行列法에 依한 線型受動回路의 簡約化法

논 문
25～4～3

A Matrix Method for the Simplification of Linear Passive Networks

朴 永 文*
(Young Moon Park)

Abstract

A new method for simplifying linear, bilateral and passive networks is presented, and the principle employed is based upon the elimination of mutual impedance and floating nodes of the network by introducing incidence matrix notations and bus admittance matrices.

The method suggested is, particularly, suited for machine computations and applycable for reducing the calculation time in power system short-circuit and load-flow studies with good results.

1. 緖 論

電氣回路의 解析時, 簡約化된 等價回路를 使用하면 매우 便利할 뿐만 아니라, 解析이 所要되는 時間을 短縮할 수 있다. 特히, 電力系統 回路는 線路數와 母線數가 數 10個 乃至 數 100個에 이르는 것이 보통이고, 線路의 零相回路는 隣接回線間에 相互임피이던스에 依하여 磁氣的으로 結合되어 있고, 어떤 母線은 負荷나 電源이 接續되지 아니한 即 浮動부스(floating bus)인 경우가 있다.

이와 같이, 相互임피이던스와 浮動부스를 多數 包含하고 回路를 이것이 消去된 等價回路로 簡約化하면, 解析 및 計算能率이 현저하게 向上될 것이다.

따라서, 이 論文은 電力系統回路와 같은 線型, 兩方性 受動回路(linear, bilateral and passive network)의 相互임피이던스 및 浮動부스 消去에 依한 等價回路化 方法을 導出 및 提示하는데 있다.

從前에도, 回路의 一部를 部分的으로 또는 逐次的으로 等價化하는 方法을 널리 採用하여 왔으나, 全回路를 一括하여, 體系的으로 等價化하는 方法이나, 이를 電子計算機로 處理하기에 便利하도록 行列化한 方法은 提示되지 않고 있다.

2. 用語의 定義 및 定理의 引用

이 論文의 記述에 使用된 用語와 援用된 定理를 于先아래에 說明하기로 한다.

〔부스 (bus)〕 基準노오드(reference node)를 除外한 各 노오드를 부스라 한다.

〔부스電壓 및 電流(bus voltase and current)〕基準노오드를 基準으로한 各 부스의 電壓을 부스電壓이라 하여, 各 부스에 流入하는 電流를 부스電流라 한다.

〔線路임피이던스 및 애드미턴스(line impedauce and admittance)〕 各 노오드(또는 부스)사이에 連結된 線路의 自己임피이던스 및 各線路사이의 相互임피이던스를 線路임피이던스라 하며, 이를 行列(matrix)로 表示하면

$$Z_L \triangleq \begin{pmatrix} Z_{01,01} & Z_{01,02}\cdots Z_{01,on} & Z_{01,12}\cdots Z_{01,pq}\cdots Z_{01,rs}\cdots Z_{01,n-1n} \\ Z_{02,01} & Z_{02,02}\cdots Z_{02,on} & Z_{02,12}\cdots Z_{02,pq}\cdots Z_{02,rs}\cdots Z_{02,n-1n} \\ \vdots & \vdots \quad\quad \vdots & \vdots \quad\quad \vdots \quad\quad \vdots \quad\quad \vdots \\ Z_{on,01} & Z_{on,02}\cdots Z_{on,on} & Z_{on,12}\cdots Z_{on,pq}\cdots Z_{on,rs}\cdots Z_{on,n-1n} \\ Z_{12,01} & Z_{12,02}\cdots Z_{12,on} & Z_{12,12}\cdots Z_{12,pq}\cdots Z_{12,rs}\cdots Z_{12,n-1n} \\ \vdots & \vdots \quad\quad \vdots & \vdots \quad\quad \vdots \quad\quad \vdots \quad\quad \vdots \\ Z_{pq,01} & Z_{pq,02}\cdots Z_{pq,on} & Z_{pq,12}\cdots Z_{pq,pq}\cdots Z_{pq,rs}\cdots Z_{pq,n-1n} \\ \vdots & \vdots \quad\quad \vdots & \vdots \quad\quad \vdots \quad\quad \vdots \quad\quad \vdots \\ Z_{rs,01} & Z_{rs,02}\cdots Z_{rs,on} & Z_{rs,12}\cdots Z_{rs,pq}\cdots Z_{rsrs}\cdots Z_{rs,n-1n} \\ \vdots & \vdots \quad\quad \vdots & \vdots \quad\quad \vdots \quad\quad \vdots \quad\quad \vdots \\ Z_{n-1n,01} & Z_{n-1n,02}\cdots Z_{n-1n,on} & Z_{n-1n,12}\cdots Z_{n-1n,pq}\cdots Z_{n-1n,rs}\cdots Z_{n-1n,n-1n} \end{pmatrix} \quad (1)$$

