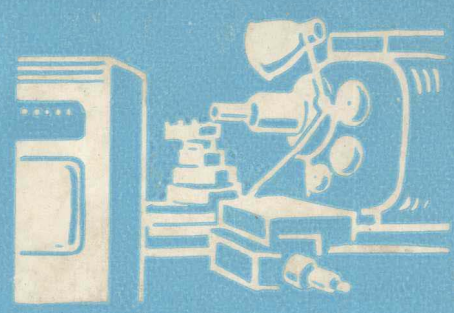


78.382
TTJ
1

78.382
TTJ
1

数控技术

(上册)



內 容 提 要

本书以通俗易懂的語言，由淺入深，比較詳細地介紹了数控技术的基本原理，并结合典型产品，进行了具体分析。

全书分上、下两册，共二十二章。上册重点是基础知识，下册重点是典型产品的分析。

本书可供从事数控技术应用的有关工人和技术人员参考。

数 控 技 术

铁道部田心机车车辆工厂^编
铁道部株洲电力机车研究所

铁道部田心机车车辆工厂印刷所印

印 数: 6200

毛主席语录

什么“三项指示为纲”，安定团结不是不要阶级斗争，阶级斗争是纲，其余都是目。

社会主义革命革到自己头上了，合作化时党内就有人反对，批资产阶级法权他们有反感。搞社会主义革命，不知道资产阶级在哪里，就在共产党内，党内走资本主义道路的当权派。走资派还在走。

我们能够学会我们原来不懂的东西。我们不但善于破坏一个旧世界，我们还将善于建设一个新世界。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

前 言

数控技术是一门新技术。铁路工业担负着机车车辆的制造和修理，机械加工离不开也少不了，数控技术就必然有其宽广的应用场所。为了普及和推广这门新技术，铁道部机车车辆工业电技术情报网最近举办电子数控技术普及学习班，为适应这一需要，我们编写了这本“数控技术”。

本书主要是以上海市业余工业大学数控短训班教材《数控基础》《数控车床》为兰本，略加增删、改动而成。

由于我们政治思想水平和业务水平都不高，书中必然会存在不少问题，敬请读者批评指正。

· 編 者

一九七六年五月

目 录

(上册)

数控机床概述	1
数控基础	7
第一章 电路基础知识	7
第一节 直流电路的复习	7
第二节 电容及其充放电过程	11
第三节 R C 电路的应用	13
第二章 晶体二极管和晶体三极管	17
第一节 半导体的导电特性	17
第二节 p—n 结的特性——扩散运动与漂移运动	18
第三节 半导体二极管的特性和参数	21
第四节 二极管的应用举例	23
第五节 晶体三极管	25
第六节 晶体管的命名法	32
第三章 脉冲作用下的晶体管开关特性	34
第一节 二极管的开关特性	35
第二节 三极管的开关特性	36
第三节 加速电容在电路中的作用	38
第四章 运算基础	40
第一节 数的表示方法	40
第二节 十进制与二进制的换算	41
第三节 二进制算术	44
第四节 二——十进制	50
第五节 逻辑代数基础	53

第六节 逻辑代数应用举例.....	65
第五章 数控装置的基本电路.....	73
第一节 晶体管双稳态触发器.....	73
第二节 单稳态触发器——脉冲信号整形和延时.....	90
第三节 脉冲发生器——脉冲信号的产生.....	96
第六章 集成电路逻辑门和触发器.....	102
第一节 集成电路逻辑门.....	102
第二节 集成电路触发器.....	114
第三节 用集成电路构成的脉冲电路.....	125
第七章 金属——氧化物——半导体场效应管集成电路.....	132
第一节 绝缘栅场效应管的工作原理.....	132
第二节 MOS集成电路的基本逻辑电路.....	142
第三节 MOS集成电路的逻辑部件.....	149
第八章 集成电路逻辑部件.....	155
第一节 寄存器.....	155
第二节 计数器.....	157
第三节 译码器.....	172
第四节 分配器.....	185
第九章 步进电机.....	192
第一节 步进电机的基本工作原理.....	192
第二节 步进电机的运行特性.....	195
第三节 步进电机的控制方式.....	202
第四节 步进电机的分配器.....	207
第五节 步进电机的功率放大电路.....	218
第六节 电液脉冲马达.....	222
第十章 位置检测装置.....	225
第一节 简易光电式位置检测装置.....	225
第二节 “光栅”位置检测装置.....	226
第三节 感应同步器(或旋转变压器)位置检测装置.....	228
第四节 “激光”位置检测装置.....	242

