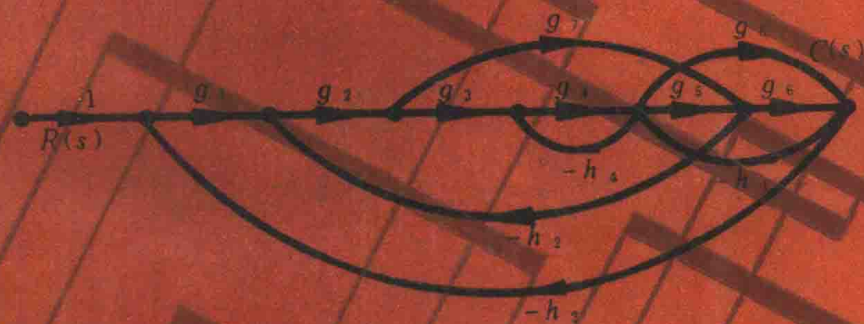


电网络直观计算法

王贤惠 著



人民交通出版社

电网络直观算法

Dianwangluo Zhiġuan Jisuanfa

王贤惠 著

人民交通出版社

(京)新登字091号

内 容 简 介

本书共分六章：第一章介绍信流图表示法、梅森增益公式等基础知识；第二、三、四、五章阐述直观计算法原理和列写的方法与技巧，并用一定量的题例以“按图列写”的办法，说明直观计算法在各类问题中的应用；第六章进行讨论并以附录形式加以验证。电网络直观计算法是通过对部分线性网络图的直接观察，列写有关传递函数式及计算式的一个简便方法，适用于无源网络及含运算放大器等的有源网络。

本书可供电子类、电工类专业学生和工程技术人员学习、参考。

电网络直观计算法

王贤惠 著

插图设计：陈竟 正文设计：乔文平 责任校对：高琳

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

顺义牛栏山一中印刷厂印刷

开本：787×1092 1/32 印张：5.625 字数：120千

1992年5月 第1版

1992年5月 第1版 第1次印刷

印数：0001-2500册 定价：6.30元

ISBN 7-114-01307-8

TP·00001

前 言

电网络传递函数式的列写及有关计算，有些是比较繁琐的，计算也容易出错，但在实际工作和学习中，又是经常要遇到的，因而试想找出一个较简便的方法，能使计算工作简化，有利于实际应用。经过理论推导及反复演算，得出了有关电网络的直观计算式，并写了这本书。书中除了叙述基本原理与计算式的推导外，还采用了“看图列写”的实践办法，希望能对使用者有所帮助。

本书在书写过程中，冒天诚教授给予了热情指导，并担任了评审工作，同时也得到陆祥润教授的关怀与支持，大连理工大学沈尚信副教授和大连海运学院张金贵讲师也给予了大力帮助，在此一并表示感谢。

限于水平，书中错误及不当之处，敬请读者指正。

著 者

目 录

第一章 基础知识	1
一、信流图表示法	1
二、信流图有关术语	3
三、信流图代数	5
四、梅逊增益公式	12
五、简化信流图的其他办法	18
六、梅逊公式应用实践	22
第二章 直观计算法原理	23
一、典型网络节点电压直观表示法	24
二、典型网络网孔电流的直观表示法	28
三、节点运算电压直观计算式	30
四、节点运算电压直观法应用实践	60
第三章 网孔电流运算式的直观计算	76
一、网孔电流直观运算式推导	77
二、单电压源网络和直观网孔电流计算实践	85
第四章 运算放大器网络运算电压的直观求取	91
一、运算放大器网络的特殊性 & 运算电压直观求取式	91
二、含运算放大器网络运算电压直观求取法小结	101
三、运算放大器网络直观计算	102

四、运算放大器网络运算电压直观计算实践	106
第五章 在其他类型网络中直观计算法的应用实践	122
一、多电压源网络电压直观计算	122
二、含电流源网络电压直观计算	127
三、同时含电压源和电流源网络的电压直观计算	131
四、含多电流源和多电压源网络、网孔电流及 支路电流直观计算	136
五、电感、电容带有初始电流和初始电压的情况下， 网络节点电压、网孔电流直观计算	142
六、变压器网络直观计算	142
七、二端网络电流及阻抗的直观计算	153
第六章 直观计算法的讨论	158
一、直观计算法讨论	158
二、附录验证	164
参考文献	170

