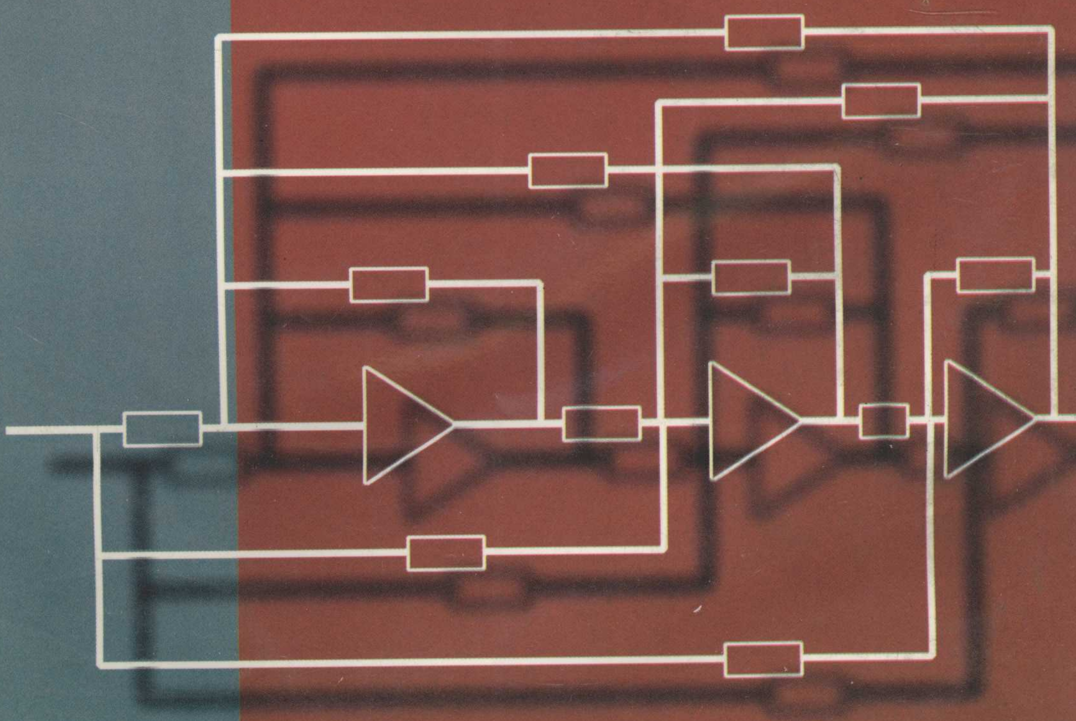
大连海事大学
出版基金赞助
学术丛书

线性电工、电子及机械网络计算新法

王贤惠　纪致纹　著



大连海事大学出版社

大连海事大学出版基金赞助学术丛书

线性电工、电子及机械网络计算新法

王贤惠　纪致纹　著

大连海事大学出版社

(辽)新登字 11 号

图书在版编目(CIP)数据

线性电工、电子及机械网络计算新法/王贤惠,纪致纹著. —大连:大连海事大学出版社,1996
ISBN 7-5632-1023-7

Ⅰ.线… Ⅱ.①王… ②纪… Ⅲ.网络电路-计算方法 Ⅳ.TN711.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 20779 号

大连海事大学出版社出版
(大连市凌水桥 邮政编码 116026)
大连理工大学印刷厂印刷 大连海事大学出版社发行
1997 年 1 月第 1 版 1997 年 1 月第 1 次印刷
开本:787×1092 1/16 印张:8.75
字数:218 千 印数:0001~1000
定价:12.80 元

内 容 简 介

《线性电工、电子及机械网络计算新法》一书共分十章。第一章叙述网络计算法的基础知识;第二、三章是网络计算法的基本原理,包括导纳信流图,阻抗信流图,网络计算式的推导,电压电流运算式的求取步骤;第四章从运放的基本回环项和它的特殊性出发论述运放网络计算法;第五章讨论多个电源作用下的网络计算;第六章网络计算法在其它类型网络计算中的应用;第七章论述网络分割与接缝,并介绍逐点分割的计算流程图;第八、九章是网络计算法在晶体管电路及机械网络中的应用;第十章,网络计算法的讨论。

书中题例答案是以"看图列式"的形式写出的,一般可以很顺利地进行阅读,并能自然地进行图式对照。

关于答案的正确性校验可参阅第十章题例。

本书可供电工类、电子类、自控类及机械类专业学生和工程技术人员学习、参考。

前　言

线性电工、电子及机械网络的计算与传递函数列写是密切相关的。常用的传递函数列写方法比较麻烦，为使列写简化，便于实际使用，经理论推导得到了在网络图上可以直接列写有关运算答案的方法。这种计算方法经反复实践验证，简化了常规计算的中间步骤，使计算速度加快、准确性提高、直观性增强。书中除了叙述各种类型网络计算法的基本原理，计算式的推导外，还论述了有源、无源网络的分割、接缝及计算流程等内容。为了使理论论证直接应用于实际题例中，增加实用性，故在写法上，采用了“看图列式”的实践法。希望通过读者亲自阅读练习实践，能在“看图列式”、“以式识图”、“图式对照”中融会贯通，学以致用。这是作者的最大愿望。

