

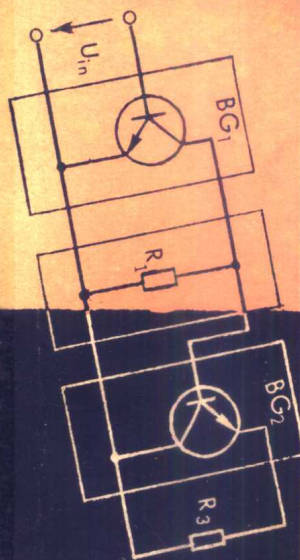
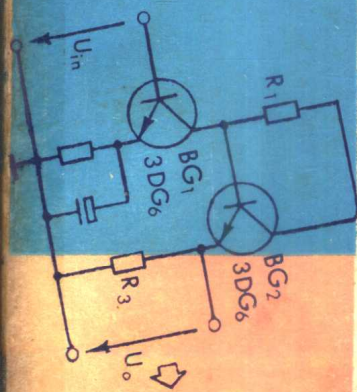
电子技术丛书

电子电路分析和计算

——参数分析法

李拔强 编著

广东科技出版社



电子技术丛书

电子电路分析和计算 ——参数分析法

李拔强 编著

广东科技出版社

电子技术丛书
电子电路分析和计算
——参数分析法

李拔强 编著

*

广东科技出版社出版
广东省新华书店发行
韶关新华印刷厂印刷

787×1092毫米32开本 10.875印张 235,000字

1980年9月第1版 1980年9月第1次印刷

印数1—3,700册

书号15182·14 定价0.97元

内 容 简 介

本书是电子技术丛书之一。本书所介绍的参数分析法，是一种借助于四端网络理论的简易、快速分析电子电路的方法。这种方法是分析电路的一种强有力的工具，用于比较复杂的电路有独到的特点。全书约十六万字，共分为五章，分别讨论了参数分析法的特点，基本单元电路参数，复杂电子电路的分析和计算，参数法的矩阵运用形式，参数分析法应用中的若干问题。书中选取了较多的实例来说明这种分析方法的应用，利用书末所附的表格，可以迅速求解各种复杂电子电路的指标。

本书可供从事无线电、电子仪器、自动控制等方面工作的工人、工程技术人员，以及中等、高等院校师生参考。

出版说明

电子技术是新兴的前沿科学。近几十年来，电子技术的发展日新月异，许多人把电子技术水平作为衡量一个国家的现代化水平的标志。因此，普及电子技术与实现四个现代化有着密切的关系，而电子工业的发展是实现四个现代化的物质技术基础的重要组成部分。为了在提高整个中华民族的科学文化水平的斗争中，为普及电子技术作出应有的贡献，我们编辑出版了《电子技术丛书》。

这套丛书由 **冯秉铨** 教授主编。力求坚持以马克思主义的辩证唯物主义和历史唯物主义为指导，结合各个专题，阐述当前国内外研究电子和电磁场运动、电路理论和实践，以及信息传输系统的一般规律及其应用技术，通俗地介绍这些方面的客观规律和技术经验；同时也介绍有关的电子元件、器件、设备和系统，普及这些方面的技术知识，以促进电子技术更加广泛地应用于国民经济、国防和科学技术的各个领域。

本丛书既着眼于当前，也着眼于未来，从国内现有实际技术水平出发，又要有所提高。以具有中等文化水平的工人、技术人员，以及从事电子工业生产和科研的有关人员为主要对象，也可供高等院校、中专电子学专业的师生和业余爱好者参考。

F/AC50/02

前 言

通常摆在电路工作者面前有两类课题，一类是剖析和计算实际仪器的具体线路；另一类是对已给定的线路，根据指标要求计算出线路元件的数值。前者叫做分析，后者属于设计。而通常，设计又是在分析的基础上进行的，因此掌握分析电路的方法十分重要。

