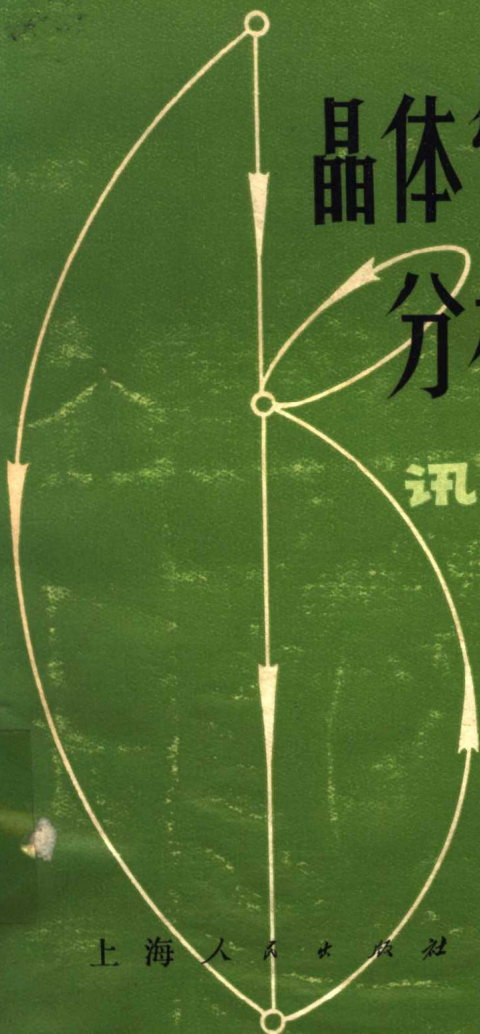


晶体管电路的 分析和计算

讯号流图法

上海人民出版社



晶体管电路的分析和计算

——讯号流图法

上海无线电三厂

上海人民出版社

内 容 提 要

用讯号流图法来分析和计算晶体管电路,不仅方便、直观,而且简捷、易学,特别是对整机电路以及复杂的反馈电路的分析,它优于其他计算方法。本书以通俗易懂的方法,由浅入深地介绍了各种晶体管电路的讯号流图分析计算方法,每章均有计算实例,以期理论与实践相结合。书后附有单元流图表,可供参考。本书主要阅读对象是从事晶体管电路设计的工农兵读者,对于专业技术人员和业余无线电爱好者也可参考阅读。

晶体管电路的分析和计算

——讯号流图法

上海无线电三厂

上海人民出版社出版

(上海绍兴路5号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 9.625 插页 2 字数 206,000

1972年12月第1版 1972年12月第1次印刷

印数 1—170,000

书号: 15·4·313 定价: 0.54 元

列宁语录

理论要由实践来鼓舞，由实践来修正，由实践来检验。

毛主席语录

入门既不难，深造也是办得到的，只要有心，只要善于学习罢了。

前 言

本书介绍的讯号流图法是一种分析和计算晶体管电路的新方法。它通过一些简单的规则可直接由晶体管电路作出讯号流图,然后按照讯号流图的运算规则进行简化和计算,最终得到答案。它与目前采用较多的矩阵计算法和公式计算法比较,具有直观、易学和物理概念清晰等优点,尤其是对整机电路和比较复杂的反馈电路的分析和计算就显得更为简便有效。

遵循伟大领袖毛主席关于“要认真总结经验”的教导,为了满足从事晶体管电路工作人员以及业余无线电爱好者分析计算的需要,我们在厂党委的领导下,在有关单位的帮助支持下,组织编写了《晶体管电路的分析和计算——讯号流图法》一书。

考虑到本书是晶体管电路的分析和计算方法的普及读物,在内容上我们力求由浅入深、由简到繁,以适应具有初中文化程度的同志参考。

在本书的编写过程中,我们进行了多次讲座,听取了有关工厂工人、教师、技术人员的意见,并作了认真的修改。

由于我们的实践经验有限,书中肯定存在不少缺点和错误,欢迎读者提出批评与建议,以便修订时提高。

编 者 1972.9.

