

相互素子を含む線形回路網解析のための視察法

羅 志 偉*・加 藤 厚 生**

An Uniform Observing Method in the Analysis of Linear Electric Network Including Active Elements

Zhiwei LUO and Atsuo KATO

This paper studied lumped linear electric network including active elements. By definition of self-parameter matrix $([Y'], [Z'])$, mutual-parameter matrix $([G], [R])$ and a uniform selection of directed branch, we find that the parameter matrix of electric network including active elements $([Y], [Z])$ is equal to the sum of $([Y'], [Z'])$ and $([G], [R])$, and because $([Y'], [Z'])$, $([G], [R])$ can be obtained just by observation, it made us very easy to get the parameter matrix of electric network $([Y], [Z])$, so the analysis of this kind of circuit become much simple. It may be useful in the design of LSI with CAD. Also, two special cases have been risen to make attention when using the theorems of this paper. The computer simulation of electric network making application of this method will be hopeful.

はじめに

線形集中定数回路網はその含む素子の性質から分類すると、相互素子を含む回路と自己素子回路（すなわち相互素子がない）の二種類にわけられる。自己素子回路網の解析にはそのパラメータマトリックス（すなわち節点アドミタンスマトリックス $[y_n]$, カットセットアドミタンスマトリックス $[y_q]$, 網目インピーダンスマトリックス $[Z_m]$, 閉路インピーダンスマトリックス $[Z_l]$ ）がグラフ理論を利用して直接に視察法で求められるから、簡単に扱える¹⁾。しかし、相互素子を含む回路網に対しては簡単に扱えない。もしこのような回路網がただか二、三個の従属電源を含んでいるときは、まずその従属電源を独立電源として取り扱い、最終段階において、その電源を適当な変数を用いて表わし直せば、回路方程式を視察法によって記述できる¹⁾。けれども、回路の規模が大きくなると問題は難かしくなる。また、このような回路の解析には前田の“2-グラフ法”と呼ばれるグラフ理論的回路解析手法があるが、共通木

の全体を決めることや、 $\det M$ 各項の符号を決めることが主なる仕事となり、それぞれグラフ理論的に興味ある問題を含んでおり、研究もみられる²⁾。しかし回路理論的に有効である程に統一的な成果があるとはいえない。

一方、LSI 回路には一般に多数のトランスやトラジスタなど相互素子に等価される素子があって、CAD による LSI の解析にはそのアルゴリズムがなるべく簡便である方が好ましい。

そこで、本文では基本的なグラフ理論を使い、相互素子を含む線形回路に対して一種の統一的な視察法を提案する。この方法では、まず回路の相互パラメータマトリックスと一般有向枝を定義し、回路網パラメータマトリックスを求めるいくつかの定理と推論を証明することによって、回路方程式が簡単な視察法で得られる。

定義、定理と説明

定義1：線形集中定数回路網中の従属電源を全部零にする（すなわち従属電源を短絡し、従属電流源を開放する）。これによりできた自己素子回路網のパラメータマトリックスを自己パラメータマトリッ

* 蘇州大学工学院

** 電子工学院

クスと言い、 $[Y_n]$, $[Y_q]$, $[Z_m]$, $[Z_l]$ と記述する。

定義 2 : 線形集中定数回路網の中に、各相関枝上の従属電源の比例定数の線形結合でできた要素が一定の規則で配列してできたマトリックスを従属パラメータマトリックスと言う。

一般的に下に示す四種類の従属パラメータマトリックスがある。個別に定義と説明をする。

定義 3 : n 個の独立節点を有し、従属電源は全部電圧制御形電流源 (VCCS) である線形集中定数回路網に対して、下述の規則を満足する従属パラメータマトリックスを節点相互アドミタンスマトリックスと言い、 $[G_n] = [g_{ij}]_{n \times n}$ で記述する。

