

胡新民 编著
郑秀珍 审校

电路·信号与 系统题解分析

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书针对电大、函授自学的特点，力求系统扼要地介绍《电路分析基础》、《信号与系统》两门课程中的基本概念与各种计算方法以及这些概念和方法在解题中的具体应用。本书内容符合自学要求，书中提出问题、分析问题、得出结果，思路清晰、条理性较好。

本书共分十二章。第一章至第七章介绍电路分析基础内容，第八章至第十章讨论连续信号与系统，第十一章讨论离散信号与系统，第十二章讨论系统的状态变量分析。本书精选例题 193 道，习题 398 道，书末附有部分习题参考答案。

本书大部分题目给出了较典型的几种解法，意在帮助读者掌握多种解题方法，扩充解题思路，同时还指出了解题中容易出现的一些错误，以便引起读者注意。

本书主要作为通信、电子技术类高等函授、电大各专业的自学辅导教材，也可供其他大专院校电类专业师生以及工程技术人员参考。

电路、信号与系统题解分析

胡新民 编著

郑秀珍 审校

责任编辑：刘建章

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

广益印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：850×1168 1/32 1988年6月第一版
印张：26²⁸/₃₂ 页数：430 1988年6月北京第一次印刷
字数：693千字 印数：1—3500册

ISBN 7-115-03590-3/TN·004

定价：4.40元

前 言

本书是在多年函授教学实践积累的教学资料和国内外优秀教材以及近年来各高校部分研究生入学试题的基础上根据作者多年的教学辅导体会编写的课外辅导教材。针对函授、电大自学的特点，本书力求系统扼要地介绍《电路分析基础》、《信号与系统》两门课程中的基本概念和各种分析计算方法以及这些概念和分析计算方法在解题中的具体应用。

全书共分十二章。第一章至第七章为电路分析基础内容，第八章至第十章讨论连续信号与系统，第十一章讨论离散信号与系统，第十二章讨论系统的状态变量分析。本书精选例题 193 道，习题 398 道，包括概念题、证明题、计算题和一些难度稍大的综合题。题解中有提示和分析以及解题过程中应注意的问题，书末附有部分习题参考答案。

为使读者熟练掌握《电路·信号与系统》的分析和计算方法，书中大部分题目给出了几种典型的解法，同时还指出了解题中容易出现的一些错误，以便引起读者注意。

本书主要作为通信、电子技术类高等函授、电大各专业的自学辅导教材，也可供其他大专院校电类专业师生以及工程技术人员参考。

由于编者水平所限，书中错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

1987 年 9 月

目 录

第一章 电路的基本概念和简单电阻电路分析	1
例题与习题要点	1
一、电路和电路变量	1
二、参考方向	1
三、电源	2
四、电路的基本定律及两类约束	2
五、电路的等效变换	3
六、二端网络的伏安特性	3
七、电功率	4
八、非线性电阻的串联和并联	4
九、含集成运算放大器电路的分析	4
例题(19)	4
习题(41)	49
第二章 线性网络的分析方法和网络定理	60
例题与习题要点	60
一、网络的图	60
二、完备的独立变量	61
三、方程的独立性	61
四、线性网络的一般分析方法	61
五、线性网络的拓扑分析	62
六、线性网络的基本定理	63
七、对偶与对偶网络	64
例题(22)	64
习题(46)	132
第三章 一阶电路和二阶电路分析	147
例题与习题要点	147

一、电容和电感元件	147
二、初始值	147
三、一阶电路的描述和微分方程的解	147
四、一阶电路的响应	148
五、三要素法	149
六、一阶电路的阶跃响应和冲激响应	149
七、一阶电路在正弦信号激励下的完全响应	150
八、二阶电路的零输入响应	150
九、二阶电路的零状态响应	150
十、二阶电路的完全响应	150
十一、二阶电路的阶跃响应与冲激响应	151
例题(20)	151
习题(52)	221
第四章 电路的正弦稳态分析	237
例题与习题要点	237
一、正弦信号及其相量表示	237
二、R、L、C 元件上伏安特性的相量形式	237
三、阻抗和导纳	238
四、线性电阻电路的分析方法在正弦稳态分析中的推广	239
五、正弦稳态电路的功率	239
六、最大功率传输条件	240
七、三相电路	240
例题(23)	241
习题(49)	305
第五章 复频率与网络函数	320
例题与习题要点	320
一、复频率	320
二、网络函数	320
三、自然响应和强迫响应	321
四、幅频特性和相频特性	322
五、滤波器	322