• i •

目 录

第一章 讯号流程图概述	1
第一节 什么是讯号流程图	2
1. 几个常用的名词	3
2. 讯号流程图与线性方程	4
第二节 讯号流程图的作法	6
1. 从方程组作讯号流程图	6
2. 从电路图作讯号流程图	10
3. 从单元流程图作讯号流程图	15
第三节 讯号流程图的运算	15
1. 讯号流程图的化简	16
2. 流程图公式	27
3. 切割法	39
4. 逆转变换	44
第四节 应用举例	52
第二章 电路元件的流程图表示	59
第一节 四端网络参数	59
第二节 两端元件	63
1. 分压式	64
2. 分流式	65
3. 负载式	66
第三节 理想变压器	67
第四节 晶体三极管	68
1. 晶体管的 H 参数	69
2. 晶体管的 T 参数	73

第五节 四端网络的组合	76
1. 两个网络的级联	76
2. 两个网络的串并联	81
第六节 应用举例	84
 第三章 低频放大电路的计算	89
第一节 单管放大器	90
1. 共发射极放大电路 (<i>ce</i> 电路)	90
2. 共基极放大电路 (<i>cb</i> 电路)	96
3. 共集电极放大电路 (<i>cc</i> 电路)	99
第二节 阻容耦合放大器	101
第三节 变压器耦合放大器	107
第四节 多级放大器	110
第五节 应用举例	114
 第四章 反馈放大电路的计算	128
第一节 单级反馈	130
1. 串联输入式反馈	130
2. 并联输入式反馈	139
3. 混合反馈	149
第二节 多级反馈	155
第三节 反馈电路的分析和设计	183
1. 回路增益和反馈量	183
2. 反馈电路的分析	189
3. 反馈电路的设计	198
第四节 应用举例	207
 第五章 高频放大电路的计算	213
第一节 晶体管的高频参数	213

第二节 晶体管的单向化	216
第三节 高频耦合电路	226
1. 单调谐耦合电路	226
2. 双调谐耦合电路	230
3. 陶瓷滤波器	237
第四节 调谐放大器	239
第五节 应用举例	243
 第六章 特殊电路分析	 255
第一节 分差放大器	256
第二节 复合晶体管放大器	260
第三节 场效应晶体管放大器	265
第四节 功率放大器	267
1. 一般推挽电路	268
2. 单端推挽电路(SEPP 电路)	269
第五节 变频与检波	273
1. 变频器	273
2. 检波器	278
第六节 应用举例	282
 附录一 流图公式的证明	 291
附录二 简易晶体管 H 参数测试仪	295
附录三 单元流图表	插页

第一章 讯号流程图概述

我们在设计和分析电子电路过程中，常常会遇到电路计算的问题（例如计算放大倍数、输入阻抗、输出阻抗等）。通常，我们总是先画出它的等效电路；然后根据电路定律列出等效电路所满足的一组线性方程；最后利用代数的方法（或矩阵法）求得这个方程组的解。这一方法至今一直是分析电子电路的主要方法。然而，当电路比较复杂时，特别是在分析晶体管电路时，由于晶体管存在内部反馈，要列出方程组就不是一件容易的事，直接求解方程就更难免繁复的代数运算，既浪费时间，又易使结果出差错，这给学习和掌握电子技术带来了一定的困难。

但是，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。在阶级斗争、生产斗争和科学实验三大革命运动中，广大劳动群众积累了丰富的经验，总结并发现了分析电子电路的另一种简易的计算方法——讯号流程图法。讯号流程图是用来表示一组线性方程的图形，这种图形可直接从电路图作出，并能进行直观的计算，因此，这就既减少了画等效电路和列方程的麻烦，又简化了繁复的代数运算。

本章主要介绍一些讯号流程图的基本概念，出于从实用考虑，并未涉及它的理论基础——网络拓扑学。叙述的次序是：第一节先从最简单的例子出发，说明讯号流程图是线性方程的图形表示；第二节着重讨论如何从电路图直接作出相应的讯