$[G_n]$ の生成規則は次のようである

(1). $[G_n]$ 中の任意の要素 g_{ij} はすべて次のような従属電流源の比例定数の線形結合である (すなわち $g_{ij} = \pm g_{mx1} \pm g_{mx2} \pm \dots$)。これらの従属源の属する枝は節点 \textcircled{i} と連結し、従属源の制御量の属する枝は節点 \textcircled{j} と連結する。

(2). g_{ij} 中の任意項 g_{mxx} の前の符号は次のように決める。もし節点 \textcircled{i} に対する比例定数が g_{mxx} である従属電流源の方向が節点 \textcircled{i} に対するこの従属電流源の制御量の方向と一致すれば、 g_{mxx} 前の符号は正を取る。もし一致しなければ、 g_{mxx} 前の符号は負を取る。

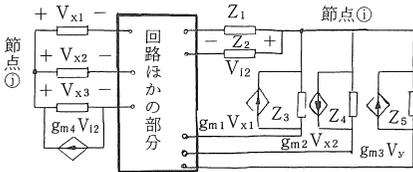


図 1 節点解析

説明 : 図 1 の回路網について。節点 \textcircled{i} と連結する三本の枝の中に従属電流源をもつ : $g_{m1}V_{x1}$, $g_{m2}V_{x2}$, $g_{m3}V_{x3}$ 。制御量 V_{x1} , V_{x2} の枝は節点 \textcircled{i} と連結する。そこで、 $g_{ij} = \pm g_{m1} \pm g_{m2}$ 。次に、 $g_{m1}V_{x1}$ 従属源の方向は節点 \textcircled{i} に向う、 V_{x1} の方向は節点 \textcircled{j} をはなれる。両者は一致していないから、 g_{m1} 前の符号は負となる。また、 $g_{m2}V_{x2}$ が節点 \textcircled{i} をはなれる方向で V_{x2} 方向も節点 \textcircled{i} をはなれるから、 g_{m2} 前の符号は正である。すると、 $g_{ij} = -g_{m1} + g_{m2}$

同様にして、本例では $g_{ji} = -g_{m4}$

定義 4 : n 個の独立節点を有し、従属電源は全部電圧制御形電流源 (VCCS) である線形集中定数回路

網に対して、下述の規則を満足する従属パラメータマトリックスをカットセット相互アドミタンスマトリックスと言い、 $[G_q] = [g_{ij}]_{n \times n}$ で記述する。

$[G_q]$ の生成規則は次のようである。

(1). $[G_q]$ 中の任意の要素 g_{ij} はすべて次のような従属電流源の比例定数の線形結合である (すなわち、 $g_{ij} = \pm g_{mx1} \pm g_{mx2} \pm \dots$)。これらの従属源の属する枝は基本カットセット \textcircled{i} と連結し、従属源の制御量の属する枝は基本カットセット \textcircled{j} と連結する。

(2). g_{ij} 中の任意項 g_{mxx} の前の符号は次のように決める。もし基本カットセット \textcircled{i} に対して比例定数が g_{mxx} である従属電流源の方向が基本カットセット \textcircled{i} に対するこの従属源の制御量の方向と一致すれば、 g_{mxx} 前の符号は正を取る。もし一致しなければ、 g_{mxx} 前の符号は負を取る。

定義 5 : l 個の独立閉路を有し、従属電源は全部電流制御形電圧源 (CCVS) の線形集中定数回路網に対して、下述の規則を満足する従属パラメータマトリックスを閉路相互インピーダンスマトリックスと言い、 $[R_l] = [r_{ij}]_{l \times l}$ で記述する。

$[R_l]$ の生成規則は次のようである。

(1). $[R_l]$ 中の任意の要素 r_{ij} はすべて次のような従属電圧源の比例定数の線形結合である (すなわち、 $r_{ij} = \pm r_{mx1} \pm r_{mx2} \pm \dots$)。これらの従属源の属する枝は閉路 \textcircled{i} に関連し、従属源の制御量の属する枝は閉路 \textcircled{j} に関連する。