例题(16)	323
习题(27)	370
第六章 互感和变压器	378
例题与习题要点	378
一、耦合电感	378
二、含有耦合电感的电路的正弦稳态分析法	379
三、理想变压器	379
四、全耦合变压器和实际变压器	380
例题(11)	380
习题(22)	414
第七章 谐振电路	421
例题与习题要点	421
一、串联谐振	421
二、并联谐振	422
三、品质因数	423
四、耦合谐振	424
例题(10)	425
习题(21)	457
第八章 卷积分析法	462
例题与习题要点	462
例题(10)	462
习题(20)	498
第九章 付氏分析	503
例题与习题要点	503
例题(20)	504
习题(37)	583
第十章 拉氏分析	593
例题与习题要点	593
例题(16)	594

习题(31)	662
第十一章 Z变换与离散系统分析	671
例题与习题要点	671
例题(20)	672
习题(36)	768
第十二章 状态变量分析法	777
例题与习题要点	777
例题(6)	778
习题(16)	807
附录一 主要公式	812
附录二 部分习题参考答案	836

第一章 电路的基本概念和 简单电阻电路分析

例题与习题要点

一、电路和电路变量

• 电路是由电阻、电感、电容、电源和变压器等基本元件所组成的电流通路。

• 电路模型是由理想化集总元件组成的电路，它是电路分析的对象。

• 电路、网络、系统是难以给予精确定义和区分其差异的三个常见的电信技术术语，它们具有相同的含义。本书只分析线性、时不变因果系统。

• 电荷、电流、电压、能量和功率是电路的变量，其中电流和电压是电路的基本变量，确定基本变量的大小和方向是电路分析的中心内容。

二、参考方向

• 在电路分析中，为了方便起见，需要事先对电流、电压假设一个方向，这个人为了任意选定的方向称为参考方向。在电路图中，电流的参考方向用箭头表示；电压的参考方向用“+”、“-”表示。经计算，若得到的结果为正值，则表明实际方向与参考方向一致，反之则反。

• 电流的实际方向是由高电位点“流向”低电位点；电压的实际方向是由高电位点“指向”低电位点。

- 当电流参考方向与电压参考方向一致时，称为关联参考方向，简称关联方向。

- 参考方向又叫正方向。

三、电源

- 在电路中，维持电流的“流通”，起到补充电能耗散作用的元件叫电源。

- 理想电压源简称电压源，它的端电压是定值（或是一定的时间函数），与流过它的电流无关（流过它的电流是任意的，其大小由与电源相联的外电路决定）。

- 理想电流源简称电流源，它“输出”的电流是定值（或是一定的时间函数），与其两端的电压无关（它两端的电压是任意的，其大小由与电源相联的外电路决定）。

- 理想电压源和电流源实际上是不存在的。实际电压源模型可以用电压源 U_s 与内阻 R_s 相串联的形式表示；实际电流源模型可以用电流源 I_s 与内阻 R_s 相并联的形式表示。

- 受控源是“输出”的电压或电流受到电路中某一基本变量控制的电源，共有四种类型：电压控制电压源；电流控制电压源；电压控制电流源；电流控制电流源。不管哪种受控源，一旦控制量消失，输出量也随之为零。

四、电路的基本定律及两类约束

- 元件约束是指同一元件上的电压与电流之间的制约关系。在关联方向下，对电阻元件而言， $u_R = Ri_R$ ，这就是欧姆定律；对电感元件而言， $u_L = L \frac{di_L}{dt}$ ；对电容元件而言， $i_c = C \frac{du_c}{dt}$ 。

- 拓扑约束是指与电路的联接方式有关的电流间的约束和电压间的约束，这就是克希荷夫电流定律(KCL)和克希荷夫电压定律(KVL)即： $\sum i = 0$ 和 $\sum u = 0$ 。

• $\sum u = 0$ 表明在任一时刻，沿任意闭合回路电压降的代数和为零。式中与回路绕行方向一致的电压降取正号，反之取负号； $\sum i = 0$ 表明在任一时刻，在任意一个结点处电流的代数和等于零。式中若流出结点的电流取正号，则流入结点的电流取负号，反之则反。

五、电路的等效变换

• 电路中的某个部分用另一种方式联接后，不影响未作变换的任何一条支路的电压和电流的变换方式，叫做电路的等效变换。这种变换是对外电路而言的，即对外电路等效；而对参加变换的网络内部结构和内部的电压、电流均有影响。