数控机床概述

伟大领袖毛主席教导我们：“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，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。”数字程序控制机床（简称数控机床）的出现，正是人们在生产斗争和科学实验方面不断发展的结果。

我们知道，对于大批量生产，使用自动和半自动机床已能实现生产过程的自动化。但是，对于占整个机械加工总量70—80%的单件、小批量生产，要实现自动化一直是个难题。在相当长的一段时间内，这个问题是靠仿形机床来解决的。实践证明，仿形机床并不能彻底解决问题。数控机床的出现，为从根本上解决这一难题，开辟了广阔的道路。

数控机床的主要优点是：提高了生产效率和加工精度。对于形状比较复杂的单件、小批量生产，效率一般可提高2.5—3倍，多的可达十几倍到几十倍。此外采用数控机床后还节省了大量工、夹具和模具，缩短了生产准备周期，减少了加工费用，降低了对工人技术水平的要求。因此它已成为机床自动化的一个重要发展方向，国内外都在大力发展。

当前数控机床已被广泛应用到各个部门，各个行业。品种遍及车、铣、钻、镗、磨等各类大、中、小机床。除机床外，数控技术还推广应用到绕线机、焊接机、切割机、弯管机、绘图机、检查和测量机等，实际上数控机床的含义已是数控机械了！

什么是数控

数控机床是程序控制机床的一种，所谓数控就是根据零件的图纸，把机床要做的各种运动编成数字代码，并用特殊的方法（如穿孔、录磁等）记录在便于更换的传递介质上，即制成穿孔带、穿孔卡、磁带。然后送给一个电子控制装置——数控装置——去进行运算和处理，由它发出命令，控制执行机构去完成所需的各种运动，直到零件被自动加工出来。当然，也可根据实际情况，只将机床的某些运动实行数控，即所谓灵活运用数控技术。

从以后的介绍中可看出具有运算功能的数控装置实质上就是一种专用的电子数字计算机，其简单和复杂的程度视被控机床的种类、机能的多少而异。我们知道目前计算机的语言和人的语言是不能直接沟通的，因此需借助传递介质，把人和机器联系起来。在

数控机床中，传递介质看起来起着控制机床如何运动的作用，所以又称为控制介质。

图1表示了数控机床的四个基本组成部分：即传递介质、数控装置、伺服机构和机床。为了进一步提高机床的加工精度，就需要再加上一个测量装置（如图1中虚线表示部分）来测量机床的实际位移量。使机床的实际位移量同给定的位移量完全相符合，消除机床传动链中的误差对加工精度的影响。

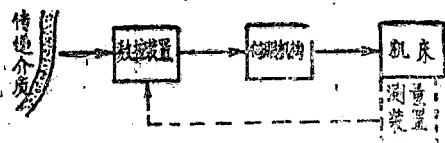


图 1

对于一台普通的数控机床而言，从零件图到加工出零件一般说来有以下几个步骤，参见图2。

1、根据零件图纸用规定的代码把由人所记忆和掌握的许多工艺要求，如工件的形状尺寸，加工顺序，切削用量，工作台移动距离等等编写成加工程序单；

2、将编好的程序记录在传递介质上，最常用的是穿孔带；

3、传递介质上的数据经输入装置（如光电输入机）送进数控装置；

4、数控装置对数据进行运算和处理后，输出指令控制信号，控制伺服机构（或称执行机构）；

5、由伺服机构（如图中的步进电机，它是每通一次电只转一个固定角度，一步一步地运转的电机）驱动机床的工作台（或刀架），使刀具对于工件作符合图纸要求的相对运动，从而加工出所需的零件。

当加工零件改变时，只需重新编制程序单，更换传递介质就可以了，无需对机床作任何改变和调整。正因为如此，数控机床能成功地解决外形复杂工件的中小批和单件生产的自动化问题，从而节省了人力，提高了加工精度，降低了加工费用，减少了工夹模具，缩短了新产品的试制周期。