(2). r_{ij} 中の任意項 r_{mxx} の前の符号は次のように決める : もし閉路 \textcircled{i} に対して比例定数が r_{mxx} である従属電圧源の方向が閉路 \textcircled{i} に対するこの従属源の制御量の方向と一致すれば、 r_{mxx} 前の符号は正を取る。もし一致しなければ、 r_{mxx} 前の符号は負を取る。

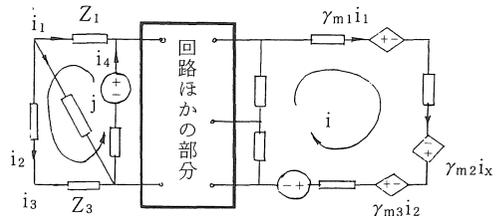


図 2 閉路解析

説明 : 図 2 の回路網に対して、閉路 \textcircled{i} と関連する三本の枝の中に従属電圧源をもつ : $r_{m1}i_1$, $r_{m2}i_x$, $r_{m3}i_2$ 。その内制御量 i_1 , i_2 の枝は閉路 \textcircled{i} と関連する。そこで、 $r_{ij} = \pm r_{m1} \pm r_{m3}$ 。次に $r_{m1}i_1$ 従属源の方向は閉路 \textcircled{i} の方向と同じ、制御量 i_1 の方向は閉路 \textcircled{j} の方

向とは逆であるから、両者一致しないので r_{m1} 前に負号を取る。また、 $r_{m3}i_2$ の従属源の方向は閉路①の方向と逆で、制御量 i_2 の方向は閉路①と同じ、両者も一致しない、 r_{m3} 前にも負号を取る。すると $r_{ij} = -r_{m1} - r_{m3}$ 。

定義 6 : l 個の独立した網目を有し、従属電源は全部電流制御形電圧源 (VCCS) の線形集中定数回路網に対して、下記の規則を満足する従属パラメータマトリックスを網目相互インピーダンスマトリックスと言い、 $[R_m] = [r_{ij}]_{m \times m}$ で記述する。

$[R_m]$ の生成規則は次のようである。

(1). $[R_m]$ 中の任意の要素 r_{ij} はすべて次のような従属電圧源の比例定数の線形結合である (すなわち、 $r_{ij} = \pm r_{mx1} \pm r_{mx2} \pm \dots$)。これらの従属源の属する枝は網目①に関連し、従属源の制御量の属する枝は網目①に関連する。

(2). r_{ij} 中の任意項 r_{mxk} の前の符号は次のように決める：もし網目①に対して比例定数が r_{mxk} である従属電圧源の方向が網目①に対するこの従属源の制御量の方向と一致すれば、 r_{mxk} 前の符号は正を取る。もし一致しなければ、 r_{mxk} 前の符号は負を取る。

定理 1 : n 個の独立節点と b 本の枝を有し、従属電源はすべて電圧制御形電流源の線形集中定数回路網のカットセットアドミタンスマトリックスはこの回路網の自己カットセットアドミタンスマトリックスとカットセット相互アドミタンスマトリックスの和である。すなわち： $[Y_Q] = [Y'_Q] + [G_Q]$

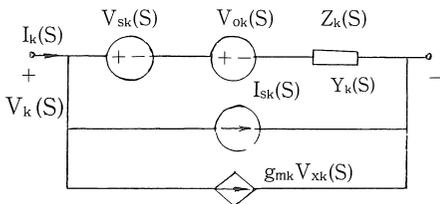


図 3 一般有向枝

証明：図 3 のように回路網の標準有向枝を定義する。定理条件によって、相互素子は全部電圧制御形電流源である。また、回路網に対するラプラス変換を取る。

枝 k に対して、CVR 方程式を導く。(図 3 参照)

$$I_k(s) = I_{sk}(s) + g_{mk} V_{xk}(s) + Y_k(s) V_k(s) - Y_k(s) V_{sk}(s) - Y_k(s) V_{ok}(s)$$

すると、 b 本枝の CVR 方程式は：

$$[I(s)] = [I_s(s)] + [I_g(s)] + [Y(s)] \cdot [V(s)] - [Y(s)] \cdot [V_s(s)] - [Y(s)][V_o(s)] \dots (1)$$