号流图；第三节介绍讯号流图计算的几种方法；最后，第四节列举一些实际例子，以便进一步巩固学到的知识，为学习以后各章打下基础。

第一节 什么是讯号流图

图 1-1 所示的是一些典型的讯号流图。从形式上来看，它们都是由一些带有箭头的线和点按一定的规则所组成的图形。实质上，每一个图形都有一组线性方程与它相对应。那么，讯号流图和线性方程之间究竟有什么联系呢？我们先以大家比较熟悉的扩音机为例，介绍一个最简单的讯号流图。

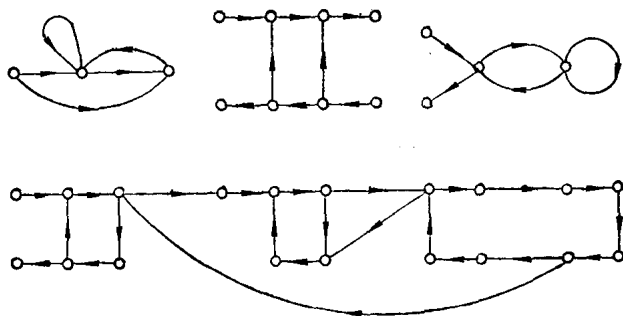


图 1-1

扩音机主要是用来放大音频讯号的，它的工作原理大致

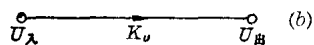
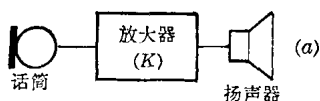


图 1-2

如图 1-2(a) 方框图所示。由方框图可清楚地看出，从话筒输入的微弱讯号，经放大器放大后就能推动扬声器发出宏亮的声音。

由此可见，方框图可以简单地用来表示扩音机的工作概况，但是它不能用来进行计算。

为了既定性又定量地表示扩音机的工作情况，我们不妨

用一个句点来表示话筒, 并将话筒的输入讯号电压 U_{λ} 标于该句点的下面。另外, 再用一个句点来表示扬声器, 同样用扬声器两端所得到的电压 $U_{\text{出}}$ 来标记该句点。假如该放大器的电压放大倍数为 K_U , 那么很明显, 扬声器两端的电压 $U_{\text{出}}$ 将比话筒输入的电压 U_{λ} 大 K_U 倍。也就是说 $U_{\text{出}}$ 与 U_{λ} 之间存在如下的关系:

$$U_{\text{出}} = K_U U_{\lambda} \quad (1-1)$$

我们把放大器的电压放大倍数 K_U 标在两句点的连线上, 再在此连线上标上讯号传输的方向, 于是就得到了如图 1-2(b) 所示的最简单的讯号流图。这个讯号流图不但形象地表示了图 1-2(a) 所示的工作原理, 而且还表示了线性方程(1-1)所示的数量关系。实际上, 这一讯号流图就是线性方程(1-1)的图形表示。

至此, 我们对讯号流图也许已有了点感性认识吧! 但感觉只解决现象问题, 理论才解决本质问题。让我们再进一步来认识讯号流图与线性方程的内在联系。

1. 几个常用的名词

为了叙述的方便, 先介绍几个常用的名词。

在讯号流图理论中, 我们把前面所述的句点称为节点, 而把电压 U_{λ} 和 $U_{\text{出}}$ 称为相应的节点讯号, 它对应于线性方程组中的某一变量。每一个节点都有一个节点讯号(某一变量)与之相对应。例如图 1-3 中的变量 x_0 、 x_1 、 x_2 都是节点。同时, 我们把上述

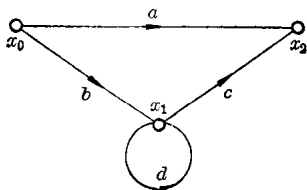


图 1-3

两点之间的连线称为支路，而把支路上的放大倍数 K_v 称为支路传输（或称支路增益），它对应于线性方程组中两变量之间的关系。每一条支路都有一个支路传输（某一变量的系数）与之相对应。如图 1-3 中的 a 、 b 、 c 和 d 都表示相应支路的传输。其中，支路 d 是从 x_1 出发又回到同一节点 x_1 的支路，我们称这样的支路为自回路。