와 같이 된다. 여기서, 任意의 要素 $Z_{pq,pq}$는 두 노오드 p 및 q사이에 연결된 線路의 自己임피이던스를, $Z_{pq,rs}$(但, $p \neq r$, $q \neq s$ 또는 $p \neq s$, $q \neq r$)는 p및 q사이에 연결된 線路와 r 및 s사이에 연결된 線路間의 相互임피이던스를 意味한다. 그리고 式 (1)의 逆行列 Y_L, 即

* 正會員 : 서울大 工大 電氣工學科 敎授(工博)
接受日字 : 1976年 5月 24日

$$Y_L \triangle Z_L^{-1} \tag{2}$$

를 線路애드미턴스 行列이라고 하며, 그 主對角要素 $y_{pq,pq}$를 線路의 自己애드미턴스, $y_{pq,rs}$를 線路의 相互애드미턴스라 한다.

〔부스接續行列(bus incidence matrix)〕 부스接續行列은 線路의 接續狀態를 나타내는 行列

$$A \underline{\triangle} (a_{pq,k}) \tag{3}$$

로서 定義되며, 이 A는 線路數만큼의 行과 부스數만큼의 列을 갖는 行列로서, 그 要素 $a_{pq,k}$는 다음 값을 取한다.

$$a_{pq,k} \begin{cases} =1, & p=k\text{의 경우} \\ =-1, & q=k\text{의 경우} \\ =0, & \text{기타의 경우} \end{cases} \tag{4}$$

〔부스애드미턴스(bus admittance)〕 부스애드미턴스 $Y_{i,j}$는 n個의 全 부스中 부스 j와 基準노오드 0사이에 單位電壓(부스쪽이 +)을 印加하고, 다른 모든 부스는 基準노오드와 短絡시킬때 부스 i에 流入하는 電流로서 定義된다.

〔부스電壓과 부스電流에 關한 定理〕線型, 兩方性受動回路의 부스電壓 E_j와 부스電流 I_i間에는 다음 線型結合關係가 成立한다.

$$I_i=\sum_{j=1}^{n} Y_{i,j}E_j \tag{5}$$

따라서, 이를 行列로 表示하면, 다음과 같다[1].

$$I_{BUS}=Y_{BUS}E_{BUS} \tag{6}$$

〔부스애드미턴스와 線路애드미턴스에 關한 定理〕線型, 受動回路의 부스애드미턴스 行列 Y_{BUS}와 線路애드미턴스 行列 Y_L間에는 다음과 같이 關係가 成立한다[1]

$$Y_{BUS}=A^T Y_L A \tag{7}$$

3. 問題의 設定

前述한 바와 같이, 相互임피이던스와 浮動부스를 內部에 갖는 線型, 兩方性·受動回路를 이것이 消去된 即 自己임피이던스만을 갖는 縮小된 等價回路로 變換하는 一般的 方法을 導出하는 것이 이 論文의 主旨이나, 이를 記述하는 方便으로서, 다음 세 경우를 考慮하여, 그 各各에 對하여 理論을 展開하기로 한다.

i) 相互임피이던스만을 消去함으로써 等價回路로 變換하는 경우

ii) 浮動부스만을 消去함으로써 等價回路로 變換하는 경우

iii) 相互임피이던스와 浮動부스를 同時 消去함으로써 等價回路로 變換하는 경우

4. 相互임피이던스의 消去에 依한 回路의 簡約化

線型, 兩方性, 受動回路의 線路임피이던스行列이 式(1)의 형태로 주어졌을 경우, 이 回路의 自己임피이던스等價回路는 다음 過程에 依하여 얻어진다.

