

电 路 理 论

机 助 分 析 方 法

【美】周 昌 著
沈 志 廣 主译

人 民 邮 电 出 版 社

CIRCUIT
THEORY
With Computer methods
OMAR WING
MCGRAW-HILL BOOK COMPANY
1978

内 容 提 要

本书系统地介绍了电路的频域和时域分析的方法,并结合一些实际电路进行了描述、分析和讨论。此外,本书也讨论了在实践中很有用的“观察法”。

在这本书中,始终可以看到通信设备和数字计算机电路的例子。书中还给出了一些计算机程序,这些程序全用FORTRAN IV写出,而且全都做过检验。

书中每章之后有不少推荐的实验和习题。习题包括三种类型:(1)为掌握电路分析方法而设置的题;(2)简单的设计题,可供读者作工程实践的尝试;(3)“趣味”题,这种题有一定的难度,但通过做这种题有利于读者达到再创造的目的和深入一步学习电路理论。

本书的主要内容包括了一阶和二阶电路、简单非线性电路、列写电路方程、正弦稳态电路、频域分析和时域分析、多端电路。

主要读者对象为,理工院校电专业(包括电大、函授学院)师生;电子电气工程科技人员。

**电 路 理 论
机助分析方法**

〔美〕周 昌 著
沈 志 广 主译

*

人民邮电出版社出版
北京东长安街27号
河北省邮电印刷厂印刷
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 1984年5月第 一 版
印张: 19 12/32 页数: 310 1984年5月河北第一次印刷
字数: 509 千字 印数: 1—9,000 册

统一书号: 15045·总2811—有5339

定 价: 3.00 元

目 录

引言.....	(1)
第一章 基本定律	(8)
1.1 目的	(8)
1.2 电压和电流	(8)
1.3 克希霍夫电压定律和电流定律	(10)
1.4 <i>KVL</i> 方程的一些观察结果—线性依存性	(12)
1.5 <i>KCL</i> 方程的一些观察结果—一个定理	(14)
1.6 另一观察结果—计算的观点	(15)
1.7 图论基础	(15)
1.8 电路的电压图	(18)
1.9 独立 <i>KVL</i> 方程	(19)
1.10 电流图.....	(25)
1.11 独立电流方程.....	(26)
1.12 关于 <i>KVL</i> 和 <i>KCL</i> 方程的进一步论述.....	(30)
1.13 二端元件电路.....	(30)
1.14 对偶性.....	(31)
1.15 电压和电流定律的物理根源.....	(32)
1.16 集总电路.....	(32)
1.17 小结.....	(33)
推荐实验.....	(34)
计算机程序.....	(34)
习题.....	(35)
附录.....	(41)
求树及其有关弦的程序	(41)

第二章 电元件	(43)
2.1 数学元件	(43)
2.2 电压源	(44)
2.3 电流源	(45)
2.4 电阻器	(47)
2.5 线性元件	(50)
2.6 电容器	(51)
2.7 电感器	(56)
2.8 耦合电感器	(60)
2.9 理想变压器	(63)
2.10 依存电源	(68)
2.11 暂停一下并谈些观察结果	(73)
2.12 多端元件	(74)
2.13 时变元件	(77)
2.14 非线性元件	(78)
2.15 非线性电阻器	(78)
2.16 非线性电容器	(81)
2.17 非线性电感器	(82)
2.18 能量和功率	(83)
2.19 特勒根定理	(86)
2.20 小结	(90)
推荐实验	(91)
习题	(91)
第三章 简单线性电路分析	(99)
3.1 迭加原理	(100)
3.2 两个有用的公式	(104)
3.3 等效电路	(110)
3.4 电阻器的串联和并联	(113)
3.5 电感器和电容器的串联和并联	(117)

3.6	星形—多边形变换	(119)
3.7	戴维宁等效电路	(128)
3.8	诺顿等效电路	(132)
3.9	戴维宁和诺顿等效电路的重要意义	(138)
3.10	电源变换	(139)
3.11	小结	(140)
	推荐实验	(141)
	计算机程序	(142)
	梯形网络分析	(142)
	梯形网络的输入电阻及其连分式	(144)
	习题	(146)
第四章	一阶与二阶电路	(154)
4.1	一阶 RC 与 GL 电路	(154)
4.2	定激励下的一阶电路	(165)
4.3	二阶电路	(170)
4.4	定激励下的二阶电路	(182)
4.5	小结	(187)
	推荐实验	(198)
	计算机程序	(199)
	微分方程的数值积分	(199)
	尤拉法	(199)
	四阶龙格—库塔算法	(200)
	误差分析	(201)
	程序RNGKT1	(203)
	程序RNGKT2	(204)
	子程序EEPLOT	(206)
	子程序RANGE	(207)
	例4.15程序的计算机打印结果	(207)
	例4.16程序的计算机打印结果	(208)