再仔细看一下图 1-3 中的各个节点，将会发现它们之间还有一定的区别。节点 x_0 只有流出的讯号而没有流入的讯号，这样的节点我们称之为源点，它相当于线性方程组中的自变量。在电子电路中，它往往象征着讯号的发源地。例如图 1-2(b) 中的源点 U_λ 即象征着讯号源——话筒的输入电压。同样，我们把只有流入讯号而没有流出讯号的节点称为阱点，如图 1-3 中的 x_2 即是。

2. 讯号流图与线性方程

如前所述，图 1-2(b) 的讯号流图就是线性方程 (1-1) 的图形表示。如果用讯号流图的语言来表达的话，就是：从节点 U_λ 流出的讯号，顺着支路箭头的方向流经支路传输为 K_v 的支路后，输入节点 U_μ 。因为 $U_\mu = K_v U_\lambda$ ，所以节点 U_λ 的讯号流经支路 K_v 时应乘以该支路的传输。但是，如果讯号从节点 U_μ 流出，逆着支路箭头方向经支路 K_v 流入节点 U_λ 的话，那末就可能得出这样的方程： $U_\lambda = K_v U_\mu$ ，很显然，这一方程与方程 (1-1) 是互相矛盾的。因此，为了确保讯号流图与线性方程组之间具有一定的对应关系，我们对讯号的流动作了如下四点规定：

(1) 讯号必须顺支路箭头方向流动，见图 1-4；

- (2) 从节点 x 流出的各个讯号都是 x , 见图 1-4(a);
- (3) 讯号流经某一支路时, 必须乘以该支路的传输, 见图 1-4(b);
- (4) 一个节点的讯号是流入此节点的所有讯号的代数和, 而与从此节点流出的讯号无关, 见图 1-4(c)。

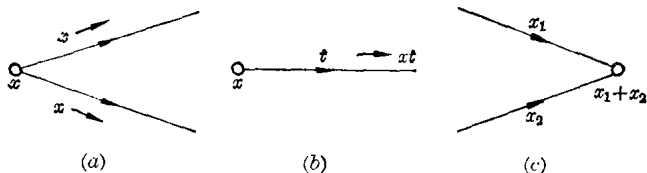


图 1-4

我们根据上述四条规定, 可以从任一讯号流图直接写出它所表示的一组线性方程。例如, 在图 1-5 所示的讯号流图中, 根据讯号流动的四点规定, 流入节点 x_2 的讯号共有三个: 第一个是从节点 x_1 流出, 经支路 b 后 (成为 bx_1) 流入节点 x_2 ; 第二个是从节点 x_3 流出, 经支路 $(-f)$ 后 (成为 $-fx_3$) 流入节点 x_2 ; 第三个是从节点 x_2 流出, 经自回路 d 后 (成为 dx_2) 又回到节点 x_2 。所以流入节点 x_2 的讯号应为这三者之和, 即:

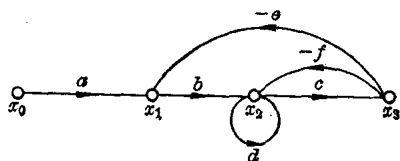


图 1-5

$$x_2 = bx_1 + (-f)x_3 + dx_2$$

同样, 流入节点 x_1 的讯号有二个: ax_0 和 $(-e)x_3$, 因此:

$$x_1 = ax_0 + (-e)x_3$$

流入节点 x_3 的讯号只有一个: cx_2 , 所以:

$$x_3 = cx_2$$

将上述三个方程联立后,得:

$$\begin{cases} x_2 = bx_1 - fx_3 + dx_2 \\ x_1 = ax_0 - ex_3 \\ x_3 = cx_2 \end{cases} \quad (1-2)$$