i) $Y_L=Z_L^{-1}$을 計算한다.

ii) 式(3) 및 (4)에 依하여 A를 構成한다.

iii) 式(7)에 依하여 $Y_{BUS}=A^TY_LA$를 計算한다.

iv) Y_{BUS}의 各 要素에 對하여, 그 主對角要素 $Y_{i,i}$는 $Y'_{i,i} \leftarrow \sum_{j=1}^{n} Y_{i,j}$를 代置하고, 非主對角要素 $Y_{i,j}$(但 $i \neq j$)는 符號를 바꾸에 $Y'_{i,j} \leftarrow (-Y_{i,j})$를 代置한다

v) 이렇게 얻어진 行列의 各 要素의 逆數를 그 行과 列의 要素로 하는 行列 Z'에서 非主對角要素 $Z'_{i,j}$는 兩부스 i, j間의 自己 임피이던스가, 그리고 主對角要素 $Z'_{i,i}$는 基準노오드와 부스 i間의 自己임피이던스가 되며, 이렇게 構成된 回路는 바로 相互임피이던스가 消去된 等價回路이다.

〈證明〉

于先, 回路가 自己 임피이던스만으로 構成되어 있을 경우, 上述의 方法이 맞음을 證明한다. 即 式(1)의 非主對角要素가 모두 0인 경우에 對하여 上述의 過程을 進行시키면

i) $Y_L=(y_{pq,rs})$에서

$$y_{pq,rs} \begin{cases} =y_{pq,pq} & p=r,\ q=s\text{의 경우} \\ =0 & p\neq r,\ q\neq s\text{의 경우} \end{cases} \tag{8}$$

ii) $A=(a_{pq,k})$

iii)

$$Y_{BUS}=\begin{pmatrix} \sum\limits_{\substack{j=0\\ j\neq 1}}^{n} y_{1j,1j}, & -y_{12,12}, & -y_{13,13}, & \cdots\cdots, & -y_{1n,1n} \\ -y_{21,21}, & \sum\limits_{\substack{j=0\\ j\neq 2}}^{n} y_{2j2,j}, & -y_{23,23}, & \cdots\cdots, & -y_{2n,2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \\ -y_{n1,n1}, & -y_{n2,n2} & -y_{n3,n3}, & \cdots\cdots, & \sum\limits_{\substack{j=0\\ j\neq n}}^{n} y_{nj,nj} \end{pmatrix} \tag{9}$$

iv)

$$Y'=\begin{pmatrix} y_{01,01}, & y_{12,12}, & y_{13,13}, & \cdots\cdots, & y_{1n,1n} \\ y_{21,21}, & y_{02,02}, & y_{23,23}, & \cdots\cdots, & y_{2n,2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \\ y_{n1,n1}, & y_{n2,n2}, & y_{n3,n3}, & \cdots\cdots, & y_{on,on} \end{pmatrix} \tag{10}$$

v)

$$Z'=\begin{pmatrix} Z_{01,01}, & Z_{12,12}, & Z_{13,13}, & \cdots\cdots, & Z_{n1,n1} \\ Z_{21,21}, & Z_{02,02}, & Z_{23,23}, & \cdots\cdots, & Z_{2n,2n} \\ \vdots & \vdots & & & \vdots \\ Z_{n1,n1}, & Z_{n2,n2}, & Z_{n3,n3}, & \cdots\cdots, & Z_{on,on} \end{pmatrix} \tag{11}$$

와 같이 되어, 上述의 方法이 옳음이 證明된다. 그런데 回路가 相互임피이던스를 包含할 경우에는 Y_{BUS}가

式(7)로서 주어진다는 事實은 **부스 애드미턴스와 線路 애드미턴스에 관한 定理**에서 이미 引用紹介하였는데, 任意의 두 回路가 부스 또는 노오드에 關하여 等價가 되기 위한 必要條件은 이 두 回路의 부스 애드미턴스 行列이 같아야 한다는 事實에 留意하면 相互임피던스를 갖는 回路에 對하여도 上述의 方法에 依하여 等價化될 수 있음이 自明하다.