• 电阻串、并、混联网络的等效变换。凡是能够利用电阻串并联等效变换的电路称为简单电路。

• T型电阻网络和 π 型电阻网络的等效变换。

• 电压源和电流源，受控电压源和受控电流源的等效变换。

• 理想电源之间不能进行等效变换，但是可以通过理想电源转移形成电压源或电流源后再进行等效变换。

六、二端网络的伏安特性

• 二端网络端口电压与端口电流之间的函数关系，称为二端网络的伏安特性。描述这种关系的方程就叫做二端网络的伏安特性方程，或称外特性方程。

• 如果二端网络的伏安特性方程为

$$y = kx + b$$

则方程一次项前的系数表示二端网络的等效电阻；常数项表示二端网络的开路电压。因此，二端网络可以用一个电压为 $U_0 = b$ 的理想电压源与 $R_0 = K$ 的电阻相串联的电路等效。

七、电功率（简称功率）

• 某支路的功率在数值上等于该支路的端电压与该支路中的电流的乘积。在关联(参考)方向下, $p=ui$; 在非关联方向时, $p=-ui$ 。

经计算得出的结果, 若 $p>0$, 则表明该支路吸收功率, 相当于一个负载; 若 $p<0$, 则表明该支路供出功率, 相当于一个电源。

- 在关联方向下, 电路中所有支路功率的代数和恒等于零。
- 负载获得最大功率的条件是负载电阻 R_L 等于电源内阻 R_s 。

八、非线性电阻的串联和并联

• 非线性电阻串联受 KVL 约束、并联受 KCL 约束; 非线性电阻中的电流和两端的电压受伏安特性约束。

九、含集成运算放大器电路的分析

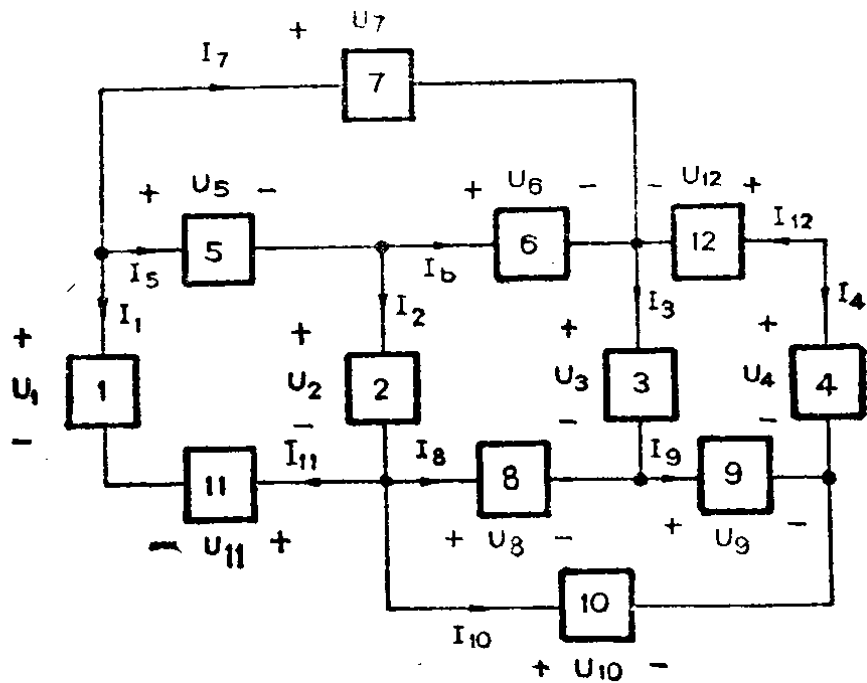
例 题

例 1-1 (1) 在图 E 1-1-1(a)所示电路中, 已知 $U_1 = 10$ V, $U_2 = 5$ V, $U_4 = -3$ V, $U_6 = 2$ V, $U_7 = -3$ V, $U_{12} = 8$ V, 试问能否求出其余支路的电压、其数值是多少?