第一章 基础知识

本章要求：正确理解信流图符号表示法、有关术语和必要的代数运算，要掌握梅逊公式，并能结合实例熟练应用。

一、信流图表示法

信流图可理解为是一组线性代数方程变量之间关系的一种图解，现研究一个由 N 个代数方程所描述的线性系统

$$y_j = \sum_{k=1}^N g_{jk} y_k \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (1-1)$$

写成因果关系为：

$$\text{第 } j \text{ 个果} = \sum_{k=1}^N (\text{从 } k \text{ 到 } j \text{ 的增益}) \times (\text{第 } k \text{ 个因})$$

若把“果”看作输出，“因”看作输入，则上式亦可写成：

$$\text{输出} = \sum (\text{增益}) \times (\text{输入}) \quad (1-2)$$

这是一个建立一组代数方程最简单，又是最重要的基本式。

在信流图中，节点表示变量(或信号)，如 y_j 、 y_k 。连接节点的线段叫支路，支路旁标上增益，信号只能沿箭头方向流通。例如，有一个方程

$$y_2 = g_{21} y_1 \quad (1-3)$$

它表示一个系统， y_1 是输入变量， y_2 是输出变量， g_{21} 是两

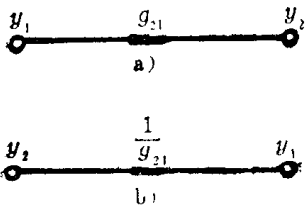


图1-1 y_1 和 y_2 的信流图

个变量之间单方向增益或传输，方程 (1-3) 的信流图表示在图 1-1 a) 上。支路方向从节点 y_1 到 y_2 ，表示 y_2 依赖于 y_1 。

虽然代数方程 (1-3) 亦可写成：

$$y_1 = \frac{1}{g_{21}} y_2 \quad (1-4)$$

但图 1-1 a) 的信流图并不包含有这种关系，如果要获得式 (1-4) 的信流图，则必须重画，如图 1-1 b) 所示。下面研究一组代数方程，它构成信流图的过程表示在图 1-2 上

$$\left. \begin{aligned} y_2 &= g_{21}y_1 + g_{23}y_3 \\ y_3 &= g_{32}y_2 + g_{34}y_4 \\ y_4 &= g_{42}y_2 + g_{43}y_3 + g_{44}y_4 \\ y_5 &= g_{52}y_2 + g_{54}y_4 \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

首先从左到右，按照一定次序画上节点，表示变量 y_1 、 y_2 、 y_3 、 y_4 和 y_5 。第一个方程说明了 y_2 依赖于两个信号， $g_{21}y_1$ 和 $g_{23}y_3$ ，画在图 1-2a) 上，第二个方程说明 y_3 依赖于 $g_{32}y_2$ 和 $g_{34}y_4$ ，因此在图 1-2a) 的基础上，从节点 y_2 到 y_3 再画上增益 g_{32} 的支路，从 y_4 到 y_3 画上增益 g_{34} 分支，并标上方向，如图 1-2b) 所示。同理，由第三个方程可以得到图 1-2c)，一直到第四个方程，信流图如图 1-2d) 所示。图中，从节点 y_4 到终点 y_4 的支路叫自回环，增益为 g_{44} ，它表示 y_4 变量依赖本身。