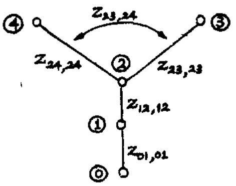


그림 1. 相互임피이던스를 갖는 回路

Fig. 1. Network with a mutual impedance

(보기) 그림 1의 回路에서 線路 2—4 및 2—3間에 $Z_{23,24}$의 相互임피이던스가 存在하나, 이를 相互임피이던스가 消去된 等價回路로 上述의 方法으로 變換하기로 한다.

前述한 過程에 따라 計算을 行하면

$$Z_L=\begin{pmatrix} Z_{01,01}, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & Z_{12,}Z_{12}, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & Z_{23,23}, & Z_{23,24} \\ 0 & 0 & Z_{23,24}, & Z_{24,24} \end{pmatrix} \quad 但,\ Z_{23,24}=Z_{24,23}$$

i)

$$Y_L=Z_L^{-1}=$$

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{Z_{01,01}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{Z_{12,12}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{Z_{24,24}}{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z_{23,24}}, & \frac{-Z_{23,24}}{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z^2_{23,24}} \\ 0 & 0 & \frac{-Z_{23,24}}{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z^2_{23,24}}, & \frac{Z_{23,23}}{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z^2_{23,24}} \end{pmatrix}$$

ii)

$$A=\begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

iii)

$$Y_{BUS}=A^TY_LA$$

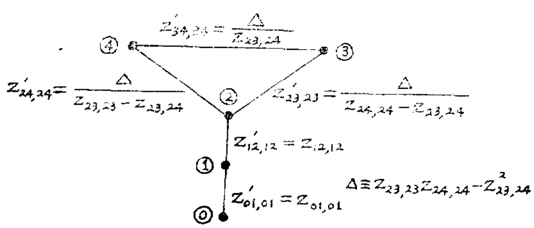
$$=\begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} Y_L \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$=\begin{pmatrix} \left(\frac{1}{Z_{01,01}}\right)+\frac{1}{Z_{12,12}} & \frac{-1}{Z_{12,12}} & 0 & 0 \\ \frac{-1}{Z_{12,12}} & \left(\frac{1}{Z_{12,12}}+\frac{Z_{24,24}+Z_{23,23}2Z_{23,24}}{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z^2_{23,24}}\right), & \frac{-(Z_{24,24}-Z_{23,24}}{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z^2_{23,24}}, & \frac{-(Z_{23,23}-Z_{23,24})}{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z^2_{23,24}} \\ 0 & \frac{-(Z_{24,24}-Z_{23,24})}{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z^2_{23,24}}, & \frac{Z_{24,24}}{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z^2_{23,24}}, & \frac{-Z_{23,24}}{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z^2_{23,24}} \\ 0 & \frac{-(Z_{23,23}-Z_{23,24})}{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z^2_{23,24}}, & \frac{-Z_{23,24}}{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z^2_{23,24}}, & \frac{Z_{23,23}}{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z^2_{23,24}} \end{pmatrix}$$

iv)

$$Y'=\begin{pmatrix} \frac{1}{Z_{01,01}} & \frac{1}{Z_{12,12}} & 0 & 0 \\ \frac{1}{Z_{12,12}} & 0 & \frac{Z_{24,24}-Z_{23,24}}{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z^2_{23,24}}, & \frac{Z_{23,23}-Z_{23,24}}{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z^2_{23,24}} \\ 0 & \frac{Z_{24,24}-Z_{23,24}}{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z^2_{23,24}} & 0 & , \frac{Z_{23,24}}{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z^2_{23,24}} \\ 0 & \frac{Z_{23,23}-Z_{23,24}}{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z^2_{23,24}}, & \frac{Z_{23,24}}{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z^2_{23,24}}, & 0 \end{pmatrix}$$

$$Z'=\begin{pmatrix} Z_{01,01} & Z_{12,12} & \infty & \infty \\ & \infty & \frac{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z^2_{23,24}}{Z_{24,24}-Z_{23,24}} & \frac{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z^2_{23,24}}{Z_{23,23}-Z_{23,24}} \\ & & \infty & \frac{Z_{23,23}Z_{24,24}-Z^2_{23,24}}{Z_{23,24}} \\ & & & \infty \end{pmatrix}$$



따라서 그림 1의 等價回路는 그림 2와 같다.