本书在写作过程中，曾得到陆祥润教授的热情指导与关怀，并担任主审，张金贵副教授也参加了部分审核工作，在此表示感谢。

书中有不当之处，敬请读者指教。

王贤惠　纪致纹　　写于大连　1995.3

目　录

第一章 计算基础

本章主要叙述电路基本定律，运算微积的基础知识，根据联立方程组构造信流图，介绍信流图的有关术语，并进行必要的信流图计算，以达到掌握梅逊增益公式的实际应用。

第一节 电路计算定律

基尔霍夫电流定律是电路的一个基本定律，它是“电荷守恒”的一种反映，说明在电路节点处电荷不会产生和消灭，也不能积累，所以

$$\sum I = 0 \tag{1-1}$$

式(1-1)表明在电路的任意一个节点处，电流代数和恒等于零。例如有一电路图如图 1-1 所示，根据电路基本定律得：

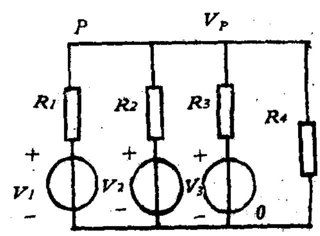


图 1-1 节点电压图

$$\frac{V_1 - V_P}{R_1} + \frac{V_2 - V_P}{R_2} + \frac{V_3 - V_P}{R_3} = \frac{V_P}{R_4} \tag{1-2}$$

式(1-2)可改写成：

$$V_P\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right) = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \tag{1-3}$$

式(1-3)可作以下理解：方程右边代数式理解为其它节点电压 V_1, V_2, V_3 产生流入节点 P 的电流和，而此时，节点 P 认为是接地的。方程左边代数式也可理解为节点 P 电压 V_P 产生流向其它节点的电流和，而此时，认为其它节点都是接地的，这两个电流和相等。这也是基本电流定律的一种表达形式。

基尔霍夫电压定律说明在电路中任一个回路内各段电压的代数和为 0，即

$$\sum V = 0 \tag{1-4}$$

又经推证可得，在电路的任一个回路内，电阻上电压降代数和等于电动势的代数和，即

$$\sum IR = \sum E \tag{1-5}$$

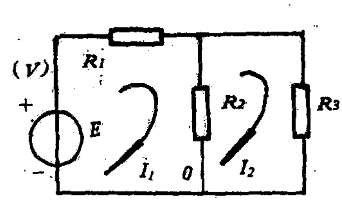


图 1-2 回路电流图

例如图 1-2 所示，设定网孔电流为 I_1, I_2，则对第一、二网孔回路，分别列写基尔霍夫电压定律应为：

$$\begin{aligned} V &= I_1(R_1 + R_2) - I_2R_2 \\ I_2(R_2 + R_3) - I_1R_2 &= 0 \end{aligned} \tag{1-6}$$

为与新电工符号概念配合，在以后论证及题中遇到电势 E 的书写符号，都以端电压(V)来

理解。

第二节 “运算子”知识

设 $f(t)$ 是一个时间 t 的函数式，t 是实变数。当 $t\geqslant 0$ 时，函数 $f(t)$ 满足积分式 $\int_{0^-}^{\infty} f(t)e^{-St}dt<\infty$，则定义

$$L[f(t)]=\int_{0^-}^{\infty} f(t)e^{-St}dt \tag{1-7}$$

为函数 $f(t)$ 的拉氏变换式，并以 $F(S)=L[f(t)]$ 表示，其中 S 为复数。拉氏变换是一种函数的变换，它将实变数函数变换成一个复变数函数，这种变换可以将一个微分方程变换成一个代数方程。例如，有一个 R，L 串联的电路，设电感 L 中初始电流为零。

当接通输入电压 $V(t)$ 时，电路服从下列的微分方程，即：

$$V(t)=L\frac{di(t)}{dt}+Ri(t) \tag{1-8}$$

对上述方程两边取拉氏变换则得：

$$SLI(S)+RI(S)=V(S) \qquad I(S)=\frac{V(S)}{LS+R} \tag{1-9}$$

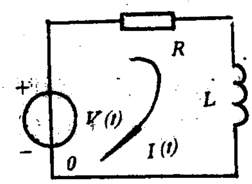


图 1-3 *RL* 串联电路图

式(1-9)是一个算子 S 的代数运算式。

应用拉氏变换式，在等值运算电路中，对电感来说，SL，$\frac{1}{SL}$即为电感 L 的运算阻抗和运算导纳，$Li(0^-)$和 $i(0^-)/S$ 分别为反映电感初始电流值的附加电压源电压和附加电流源电流；对电容来说，$\frac{1}{SC}$和 SC 为电容 C 的运算阻抗和导纳，$\frac{V(0^-)}{S}$和 $CV(0^-)$分别为反映电容电压初始值的电压源电压和电流源电流，电阻仍为 R 形式。