习题	(210)
第五章 简单非线性电路	(218)
5.1 简单非线性电阻电路	(219)
5.2 小信号分析	(222)
5.3 将电路分解为线性和非线性两个部分	(223)
5.4 伏安特性曲线的组合	(225)
5.5 牛顿—拉夫逊算法	(233)
5.6 一般非线性电阻电路	(236)
5.7 一阶非线性电路	(238)
5.8 小结	(243)
推荐实验	(244)
计算机程序	(244)
牛顿—拉夫逊迭代法的收敛速率	(244)
函数的数值求逆	(245)
习题	(246)
第六章 列电路方程	(251)
6.1 一般线性电阻电路—弦和树分析	(252)
6.2 矩阵列法—弦分析	(258)
6.3 矩阵列法—树分析	(262)
6.4 回路分析	(263)
6.5 平面图和非平面图	(267)
6.6 网孔方程	(271)
6.7 节点方程	(277)
6.8 含电阻器、电感器和电容器的电路	(282)
6.9 对偶性	(289)
6.10 含依存电源的电路	(294)
6.11 含多端元件的电路	(297)
6.12 小结	(300)
推荐实验	(300)

计算机程序编制	(301)
一般电阻网络的计算机分析—RNET	(301)
习题	(303)
附录	(311)
RNET程序	(311)
RNET打印输出举例—习题6.6	(322)
RNET打印输出举例—习题6.7	(323)
方程(6.17)的证明	(324)
第七章 正弦稳态电路	(327)
7.1 动机	(327)
7.2 简单例子	(331)
7.3 指数激励	(333)
7.4 正弦稳态电路方程	(338)
7.5 阻抗和导纳	(341)
7.6 正弦稳态的迭加性	(344)
7.7 回路方程和网孔方程	(346)
7.8 节点方程	(351)
7.9 含依存源的电路	(353)
7.10 含互感的电路	(355)
7.11 正弦稳态功率	(357)
7.12 用复电压和复电流表示功率	(359)
7.13 特勒根定理	(361)
7.14 阻抗的实部	(363)
7.15 功率因数	(365)
7.16 最大功率传输	(367)
7.17 周期信号的平均功率	(371)
7.18 正弦稳态的能量	(375)
7.19 复功率和无功功率	(377)
7.20 再谈特勒根定理	(378)

7.21 小结	(380)
推荐实验	(381)
计算机程序	(382)
习题	(382)
第八章 频域分析	(393)
8.1 电抗函数	(394)
8.2 电纳	(398)
8.3 <i>RLC</i> 串联谐振电路	(399)
8.4 谐振电路的能量、功率及 Q 值	(401)
8.5 并联 RLC 谐振电路	(407)
8.6 简单的宽带电路	(412)
8.7 低通滤波器	(414)
8.8 集总延迟线	(416)
8.9 晶体管放大器	(421)
8.10 复变量的网络函数*	(422)
8.11 网络函数的基本特性*	(425)
8.12 极点和零点*	(426)
8.13 极点和自然时间响应*	(428)
8.14 稳定性*	(433)
8.15 动态和稳态响应*	(434)
8.16 阻抗变标	(435)
8.17 频率变标	(438)
8.18 小结	(440)
推荐实验	(440)
计算机程序	(441)
电路的频率分析	(441)
梯形分析	(442)
一般电路的频率分析—DZNET	(445)
习题	(449)

附录	(460)
DZNET程序	(460)
DZNET打印输出举例	(475)
第九章 时域分析	(476)
9.1 以迭加原理列状态方程	(477)
9.2 状态方程的正规列法*	(481)
9.3 含电容回路的电路*	(484)
9.4 含电感割集的电路*	(487)
9.5 含有互感的电路*	(488)
9.6 含依存电源的电路*	(489)
9.7 状态方程的解—特征矩阵	(491)
9.8 本征值和本征向量	(494)
9.9 例	(497)
9.10 稍停并作出一些观察结果	(503)
9.11 重复本征值	(504)
9.12 重复本征值—普遍情况	(511)
9.13 其它解法	(513)
9.14 计算机解法—龙格-库塔	(513)
9.15 不用状态方程的解法—隐积分	(514)
推荐实验	(519)
计算机程序(大型作业)	(520)
习题	(520)
第十章 多端电路	(527)
10.1 动机	(529)
10.2 不定导纳参数	(530)
10.3 不定导纳矩阵的性质	(533)
10.4 N 端电路的并联连接	(536)
10.5 枢轴压缩	(539)
10.6 阻抗参数	(546)