电路理论是电子电路分析和设计的基础，电路的分析方法很多，其中有几种方法特别适用于电子电路的快速分析，零极点分析法和参数分析法，就是其中两种较好的分析方法。

对于一般电子电路的分析，不外乎是三个方面：

- ①直流状态的分析；
- ②交流指标的计算（所谓交流指标一般是指输入阻抗、输出阻抗和传输系数）；
- ③频响分析和瞬态分析。

上述第一方面的内容比较容易掌握。对于后两方面的内容，目前存在这样的情况：在一般教科书中，由于教学上的限制，往往内容很广泛，面面俱到，因而不可能比较深入地阐述理论分析在具体设备中的详细运用，通常只能给出一般的基础知识。相反，在一些较为结合实用的书籍中，理论分析一般又比较欠缺或很不完整。因此，尽管一些同志学习过这两类书籍，但遇到复杂电路时，仍往往感到茫无头绪。为此，作者想作一个尝试，试图使本书的材料能作为这两类书

籍的一个补充。

本书主要阐述参数分析法在电子电路中的应用，这种方法对于计算复杂电路的指标有它独到之处，并且可以通过书末所附的公式表格，使计算快速而简便。本书的重点侧重于指标的计算，对于频响和瞬态的分析，零极点法是一种十分优越的方法，这部分的内容由另一书叙述。

本书侧重理论和实际的结合，因此，引用了较多的实际线路作为例子。这些例子，一方面可以作为理论应用的举例，另一方面，相信对从事实际工作的同志也许是有帮助的。

本书在第一、二章介绍了参数分析法的基本知识。第三章作为全书的重点，介绍了各种复杂电子电路的分析方法，列举了较多的实际例子。第四章叙述矩阵的分析方法，介绍了多端网络理论的应用，一般读者对这一章在阅读上如果感到困难，可以略去，但并不影响掌握本书的主要内容。第五章是总结参数分析法的应用问题。

本书的编写得到组织的关怀和支持，对编写工作提供了良好的条件。

在整个编写过程中，得到冯秉铨教授的直接指导，并审校了全书的内容；本书的绘图工作和部分例题计算，得到陈金城老师的协助。在此，谨向他们表示衷心的感谢。

一九七九年二月于华南工学院

目 录

第一章 参数分析法的特点	1
一、概述	1
二、从通用性的观点看参数分析法	3
三、从分解复杂电路的观点看参数分析法	14
四、从工程分析的观点看参数分析法	20
第二章 基本单元电路参数	23
一、有源器件的参数模型	23
1. 有源器件参数模型的特点	23
2. 寻求模型参数的方法	26
二、无源电路基本单元的参数	42
三、电子电路基本单元的参数	48
1. 晶体管参数模型的合理运用	50
2. 电子电路基本单元参数的推导	59
第三章 复杂电子电路的分析和计算	69
一、级联形式复杂电路的分析与计算——第一部 分	69
1. 级联电路中各级指标与整个电路指标的关系	70
2. 各种常用的两级放大电路计算举例	81
(1) 共射共基电路的分析	81
(2) 共射共集电路的分析	88
(3) 共基共集电路的分析	91
(4) 单端差动放大电路的分析	96

3. 几种典型特殊形式电路的分析方法	121
(1) 串接形式低输出阻抗电路	121
(2) 双端输入差动放大电路的分析	147
4. 两级以上复杂电路分析计算举例	163
二、级联形式复杂电路的分析与计算——第二部 分	183
1. 级联电路的A参数与级联电路中各级A参数的关系	184
2. 级联电路计算举例	187
三、其它联接形式的复杂电路的计算	195
1. 串——串连接的联接形式	195
2. 并——并连接的联接形式	209
3. 串——并连接和并——串连接的联接形式	214
四、反馈电路的计算	220
1. 从阻抗变化的观点看反馈的实质	221
2. 反馈放大器计算举例	235
第四章 参数法的矩阵运用形式	255
一、矩阵方法在四端网络中的应用	255
1. 基本矩阵代数的一般概念	255
2. 用矩阵求解四端网络在各种联接时的参数	262
二、导纳矩阵和浮点导纳矩阵	266
1. 浮点导纳矩阵的特点	267
2. 浮点导纳矩阵应用举例	272
3. 多端网络导纳矩阵的合成	279
4. 电子电路导纳矩阵的建立	283
三、多端网络导纳矩阵阶数的缩减及其在求解电 路指标方面的应用	294
1. 缩减导纳矩阵阶数的方法	294
2. 电路分析举例	300