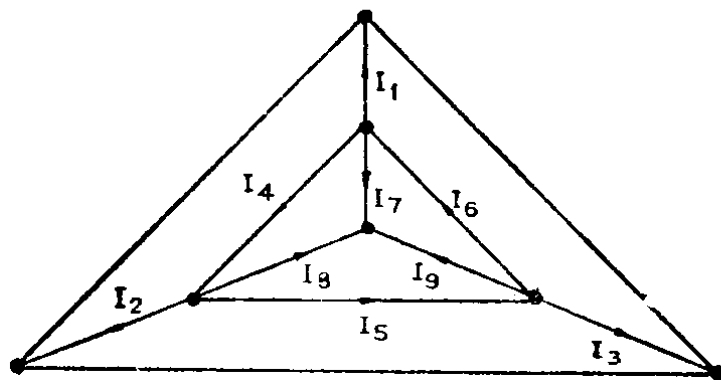
(2) 在图 E 1-1-1(a)所示电路中, 已知 $I_1 = 2$ A, $I_4 = 5$ A, $I_7 = -5$ A, $I_{10} = -3$ A, 试问能否求出其余支路的电流、其数值是多少?

(3) 在图 E 1-1-1(b)中, 试证明

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$



(a)



(b)

图 E 1-1-1

解：

本例试图说明 KVL 和 KCL 的一些基本概念。

(1) 在图 E 1-1-1(a)所示电路中，欲求各支路电压，应根据 KVL 找出包含一个未知电压的闭合回路列方程。在 U_5 、 U_6 、 U_7 回路中，因为

$$U_5 + U_6 - U_7 = 0$$

所以

$$U_5 = U_7 - U_6 = -3 - 2 = -5 \text{ V}$$

在 U_1 、 U_7 、 U_6 、 U_2 、 U_{11} 回路中, 因为

$$U_{11} - U_1 + U_7 - U_6 + U_2 = 0$$

所以

$$U_{11} = U_1 - U_7 + U_6 - U_2 = 10 \text{ V}$$

在 U_2 、 U_4 、 U_6 、 U_{10} 、 U_{12} 回路中, 因为

$$-U_{10} - U_2 + U_6 - U_{12} + U_4 = 0$$

所以

$$U_{10} = -U_2 + U_6 - U_{12} + U_4 = -14 \text{ V}$$

但是, 在图 E 1-1-1(a) 所示电路中, 却无法找到只包含 U_3 、 U_8 、 U_9 之中任一未知电压的闭合回路, 所以这三个未知电压无法求出。虽然应用 KVL 于包含这三个电压的回路中, 可列出许多方程, 但是这些方程中只有两个是独立的, 不能求出这三个电压。

(2) 在图 E 1-1-1(a) 所示电路中, 欲求各支路电流, 应找出仅包含一个未知电流的结点或假想的封闭曲面, 应用 KCL 列方程求解。

因为
$$I_1 + I_5 + I_7 = 0$$

所以有
$$I_5 = -I_1 - I_7 = 3 \text{ A}$$

又因为
$$I_1 + I_{11} = 0$$

所以有
$$I_{11} = -I_1 = -2 \text{ A}$$

同理 $I_{12} = -5 \text{ A}$ 、 $I_9 = -2 \text{ A}$, 但是在图中却无法找到只包含 I_2 、 I_6 、 I_8 中任一未知量的结点或假想的封闭曲面, 所以这些电流无法求得, 虽然应用 KCL 于包含这些电流的结点可列出许多方程, 但只有三个是独立的, 故不能求出这四个电流。