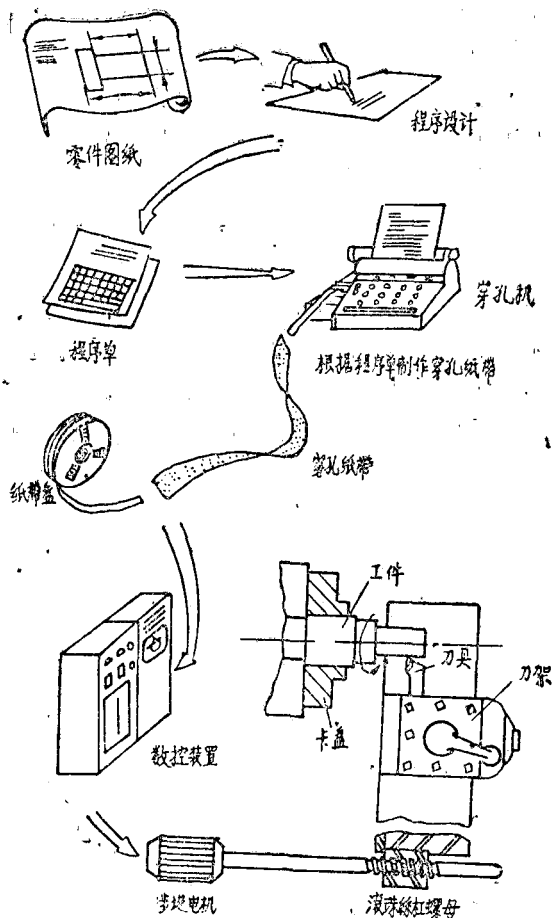


图 2

此，数控机床能成功地解决外形复杂工件的中小批和单件生产的自动化问题，从而节省了人力，提高了加工精度，降低了加工费用，减少了工夹模具，缩短了新产品的试制周期。

数控机床的分类

数控机床经过二十多年的迅速发展,品种日益增多,目前世界上已有八百多种型号,其分类方法一般有以下几种:

一、按刀具相对于工件的移动轨迹来分

1、点位控制

点位控制,又可称为定位控制,这类控制系统只是控制刀具的最终位置。刀具移动过程中并不接触工件,即不进行任何切削加工,因而对刀具的运动轨迹没有特殊要求,关键是能否迅速、准确地逐点定位。采用这类控制的机床有钻床、镗床、冲床等。图3为钻床的点位控制,箭头指示了刀具的三种路径。点位控制的数控装置,一般比较简单。

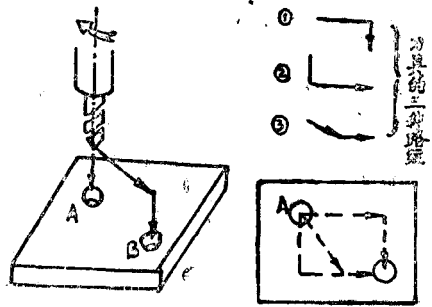


图 3

2、直线切削控制

这类控制系统控制刀具在移动过程中进行直线加工,所以它不仅
要控制行程的终点位置,还要保证被控制两点间的轨迹是一条直线。
采用这类控制的机床有加工中心机床、车床、铣床和磨床等。图4
是车床直线控制示意图。和点位控制相比,直线切削控制的数控装置
较为复杂。

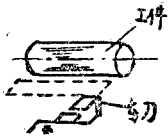


图 4

3、连续切削控制

这种控制又称轮廓控制或曲线控制,无论什么样的轨迹都能自由地进行控制。象图5所示那样,刀具在工件周围移动,沿预先规定好的路径进行连续的铣削。这时必须连续地、精确地控制刀具对工件的位置及移动速度(进给速度),因此数控装置的机能要比前两者复杂得多。

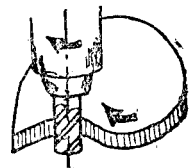


图 5

二、按控制方式分类

1、开环控制系统:数控装置根据穿孔带上的数据和指令,经过运算,发出脉冲信号,送到步进电机,使其转一定角度,带动丝杆、螺母,使工作台移动一定距离。(图6)。显然,这种系统的加工精度由执行元件的精度和机床传动机构的精度来保证。它的优点是:系统简单、工作稳定、调试维修方便、成本低;其缺点是:加工精度的进一步提高受到限制。

