

節点解析法の基礎

節点解析法とは

SPICE に代表される回路シミュレータはなぜ任意の回路が自由にシミュレーションできるのでしょうか。学校で最初に習う回路解析では、解くべき回路が与えられて、その回路図を見ながら解析手順を考えました。ここでは、'任意の回路を解く' という概念はありません。しかし言い換えれば、問題集の回路をみて連立方程式を組み立てたということは、'回路をみて式をたてる' という過程をプログラミングに置き換えれば、任意の回路を解くということになります。節点解析法は、あるルールに基づくことで、任意の回路の回路方程式を自動的に作成できるアルゴリズムです。

原理

節点解析法は、'1点に流れ込む電流の総和は0' というキルヒホッフの法則を基に各節点における節点方程式をたてるものです。節点というのは、同一電位の部分を一つの点と考えます。例えば、図1(a)のようなブリッジ回路を例にとりて考えてみると、電位の異なる部分は、
、
、
、そしてグラウンドになります。次にこの3つの節点について、1点に流れ込む電流の総和は0というキルヒホッフの法則を適用してみます。そうすると、

節点 ① に於いて、 $V_1G_s + (V_1 - V_2)G_1 + (V_1 - V_3)G_2 = I_s$

節点 ② に於いて、 $(V_2 - V_1)G_1 + V_2G_3 + (V_2 - V_3)G_5 = 0$

節点 ③ に於いて、 $(V_3 - V_1)G_2 + (V_3 - V_2)G_5 + V_3G_4 = 0$

が成り立ちます。これらの式を、 V_1, V_2, V_3 について整理し行列の形で表現すると、図1(b)のような式となります。ここで、 G は各抵抗のアドミッタンスで、 I_s は電流源を示します。

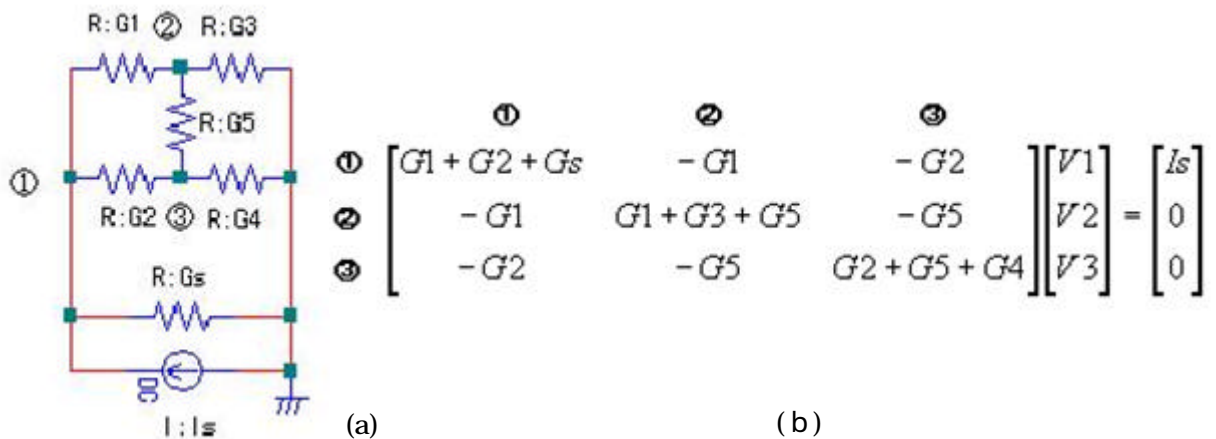


図 1

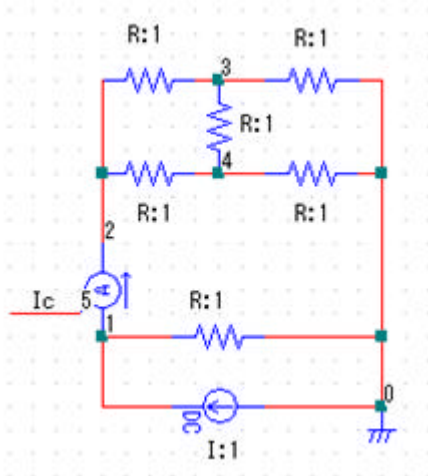
マトリックス生成のルール

図1の係数行列の部分をよくみると、 G_{11} の部分は、 $G_1+G_2+G_5$ になっています。
 G_{12} は $G_1+G_3+G_5$ 、 G_{13} は $G_2+G_4+G_5$ です。これらはいずれも、その節点にぶら下がっている素子の和になっています。また、 G_{21} の要素は $-G_1$ で、これは1-2間に接続されている素子値にマイナスを付けたものです。 G_{31} もまた同じです。他の要素(例えば G_{23})をみても同じ現象が確認できます。つまり、連立方程式に至る規則性、以下のようになります。

- $G_{ij}(i=j)$ の要素は、その節点に接続されている素子値(アドミタンス)の和になります。
- $G_{ij}(i \neq j)$ の要素は、それらの節点間に接続されている素子値(アドミタンス)に -1 を掛けたものの和になります。
- さらに、電流要素のみで考えた場合、マトリックスは対称行列になります。そして行列の大きさは、ノード数に等しくなります。

解を得る

さてこれで規則性がみいだせわけですから、後は連立方程式を解くだけになります。たとえば図1の回路において、全ての抵抗値を1とし、電流源の値も1Aとしてみると、平衡ブリッジ回路となりますので、回路に流れ込む電流は容易に0.5Aと求めることができます。シミュレータ(S-NAP/Pro)を用いて、直流解析を行ってみると、図2のようになります。直流解析結果として、ノード3とノード4は同電位となっており、 $I_c=0.5A$ となっていることが確認できます。



* DC Analysis
 * ノード数:6 マトリックス密度: 44[%]

- 1 ノード 1(-) = 500 mV
- 2 ノード 3(-) = 250 mV
- 3 ノード 4(-) = 250 mV
- 4 ノード 2(-) = 500 mV
- 5 ノード 5(Ic) = 500 mA

図2 シミュレーション回路