10.7	互易性	(550)
10.8	短路导纳参数	(552)
10.9	等效电路	(554)
10.10	混合参数	(555)
10.11	$ABCD$ 参数	(557)
10.12	电路的级联	(559)
10.13	小结	(564)
	习题	(565)
	部分习题答案	(572)
	索引	(583)

引言

电气工程涉及设计、制造和销售各种以电形式来产生、传输、处理、控制和分配能量与信息的系统。它是一门广阔的学科，并且不断在发展，因为它实际上把科学的所有分支如物理、数学、化学和金属学的新发明转变为有用的产品和系统。要把电气工程师所做的全部描述出来是不可能的。也许对电气与电子工业作一简要调查可以得知电气工程师的活动范围，表1给出了电气与电子工业的梗概。

从表中，可以看出电气工程主要和创造性的方面在于设计各种系统。但为设计起见，必须了解构成系统的部件特性，必须精通各

表1 电气与电子工业梗概

通 讯	计 算 机
电话，电报，遥测，深空，水底，卫星，计算机数据，信息检索，无线电，电视，广播，无线电天文学	数据处理，科学计算，生产过程控制，飞行导航控制，交通控制，医学诊断，排字，编辑，模拟*
动 力 系 统	仪 器
消费者动力，工业动力，便携式动力，发电，输配电，能量转换器件与系统，电动系统，磁流体力学，太阳能动力，核动力，地热动力	物理的、化学的、生物学的、生理学的、机械的、热学的、地质学的、海洋学的、光学的以及环境的测量；仪表，示波器，电桥，频谱分析仪，污染控制，气象预报
防 御	娱 乐
导弹制导，飞行控制，雷达，声纳，潜艇防御，导弹防御，卫星监视，火力控制，“保安”情报，破坏不了的通信系统	调幅，调频广播，电视，唱机，磁带录音机，家用录像机，有线电视，计算机辅助教学

• Simulation可译作仿真

部	件	器	件
放大器，滤波器，均衡器，延迟线，波形形成网络，集成电路，逻辑电路，模数转换器，磁芯存储器，磁带与磁盘存储器，天线，波导，同轴电缆，电动机，发电机，扬声器，微音器，激光与微波激励器		晶体管，二极管，电阻器，电容器，电感器，变压器，真空管，磁芯，晶体，半导体材料，继电器，开关，电路断路器，光电池，灯泡，连接器，插座	

部件的数学描述以及为预测和计算系统性能所必需的分析方法。简言之，必须能够分析所作的设计。

电路是元件或器件相互接成的组合：元件或器件是指电阻器、电容器、电感器、晶体管、二极管、变压器等等。而电路则是电气或电子系统的主要部件。无线电接收机是简单的系统，它由下列电路组成，即射频放大器、本机振荡器、混频器、中频放大器、检波器、音频放大器以及电源。数字计算机是个复杂系统，它由几千个执行数的加法和乘法功能的电路所组成，其中数是用电压或电流脉冲来表示的。雷达系统是另一种复杂系统。它送出一信号至目标，接收其回波，研究回收信号的性质以确定目标的位置、速度、加速度以及可能的航向。所有这些功能都由各种电路来完成。电话系统是另一种由大量电路构成的系统实例。这些电路执行的功能是以高保真度把信号从一点发送到很可能为几千里外的另一点去。地方供电部门的配电系统可当作为一个大型电路。它由发电机、电力线以及通常为成百万的消费者家用电器所组成。

电路设计是创造元件组态的艺术，它把各类合用的元件配置在一起以适应某些性能要求。可以创造各种电路来完成时间函数（信号）的算术运算，微分和积分时间函数以及求解代数方程和微分方程。可以创造电路来检测和分析脑电波、地震波以及从星星上来的无线电波。还可以创造电路来测定机械结构上的应力和应变，给原子粒子计数，使火箭导向月球，控制交通以及模拟机械、液流、或热系统。确实，清单是开不尽的。后面在图 1 至图 9 中绘示了一些