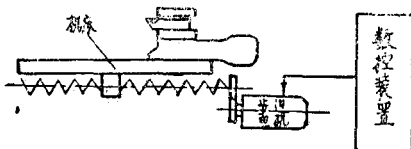


图 6

2、闭环控制系统:数控装置不仅根据穿孔

带的指令值发出驱动机床伺服机构的信号，而且通过检测装置测出工作台的实际移动量，同时变为电信号反馈送回数控装置与指令值进行比较。用差值进行控制，直到差值等于0为止（图7）。这种控制系统的优点是：定位精度高；其缺点是系统复杂，调试和维修较困难，成本亦高。

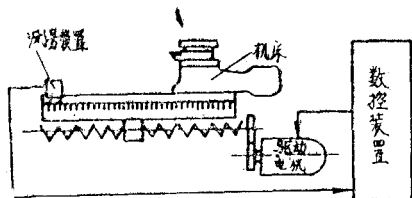


图 7

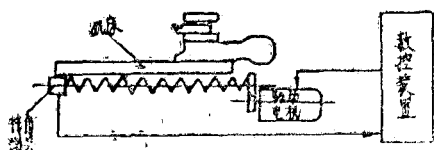


图 8

3、半闭环控制系统：这类系统所采用的检测装置不是直接测量工作台的实际位移量，而是间接利用齿轮或丝杠的旋转角进行测量，然后推算出线性位移量，再将此值与指令值进行比较，用其差值进行控制（图8）。显然，这类系统亦是有差控制系统。

三、按数控装置有无运算功能分

1、内插补控制系统

这种控制系统中，数控装置具有运算功能，即数控装置本身是一个插补器（什么是插补，以后还要详细介绍）。其优点是便于零件的更换和程序的修改，灵活性大；缺点是可靠性差，成本高。

2、外插补控制系统

数控装置不具有运算功能，必须外加一个插补器，对穿孔带的代码进行插补运算，并且将其驱动伺服机构的电信号，以磁性记录形式记录在磁带上（一般这个工作是在计算中心进行）。然后将录制好的磁带送至与机床相联的控制装置，该控制装置只是将磁带上的信号重放出来去驱动伺服机构，这样就可以使与机床相联的控制装置做得很简单，降低了控制装置的成本，提高了工作可靠性。其缺点是零件更换和程序修改依赖于计算中心，灵活性较差（见图9）。

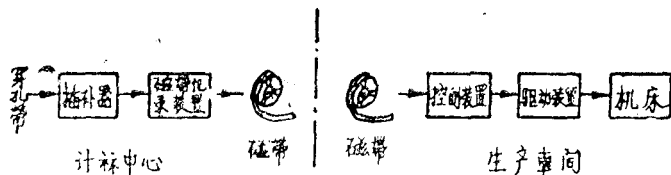


图 9

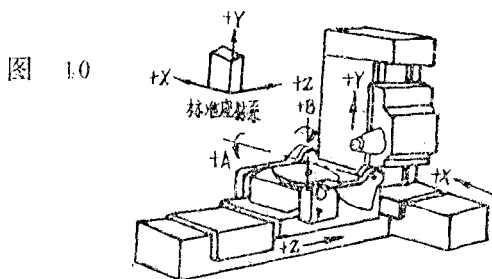


图 10

此外，数控机床以控制轴数来分，又有控制一轴、二轴、三轴以及多轴的。例如图10所示的机构，除正交的X、Y、Z轴外，还有A轴和B轴，共有五根控制轴。这类机床，若在A、B轴转动的情况下，即便是直线切削，也可加工出圆弧状工件。当然控制轴数多，数控装置也就复杂

些,控制轴数少,往往机能不够完全。如钻、镗床采用X、Y两轴控制时,只能在X—Y平面上确定加工孔位,然后用手动钻孔,用开关或挡块控制钻孔深度。如采用三轴控制,则钻孔过程及深度均可进行控制。