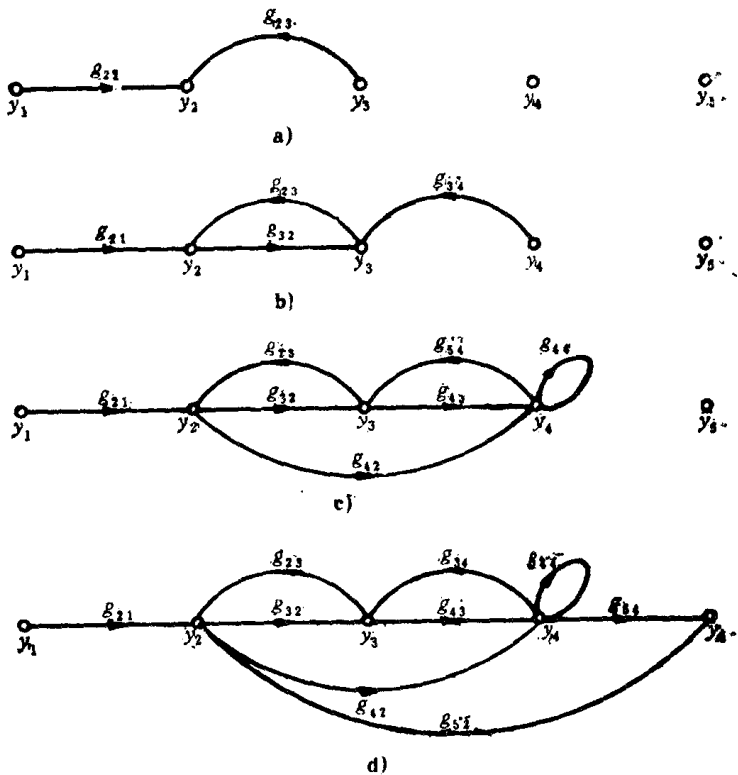


图1-2 方程 (1-5) 的信流图构成

二、信流图有关术语

定义下列几个术语：

1. 输入节点(源)：只有输出支路的节点，如图1-2中节点 y_1 。

2. 输出节点(汇结点)：只有输入支路的节点，如图1-2中节点 y_3 。然而这个条件一般不易满足，如图1-3a)所示，没有节点满足输出节点的条件，但是可以认为节点 y_2 或 y_3 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 y_2 或 y_3 相连，见图1-3b)。这样经过修改后的信流图，相当于加入方程 $y_2 = y_2$ 或 $y_3 = y_3$ ，新的 y_2 、 y_3 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，例如图1-3a)的信流图中节点 y_2 不满足输入节点定义，如果我们企图从另一相等节点 y_2 加一条单位增益的支路如图1-3c)所示，想把 y_2 变成输入节点，这是不可以的，因为在图1-3c)中，得：

$$y_2 = y_2 + g_{21}y_1 + g_{23}y_3 \quad (1-6)$$

它同原来方程

$$y_2 = g_{21}y_1 + g_{23}y_3 \quad (1-7)$$

不相等了，所以是不可以的。若要使 y_2 作为输入节点，则要重新排列上面的方程，如：

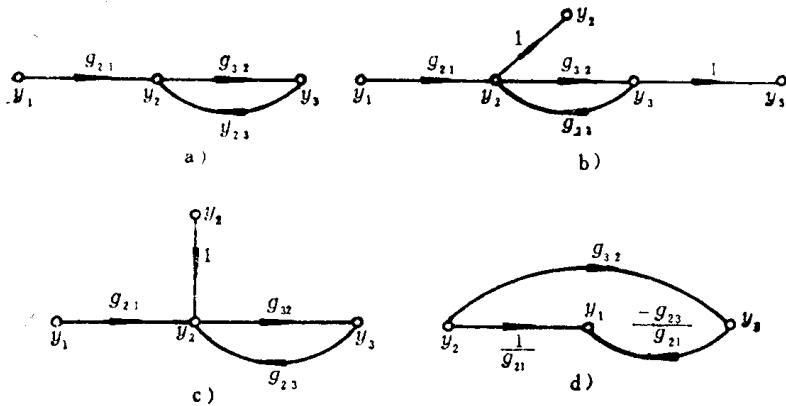


图1-3 信流图

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= \frac{1}{g_{21}} y_2 - \frac{g_{23}}{g_{21}} y_3 \\ y_3 &= g_{32} y_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

方程(1-8)的信流图如图1-3d)所示, y_2 即为输入节点。

3. 混合节点: 既有输入支路, 又有输出支路的节点, 如图1-2中的 y_2 、 y_3 、 y_4 。

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: 前向通道是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1-2d), y_1 是输入节点, 有四个可能的输出节点 y_2 、 y_3 、 y_4 、 y_5 。从 y_1 到 y_2 , 前向通道就是支路 g_{21} 。从 y_1 到 y_3 , 则有两条, 它们为 $g_{21}g_{32}$ 和 $g_{21}g_{42}g_{31}$ 。从 y_1 到 y_4 , 亦有两条, $g_{21}g_{32}g_{43}$ 和 $g_{21}g_{42}$ 。从 y_1 到 y_5 有三条: $g_{21}g_{32}g_{43}g_{51}$ 、 $g_{21}g_{42}g_{54}$ 和 $g_{21}g_{52}$ 。

