



电 工 学 教 程

第 四 分 册

中国人民解放军空军司令部

一九七五年七月 北 京

2117
374

电 工 学 教 程

第 四 分 册

中 国 人 民 解 放 军 空 军 司 令 部

一 九 七 五 年 七 月 北 京



电 工 学 教 程

(第四分册)

中国人民解放军空军司令部编

中国人民解放军空军司令部出版发行

中国人民解放军第一二〇一工厂印刷

开本 787×1092 毫米 $\frac{1}{16}$ • 印张 20 $\frac{1}{4}$ • 字数 428 千字

1975 年 7 月第一版(北京)

1977 年 7 月第一次印刷

总出版号 1974(4)

第 七 篇

电 子 技 术 基 础

电子技术是一门研究电子器件的原理和应用的技术。电子器件是电子管(真空管)、离子管(充气管)和半导体器件的总称。这些器件的工作原理,是以载流子在真空、稀薄气体和固态半导体中的运动为基础的。

事物总是不断发展的,电子器件的应用也是这样。最初它主要用在无线电方面。后来,随着生产和科学技术的发展,特别是自动控制技术的发展,电子器件的应用范围就越来越广泛了。目前,它已经成为各种自动装置中最主要的器件之一。其所以如此,原因在于电子器件具有很突出的优点:

第一,惯性小,反应迅速(仅需 $10^{-8} \sim 10^{-9}$ 秒)。这对于要求反应迅速的装置,如跟踪系统、电子计算机等,有着特殊重要的意义。

第二,灵敏度高。例如,在测量技术中,采用了含有电子器件的电子电路之后,就可以测量小到 10^{-17} 安的电流、 10^{-10} 伏的电压、 10^{-17} 瓦的功率。

第三,准确度高。例如,用在温度自动调节装置中,可以使温度的变化不超过规定值的千分之一。

第四,没有机械部分,便于维护。

第五,轻巧。特别是晶体管,由于它耗电少,可以使电源供给部分的体积和重量都大大减小。这对于飞机上各种设备和携带式设备极为有利。

第六,便于远距离控制。

电子技术涉及的内容范围很广。本篇的主要目的,在于介绍自动装置中用得到的各种电子器件和电子电路(包括整流电路、放大电路等)。它们大多工作在低频范围,且频谱很窄。因此,本篇只限于讨论工作在低频范围的电子器件和电子电路。

第四分册目录

第七篇 电子技术基础

第四十三章 电子管原理	·····	322
第一节 一般电子管原理	·····	822
第二节 离子管原理	·····	834
第三节 光电管原理	·····	844
第四十四章 电子管低频放大器原理	·····	848
第一节 电子管放大器的基本知识	·····	848
第二节 低频电压放大器和低频功率放大器	·····	853
第三节 低频放大器中的回授	·····	830
第四节 缓变信号放大器	·····	886
第五节 振荡、调制和检波的一般知识	·····	870
第四十五章 半导体器件原理	·····	876
第一节 半导体器件的基础知识	·····	876
第二节 半导体二极管和稳压管	·····	883
第三节 晶体管	·····	894
第四节 场效应管	·····	915
第五节 热敏电阻、光敏电阻和光电池	·····	922
第四十六章 晶体管低频放大电路	·····	927
第一节 晶体管放大器的基础知识	·····	927
第二节 晶体管的等效电路	·····	942
第三节 晶体管多级放大器	·····	952
第四节 晶体管放大器中的负回授	·····	962
第五节 晶体管低频功率放大器	·····	983
第六节 晶体管直流放大器	·····	993
第七节 调制式直流放大器原理	·····	1009
第八节 场效应管放大器	·····	1019
第四十七章 可控硅	·····	1025
第一节 可控硅的基础知识	·····	1025

第二节	可控硅的串并联及其保护电路	1034
第三节	可控硅应用的几种基本类型	1039
第四节	可控硅的触发电路	1046
第五节	可控硅的应用举例	1062
第八篇 低压电器和低压配电		
第四十八章	开关电器原理	1071
第一节	开关电器中的电触头	1071
第二节	按钮、闸刀开关和转换开关	1077
第三节	继电器	1079
第四十九章	磁放大器	1089
第一节	磁放大器的基本知识	1089
第二节	磁放大器中的回授	1094
第三节	推挽磁放大器	1099
第五十章	低压配电和安全用电常识	1103
第一节	低压配电的基本知识	1103
第二节	安全用电常识	1110
附 录		
附录一	常用字母	1115
附录二	常用数学符号	1116
附录三	常用电工学物理量符号及其单位	1117
附录四	常用元件的文字符号	1119
附录五	电子管的命名及收讯-放大管的使用说明	1119
附录六	国产晶体管命名法(国家标准 GB249-64)	1130
附录七	电阻器和电容器的型号、规格及标称值系列	1132