그림 2. 그림 1의 等價回路(相互임피이던스消去)

Fig. 2. Equivalent circuit of Fig. 1 (in case of eliminating a mutual impedance)

5. 浮動부스의 消去에 依한 回路의 簡約化

線型兩方性受動回路의 부스애드미턴스 行列 Y_{BUS}가 주어졌을 경우, n個의 부스中, r個의 任意부스를 消去

함으로써 生成되는 等價回路의 各 부스間 또는 各부스 및 基準노오드間의 自己임피이던스는 다음 過程에 依하여 얻어진다(相互임피이던스는 0임).

i) 이 回路의 Y_{BUS}를 倒置한다. 即 $Z_{BUS}=Y^{-1}{}_{BUS}$

ii) Z_{BUS}의 消去부스의 行과 列을 消去함으로써 $(n-r)\times(n-r)$次元의 部分行列 Z''_{BUS}를 構成한다.

iii) Z''_{BUS}를 倒置한다. 即 $Y''_{BUS}=Z''^{-1}{}_{BUS}$

iv) Y''_{BUS}의 各 要素에 對하여 主對角要素 $Y''_{i,i}$는 $Y''_{i,i}\leftarrow\sum_{j=1}^{n}Y_{i,j}$를 代置하고, 非主對角要素 $Y''_{i,j}$ (但, $i\neq j$)는 符號를 바꾸어 $Y''_{i,j}\leftarrow -Y''_{i,j}$를 代置한다.

v) 이렇게 얻어진 非主對角要素 $Y'_{i,j}$의 逆數 $Z''_{i,j}$는 兩부스 i, j間의 自己임피이던스가, 그리고 $Y''_{i,i}$의 逆數 $Z''_{i,i}$는 基準 노오드와 부스間의 自己임피이던스가 되며, 이렇게 構成된 回路는 바로 浮動부스를 消去한 等價回路이다.

〈證明〉

E_S 및 I_S를 消去되지 아니하는 부스의 부스電壓 및 電流벡터, E_E 및 I_E를 消去되는 부스의 부스電壓 및 電流벡터라 할 때.

$$\begin{bmatrix} I_S \\ I_E \end{bmatrix}=Y_{BUS}\begin{bmatrix} E_S \\ E_G \end{bmatrix} \tag{12}$$

와 같이 表示될 수 있고, 따라서, 式(12)는

$$\begin{bmatrix} E_S \\ E_S \end{bmatrix}=Y^{-1}{}_{BUS}\begin{bmatrix} I_S \\ I_E \end{bmatrix}=\left[\begin{array}{c:c} Z''_{BUS} & Z_2 \\ \hdashline Z_3 & Z_4 \end{array}\right]\begin{bmatrix} I_S \\ I_E \end{bmatrix} \tag{13}$$

와 같이 變形될 수 있다. 그런데, 消去코저 하는 부스는 浮動부스이므로

$$I_E=0 \tag{14}$$

이다. 따라서,

$$E_S=Z''_{BUS}I_S \tag{15}$$

또는 $$I_S=Z''^{-1}{}_{BUS}E_S=Y''_{BUS}E_S \tag{16}$$

로서 表示되는 等價 Y''_{BUS}를 얻을 수 있고, 이 Y''_{BUS}의 等價 自己임피이던스를 얻는 方法은 이미 第4節에서 記述바와 같고, 그 證明도 第4節에서 行하였다.

(보기)

그림 2의 等價回路에서 부스 1 및 2를 消去함으로써 얻어지는 等價回路를 求하기로 한다.