数控技术的发展和在铁路工厂的应用

二十年来,数字计算技术得到了飞跃的发展,控制元件已从机械继电器开始,经过电子管、晶体管,进入了集成电路和大规模集成电路的时期。特别是集成电路和大规模集成电路的试制成功,以及金属氧化物逻辑元件在数控中的应用,更有力地推动了数控技术的向前发展。

数控机床六十年代进入了大发展时期。数控机床的发展大约经历了三个阶段,即研究试制阶段(1948——1956);工业应用阶段(1956——1959);高速发展阶段(1960年以后)。

我国对数控机床的研究试制工作,是从1958年开始的。在大跃进的鼓舞下,当年就制造出样机,1965年各种电子管数控样机的试制工作基本结束。无产阶级文化大革命以来,我国数控机床的研制工作得到了较快的发展,1966年完成了晶体管数控样机的试制,在这以后,出现了一批能用于生产的晶体管数控机床。经过无产阶级文化大革命战斗洗礼的我国广大职工,意气风发,斗志昂扬,又于1972年首次研制成功了集成电路的数控系统,使得我国数控机床的发展跃进到一个新阶段。目前,大部份数控机床已经跨过研制阶段,进入小批生产和工业运用。有些品种正进一步填平补缺。随着主机的品种、质量和数量要求的不断提高,也带动了一批电子器件、配套件和外围设备的相应发展。

铁路是个大工业,铁路工厂担负着机车车辆的制造和修理,机械加工离不开也少不了,数控技术也就必然有其宽广的应用场所。

我国铁路机车车辆工厂应用数控技术是从1972年开始的,但发展较快。近两年来,搞数控的单位已由三个发展到十二个,数控机床从五台增加到三十三台,已有十四台投入生产使用。有的解决了生产的关键,效果显著。如大连工厂的25米数控组合机床为我国大批量、自动化生产大功率内燃机车柴油机机体提供了有利条件。过去加工要用六台机床,工时达五十多个小时,现只需要三个半小时就全加工完毕。从根本上改变了过去靠手工操作的落后面貌。田心机厂和株洲研究所制成的数控气割机切割零件平整光滑,提高了精度,一米长的工件误差还不超过一毫米,与较先进的光电跟踪切割机相比,提高功效一倍多,节省钢材12—15%,如按每年气割二百五十吨钢材计算,全年就可节省钢材三十五吨多。大连工厂的电火花数控线切割机为工厂加工模具、样板,突破了关键。

我国发展数控走的是“独立自主,自力更生”的道路,广泛采用“三结合”、“大会战”的方式,紧密地同群众运动的技术革新和技术革命相结合。因此在努力发展性能完善的“全机能”数控机床的同时,还创见性地发展和推广了“简易数控”。简易数控

的特点是：简单、适用、价廉、易上、收效大。特别适用于老设备的改造和更新。这对挖掘设备潜力，改变企业面貌，实现增产不增人，增产又减人是一有力措施。国外在数控机床历经二十年发展以后，今天才对简易数控以极大的关注。

总之，数控机床作为一种先进的生产设备，已日益为国内外所重视，近年来产量迅速增加，水平不断提高，日趋完善。当前国内外发展方向是：一方面向简单、价廉方向发展，国外称此为“廉价数控装置”，我们称为简易数控装置；另一方面是向复杂、自动化程度更高的方向发展。当前有以下几种：

加工中心机床——它是一种具有自动换刀的多工序数控机床。一台这样的机床，可以代替车、铣、钻等几台单一机能的机床使用。平均切削效率比通用机床高4倍左右。

适应数字控制机床——这是一种能按照加工过程中所产生的变化（如刀具磨损，切削温度的上升或下降，工件材质的改变等），控制系统能自动地调整成为最佳切削条件的数控机床。它能保证得到比一般数控机床更高的加工效率、加工精度和光洁度。一般可提高生产效率50—100%，刀具寿命提高25—30%，加工费用减少20—30%。

机床的计算机控制——用一台通用电子计算机去控制几台、几十台甚至上百台数控机床，即所谓“群控”。群控的经济效果十分明显，例如有一套群控系统由4台钻床，一台高速磨床和二台铣床共七台机床组成，用于加工套类零件，可以代替36台机床，提高效率3倍，操作费用减少20%，生产面积减少50%，人员减少70%，所有设备投资在投产三年半后即可收回。