第四十三章 电子管原理

第一节 一般电子管原理

一般电子管是应用最广的一类电子管，可以用来整流、放大、振荡、调制、检波等。它的工作原理，是以热电放射和利用电场控制电子在真空中的运动为基础的。

一般电子管都具有玻璃或金属管壳(也有用陶瓷的)，管壳内部保持高度真空，并装有两个、三个或多个电极，因而有二极管、三极管和多极管之分。

一、二极管

(一) 二极管的基本结构

二极管是最简单的一种电子管。它由一个放射电子的阴极和一个收集电子的阳极所组成，其结构如图 43-1 所示。

阳极在工作过程中，要受到电子的撞击和阴极热辐射的作用，它的温度比较高，故采用熔点较高的导电材料，以及便于散热的结构。一般功率不大的电子管，其阳极常用镍制成，且涂成黑色或附有散热片。

阴极按所用材料，一般分钨丝阴极、钨钍阴极和氧化物阴极三种。阴极的加热方式，有直热式和间热式两种。直热式阴极本身既是电子的放射体，又是加热的灯丝，常用的有图 43-2(a) 所示的几种形状。直热式阴极的加热时间比较短，省电，但不抗震，而且用交流电源加热时，阴极上各点电位不是恒定的。间热式阴极只担任放射电子的任务，阴极的加热靠专门的灯丝，阴极和灯丝之间有耐高温的材料(如氧化铝)加以绝缘，常用的有图 43-2(b) 所示的几种。间热式阴极比较能抗震，且无论用交流或直流电源加热，阴极各点的电位

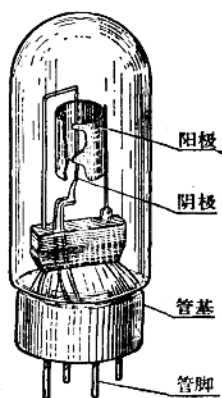
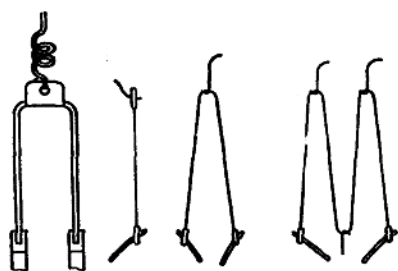
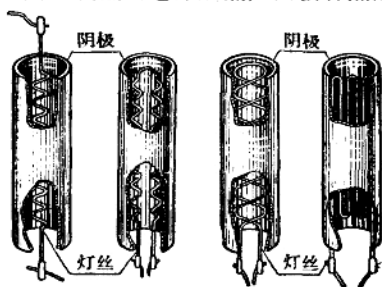


图 43-1 二极管的结构



(a) 直热式



(b) 间热式

图 43-2 阴极的结构形式

都是相同的；但其加热时间较长，消耗电能较多。直热式和间热式二极管的符号，如图 43-3 所示。

(二) 二极管的工作原理和基本特性

图 43-4 为二极管的基本电路，阳压 U_a 和阳流 I_a 的正方向，如图中的箭头所示。当灯丝接通电源使阴极加热到一定温度后，阴极便开始大量地放射电子。阳压为正时，阳极会吸收电子，形成阳流，电流的方向同电子流的方向相反，它是从阳极电源的正极出发，经二极管的阳极到阴极，而回到阳极电源的负极，如图 43-4(a) 所示。