(1)式で： $[Y(s)]$ は枝アドミタンスマトリックスである；

$[I(s)]$, $[V(s)]$ は枝電流ベクトルと枝電圧ベクトルである；

$[V_o(s)]$ は枝アドミタンス電圧初期値ベクトルである；

$[I_s(s)]$, $[V_s(s)]$ は枝電流源ベクトルと枝電圧源ベクトルである；

$$[I_g(s)] = \begin{bmatrix} g_{m1} V_{x1} \\ g_{m2} V_{x2} \\ \vdots \\ g_{mb} V_{xb} \end{bmatrix} \text{ は枝従属電流源ベクトルである。}$$

(1)式の両辺に基本カットセットマトリックス $[Q]$ を左からかけると；

$$[Q][I(s)] = [Q][I_s(s)] + [Q][I_g(s)] + [Q][Y(s)][V(s)] - [Q][Y(s)][V_s(s)] - [Q][Y(s)][V_o(s)] = 0^{(1)}$$

上式を変形すると；

$$[Q][Y(s)][V(s)] + [Q][I_g(s)] = [Q][Y(s)][V_s(s)] + [Q][Y(s)][V_o(s)] - [Q][I_s(s)] \dots (2)$$

(2)式の右辺を $[I_\Sigma(s)]$ にすると；

$$[Q][Y(s)][V(s)] + [Q][I_g(s)] = [I_\Sigma(s)] \dots (3)$$

$$[I_g(s)] = \begin{bmatrix} g_{m1} V_{x1} \\ g_{m2} V_{x2} \\ \vdots \\ g_{mb} V_{xb} \end{bmatrix} = [g'_{ij}]_{b \times b} \begin{bmatrix} V_1(s) \\ V_2(s) \\ \vdots \\ V_b(s) \end{bmatrix} = [g'_{ij}]_{b \times b} [V(s)] \text{ と書ける。}$$

この式内の g'_{ij} は枝①上の従属源の比例定数で、この従属源の制御電圧は枝①上に属する。

そこで：

$$[Q][Y(s)][V(s)] + [Q][g'_{ij}]_{b \times b} [V(s)] = [I_\Sigma(s)] \dots (4)$$

$[Y(s)] = [Q]^T [E_k(s)]$ を(4)式に代入する

($[E_k(s)]$ はカットセット電圧ベクトルである¹⁾) と：

$$\{ [Q][Y(s)][Q]^T + [Q][g'_{ij}][Q]^T \} [E_k(s)] = [I_\Sigma(s)] \dots (5)$$

定義 2 によれば： $[Y'_Q] = [Q][Y(s)][Q]^T$

また定義 4 によれば： $[G_Q] = [Q][g'_{ij}][Q]^T$

すると(5)式は： $\{ [Y'_Q] + [G_Q] \} [E_k(s)] = [I_\Sigma(s)]$

結局： $[Y_Q] = [Y'_Q] + [G_Q]$ Q.E.D

推論 1 : 定理 1 条件を満足する線形集中定数回路

網の節点アドミタンスマトリックス $[Y_n]$ は次式を満足する： $[Y_n]=[Y_n']+[G_n]$ 。

また、回路網の閉路解析と網目解析についても、上述と似た定理と推論が成立する。

定理 2： l 個の閉路と b 本の枝を有し、従属電源はすべて電流制御形電圧源である線形集中定数回路網に対して、次の式が成立する： $[Z_l]=[Z_l']+[R_l]$ 。

この定理の証明は前の証明と似ている。すなわち、回路網に対して、VCR 方程式を導いて、

$[B][V(s)]=0$ を利用すれば証明できる。証明は省略する。

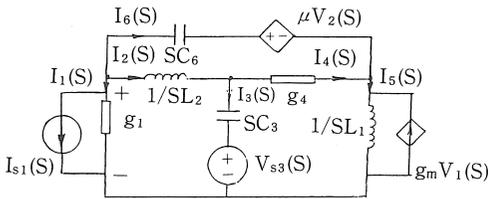
推論 2：定理 2 条件を満足する回路網に対して次の式が成立する： $[Z_m]=[Z_m']+[R_m]$ 。