这些新的发展，为实现机械加工车间全盘自动化和计算机参与生产管理，提供了广阔的前景。

虽然数控机床可以代替人做一些复杂、繁琐而重复性的工作，然而“武器是战争的重要因素，但不是决定的因素，决定的因素是人不是物。”因此，不能认为有了数控机床，就不需要人参与工作了。数控机床是人造出来的，它只能按照预先规定的规律而动作，不可能完成没有设计在机器里的正常的有意义的动作。所以，数控机床必须由人来设计、制造，而且要人维护，一旦发生故障，还需由人来处理。

数 控 基 础

第一章 电路基础知识

我们知道在数字控制中广泛应用了脉冲技术，所遇到的电路不外是脉冲的产生、变换、传送或控制、计算、功率驱动和数码显示等。这些电路内部的基本矛盾是晶体管的导通与截止，电容的充电与放电。为了了解晶体管的开关特性和电容的充放电规律我们先复习一下直流电路。

第一节 直流电路的复习

简单的直流电路指的是只包含一个电流回路的电路（如图1.1.1），其中E代表电源电压，它的极性由图中正负号标出。电流I的箭头表示我们假定的电流方向。如果I值为正，说明假定的方向和电流实际方向一致；如果I值为负，则说明所假定的方向和实际方向相反。电流I流过电阻 R_2 产生的电压降落用 V_{ab} 表示。

例1. 在图1.1.1中给定 $E = 15V$ ， $R_1 = 20K$ ， $R_2 = 10K$ ，求 R_2 两端的电压降 V_{ab} 。

解：由欧姆定律得：

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{15}{20 + 10} = \frac{15}{30} = 0.5 \text{ (mA)},$$

$$V_{ab} = I R_2 = 0.5 \times 10 = 5 \text{ (V)}。$$

从上面的例题可以引出如下结论：

由 R_1 和 R_2 串联组成的电路具有电阻分压关系。图1.1.1电路中的 V_{ab} 是电源电压的一部分，它的大小取决于 R_2 同电路中总电阻的比值。把上面例题中两个公式合并得到

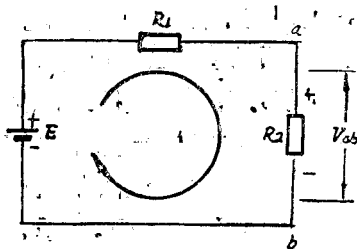


图1.1.1 简单直流电路

$$V_{ab} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E \quad (1 \cdot 1 \cdot 1)$$

式中 $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 叫做分压比，而这种电路也叫电阻分压器，因此今后遇到这类电路求

分压时，利用分压比可直接写出结果，而不必重复上述步骤。

在晶体管电路中，常把信号输入和信号输出的公共端联接在一起，该点通常称之为“地”。我们把各点对地的电压称作该点的电位，而接地这一点的电位一般总当作零。

在晶体管电路中，电源不再用电池符号表示，而改用标出电位的极性及数值。图1·

1·2是将电工电路图1·1·1画成晶体管电路时的习惯表示法。在图1·1·1中， R_2 跟电源负极相连的一端是接地的， R_1 的一端跟电源的正极相连，电源的正极比负极高15V，但负极接地，电位为0，故正极的电位为+15V，在图1·1·2中，就用它来表示电源。还可标出a点的电位，因为上面已经算得 R_2 两端的电压降 V_{ab} 为5V，但b点接地，故a点的

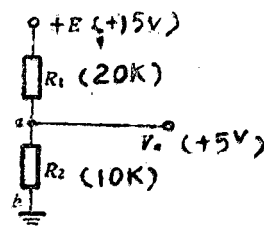


图1.1.2 晶体管电路习惯表示法

的电位为+5V。电路中任意两点电位之差等于这两点间的电压。例如电阻 R_1 一端C的电位 U_C 为+15V，另一端a的电位 U_a 为+5V，故 R_1 两端的电压 $V_{ca} = U_C - U_a = (+15V) - (+5V) = 10V$ ，这 V_{ca} 是C相对于a的电压；显然 $V_{ac} = U_a - U_C = 5 - 15 = -10(V)$ 则是a相对于C的电压。