第五章 关于参数分析法应用中的若干问题314

一、参数分析法的应用范围314

二、参数分析法对电路设计的作用316

附 录

一、基本电路单元参数表323

二、指标计算公式334

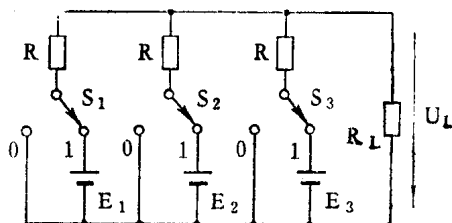
三、各种参数关系转换表335

第一章 参数分析法的特点

一、概 述

电子电路的分析基础乃是电路理论。对于同一个电路可以用不同的方法进行计算，尽管最后的计算结果相同，但分析速度和分析概念却具有极大的差别。

例如图1—1所示电路，是数字仪器中常用的数模转换电路，它也可以作为阶梯波产生电路而用于晶体管图示仪中。如果已知 E_1 、 E_2 、 E_3 、 R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_L ，如何



$$E_1 = E, \quad E_2 = 2E, \quad E_3 = 4E.$$

图1—1 数模转换电路

求取 U_L 呢？显然，求 U_L 的方法很多，可以用支路电流法、回路电流法、节点电位法、戴维南定理等等。仔细研究一下这个电路，可以看到，它有四条支路、三个独立回路、一个独立节点，因此，采用节点法方程数目最少，只需用一个方程即可解出 U_L ，简单而快捷。其实，这个例子是一个特例。在大多数线路中，一般都同时具有多个回路和多个节点，例如图1—2和图1—3的电路，对它们的计算就比较复杂。在电子电路中，还存在具有不同种类的器件问题。如图1—4是晶