电路例子。

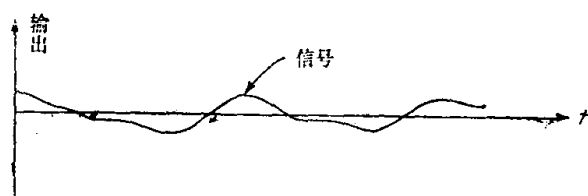
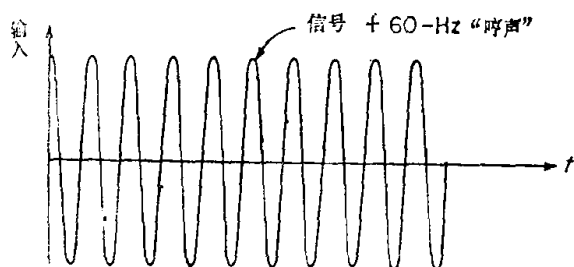
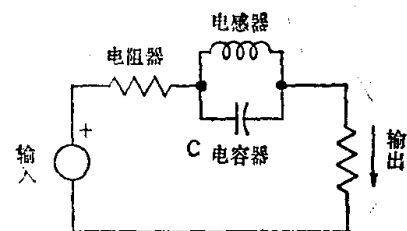


图 1. 举例说明用以消除干扰的电路。弱信号（地震波、心电图等等）被淹没
在强烈的60赫“哼声”中。将合成波形加到所示电路上，干扰就被电路
消除，信号在输出端恢复。输入和输出波形是用计算机解法来得到的

电路是那么多多种多样，部分原因是因为可得到的大量元件有很宽的数值范围（0 至 10^{12} ）、是因为可以创造出无限数目的电路结构、是因为很小的物理尺寸（小至 10^{-6} 英寸）、是因为许多元件具有极快的响应时间（快至光速）、并且在很大程度上是因为电路能够顺从几乎精确的数学模型化。最后一点很重要，因为这意味着电路性态可以准确地用数学来预测。还意味着电路可以方便地根据它们特殊的数学性质来进行分类，并且它们在理论上的限制和特性是可以推演出来和进行研究的。更进一步有助于我们的，在于支配电路

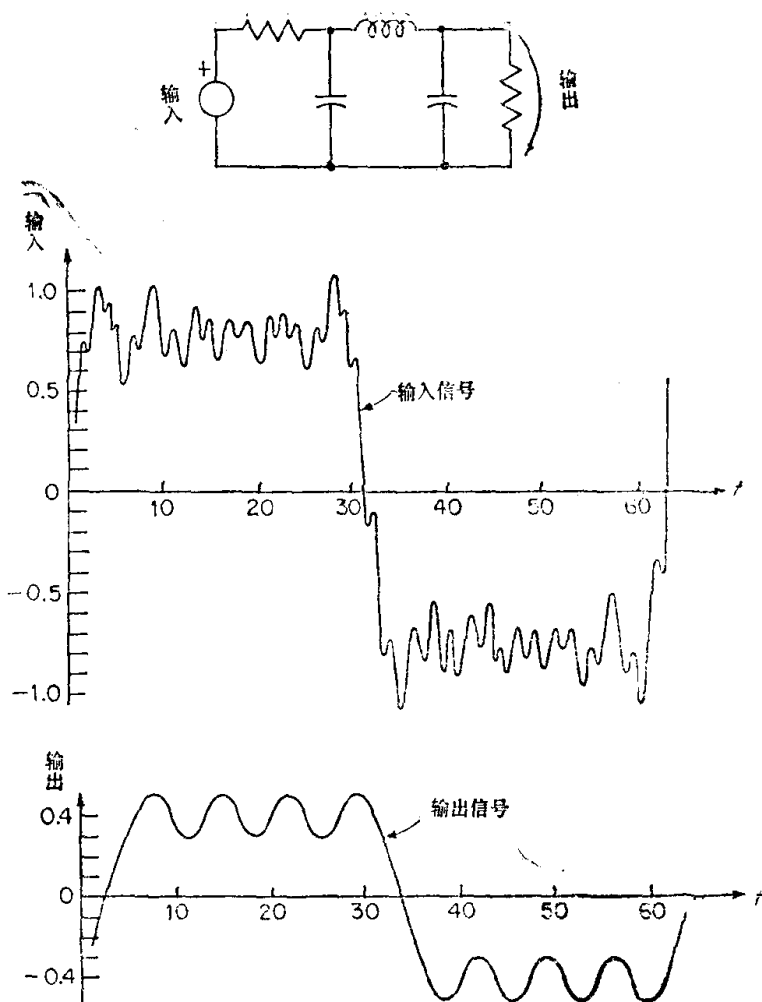


图 2. 举例说明用以消除高频噪声的电路。输入信号（潜艇回波、雷达脉冲、计算机数据等）迭加在高频噪声上。输入加到所示的低通滤波器上，高频噪声被滤波器消除。这一分析是在计算机上进行的