现在考虑简单直流电路中存在着两个电源的情况。如果两个电源的极性相反连接在一起，则电流的方向由电压较高的电源来决定。如果计算时，所假定的电流方向不符合实际情况，则会出现负号。

例2.在图1·1·3中，给定 $E_1 = 12V$ ， $E_2 = 18V$ ， $R_1 = 20K$ ， $R_2 = 10K$ ，求 V_{ab} 。

解：设电流方向如图虚线所示，根据回路电压定律可得

$$E_1 - E_2 = I(R_1 + R_2),$$

所以
$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} = \frac{12 - 18}{20 + 10} = -0.2 (mA)。$$

这说明实际电流方向与所标方向相反，应是如图1·1·3中实线所指的方向。

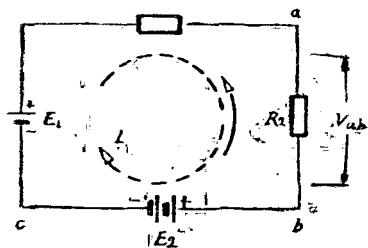


图1.1.3 具有两个电源的简单电路

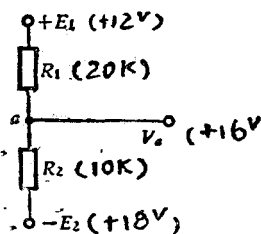


图1.1.4 图1.1.3的晶体管电路表示法

于是 $V_{ab} = I R_2 = -0.2 \times 10 = -2 \text{ (V)}$ 。

图1.1.4是图1.1.3画成晶体管电路时的表示法，在图1.1.3中选取C点接地， R_2 的一端与 E_2 的正极相连，但 E_2 正极的电位是+18V，在图1.1.4中就用+18V表示 E_2 ，另外 R_1 的一端接 E_1 的正极，而 E_1 正极的电位是+12V，就用+12V代替 E_1 。还可标出a点的电位 U_a ，

因为 $V_{ab} = U_a - U_b$

但 $V_{ab} = -2 \text{ V}$ ， $U_b = +18 \text{ V}$

故 $U_a = V_{ab} + U_b = (-2 \text{ V}) + (+18 \text{ V}) = +16 \text{ V}$ 。

从图1.1.4可以清楚地看到a点电位比b点低2V。

这里应强调指出，分压值仅在空载时正确，如有电流输出时电压将会降低，此时应用等效电源法求介。

2. 复杂电路的介法

(1) 等效电源法的应用

图1.1.5(1)是一较复杂的直流电路：已知 $E_1 = 10 \text{ V}$ ， $E_2 = 2 \text{ V}$ ， $R = 1 \text{ K}$ ， $R_1 = 1 \text{ K}$ ， $R_2 = 20 \text{ K}$ ，求 V_{ab} 。

我们看到如果没有电阻R，那么我们可用上面讲的求分压值的方法，直接求出 V'_{ab} ，

$$V'_{ab} = (E_1 + E_2) \frac{R_2}{R_1 + R_2} - E_2 = 9.43 \text{ (V)}$$

，现接上R后就不能这样算了，

因为这里已不再是简单回路，但是可以把这个复杂电路转化为简单电路，然后求介，这就要用到等效电源法。说明如下：

从a、b两点向左看的复杂电路可以简化为一个等效电源 E_0 和一个等效内阻 R_0 相串联。其中 E_0 是当a、b两点断开时的开路电压， R_0 是a、b两点断开将所有电源短路时a、b两端总电阻。这样复杂电路就可简化为简单电路，如图1.1.5(2)所示。

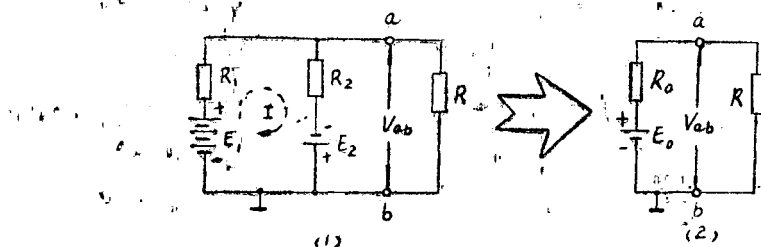


图1·1·5 等效电源法简化复杂电路

现在关键问题是求 E_0 和 R_0 。

为了求 E_0 ，我们假定 a 、 b 两点断开后，左边回路的电流方向如图中虚线所示，电流的大小等于

$$I = \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 + 2}{1 + 20} = 0.57 \text{ (mA)}$$