在图 1-3 电路中，以回路电流 i 作为输出变量，以激励电压 V 作为输入变量，在初始条件为零的情况下，对式(1-8)的两边各量取拉氏变换，然后得到输出量 $I(S)$和输入量 $V(S)$的比值，称为传递函数，即：

$$\frac{I(S)}{V(S)}=\frac{1}{R+LS} \tag{1-10}$$

求解某电路的电流和电压的时间变化式时，在一般情况下，要先列出传递函数式，然后取拉氏反变换。因此列出传递函数式是一个十分重要的过程。本书中所说运算电流，电压，是指电流，电压的拉氏变换式。但 S 常常省略。

当 $S=j\omega$ 时，拉氏变换中复变量 S 限定在复平面虚轴上变化。依据这个变换式，可求解频率域中有关问题，也可进行交流电路的有关运算。

第三节 梅逊增益公式

1. 信流图

信流图是联立方程组的一种图解表示形式，它由节点和标有方向的支路构成，支路旁要标上增益值。节点表示网络中的变量(信号)，二个节点之间连结一条支路，表示信号的传递作用，

信号流动方向用支路上的箭头表示。支路旁标上增益值，它起着相乘器的作用，有时也可称为支路权值或传递函数值。例如有一个方程

$$x_2 = g_{21}x_1 \tag{1-11}$$

式(1-11)右边 x_1 表示输入变量(信号)，式(1-11)左边 x_2 表示输出变量(信号)，分别用小圆圈节点 x_1，x_2 表示。g_{21}是两个变量之间，从变量 x_1 到 x_2 的传递增益值，箭头表示传递方向。式(1-11)的信流图表示在图 1-4a)上，g_{21}的下标表示从节点 1 到 2 的传输，要注意在这个信流图上并不反映有 $x_1=\frac{1}{g_{21}}x_2$ 的含义。如果要获得这样关系式，则必须要重画信流图，如图 1-4b)所示。

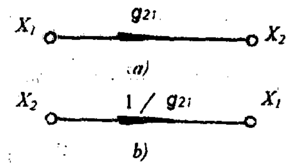


图 1-4　信流图表示

在图 1-4a)中，对节点 x_1 来说，这条支路为输出支路，但对节点 x_2 来说，这条支路则是输入支路。

又如一个方程组

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= g_{11}x_1 - g_{12}x_2 + r_1 \\ x_2 &= g_{22}x_2 - g_{21}x_1 + r_2 \\ x_3 &= g_{31}x_1 + g_{32}x_2 \end{aligned}\right\} \tag{1-12}$$

按照一定次序，先画上节点表示变量 r_1,r_2,x_1,x_2,x_3。式(1-12)的第一个方程说明 x_1 依赖下面三个信号，它们分别为 $g_{11}x_1$，$-g_{12}x_2$ 和 r_1，并且 x_1 是这些信号和，按照节点和支路增益值的关

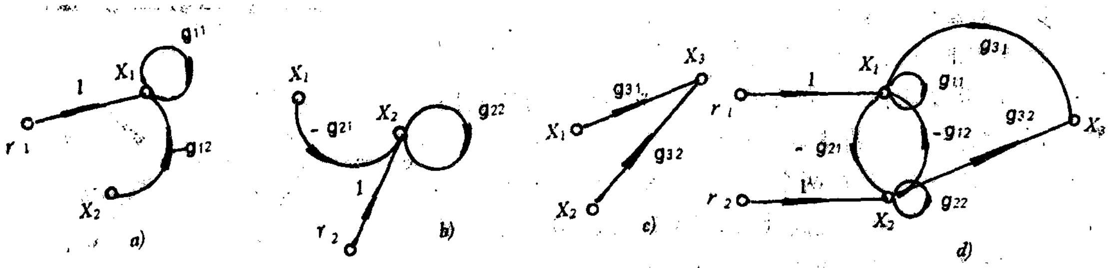


图 1-5　信流图的构成

系先画在图 1-5a)上，g_{11}是一个自回环支路。式(1-12)的第二个方程说明 x_2 为 $g_{22}x_2$，$-g_{21}x_1$ 和 r_2 三个信号和，按信号传输关系，画在图 1-5b)上。同理画出第三个方程的关系式，如图 1-5c)所示。最后把 1-5a)，b)，c)的信流图都画在一个图上，如图 1-5d)所示，它即是方程组(1-12)的信流图。