性态的物理定律只有少数几条，而且原理上是简单的。其结果为电路的数学描述，正如即将看到的，也很简单。

本书主要是讲电路分析。具体地说，将研究电路在加上激励后，计算其响应的问题。激励（输入）为电信号，它可以代表作为时间函数的能量或信息。响应（输出）则为另一信号，它具有输入所没有的某些企求的特性。我们将逐步导出数学方法和算法，从而

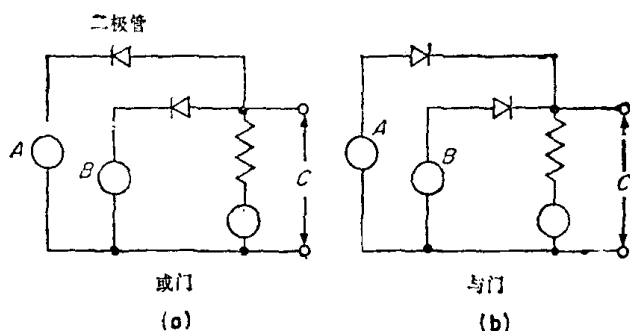


图 3. (a) 若输入 A 或 B 为低电位或若 A 和 B 两者都为低电位，则输出 C 为低电位，否则输出为高电位，电路实现了逻辑“或”功能。(b) 若 A 和 B 两者都为低电位，输出 C 才为低电位，否则输出为高电位，电路实现了逻辑“与”功能

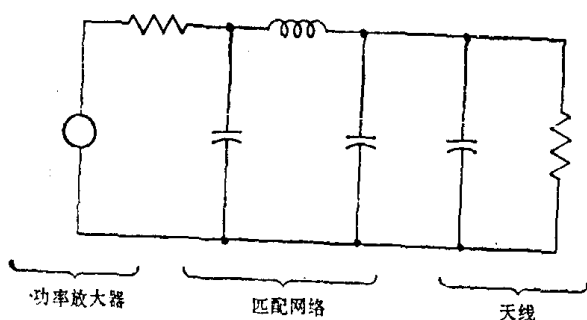


图 4. 电路为匹配网络。在广播或通讯系统的天线与功率放大器之间如接入匹配网络，则送给天线的功率将增加很多

可用手算或计算机来求出响应。在导出过程中必不可少的，为列写描述电路性态的方程。还将推演出电路的各种特性，并通过一些例子来说明电路能够做些什么。分析是设计的基础，因为正是通过分析，才导出设计步骤。

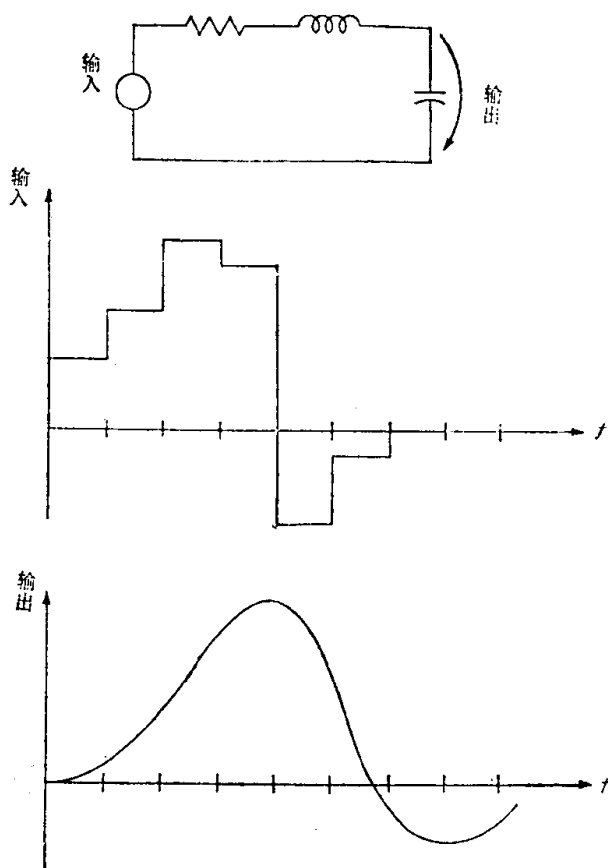


图 5. 平滑作用的电路。输入为阶梯电压，它可以代表数字通讯系统中的语音信号。这电压受到电路的平滑作用后，输出基本上为原来的语音，其解是通过计算机对微分方程组作数值积分而得到的