所以 a 、 b 两点的开路电压是

$$E_0 = E_1 - I R_1 = 10 - 0.57 \times 1 = 9.43 \text{ (V)}$$

至于 R_0 ，实际上就是 R_1 和 R_2 的并联值，即

$$R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1 \times 20}{1 + 20} = 0.95 \text{ K}$$

最后根据图 1·1·5 (2) 的电阻 R_0 、 R 的分压比，得到所需要的 V_{ab} 值

$$V_{ab} = \frac{R}{R_0 + R} E_0 = \frac{1}{0.95 + 1} \times 9.43 = 4.8 \text{ (V)}$$

显然，我们开始求得的 V'_{ab} 实际上就等于 E_0 ，而 $V'_{ab} \neq V_{ab}$

(2) 复杂电路的估算

在保证一定的精度情况下，复杂电路的估算往往可以使问题大大简化。要进行估算，首先必须找出对电路起决定作用的主要支路，然后忽略影响较小的次要支路，这就要求“对于具体情况作具体的分析”。下面仍以上题为例试用估算法来解。我们知道在一个单支路中电流大小和电压成正比，和电阻成反比，从给定的情况看（图 1·1·5 的电路）， E_1 比 E_2 大，而 R_1 又比 R_2 小，因此在 R 上产生电压降落的主要电流是流过 R_1 的电流，而流过 R_2 的电流则是次要的。就是说可以忽略它，这样

$$V_{ab} = I R \approx E_1 \frac{R}{R_1 + R} = 10 \times \frac{1}{1 + 1} = 5 \text{ V}$$

两种方法计算的结果，一个是 4.8 V，一个是 5 V，可见相差不多。

比较上面两种方法可以看到，估算法在具体情况下非常简便，但是等效电源法的应用却有普遍意义。

图1·1·5(1)的晶体管电路习惯表示法如图1·1·6所示，电阻R的一端b接地， R_2 的一端接 E_2 的负极，但 E_2 的正极接地，故用 $-E_2$ 表示电源， R_1 的一端接 E_1 的正极，而 E_1 的负极接地，故用 $+E_1$ 表示电源。

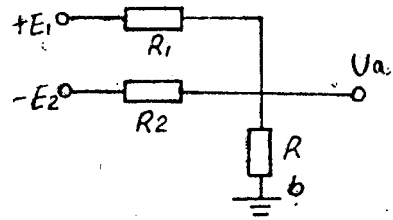


图1·1·6 图1·1·5(1)的晶体管电路表示法。

第二节 电容及其充放电过程

1. 电容

电容器是由两个金属极板中间隔着不同的介质（云母、绝缘纸或电解质等）所组成。它是存放电荷的容器，简称电容，用符号 $\text{---} \parallel \text{---}$ 表示。电解电容器具有极性，有时用符号 $\text{---} \parallel \text{---}$ 表示。

用C表示电容器的容量，Q表示电容器所带的电荷量， V_c 表示电容器的端电压，三者有以下关系

$$C = \frac{Q}{V_c} \quad (1 \cdot 2 \cdot 1)$$

如果取 $Q = 1$ 库， $V_c = 1$ 伏，则 $C = 1$ 法。这就意味着1法电容的端电压上升1伏，需要充1库的电荷量。实际的电容器的电容量往往比1法小得多，因此采用微法(μF)和微微法(pF)作为电容量的度量单位，有时简写为 μ 和 p 。它们之间的关系为： $1 F = 10^6 \mu F = 10^{12} pF$ 。

2. 电容的充放电过程。

如上所述，当电容器的极板带有一定量电荷时，电容两端就出现相应的端电压，反之若电容上没有电荷，则电容的端电压为零。所以电容两端要建立一定的电压，关键在于向电容器的极板输送相应的电荷。因此我们可以这样说，充电就是电容上的电荷积累（相应于电压的建立）的过程，放电则是电容上的电荷泄放（相应于电压的衰减）的过程。