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1-2d)中有四个回环, 如图1-4所示。

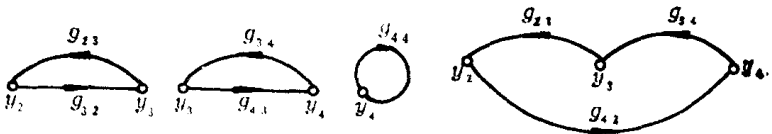


图1-4 在图1-2d) 信流图中的四个回环

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1-2d) 上, 通道 y_1 — y_2 — y_3 — y_4 的通道增益为 $g_{21}g_{32}g_{43}$ 。

三、信流图代数

信流图的有关代数计算方法:

1. 用节点表示变量或信号，其变量值等于进入该节点的所有信号与其增益之积的总和，如图1-5的信流图中 y_1 的值为

$$y_1 = g_{12}y_2 + g_{13}y_3 + g_{14}y_4 + g_{15}y_5 \quad (1-9)$$

而所有输出支路的信号就是该节点所代表的信号。例如在图1-5的信流图中得：

$$\left. \begin{aligned} y_6 &= g_{61}y_1 \\ y_7 &= g_{71}y_1 \\ y_8 &= g_{81}y_1 \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

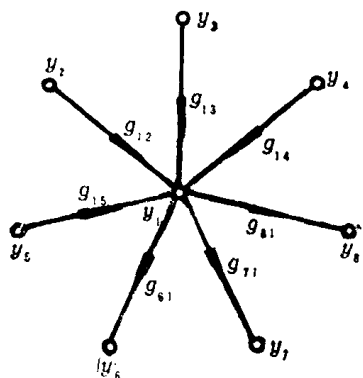


图1-5 信流图

2. 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1-6所示。

3. 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，见图1-7。

4. 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1-8a)、b)、c) 左边图变换成右边图，中间节点 y_3 被吸收，

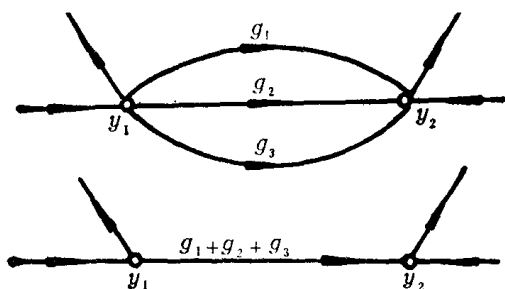


图1-6 并行支路信流图简化

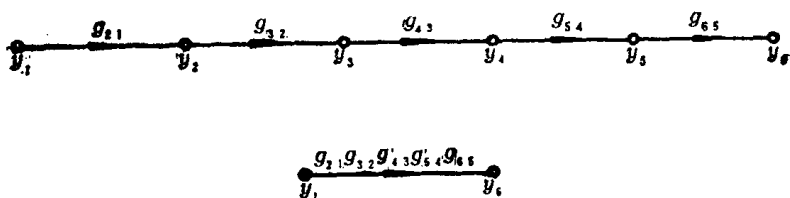


图1-7 串联支路信流图简化

但从输入和输出节点信号传输关系来看，两者是等效的。

5. 自回环消去法则：自回环消去法则可用图 1-9 来说明。从图 1-9a) 左图得 $g_{21}y_1 + g_{22}y_2 = y_2$ ，所以 $y_2 = \frac{g_{21}}{1 - g_{22}}y_1$ ，

此式表示在图 1-9a) 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. 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 y'_1 ；另一个为与所有输出支路相连的节点 y_3 ，然后用一个传输支路为 $1/1 - g_{33}$ 的支路连接起来即可，如图 1-10 所示。

7. 反馈回路简化。反馈回路简化法则如图 1-11 所示。按图 1-11a) 得 $y_3 = g_{32}y_2$ 及 $y_2 = g_{21}y_1 + g_{23}y_3$ ，所以 $y_3 =$