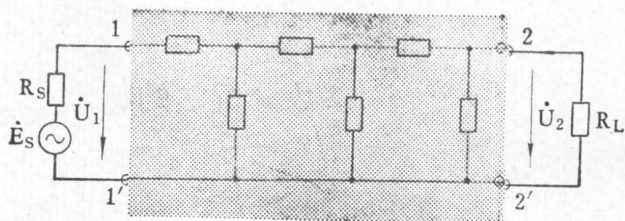


图1—2 梯形网络

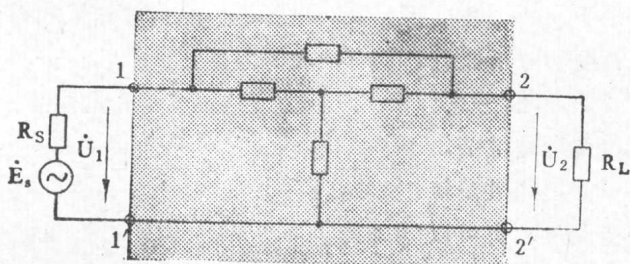


图1—3 桥T网络

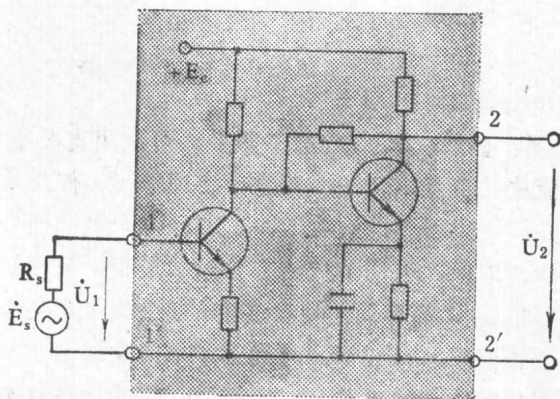


图1—4 晶体管放大器

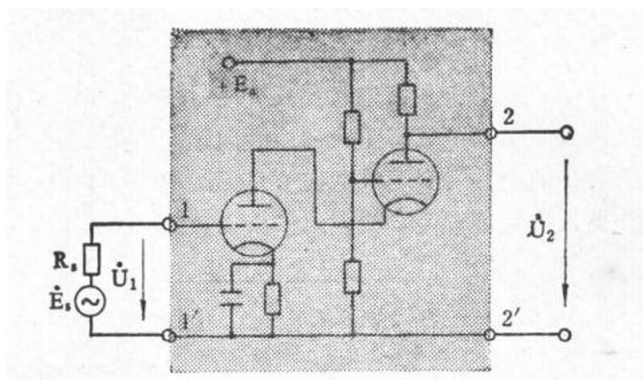


图1—5 电子管放大器

体管放大器电路，图1—5是电子管放大电路。有些电路还会同时并存两种以上的器件。对于这些五花八门的具体电路，能否找到一种比较通用的、而计算又比较简单、迅速的可行的方法呢？后面一点所谓“简单、迅速、可行”是一个重要的要求。为什么这么说？我们知道，回路电流法、节点电位法对任何电路都是通用的，是具有普遍性的方法，但是，当回路方程或节点方程超过三个以上就不太好解，这就在某种意义上不能满足后一点要求。

在以下各节中，是从“通用”、“简单”、“可行”、“迅速”这几个观点去阐明参数分析法的特点。

二、从通用性的观点看参数分析法

参数分析法来源于四端网络理论，这是人们在研究电路时从实践中总结抽象出来的一种模型。它的出现，大大地推进了对电路的实验研究和理论计算工作，对电路的分析发挥出巨大的作用。

什么原因使参数法能发挥巨大的作用呢？通用性是其中一个极重要的因素。

由于工程上大多数电路都只有一对输入端和一对输出端，因此它们都可以用图1—6中的四端网络来表示。试观察上节提出的图1—2到图1—5四个电路，显然，它们都属于这类电路，它们都有两个输入端子1, 1'和2, 2'。所以，不管电

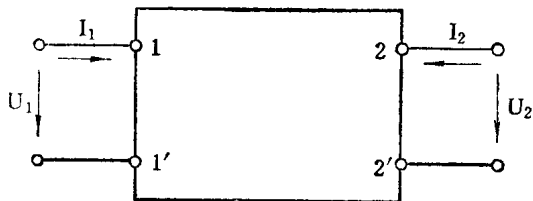


图1—6 四端网络

路的结构如何，它们都可以看成是一个四端网络。

从网络外部看，它具有四个变量 U_1 、 I_1 、 U_2 、 I_2 。这四个变量之间是以若干个(具体来说是四个)参数相联系的，所以，表征这四个变量之间的关系的方程，人们称之为参数方程。

任意选取四个变量中的两个作为自变量，而另外两个作为因变量，可以得到以下六种表示不同组合的参数方程。

$$Z \text{ 参数方程: } \begin{cases} \dot{U}_1 = Z_1 (\dot{I}_1, \dot{I}_2), \\ \dot{U}_2 = Z_2 (\dot{I}_1, \dot{I}_2). \end{cases}$$

$$Y \text{ 参数方程: } \begin{cases} \dot{I}_1 = Y_1 (\dot{U}_1, \dot{U}_2), \\ \dot{I}_2 = Y_2 (\dot{U}_1, \dot{U}_2). \end{cases}$$

$$\text{A参数方程: } \begin{cases} \dot{U}_1 = A_1 (\dot{U}_2, \dot{I}_2), \\ \dot{I}_1 = A_2 (\dot{U}_2, \dot{I}_2). \end{cases}$$

$$\text{B参数方程: } \begin{cases} \dot{U}_2 = B_1 (\dot{U}_1, \dot{I}_1), \\ \dot{I}_2 = B_2 (\dot{U}_1, \dot{I}_1). \end{cases}$$

$$\text{H参数方程: } \begin{cases} \dot{U}_1 = H_1 (\dot{I}_1, \dot{U}_2), \\ \dot{I}_2 = H_2 (\dot{I}_1, \dot{U}_2). \end{cases}$$

$$\text{G参数方程: } \begin{cases} \dot{I}_1 = G_1 (\dot{U}_1, \dot{I}_2), \\ \dot{U}_2 = G_2 (\dot{U}_1, \dot{I}_2). \end{cases}$$