在信流图中可以得到二个常用性质：

(1)节点代表变量或信号，它是所有输入支路信号总和。

(2)所有输出支路的信号就是该节点所代表的信号。

2. 信流图有关术语

(1)输入节点(源)：只有输出支路的节点，如图 1-5a)，b)中节点 r_1，r_2。

(2)输出节点(汇结点)：只有输入支路的节点，如图 1-5d)中节点 x_3。然而这个条件一般不易满足，如图 1-5a)所示，没有节点满足输出节点的条件，但是可以认为节点 x_1 作为输出节点。

为了符合定义，可以引入一条支路(增益为 1)和一个变量 x_1 相连，见图 1-6 所示，这种经过修改后的信流图，相当于加入方程 $x_1=x_1$，新的 x_1 节点可以认为是输出节点。但上述方法对输入节点是不适用的。

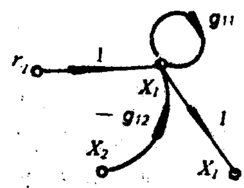


图 1-6 修改后的信流图

(3)混合节点：既有输入支路，又有输出支路的节点，如图 1-5d)中的 x_1,x_2。

(4)通道：从某一节点开始，沿着支路的箭头方向连续经过一些支路而终止在另一节点(或同一节点)的路径，统称为通道。一个信流图可以有很多条通道。

(5)前向通道：一条从输入节点开始，终止于输出节点且每节点只通过一次的通道。例如图 1-5d)中 r_1,r_2 是输入节点，有三个可能的输出节点，x_1,x_2,x_3，从 r_1 到 x_3，前向通道有两条(它们为 $1\times g_{31}$和 $1\times(-g_{21})g_{32}$)。从 r_2 到 x_3 亦有两条前向通道(它们为 $1\times g_{32}$和 $1\times(-g_{12})g_{31}$)。

(6)回环：如果通道从某一节点开始，又终止于该节点，并且在通道中遇到的其他节点只经过一次，则该通道称为回环。例如图 1-5d)中有 $g_{11},g_{22},(-g_{21})(-g_{12})$。其中 g_{11},g_{22}为自回环。

(7)通道增益：在通道上所遇到的各支路增益的乘积叫通道增益。例如在图 1-5d)上，$r_1-x_1-x_2-x_3$ 的通道增益为 $1\times(-g_{21})g_{32}$。

3. 信流图代数运算

信流图的有关代数计算方法有：

(1)串联法则：单方向支路串联，可用一条简单支路代替，其增益等于支路增益的乘积，如图 1-7a)所示。

(2)并联法则：若在两个节点间有多个同方向的并行支路，则可用一条简单支路代替，且简单支路增益等于多个并行支路增益的和，如图 1-7b)所示。

(3)节点吸收法则：在信流图代数中，为了简化运算，常需要消去不必要的节点，该方法称为节点吸收法则。如图 1-7c)左边图变换成右边图，中间节点 x_2 被吸收，但从输入和输出节点信号传输关系来看，两者是等效的。

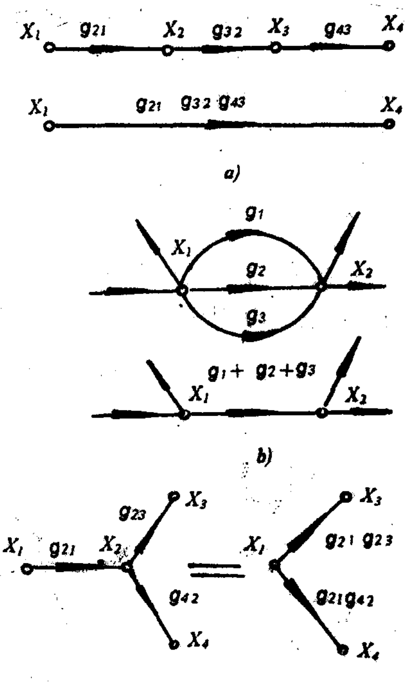


图 1-7 信流图简化

(4)节点分裂：把带有自回环的节点分裂成两个节点，一个为与所有输入支路相连的节点 x'_3，另一个为与所有输出支路相连的节点 x_3，然后用一个传输支路为$\frac{1}{1-g_{33}}$的支路连接起来即可，如图 1-8 所示。

(5)自回环消去法则：自回环消去法则可用图 1-9 说明。从图 1-9a)左图得 $g_{21}x_1+g_{22}x_2=x_2$，所以 $x_2=\frac{g_{21}}{1-g_{22}}x_1$，此式表示在图 1-9$a$)右图上，说明这两个图是等效的。采用同样办法，也可把图 1-9b)的自回环消去，只要在前向通道上支路权值除以$(1-g_{22})$(g_{22}为自回环增益值)即可。