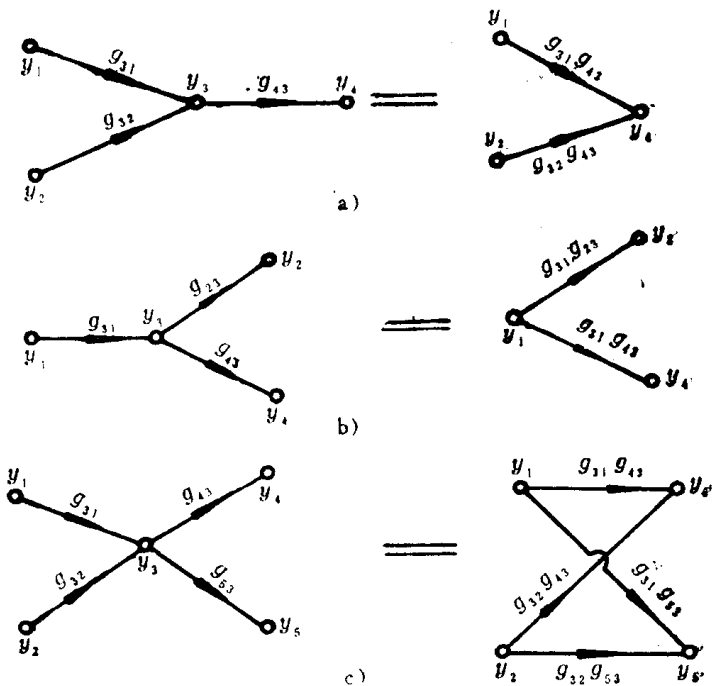


图1-8 节点吸收

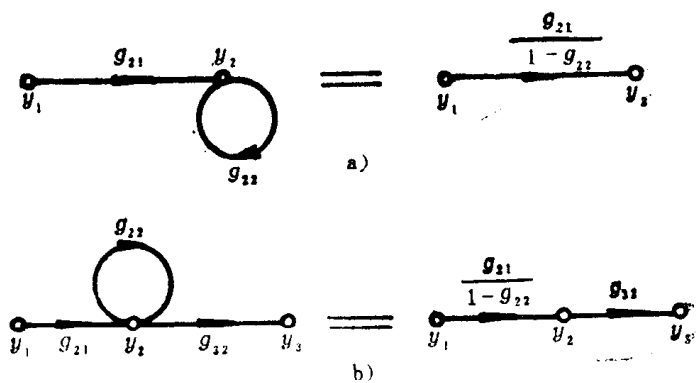


图1-9 自回环消去

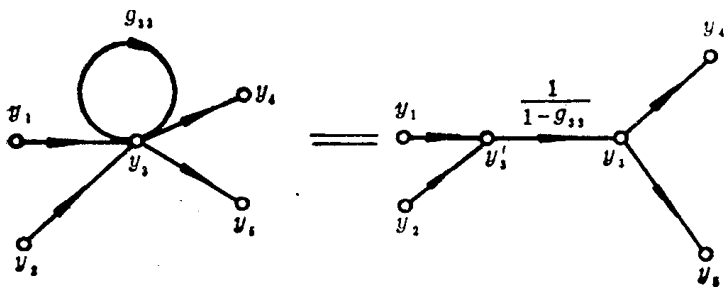


图1-10 节点分裂

$g_{32}g_{21}y_1 + g_{32}g_{23}y_3$, 亦可写成 $y_3 = \frac{g_{21}g_{32}}{1 - g_{32}g_{23}} y_1$, 如图 1-11b) 所示。

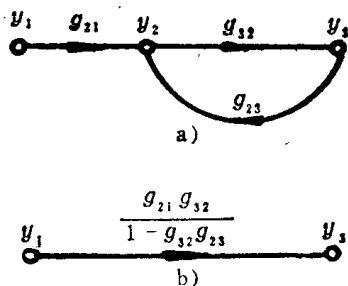


图1-11 反馈回路简化

现利用上述基本运算法则，简化下列信流图。

例1—1：已知信流图1-12a)中， a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f 、 g 为各支路权值，求 y_3/y_0 。