已知入端和出端电流，想求入端和出端电压，以采用Z参数方程最为方便，已知入端电流和出端电压，想求入端电压和出端电流，就应该采用H参数方程，其他的可以类推。

到此，读者可能会问，这些参数方程如何体现分析的通用性？要知道，在电子电路中，人们通常关切的问题是信号的传输问题，亦即仅注意到对电路的输入和输出间的关系，如输入阻抗，输出阻抗，传输系数等。显然，上述方程恰恰是表示输入量和输出量之间的关系方程，根据它们，可以求出这些量之间的全部关系。可以证明，这些关系式只与参数值有关，而与电路的形式无关。换句话说，这些关系式不随电路结构形式的不同而有所变化，因此，通用性便体现在这里。下面不妨任意选取一种参数，求出相应于这种参数的各种关系式，以证明这一点。

设取Z参数方程，并设信号源和负载已经接入，见图1—7。可以列出以下方程：

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= Z_{11} \dot{I}_1 + Z_{12} \dot{I}_2, \\ \dot{U}_2 &= Z_{21} \dot{I}_1 + Z_{22} \dot{I}_2. \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{E}_S - \dot{I}_1 Z_S, \\ \dot{U}_2 &= -\dot{I}_2 Z_L. \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

这里, Z_{11} 、 Z_{12} 、 Z_{21} 、 Z_{22} 是与网络的具体电路有关的四个Z参数。

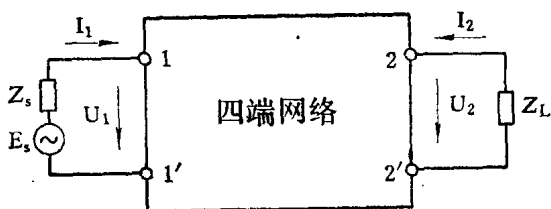


图1-7 接有电源和负载的四端网络

式(1-1)是Z参数方程, 式(1-2)为四端网络外部方程。联解式(1-1)和式(1-2), 可以求得:

(1) 输入阻抗 Z_{in}

$$Z_{in} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} = Z_{11} - \frac{Z_{12}Z_{21}}{Z_{22} + Z_L}. \quad (1-3)$$

(2) 输出阻抗 Z_o

根据定义, 输出阻抗是在信号源 E_S 为零时, 输出电压 U_2 与输出电流 I_2 之比。即

$$Z_o = \left. \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2} \right|_{E_S = 0} = Z_{22} - \frac{Z_{12}Z_{21}}{Z_{11} + Z_S}. \quad (1-4)$$

(3) 传输系数 $\dot{T}$

所谓传输系数，是指输出量 X_O 对输入量 X_{in} 之比，即

$$\dot{T} = \frac{\dot{X}_O}{\dot{X}_{in}} \quad (1-5)$$

通常，根据电源和负载的性质以及设计者的需要，输出量 X_O 可以是 U_2 或 I_2 ，输入量 X_{in} ，也可以是 U_1 或 I_1 ，因此便有以下四种组合：

① 电压传输系数 $\dot{K}_U$

$$\dot{K}_U = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{Z_{21}Z_L}{(Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}) + Z_{11}Z_L} \quad (1-6)$$

② 电流传输系数 $\dot{K}_I$

$$\dot{K}_I = \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1} = -\frac{Z_{21}}{Z_{22} + Z_L} \quad (1-7)$$

③ 传输阻抗 $\dot{K}_z$

$$\dot{K}_z = \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_1} = \frac{Z_{21}Z_L}{Z_{22} + Z_L} \quad (1-8)$$

④ 传输导纳 $\dot{K}_r$

$$\dot{K}_r = \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_1} = \frac{-Z_{21}}{(Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}) + Z_{11}Z_L} \quad (1-9)$$

式(1-3)至式(1-9)这六个关系式完整地描述了输入量

• 有时还取功率传输系数 $K(P)$ ，它等于 K_u 与 K_I 的乘积。