关于运用 KVL 和 KCL 求支路电压、电流的方法有很多, 今后逐步加以介绍, 不在此一一说明。

(3) 设流出结点的电流代数和为零, 在结点 a 应用 KCL 有

方程

$$I_1 + I_4 - I_6 + I_7 = 0 \quad (1-1-1)$$

在结点 b 应用 KCL 有方程

$$I_2 + I_5 + I_8 - I_4 = 0 \quad (1-1-2)$$

在结点 c 应用 KCL 有方程

$$-I_5 + I_3 + I_9 + I_6 = 0 \quad (1-1-3)$$

在结点 d 应用 KCL 有方程

$$-I_7 - I_8 - I_9 = 0 \quad (1-1-4)$$

将式(1-1-1)、式(1-1-2)、式(1-1-3)、式(1-1-4)相加经整理后得到

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

到此证毕。所以，KCL 对于一个假想的封闭曲面也是正确的。这点能为我们解题提供方便。

例 1-2 (1) 在图 E 1-2-1 (a) 中，根据图示参考方向，判断各条支路是吸收、还是供出功率，其功率各为多少？

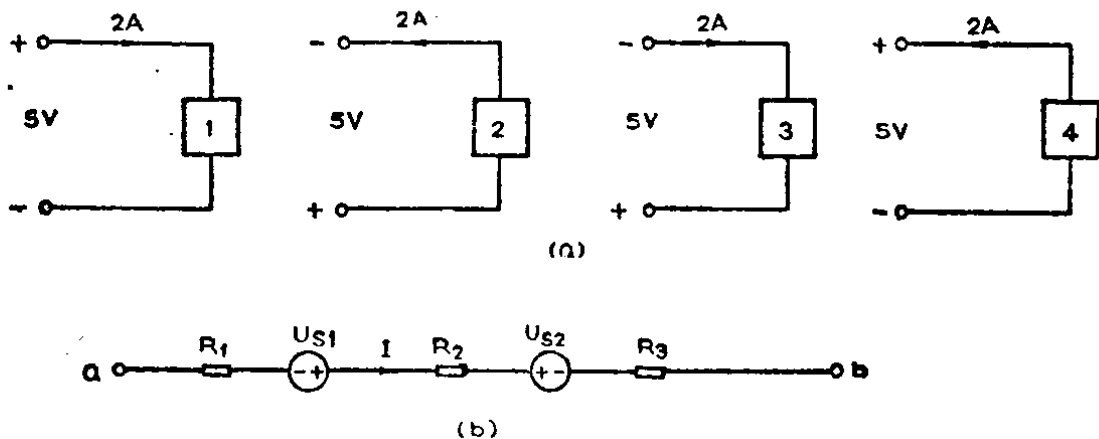


图 E 1-2-1

(2) 试分析如图 E 1-2-1(b) 所示一段含源电路的功率关系。已知： $U_{s1} = 8\text{V}$ 、 $U_{s2} = 26\text{V}$ 、 $U_{ab} = 6\text{V}$ 、 $R_1 = 2\Omega$ 、 $R_2 = 3\Omega$ 、 $R_3 = 1\Omega$ 。

解：

功率是电路分析的基本内容，本例试图说明功率的基本概念和支路功率的计算方法。

(1) 支路功率等于支路电压与电流的乘积，它是标量，有正负。在图 E 1-2-1(a)所示的第一个电路中，电压与电流的参考方向相同，故有

$$P = 5 \times 2 = 10\text{W}$$

因 $P > 0$ ，所以支路吸收功率，电源处于充电状态。在同图第二个电路中，电压与电流的参考方向相同，

$$P = 5 \times 2 = 10\text{W}$$

因 $P > 0$ ，所以支路从外电路吸取功率，电源处于充电状态。在同图第三个电路中，电压与电流的参考方向相反，

$$P = -5 \times 2 = -10\text{W}$$

因 $P < 0$ ，所以支路对外电路供出功率，电源处于放电状态。在同图第四个电路中，电压与电流的参考方向相反，

$$P = -5 \times 2 = -10\text{W}$$

$P < 0$ ，所以支路对外电路供出功率。

综上所述，支路功率等于支路电压与支路电流的乘积，在关联参考方向下

$$P = U \cdot I$$

在非关联参考方向下

$$P = -U \cdot I$$

计算结果：如果 $P > 0$ 表示支路从外电路吸收功率；如果 $P < 0$ 表示支路对外电路供出功率。

(2) 根据图 E 1-2-1(b)所示电路中电流电压的参考方向有方程

$$U_{ab} = R_1 I - U_{s1} + R_2 I + U_{s2} + R_3 I$$

解得

$$I = \frac{U_{ab} + U_{s1} - U_{s2}}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{6 + 8 - 26}{2 + 3 + 1} = -2\text{A}$$

因此整条支路的功率

$$P = U_{ab} \cdot I = 6 \times (-2) = -12\text{W}$$

因 $P < 0$ ，说明支路对外电路供出功率。此外由

$$U_{ab} = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + R_3 \cdot I - U_{s1} + U_{s2}$$

可得

$$\begin{aligned} P &= U_{ab} \cdot I = (R_1 + R_2 + R_3)I^2 - U_{s1} \cdot I + U_{s2} \cdot I \\ &= 24 + 16 - 52 = -12\text{W} \end{aligned}$$

这个计算结果的第一项为正，说明电阻总是消耗功率；第二项为正说明 U_{s1} 吸收功率；第三项为负说明 U_{s2} 供出功率。 U_{s2} 不仅供给 R_1 、 R_2 、 R_3 的电能消耗和对 U_{s1} 充电，它还对外电路供电。