(6)反馈回路简化：反馈回路简化法则如图 1-10 所示，按图 1-10a)得 $x_3=g_{32}x_2$ 及 $x_2=g_{21}x_1+g_{23}x_3$，所以 $x_3=g_{32}g_{21}x_1+g_{32}g_{23}x_3$，亦可写成 $x_3=\frac{g_{21}g_{32}}{1-g_{32}g_{23}}x_1$，如图 1-10$b$)所示。

(7)复杂信流图简化：对于任何一个复杂网络系统，如图

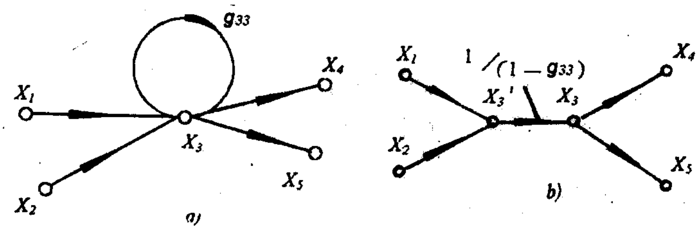


图 1-8　节点分裂

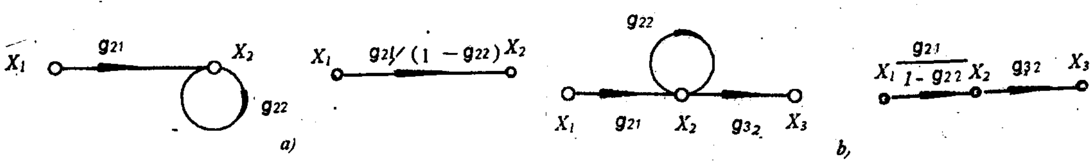


图 1-9　自回环消去

1-11 所示，若把输入信号节点置放在图 1-11a)的左侧，而系统输出节点置放在图 1-11a)的右侧，则内部节点之间影响能够通过一般代数运算过程，产生恒等信流图，如图 1-11b)所示。

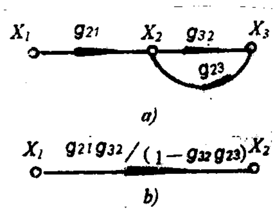


图 1-10　反馈回路简化

对于线性系统，可以应用叠加原理，输出信号等于每一个输入信号所提供的支路信号的总和，即：

$$\left.\begin{aligned} y_1 &= T_a x_1 + T_d x_2 \\ y_2 &= T_b x_1 + T_e x_2 \\ y_3 &= T_c x_1 + T_f x_2 \end{aligned}\right\} \tag{1-13}$$

T 为从给定输入(源)节点到给定的输出节点之间的传输式。

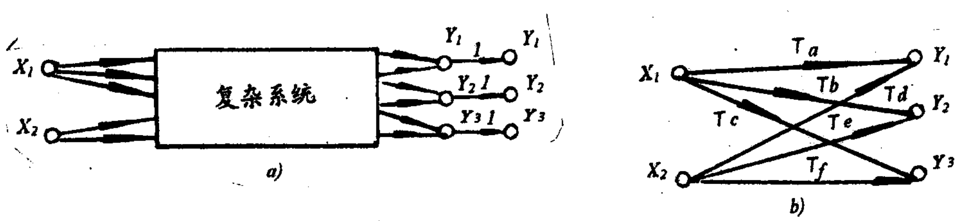


图 1-11　复杂系统

$T_a, T_b, T_c, T_d, T_e, T_f$ 为相应节点间传输式。

4. **梅逊增益公式**(Mason's Gain Formula)

一个复杂的信流图，用分析的办法求出输入输出关系，通常是很烦琐的，可是用梅逊增益公式可以很快获得结果，增益公式为：

$$G=\frac{C}{r}=\frac{\sum_{K=1}^{m}G_K\Delta_K}{\Delta} \tag{1-14}$$

式中：G——变量 C 和 r 之间增益；

C——输出节点变量(信号)；

r——输入节点变量(信号)；

m——前向通道总数；

G_K——第 K 个前向通道增益；

Δ——$1-\sum L_1+\sum L_2-\sum L_3+\cdots+(-1)^W\sum L_W$；

$\sum L_1$——所有不同回环的增益之和；

$\sum L_2$——所有两个互不接触回环增益乘积之和；

$\sum L_3$——所有三个互不接触回环增益乘积之和；

⋮

$\sum L_W$——所有 W 个互不接触回环增益乘积之和；

Δ_K——与第 K 条前向通道不接触部分的 Δ 值，称为第 K 条通道的余因式(即 $\Delta_K=1-\sum L'_1+\sum L'_2-\sum L'_3+\cdots+(-1)^g\sum L'_g$)。

如果两个回环没有任何公共的节点，则此两个回环为互不接触。

下面用一个线性代数方程来解析梅逊公式的应用过程，如：

$$\left.\begin{aligned}x_1&=r+g_4x_2\\x_2&=g_1x_1+g_5x_3\\x_3&=g_2x_2+g_6C\\C&=g_7x_1+g_3x_3\end{aligned}\right\} \tag{1-15}$$