定理 1 (定理 2) は回路網が含む相互素子はすべて電圧制御形電流源 (電流制御形電圧源) であることを要求している。もし回路網に他の種類の相互素子を含んでいる場合、これらの素子が全部要求される形の相互素子に変形されるならば、上述の定理がやはり応用できる。

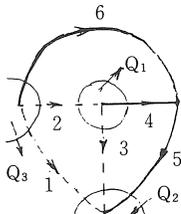
視察法の手順と論議

本節ではいくつかの例を挙げて、視察法により相互素子を含む回路網解析の手順と論議を説明する。

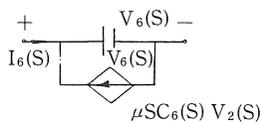
例 1：図 4 に示す回路のカットセットアドミタンスマトリックスを視察法で求めよ。



(a) 回路図



(b) 木



(c) 枝 6

図 4 例 1 の回路図

解：第一：木を選ぶ、基本カットセット Q_1, Q_2, Q_3 を作って方向を決める。(図 4 (b) 参照)

第二：従属電流源を開放し、従属電圧源を短

絡する。視察法で自己カットセットアドミタンスマトリックス $[Y_Q']$ を求める。

簡単に：

$$[Y_Q'] = \begin{bmatrix} \frac{1}{SL_2} + SC_3 + g_4 & SC_3 & -\frac{1}{SL_2} \\ SC_3 & g_1 + SC_3 + \frac{1}{SL_1} & g_1 \\ -\frac{1}{SL_2} & g_1 & g_1 + SC_6 + \frac{1}{SL_2} \end{bmatrix}$$

第三：回路中の従属電源を全部電圧制御形電流源に変形し、 $[G_Q]$ を定義 4 によって求める。

枝 6 は図 4 (c) に変形できる。

$[G_Q]$ の生成規則によれば：

Q_1 と関連する枝に従属電源がないから、

$$g_{11} = 0, \quad g_{12} = 0, \quad g_{13} = 0$$

Q_2 と関連する枝の中に枝 5 上に従属電源

$g_m V_1(s)$ があり、その方向は Q_2 の方向と逆で、制御量 $V_1(s)$ の方向は Q_2, Q_3 と一致するから、

$$g_{21} = 0, \quad g_{22} = -g_m, \quad g_{23} = -g_m$$

Q_3 と関連する枝のうち枝 6 が従属電源

$\mu SC_6 V_2(s)$ を含んでおり、その方向は Q_3 と逆で、制御量 $V(s)$ の方向は Q_1 と逆で、 Q_3 とは一致するから、

$$g_{31} = \mu SC_6, \quad g_{32} = 0, \quad g_{33} = -\mu SC_6$$

すると、簡単に視察で $[G_Q]$ が求まる。

$$[G_Q] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -g_m & -g_m \\ \mu SC_6 & 0 & -\mu SC_6 \end{bmatrix}$$

第四：定理 1 を利用して $[Y_Q]$ を求める。

$$[Y_Q] = [Y_Q'] + [G_Q]$$

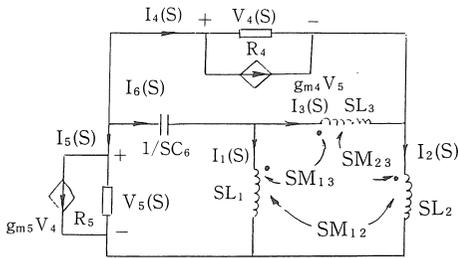
$$= \begin{bmatrix} \frac{1}{SL_2} + SC_3 + g_4 & SL_3 & -\frac{1}{SL_2} \\ SC_3 & g_1 + SC_3 + \frac{1}{SL_1} - g_m & g_1 - g_m \\ \mu SC_6 - \frac{1}{SL_2} & g_1 & g_1 + SC_6 + \frac{1}{SL_2} - \mu SC_6 \end{bmatrix}$$