解：先简化 b 、 f 支路，利用并联支路权值相加法则，得图1-12b)。然后吸收节点 y_1 ，得图1-12c)，再把 $a(f+b)$ 和 g 并联支路权值相加，得图1-12d)。最后吸收 y_2 节点，得图1-12e)的关系式，即

$$y_3 = \{(d + ac) + c[g + a(f + b)]\}y_0 \quad (1-11)$$

例1—2：已知信流图1-13a)中， a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f 、 g

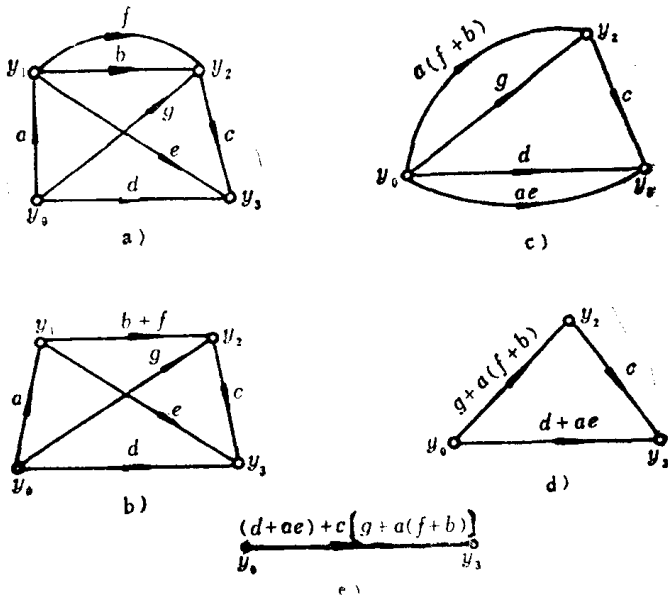


图1-12 y_3/y_0 简化过程

为各支路权值，求 y_3/y_1 。

解：依次吸收 y_2 、 y_1 、 y_0 节点，见图1-13a)至d)，然后把 $dc b$ 和 dfe 自回环相加，得图1-13f)，所以

$$y_3 = \frac{ab}{1 - (dcb + dfe)} dfg y_1$$

在计算传递关系时，必须从输入节点出发的，如果需计算的是从非输入节点至输出节点的传递的话，可以分别求出从输入节点至这一非输入节点的传递关系式以及从输入节点到输出节点的传递关系式，然后二者相除即可。

例 1—3：信流图如图 1-14a) 所示，已知各支路权值，求 y_3/y_2 。

解：先把 y_3 节点变成输出节点，办法是增加一个方程

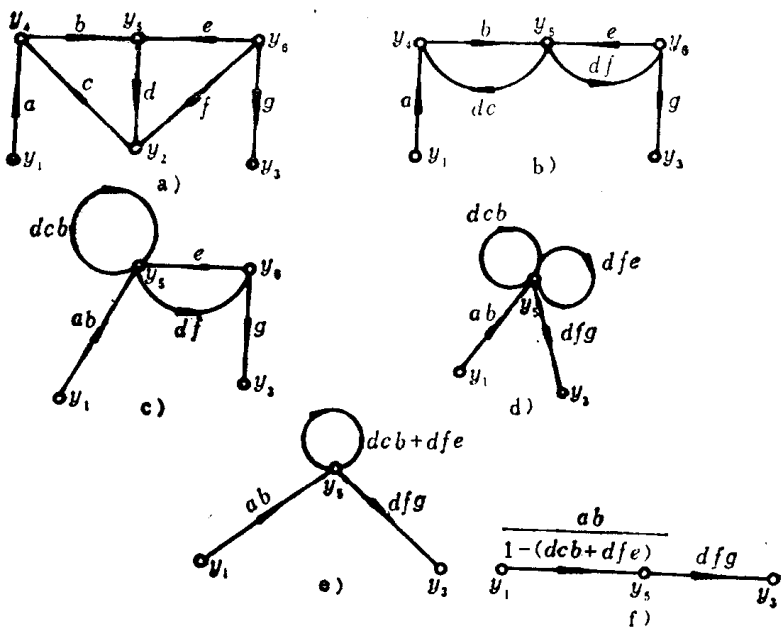


图1-13 y_3/y_1 的简化过程

$y_3 = y_3$, 然后把原 y_3 节点吸收之, 过程见图1-14b)和图1-14c)。按图1-14a)得:

$$\frac{y_2}{y_1} = a + \frac{d}{1 + (b+c)d} \quad (1-12)$$

按图1-14b)、c)得:

$$\frac{y_3}{y_1} = \frac{d}{1 + (b+c)d} \quad (1-13)$$

所以:

$$G = \frac{y_3}{y_2} = \frac{y_3/y_1}{y_2/y_1} = \frac{d}{a[1 + (b+c)d] + d} \quad (1-14)$$