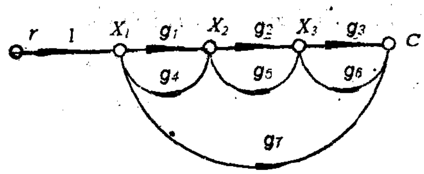


图 1-12 反馈系统信流图

按方程作出相应的信流图 1-12，用梅逊公式求 C/r，因为：

$$\Delta=1-\sum L_1+\sum L_2-\sum L_3+\cdots+(-1)^W\sum L_W$$

$$\sum L_1=g_2g_5+g_3g_6+g_1g_4+g_7g_6g_5g_4$$

$$\sum L_2=g_1g_4g_3g_6$$

$$G_1=g_1g_2g_3$$

$$G_2=g_7$$

Δ_1 为与第一条前向通道不接触部分 Δ，也就是去掉和第一条前向通道相接解的回环之后剩下的 Δ。在本例中，第一条前向通道即是从 r 开始，经 x_1,x_2,x_3 到达 C，全部回环均与第一条前向通道相接触，所以 Δ_1 式中 $\sum L'_1,\sum L'_2\cdots$ 都为 0，即 $\Delta_1=1-0+0-\cdots=1$。第二条前向通道是从 r 开始，经 x_1 到 C，只有回环 g_2g_5 为不相接触的回环，所以 $\Delta_2=1-g_2g_5$ 代入梅逊公式可得：

$$G=\frac{C}{r}=\frac{\sum_{K=1}^{m}G_K\Delta_K}{\Delta}=\frac{G_1\Delta_1+G_2\Delta_2}{\Delta}$$

$$=\frac{g_1g_2g_3+g_7(1-g_2g_5)}{1-(g_1g_4+g_2g_5+g_3g_6+g_7g_6g_5g_4)+g_1g_4g_3g_6}\tag{1-16}$$

重写方程组(1-15)，并按线性方程组的常规解法，求C/r。

$$\left.\begin{aligned}x_1-g_4x_2&=r\\-g_1x_1+x_2-g_5x_3&=0\\-g_2x_2+x_3-g_6C&=0\\-g_7x_1-g_3x_3+C&=0\end{aligned}\right\}\tag{1-17}$$

系数行列式为：

$$\Delta=\begin{vmatrix}1&-g_4&0&0\\-g_1&1&-g_5&0\\0&-g_2&1&-g_6\\-g_7&0&-g_3&1\end{vmatrix}=\begin{vmatrix}1&-g_5&0\\-g_2&1&-g_6\\0&-g_3&1\end{vmatrix}+g_4\begin{vmatrix}-g_1&-g_5&0\\0&1&-g_6\\-g_7&-g_3&1\end{vmatrix}$$

$$=1-g_2g_5-g_3g_6-g_1g_4-g_7g_6g_5g_4+g_1g_4g_3g_6\tag{1-18}$$

因为要求C，所以先求Δ_4，把Δ中第四列元素换成式(1-17)右端相应各量即得：

$$\Delta_4=\begin{vmatrix}1&-g_4&0&r\\-g_1&1&-g_5&0\\0&-g_2&1&0\\-g_7&0&-g_3&0\end{vmatrix}=-r\begin{vmatrix}-g_1&1&-g_5\\0&-g_2&1\\-g_7&0&-g_3\end{vmatrix}=r(g_1g_2g_3+g_7-g_7g_2g_5)$$

所以$C=\Delta_4/\Delta$，即得：

$$G=\frac{C}{r}=\frac{g_1g_2g_3+g_7(1-g_2g_5)}{1-(g_1g_4+g_2g_5+g_3g_6+g_7g_6g_5g_4)+g_1g_4g_3g_6}\tag{1-19}$$

从上面分析结果可见，梅逊公式解与线性代数方程用克莱姆定理得到的解，两者是一致的，Δ即是系数行列式，Δ_K即是它们的余因式，所以梅逊公式实际上是线性代数方程解的一种表达方式，但是梅逊公式便于直接应用。