例 2：図 5 に示す回路の閉路インピーダンスマトリックスを視察法で求めよ。

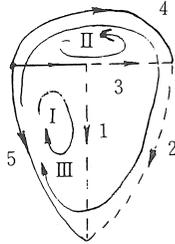
条件： $g_{m4} = g_{m5} = g_m$

解：図 5 からわかるように、枝 4 と枝 5 上の二つの従属源は同じ比例定数でかつその制御量 V_4, V_5 は相手枝の電圧である。われわれはこのような性質をもつ従属源をトランス型従属源と呼ぶ (素子としてのトランスとは限らない)。文献 1 によれば、相互素子はただトランスの回路のパラメータマトリックスは対称である。この性質は相互素子が全部トラン

ス型従属源の場合にも正しい。



(a) 回路図



(b) 木

図5 例2の回路図

図5に示めすように：

$$\begin{cases} I_4 = \frac{1}{R_4} V_4 + g_{m4} V_5 \\ I_5 = g_{m5} V_4 + \frac{1}{R_5} V_5 \end{cases} ; \text{すると}$$

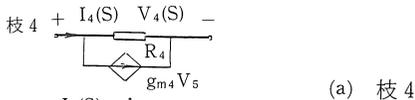
$$g_{m4} = g_{m5} = g_m$$

$$\begin{cases} V_4 = \frac{R_4 R_5}{1 - g_m^2 R_4 R_5} (I_4 - g_m I_5) \\ V_5 = \frac{R_4 R_5}{1 - g_m^2 R_4 R_5} (I_5 - g_m I_4) \end{cases}$$

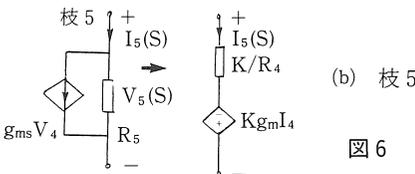
$$K \triangleq \frac{R_4 R_5}{1 - g_m^2 R_4 R_5} \text{とおくと,}$$

$$\begin{cases} V_4 = \frac{K}{R_5} I_4 - K g_m I_5 \\ V_5 = \frac{K}{R_4} I_5 - K g_m I_4 \end{cases}$$

こうして、枝4、枝5は図6に示すように、電流制御形電圧源に変形される



(a) 枝4



(b) 枝5

図6

図5からこの回路の自己インピーダンスマトリックス $[Z']$ は；

$$[Z'] = \begin{bmatrix} \frac{K}{R_4} + \frac{1}{SC_6} + SL_1 & \frac{1}{SC_6} + SM_{13} & \frac{K}{R_4} + SM_{12} \\ \frac{1}{SC_6} + SM_{31} & \frac{K}{R_5} + SL_3 + \frac{1}{SC_6} & -\frac{K}{R_5} + SM_{32} \\ \frac{K}{R_4} + SM_{21} & -\frac{K}{R_5} + SM_{23} & \frac{K}{R_4} + \frac{K}{R_5} + SL_2 \end{bmatrix}$$

定義5による $[R']$ を書く。 $([R'])$ にはトランスを考慮していない)

$$[R'] = \begin{bmatrix} 0 & -K g_m & K g_m \\ -K g_m & 0 & -K g_m \\ K g_m & -K g_m & 0 \end{bmatrix}$$

$[R'_i]$ 式からわかるが、枝4、枝5の中の従属源はトランス型であるから、 $[R'_i]$ も対称である。

定理2から、回路の $[Z_i]$ は次のように求まる。

$$[Z_i] = [Z'] + [R']$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{K}{R_4} + \frac{1}{SC_6} + SL_1 & SM_{13} + \frac{1}{SC_6} - K g_m & \frac{K}{R_4} + SM_{12} + K g_m \\ \frac{1}{SC_6} + SM_{31} - K g_m & \frac{K}{R_5} + SL_3 + \frac{1}{SC_6} & SM_{32} - K g_m - \frac{K}{R_5} \\ \frac{K}{R_4} + SM_{21} + K g_m & SM_{23} - K g_m - \frac{K}{R_5} & \frac{K}{R_4} + \frac{K}{R_5} + SL_2 \end{bmatrix}$$