方程组(1-2)就是图 1-5 的讯号流图所表示的线性方程组。

由此可见,讯号流图与线性方程组之间有着密切的联系,讯号流图中的每一个节点都对应于线性方程组中的某一个变量,讯号流图中的每一条支路都表示方程组中某一项的系数。讯号流图中有多少节点,方程组中就有多少变量;讯号流图中有几个非源节点,方程组中就有几个方程。而每一个方程都可以很容易地直接从讯号流图中写出。

第二节 讯号流图的作法

通过前面的讨论,我们对讯号流图与线性方程组之间的关系有了一定的认识,但是认识还有待于深化。我们已经知道从讯号流图写出线性方程组的方法,那末反过来,如果知道了一组线性方程,或者直接从电路图上,如何作出相应的讯号流图呢?下面我们分三种情况进行讨论。

1. 从方程组作讯号流图

先看一个简单的方程组:

$$\begin{cases} x_1 = ax_0 + bx_2 \\ x_2 = cx_0 - dx_3 \\ x_3 = ex_2 - fx_1 \end{cases} \quad (1-3)$$

这组方程中共有四个变量: x_0 、 x_1 、 x_2 和 x_3 。在图 1-6(a) 中,我们分别用四个节点来表示。先考虑方程组(1-3)中的第

一个方程。根据讯号流动的规则，流出节点 x_0 的讯号为 x_0 ，当到达 x_1 时应为 ax_0 。同样，流出 x_2 的讯号为 x_2 ，到达节点 x_1 时应为 bx_2 。而节点 x_1 的讯号则为这两者之和，即 $x_1 = ax_0 + bx_2$ 。由此，可作出相应的两条支路，如图 1-6(b) 所示。根据同样的方法，可以分别作出第二个方程和第三个方程的相应支路，如图 1-6(c) 和 (d) 所示。由于上述方程必须同时成立，所以我们可以将图 1-6(b)、(c) 和 (d) 组合成 (e)，图 1-6(e) 就是方程组 (1-3) 所表示的讯号流图。

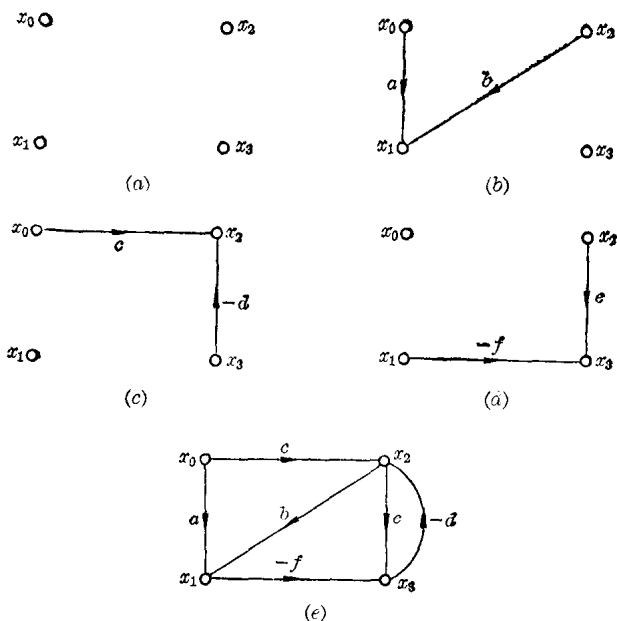


图 1-6

下面，我们再来分析一组较典型的线性方程：

$$\begin{cases} a_0x_0 + a_1x_1 + a_2x_2 = 0 \\ b_0x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 = 0 \end{cases} \quad (1-4)$$

这组方程共有三个变量： x_0 、 x_1 和 x_2 。在图 1-7(a) 中，我们分别用三个节点来表示。然后，在第一个方程的两边均加上 x_1 ，在第二个方程的两边均加上 x_2 ，这样就可以把方程组 (1-4) 变形为：

$$\begin{cases} x_1 = a_0 x_0 + (a_1 + 1)x_1 + a_2 x_2 \\ x_2 = b_0 x_0 + b_1 x_1 + (b_2 + 1)x_2 \end{cases} \quad (1-5)$$