그림 2의 等價回路의 Y_{BUS}는 式(7)에 의하여

$$Y_{BUS}=\begin{array}{c} \\ ① \\ ② \\ ③ \\ ④ \end{array}\!\!\begin{array}{c} \begin{array}{cccc} \quad① \quad & \quad② \quad & \quad③ \quad & \quad④ \quad \end{array} \\ \begin{pmatrix} \left(\frac{1}{Z'_{01,01}}+\frac{1}{Z'_{12,12}}\right), & \frac{-1}{Z'_{12,12}}, & 0 & 0 \\ \frac{-1}{Z'_{12,12}}, & \left(\frac{1}{Z'_{12,12}}+\frac{1}{Z'_{23,23}}+\frac{1}{Z'_{24,24}}\right), & \frac{-1}{Z'_{23,23}} & \frac{-1}{Z'_{24,24}} \\ 0 & \frac{-1}{Z'_{23,23}} & \left(\frac{1}{Z'_{23,23}}+\frac{1}{Z'_{34,34}}\right) & \left(\frac{-1}{Z'_{34,34}}\right) \\ 0 & \frac{-1}{Z'_{24,24}} & \frac{-1}{Z'_{34,34}} & \left(\frac{1}{Z'_{24,24}}+\frac{1}{Z'_{34,34}}\right) \end{pmatrix} \end{array}$$

i)

$Z_{BUS}=Y^{-1}{}_{BUS}$

$$=\begin{array}{c} ① \\ ② \\ ③ \\ ④ \end{array}\!\!\begin{pmatrix} Z'_{01,01} & Z'_{01,01} & Z'_{01,01} & Z'_{01,01} \\ Z'_{01,01} & (Z'_{01,01}+Z'_{12,12}) & (Z'_{01,01}+Z'_{12,12}) & (Z'_{01,01}+Z'_{12,12}) \\ Z'_{01,01} & (Z'_{01,01}+Z'_{12,12}) & \left\{Z'_{01,01}+Z'_{12,12}+\frac{Z'_{23,23}(Z'_{24,24}+Z'_{34,34})}{Z'_{23,23}+Z'_{24,24}+Z'_{34,34}}\right\} & \left\{Z'_{01,01}+Z'_{12,12}+\frac{Z'_{23,23}Z'_{24,24}}{Z'_{23,23}+Z'_{24,24}+Z'_{34,34}}\right\} \\ Z'_{01,01} & (Z'_{01,01}+Z'_{12,12}) & \left\{Z'_{01,01}+Z'_{12,12}+\frac{Z'_{23,23}Z'_{24,24}}{Z'_{23,23}+Z'_{24,24}+Z'_{34,34}}\right\} & \left\{Z'_{01,01}+Z'_{12,12}+\frac{Z'_{24,24}(Z'_{23,23}+Z'_{34,34})}{Z'_{23,23}+Z'_{24,24}+Z'_{34,34}}\right\} \end{pmatrix}$$

ii)

$$Z''_{BUS}=\begin{array}{c} ③ \\ ④ \end{array}\!\!\begin{pmatrix} \left\{Z'_{01,01}+Z'_{12,12}+\frac{Z'_{23,23}(Z'_{24,24}+Z'_{34,34})}{Z'_{23,23}+Z'_{24,24}Z'_{34,34}}\right\}, & \left\{Z'_{01,0,}+Z'_{12,12}+\frac{Z'_{23,23}Z'_{24,24}}{Z'_{23,23}+Z'_{24,24}+Z'_{34,34}}\right\} \\ \left\{Z'_{01,01}+Z'_{12,12}+\frac{Z'_{23,23}Z'_{24,24}}{Z'_{23,23}+Z'_{24,24}+Z'_{34,34}}\right\}, & \left\{Z'_{01,01}+Z'_{12,12}+\frac{Z'_{24,24}(Z'_{23,23}+Z'_{34,34})}{Z'_{23,23}+Z'_{24,24}+Z'_{34,34}}\right\} \end{pmatrix}$$

iii)