一般的に、もし回路網にトランス型従属源と別型の従属源が共存する場合、回路のパラメータマトリックスを求めるときに、まず文献3)による回路の別型の従属源を零にし、トランス型従属源だけを含む回路の対称パラメータマトリックスを求める。次に本文の定義による回路に別型従属源だけ含む場合の従属パラメータマトリックスを求め、最後に両者を合せて回路全体のパラメータマトリックスを求める。こうすれば回路網の解析手順は非常に簡単化される。

ここで指摘したいのは任意の回路網の従属電源はすべてちょうど電圧制御形電流源（あるいは電流制御形電圧源）に変形できるとは限らないことである。下の二つの特別のケースがある。

第一ケース：図7に示すように、枝①、枝②は回路の任意の二枝である。もしこの回路のカットセット（節点）アドミタンスマトリックスを求めようとすると、まず枝①の上の従属源 $r_{mj} I_1$ を電圧制御形電流源に変形する必要がある。

$$\text{図7(a)から, } I_1 = I_{s1} + V_1 Y_1 - V_{s1} Y_1$$

$$\text{すると, } r_{mj} Y_j I_1 = (-r_{mj} Y_j V_{s1} Y_1 + r_{mj} Y_j I_{s1})$$

$$+ r_{mj} Y_j Y_1 V_1$$

図6

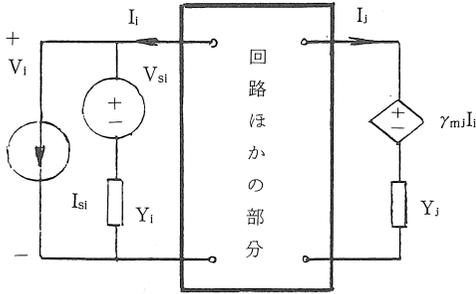


図 7(a) ケース 1 カットセット解析

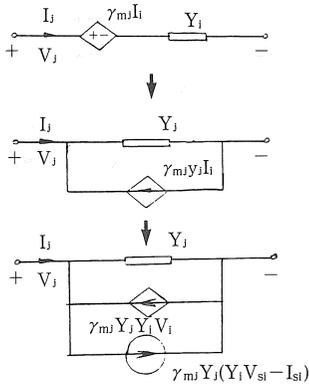


図 7(b) 枝 j

そうすると、もとの従属源 $r_{mj}I_i$ は一つの独立電流源 ($r_{mj}Y_jI_{s1} - r_{mj}Y_1Y_jV_{s1}$) と一つの新しい従属源 $r_{mj}Y_1Y_jV_i$ の和に変形される(図 7(b)参照)。だから、回路の方程式 $[Y_Q][E_k] = [I_S]$ 中の $[I_S]$ にこの新

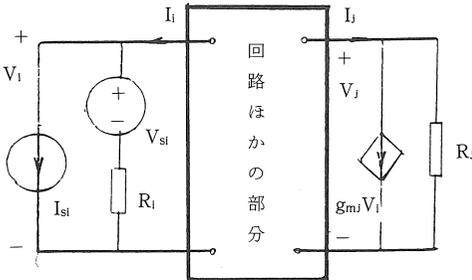


図 8(a) ケース 1 閉路解析

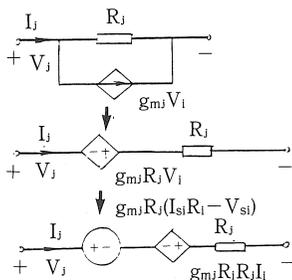


図 8(b) 枝 j

しくできた独立電流源も考慮しなければならない。

この場合と似ているのは図 8 のような回路網に対する閉路解析(あるいは網目解析)のときである。ここで枝①の中の従属源を電流制御形電圧源に変形するとき、新しい独立電圧源 $g_{mj}R_j(I_{s1}R_1 - V_{s1})$ が出てくる。だから方程式 $[Z_i][I] = [V_S]$ 中の $[V_S]$ にこの独立電圧源を考慮すべきである。