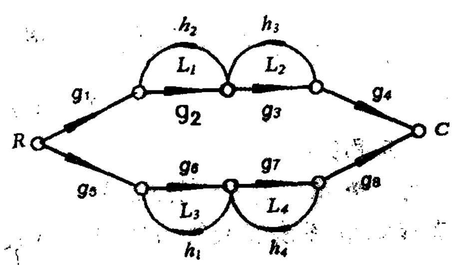


图 1-13　并行通道的信流图

例 1-1：求图 1-13 信流图输出C与输入R的传递关系。

解：前向通道 1：$G_1=g_1g_2g_3g_4$

前向通道 2：$G_2=g_5g_6g_7g_8$

有 4 个回环：$L_1=g_2h_2$　　$L_2=g_3h_3$

$L_3=g_6h_1$　　$L_4=g_7h_4$

回环L_1和L_2不与L_3和L_4相接触，因此：

$$\Delta=1-(L_1+L_2+L_3+L_4)+(L_1L_3+L_1L_4+L_2L_3+L_2L_4)$$

与第一通道不相接触回环是L_3，L_4，所以$\Delta_1=1-(L_3+L_4)$。与第二前向通道不相接触回环是L_1，L_2，所以$\Delta_2=1-(L_1+L_2)$。系统传递函数为

$$\frac{C}{R}=G=\frac{G_1\Delta_1+G_2\Delta_2}{\Delta}=\frac{g_1g_2g_3g_4(1-L_3-L_4)+g_5g_6g_7g_8(1-L_1-L_2)}{1-(L_1+L_2+L_3+L_4)+L_1L_4+L_1L_3+L_2L_3+L_2L_4} \quad (1\text{-}20)$$

例 1-2：已知多环系统信流图如图 1-14 所示，求系统输入 $R(S)$和输出 $C(S)$的传递函数（支路权值即指支路传递函数）。

解：前向通道是：

$G_1=g_1g_2g_3g_4g_5g_6$；$G_2=g_1g_2g_7g_6$；$G_3=g_1g_2g_3g_4g_8$。回环是：

$L_1=-g_2g_3g_4g_5h_2$；$L_2=-g_5g_6h_1$；$L_3=-g_8h_1$；$L_4=-g_2g_7h_2$；$L_5=-g_4h_4$；$L_6=-g_1g_2g_3g_4g_5g_6h_3$；$L_7=-g_1g_2g_7g_6h_3$；$L_8=-g_1g_2g_3g_4g_8h_3$。$L_5$ 环和 L_4 环；L_5 环和 L_7 环；L_3 环和 L_4 环为互不接触环。因此：

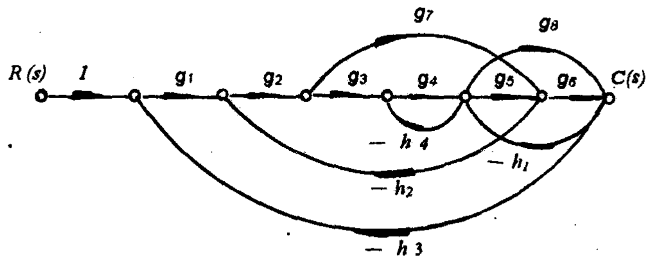


图 1-14 多环系统信流图

$\Delta=1-(L_1+L_2+L_3+L_4+L_5+L_6+L_7+L_8)+(L_5L_7+L_5L_4+L_3l_4)$

$\Delta_1=\Delta_3=1$

$\Delta_2=1-L_5=1+g_4h_4$

传递函数

$$G(S)=\frac{C(S)}{R(S)}=\frac{G_1+G_2\Delta_2+G_3}{\Delta} \quad (1\text{-}21)$$

代入相应值，即得系统传递函数。

例 1-3：已知信流图 1-15，求 x_1/x_0；x_3/x_0

解：根据图直接可得：

$$\frac{x_1}{x_0}=\frac{g_1(1+g_4)}{\Delta} \quad (1\text{-}22)$$

$$\frac{x_3}{x_0}=\frac{g_1g_5(1+g_4)+g_1g_2g_3}{\Delta} \quad (1\text{-}23)$$

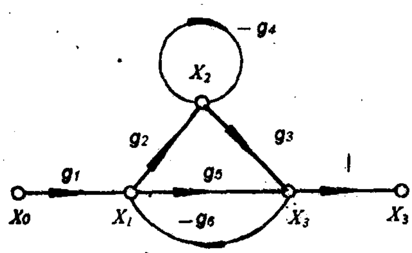


图 1-15 含自回环的信流图

式中：

$$\Delta=1+g_5g_6+g_4+g_2g_3g_6+g_4g_5g_6 \quad (1\text{-}24)$$

5. 应用实践

为了熟悉"Mason"公式，希读者能顺利阅读实践练习的答案。

练习 1-1：已知信流图1-16a）中，a,b,c,d,e,f 为各支路权值，求 x_3/x_0。

答：

$$\frac{x_3}{x_0}=d+ae+c(ab+f) \quad (1\text{-}25)$$

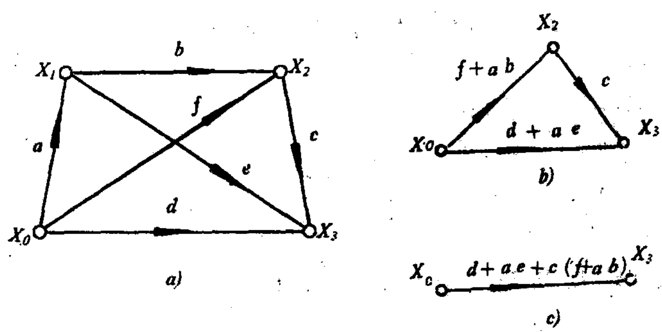


图 1-16 串、并联简化过程

注：先简化 a，b 支路，利用串联支路权值相乘法则，然后简化 a，e 支路，亦利用串联法则，这样可以吸收节点 x_1，得图 1-16b)，再把 $c(ab+f)$ 支路和 $d+ae$ 并联支路权值相加，得图1-16c)。