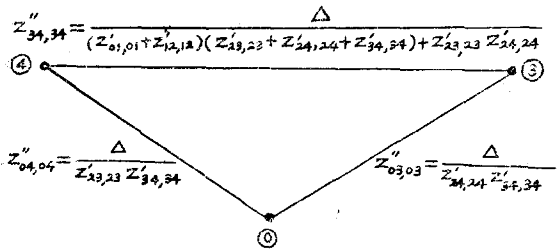
$$Y''_{BUS}=\left(\begin{array}{l} \dfrac{(Z'_{01,01}+Z'_{12,12})(Z'_{23,23}+Z'_{24,24}+Z'_{34,34})+Z'_{24,24}(Z'_{23,23}+Z'_{34,34})}{Z'_{23,23}Z'_{24,24}Z'_{34,34}+(Z'_{01,01}+Z'_{12,12})Z_{34,34}(Z'_{23,23}+Z'_{24,24})}, \\ \dfrac{-(Z'_{01,01}+Z'_{12,12})(Z'_{23,23}+Z'_{24,24}+Z'_{34,34})-Z'_{23,23}Z'_{24,24}}{〃}, \end{array}\right.$$

$$
\left.\begin{matrix} \dfrac{-(Z'_{01,01}+)'_{12,12})(Z'_{23,23}+Z'_{24,24}+Z'_{34,34})-Z'_{23,23}Z'_{24,24}}{''}, \\ \dfrac{(Z'_{01,01}+Z'_{12,12})(Z'_{23,23}+Z'_{24,24}+Z'_{34,34})+Z'_{23,23}(Z'_{24,24}+Z'_{34,34})}{''} \end{matrix}\right)
$$

iv)

$$
Y''=\begin{pmatrix} \dfrac{Z'_{24,24}+Z'_{34,34}''}{''}, & \dfrac{(Z'_{01,01}+Z'_{12,12})(Z'_{23,23}+Z'_{2424}+Z'_{34,34})+Z'_{23,23}Z'_{24,24}}{''} \\ \dfrac{(Z'_{01,01}+Z'_{12,12})(Z'_{23,23}+Z'_{24,24}+Z'_{34,34})+Z'_{23,23}Z'_{24,24}}{''}, & \dfrac{Z'_{23,23}Z'_{34,34}}{''} \end{pmatrix}
$$

v) 따라서 그림 2의 等價回路는 그림 3과 같다.



但, $\Delta=Z'_{23,23}Z'_{24,24}Z'_{34,34}+(Z'_{01,01}+Z'_{12,12})Z'_{34,34}(Z'_{23,23}+Z'_{24,24})$

그림 3. 그림 2의 等價回路(浮動부스의 消去)

Fig. 3. Equivalent circuit of Fig. 2 (in case of eliminating two floating busses 1 and 2)

6. 相互임피이던스와 浮動부스의 同時消去에 依한 回路의 簡約化

以上에서는 相互임피이던스의 消去에 依한 回路의 簡約化法과 浮動부스의 消去에 依한 回路의 簡約化法을 提示하였으나, 이들의 同時消去에 依한 回路의 簡約化를 試圖코저 할 경우에는 주어진 回路에 對하여 Y_{BUS}를 構成한 後, 第5節의 浮動부스의 消去法을 適用하면 同時消去가 可能하다.

따라서 浮動부스의 消去에 依한 回路의 簡約化法을 適用하면, 相互임피이던스는 自動으로 消去된다.

7. 結 論

1. 相互임피이던스를 갖고(磁氣的으로 結合되어 있고), 電壓源(voltage source)이나 電流源(current source) 갖지 아니하는 浮動부스를 包含하는 複雜한 線型兩方性 受動回路를 簡約化된 等價回路로 變換하는 體系的 方法을 提示하였다.

2. 提示된 方法은 電子計算機로 處理하기에 便利하도록 行列法(matrix method)에 依存하였다.

3. 特히 相互임피이던스의 消去에 依한 回路의 簡約化法은 電力系統 線路의 零相임피이던스의 等價自己임피이던스化에 有效하게 適用될 수 있다.

4. 特히, 浮動부스의 消去에 依한 回路의 簡約化法은 電力系統의 故障電流計算과 電力潮流計算의 時間短縮目的에 寄與될 수 있다.

參 考 文 獻

1. G.W. Stagg and A.H. El-Abiad, "Computer Methods in Power System Analysis", McGraw-Hill Co., 1968 pp.27~59.
2. J.O. Storry and H.E. Brown," An Improved Method of Incorporating Mutual Couplings in Single-Phase Short-Circuit Calculations", Transactions on PAS, Vol. PAS-89, No. 1, January 1970.