$$g_{mj}R_jV_i = g_{mj}R_jR_jI_i - g_{mj}R_j(I_{s1}R_1 - V_{s1})$$

第二ケース: 図 9 に示す回路網に対するカットセット(節点)解析のとき、枝①、枝②の上の従属源を電圧制御形電流源に変形する必要がある。あるいは従属源 $r_{mj}I_x$ 、 $r_{mj}I_i$ の制御量 I_i 、 I_x を $V_w + c$ の形に変形しなければならない。ここで V_w は回路の任意枝電圧の線形結合で、 c は定数である。

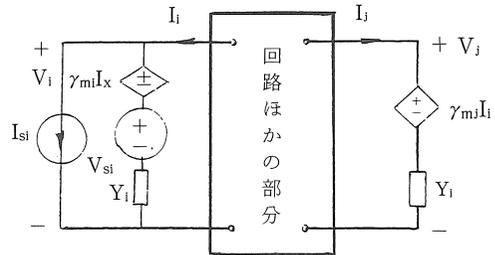


図 9 ケース 2 カットセット解析

この例では、 $I_i = I_{s1} + V_i Y_1 - V_{s1} Y_1 - r_{mj} I_x Y_1$ もし I_x が変形して $V_w + c$ の形になれば、枝②の上の $r_{mj}I_i$ は電圧制御形電流源に変形され、回路のカットセット(節点)アドミタンスが視察法で求まる。しかし、もし I_x が $V_w + c$ の形に変形できないならば、枝①、枝②中の従属源は電圧制御形電流源に変形できないので、本文の視察法は簡単に使えない。

図 10 の回路網に対する閉路(網目)解析のとき同じ情況に合う。ここでは分析を省略する。

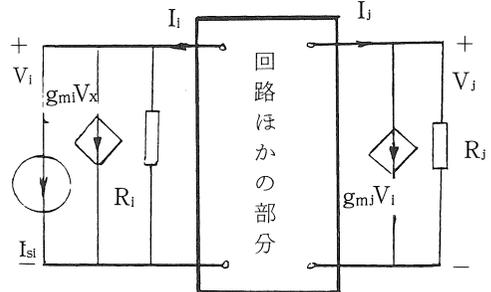


図 10 ケース 2 閉路解析

まとめ

上に論議したように（第2ケースをのぞく）一般の相互素子を含む回路網のパラメータマトリックス $[Y]$, $[Z]$ はその回路の自己パラメータマトリックス $[Y']$, $[Z']$ と従属パラメータマトリックス $[G]$, $[R]$ の和である。 $[Y']$, $[Z']$ は簡単に視察法で求まる¹⁾。本文の定義2から定義6によれば $[G]$, $[R]$ も視察法で得られるから, $[Y]$, $[Z]$ ももちろん視察法によって求まる。そうすると相互素子を含む回路網の解析は大幅に簡単化され, CADによるLSI回路設計の有力な, 統一的な方法となる。ただし, 上述の第二ケースはもっと研究する必要がある, また, この方法を利用する計算機シミュレーションソフト

ウェアの設計も今後の課題である⁴⁾。

参考文献

1. Charles A. Desoer and Ernest S. Kuh: Basic Circuit Theory, McGraw-Hill, New York, 1969
2. 梶谷洋司: 回路のためのグラフ理論, 205, 昭晃堂, 東京, 1979
3. Shu Pork Chax: Introductory Topological Analysis of Electric Network, 1982
4. 小林 勉, 須藤常太, 細田泰弘: LSI-CAD [1], 電子情報通信学会誌, Vol.70, No.12, 1987
(受理 昭和63年1月25日)