很明显，方程组 (1-5) 与方程组 (1-4) 完全等效，而且它具有方程组 (1-3) 所示的形式。因此，我们可以用上述同样的方法来作讯号流图。

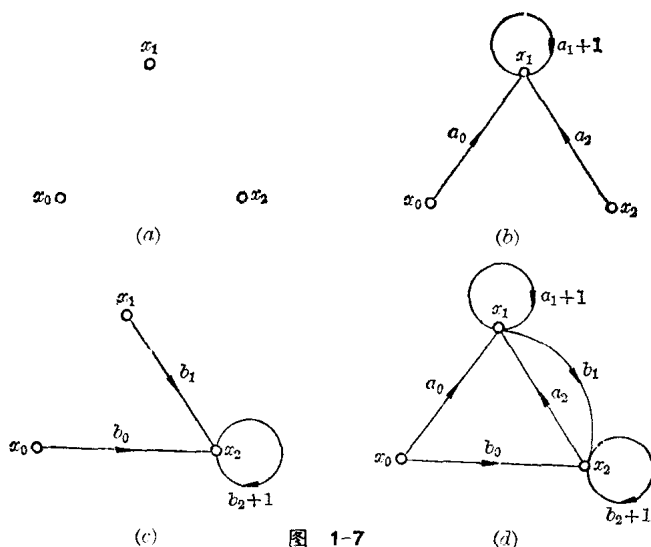


图 1-7

先看方程组 (1-5) 中的第一个方程，按讯号流动的规则，流出节点 x_0 的讯号为 x_0 ，到达节点 x_1 时为 $a_0 x_0$ ，同时，到达节点 x_1 的尚有讯号 $(a_1 + 1)x_1$ 和 $a_2 x_2$ ，因此， $x_1 = a_0 x_0 + (a_1 + 1)x_1 + a_2 x_2$ ，见图 1-7(b)。重复上述步骤，我们可以得到第二个方程的讯号流图，如图 1-7(c) 所示。因为变量必须同时满足这

两个方程, 所以将图 1-7(b) 和 (c) 组合成 (d), 图 1-7(d) 就是方程组 (1-5) 所表示的讯号流图。

综上所述, 我们可以得出由方程组作讯号流图的一般步骤:

- (1) 用代数的方法将方程组变形为方程组 (1-5) 的形式;
- (2) 根据讯号流动的规则, 依次作出各方程所满足的相应支路;
- (3) 将各支路组合后即可得出此方程组的讯号流图。

这里有二点必须注意:

- (1) 由于选择变量和变换方程有很大的灵活性, 所以同一组线性方程, 可以表示成形状不同的讯号流图。例如, 我们把方程组 (1-4) 通过移项等代数方法变换为:

$$\begin{cases} x_1 = -\frac{a_0}{a_1} x_0 - \frac{a_2}{a_1} x_2 \\ x_2 = -\frac{b_0}{b_2} x_0 - \frac{b_1}{b_2} x_1 \end{cases} \quad (1-6)$$

相应的讯号流图如图 1-8 所示。图 1-7(d) 和图 1-8 所示的讯号流图尽管在形式上是不同的, 但它们都表示同一组线性方程 (1-4), 也就是说, 它们的实质是一样的。

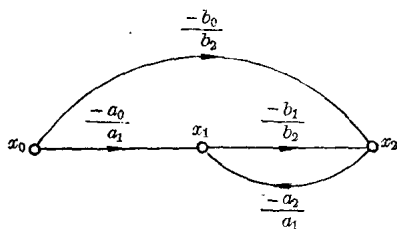


图 1-8

(2) 节点的排列次序也很灵活。在尽可能不使各条支路互相交叉的原则下, 为了使讯号在电路中的流动更形象化, 一般来讲, 最好使节点的排列顺序与实际电路类似, 这一点下面还将进一步说明。