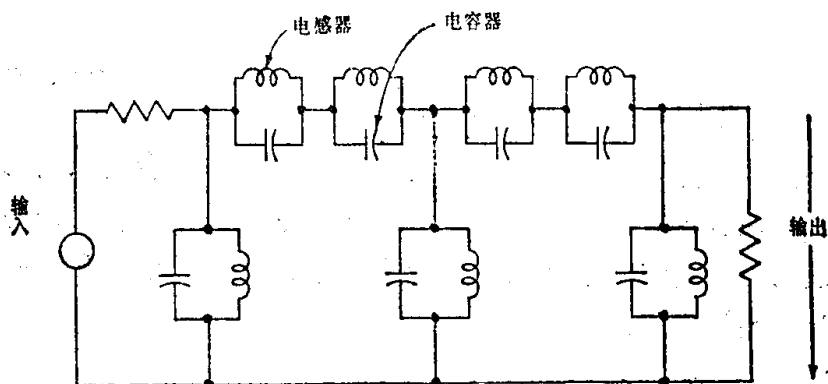


图 6. 用于通讯系统中的现实带通滤波器。输入为在很宽频谱上都有频率分量的信号。它被图中电路所“滤波”，只有在所要的狭频谱范围内的频率分量才被选用。电路的分析由于用了计算机而大为方便

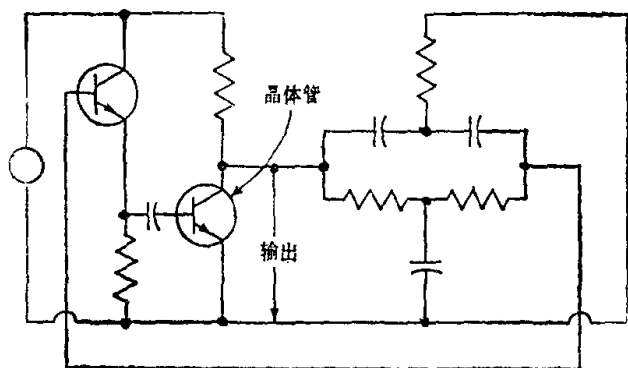


图 7. 晶体管振荡器。电路在输出处产生了稳定的正弦电 L

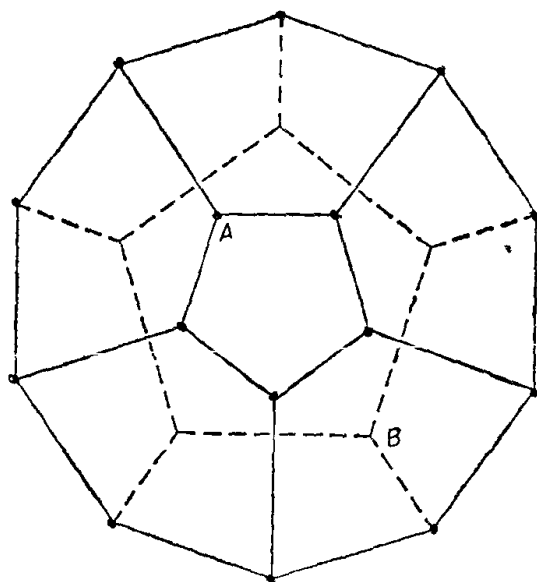


图 8. 五角形十二面体的每边各为 1Ω 电阻。试证相对两顶点A和B之间的电阻为 $7/6\Omega$

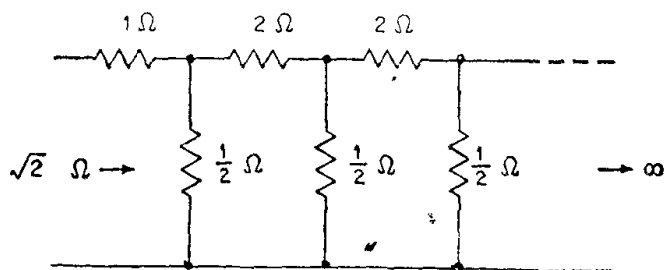


图 9 利用连分式展开进行无理数的有理逼近，它在理论上可由图示的无限长电路来实现