练习 1-2：已知信流图 1-17a)中，a，b，c，d 为各支路权值，求$\frac{x_2}{x_0}$；$\frac{x_4}{x_0}$。

答：$\frac{x_2}{x_0}=a+bc$；$\frac{x_4}{x_0}=bd$ (1-26)

注：简化过程如图 1-17b)所示。

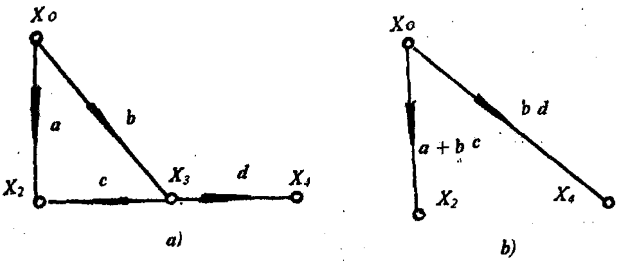


图 1-17　节点吸收简化过程

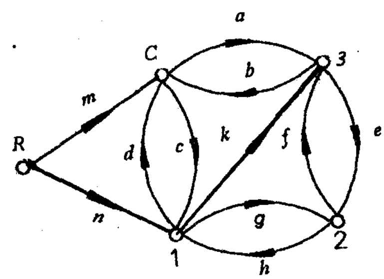


图 1-18　多环信流图

练习 1-3：已知信流图如图 1-18 所示，求 C/R 增益值。

答：

$$\frac{C}{R}=\frac{m[1-(ef+gh+ehk)]+nd(1-ef)+nkb+ngfb}{1-(ab+cd+ef+gh+bck+ehk+aehd+bcgf)+(abgh+cdef)} \tag{1-27}$$

练习 1-4：已知信流图如图 1-19 所示，求 C/R 增益值。

答：

$$\frac{C}{R}=\frac{akg(1-0)+bg(1-e)}{1-(hk+e+n+d+fkg)+(ed+en+nd+hkn)-end} \tag{1-28}$$

练习 1-5：已知信流图如图 1-20 所示，求 C/R 增益值。

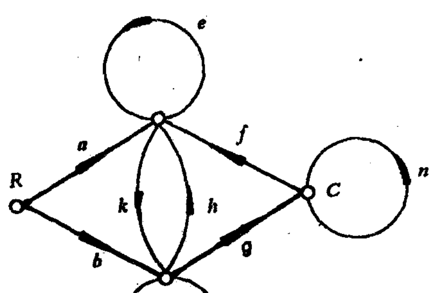


图 1-19　多自回环的信流图

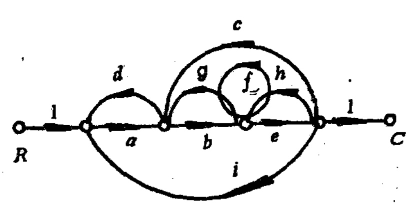


图 1-20　含自回环的多环系统

答：

$$\frac{C}{R}=\frac{abe}{1-ad-bg-f-eh-abei-bec+adeh+adf} \tag{1-29}$$

练习 1-6：已知信流图及各支路权值，如图1-21所示，求 C/R。

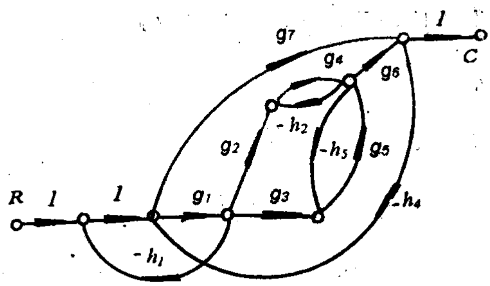


图 1-21 复杂信流图

答：

$$\frac{C}{R}=\frac{g_1g_2g_4g_6(1)+g_1g_3g_5g_6+g_7(1+g_4h_2+g_5h_5)}{\begin{array}{l}1+g_1h_1+g_7h_4+g_4h_2+g_5h_5+g_3g_5g_6h_4g_1+g_1g_2g_4g_6h_4\\+(g_1h_1g_4h_2+g_1h_1g_5h_5+g_7h_4g_4h_2+g_7h_4g_5h_5)\end{array}} \tag{1-30}$$