例 1-3 电路如图 E 1-3-1(a)、(b)所示，试根据理想电源的定义和 KCL、KVL 计算各支路电流、电压，并验证电路的功率平衡关系。

解：

本例继续介绍功率的概念。

(1) 求图 E 1-3-1(a)中的支路电流。在图示参考方向下，

$$I_1 = 1\text{A}, I_2 = 2\text{A}, I_3 = 3\text{A}$$

分别在 a 、 b 、 c 各点运用 KCL 可得

$$I_4 = I_2 - I_1 = 2 - 1 = 1\text{A}$$

$$I_5 = I_3 - I_1 = 3 - 1 = 2\text{A}$$

$$I_6 = I_2 - I_3 = 2 - 3 = -1\text{A}$$

设电流、电压取关联参考方向，由图可知

$$U_4 = 4\text{V}, U_5 = 5\text{V}, U_6 = 6\text{V}$$

分别在各网孔运用 KVL 可得

$$U_1 = U_4 + U_5 = 4 + 5 = 9\text{V}$$

$$U_2 = -U_4 - U_6 = -4 - 6 = -10\text{V}$$

$$U_3 = -U_5 + U_6 = -5 + 6 = 1\text{V}$$

因此各支路的功率分别为：

$$P_1 = U_1 I_1 = 9 \times 1 = 9\text{W}$$

说明 1 A 电流源吸收功率；

$$P_2 = U_2 I_2 = -10 \times 2 = -20\text{W}$$

说明 2 A 电流源供出功率；

$$P_3 = U_3 I_3 = 1 \times 3 = 3\text{W}$$

说明 3 A 电流源吸收功率；

$$P_4 = U_4 \cdot I_4 = 4 \times 1 = 4\text{W}$$

说明 4 V 电压源吸收功率；

$$P_5 = U_5 I_5 = 5 \times 2 = 10\text{W}$$

说明 5 V 电压源吸收功率；

$$P_6 = U_6 I_6 = 6 \times (-1) = -6\text{W}$$

说明 6 V 电压源供出功率。

下面验证电路的功率平衡关系。因为总功率

$$\begin{aligned} P &= P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 \\ &= 9 - 20 + 3 + 4 + 10 - 6 = 0 \end{aligned}$$

说明电路供出的功率等于它吸收的功率，处于功率平衡状态。

(2) 在图 E 1-3-1(b) 所示电路中，有支路电流

$$I_1 = 1\text{A}、I_2 = 2\text{A}、I_3 = 3\text{A}、I_4 = 4\text{A}$$

根据图示各电流的参考方向，分别在 b 、 d 、 a 、 c 各结点应用

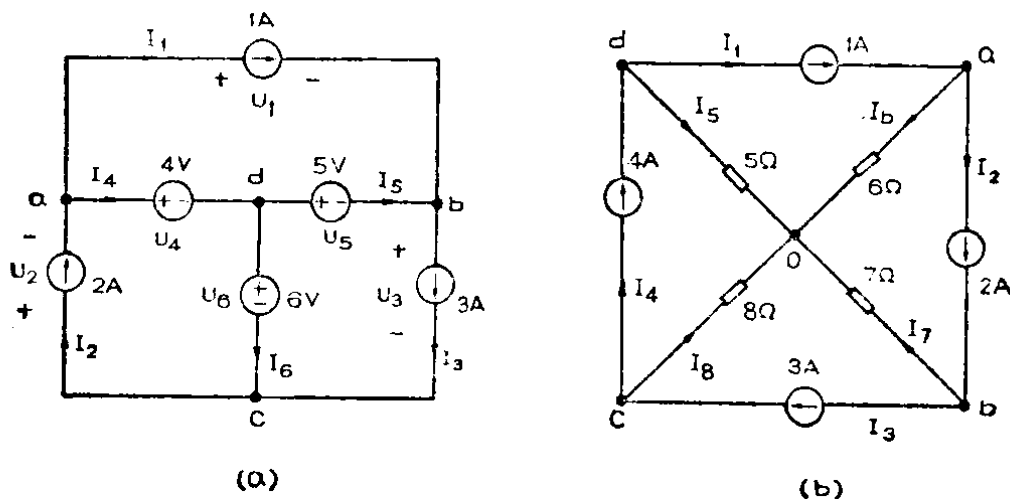


图 E 1-3-1