileşen akımlarını, iii) kaynak tarafı transformatöründen geçen minimum sıfır bileşen akımını veren faz sıralaması durumlarının değişik olduğu görülür. Kayıpların minimum ve kaynak tarafından akan dengesizlik akımlarının pratikte istenen % 5'in altında olması kriterleri uygulandığında 23 no'lu faz sıralama ve transpozisyon uygulamasının en iyi sonucu verdiği kabul edilebilir. Maamafih bu neticenin katıyetle söylenebilmesi için model sistemin alıcı uç kısmının, yani t'u uca bağlı şebekenin de daha realist modellendirilmesi gereklidir.

Transpozisyon olduğu ve olmadığı durumlar karşılaştırıldığında transpozisyonun gerek kayıpları ve gerekse dengesizlikleri azaltması bakımından faydalı olduğu görülür.

D U Y U R U

XVIII. GENEL KURUL IŞIĞINDA HAZIRLANAN

Proje İle İlgili Genel Bilgiler S.M.M, Bürolarının Kuruluş Şekli ve Fenni Mesuliyet Tatbikat Hizmetleri

BROŞÜRÜ ÇIKTI.

Oda merkezi ve şubelerinden temin edebilirsiniz.

Fiati : 15.— TL.

LIBYA'DA İKİ TERMİK ŞANTRAL İHALEYE ÇIKARILDI

Libya Elektrik İdaresinin Bingazideki teşkilâtı Bingazi ve Derna için buharlı elektrik istihsal tesisinin ithali ve kurulması için teklif istemektedir. Bu tesisler için konulan teknik veriler kısaca şöyledir :

1. Bingazi için : Üç üniteli olacaktır. Herbiri 40 MW gücünde, günlük 2.250 m³ deniz suyunu tatlı suya çevirebilecek tesisle, yakıt boşaltma tertibatı için lüzumlu boru donanımını ve depoları ihtiva edecektir. Son teklif verme tarihi 22 Temmuz 1972 günü en geç saat 12'ye kadardır.

2. Derna için : Üç üniteli olacaktır. Herbiri 30 MW gücünde, günlük 9.200 m³ -deniz suyunu tatlı suya çevirebilecek tesisle, yakıtı boşaltmak için lüzumlu boru donanımını ve depolan ihtiva edecektir. Son teklif verme tarihi 1 Temmuz 1972 günü en geç saat 12'ye kadardır.

Bu ihalelere iştirak için genel şartlar şöyledir :

İhaleye iştirak edecek firmaların şartnameleri alabilmeleri için, birinci sınıf mahallî müteahhitler arasında kayıtlı bulunması veya birinci sınıf müteahhitlerarası "müteahhit olması gerekmektedir.

İhaleye iştirak edecek olan firmalar ihale şartnamelerini 50 Libya Dinarı mukabilinde Bingazi'deki Şirket Genel Müdürlüğünden resmî çalışma saatleri içinde temin edebilirler.

Aşağıdaki garantilerden herhangi biri şeklinde 100.000 Libya Dinarı tutarında bir teminat lüzumludur :

a. Elektrik İdaresinin kasasına yatırmak suretiyle,

b. Libya'daki "bankaların herhangi birinden verilmiş ve karşılığı olan bir çek, bu çek ihale müddeti hitamından bir ay sonraya kadar geçerli ve en az 1 ay müddetli olacaktır.

İhaleye iştirak edecek firmalar saiece, ihale şartnamesi ile birlikte almış oldukları Şirketin damgalı evrakını zarfın içine koyabilirler. Ancak, bu tip evrak teklif mektubunun içine konabilir. Teklif mektupları, Elektrik İdaresinin Bingazi'deki teşkilâtının İhaleler ve Mukaveleler kısmına yukarıda belirtilen tarihlerde en geç saat 12'ye kadar makbuz mukabilinde teslimi edilmelidir. Bu saattan sonra gelecek teklif mektupları veya Elektrik İdaresinin damgalı kâğıtlarına yazılmamış teklif mektupları kabul edilmeyecektir. Eğer tesbit edilen ihale günü resmî bir tatil gününe isabet ederse, tatili müteakip ilk gün en geç saat 12'ye kadar verilmiş olması gerekir.

Zarflar belirtilmiş olan günde saat 12'de Elektrik İdaresinin Bingazi'deki Genel Müdürlüğünde açılacaktır. İhaleye iştirak eden firmaların temsilcileri, zarfların açılışında veya kendilerinden sorulacak herhangi bir malûmatın altını imza etmek üzere hazır bulunabilirler. Mektubun üzerindeki herhangi bir çizik veya değişiklik ihaleye iştirak eden tarafından imzalanmalıdır.

Bu teklif mektupları 6 ay opsiyonlu olmalı veya ihale konusunun tamamını kapsamına almalıdır. İş bu ihalenin bir kısmı için teklif verilemez.

İhale bir firmanın üzerine kalır ve mukaveleyi imzalamaktan kaçınırsa herhangi bir ihtar hacet kalmaksızın teminat irat kaydedilir. İhaleyi kazanan firma ihale konusunun f/c 10'u-nisbetinde bir kat'i- teminat yatırmalıdır.