阳压为负时，阳极排斥电子，阳极电路中就不会有电流通过，如图 43-4(b) 所示。这说明二

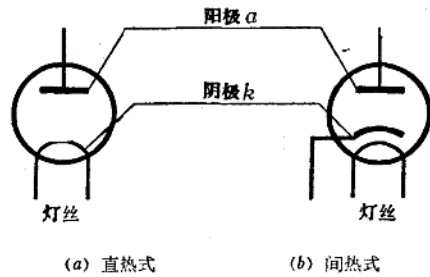


图 43-3 二极管的符号

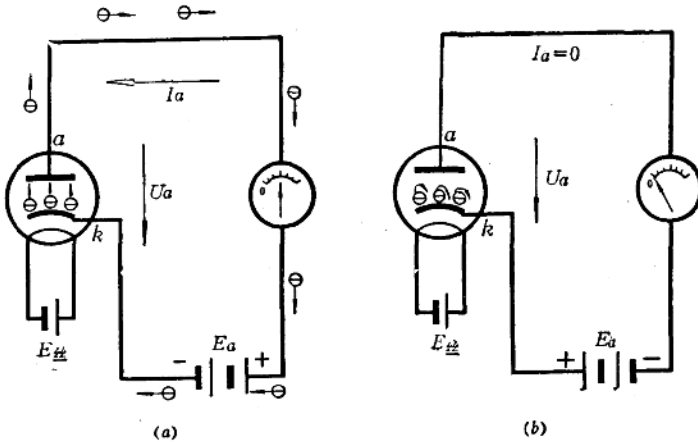


图 43-4 二极管的单向导电性

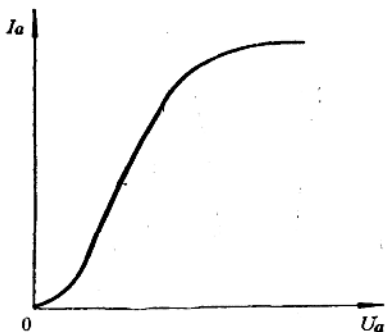


图 43-5 二极管的阳极特性曲线

极管在电路中，只允许阳流在单一方向（阳极到阴极的方向）上通过。这种特性，称为单向导电性，这是二极管的基本特性，也是一般电子管的普遍特性。正如毛主席所指出的：“在特殊性中存在着普遍性，在个性中存在着共性”^①。利用二极管的单向导电性，可以进行整流和检波。

二极管中灯丝电压一定时，阳流和阳压的关系，可用图 43-5 的曲线表示，这条曲线称为阳极特性曲线。

^① 《矛盾论》。《毛泽东选集》，人民出版社 1967 年 11 月 64 开横排本，第 308 页。

从阳极特性曲线可以看出,二极管是一个非线性的电阻元件。它的电阻(称为内阻),可分静态和动态两种。静态电阻通常称为直流内阻;动态电阻通常称为交流内阻(也叫阳极内阻)。

(三) 二极管的应用——整流

在电子技术中,将交流电能变为直流电能的装置,称为整流器。整流器一般包括电源变压器(将供电电压变为所需要的电压)、整流元件(将交流电变为脉动直流电)、平滑滤波器(将脉动直流电变为平稳的直流电)三个基本部分,如图 43-6 所示。下面介绍几种常见的、基本的二极管整流电路。

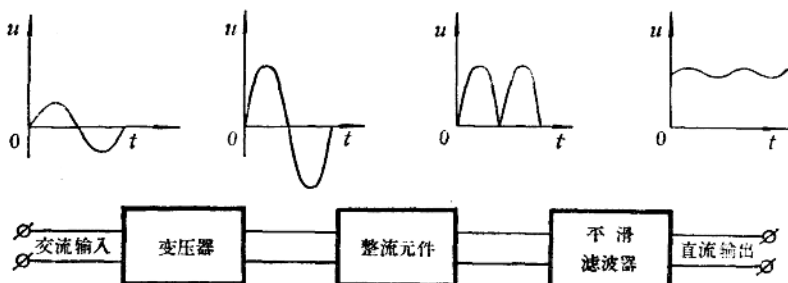


图 43-6 整流器的组成

图 43-7(a) 为一半波整流电路。当二极管阳压为正时,二极管导电,产生阳流,负载中就有电流通过;当二极管阳压为负时,二极管不导电,负载中就没有电流通过。这样,在交流电变化的一个周期中,只有半个周期内才有电流通过负载,且电流的方向是不变的,故称半波整流。负载中电流、电压的波形,如图 43-7(b) 所示。

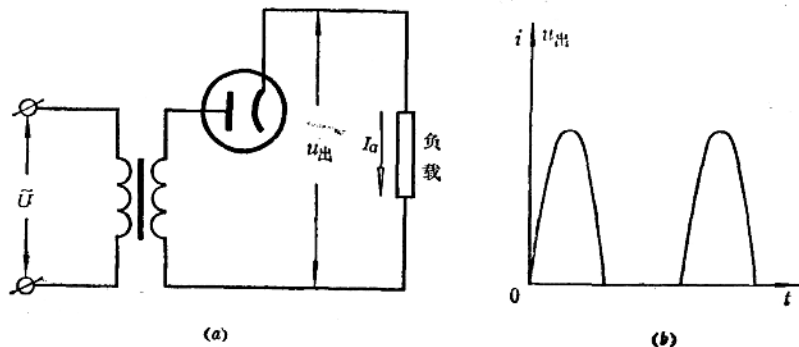


图 43-7 半波整流电路和电流及电压的波形

图 43-8(a) 为一全波整流电路。这种电路需要两个二极管和一个次级绕组具有中心抽头的变压器。当二极管 G_1 的阳压为正,二极管 G_2 的阳压为负时,二极管 G_1 导电,阳流 I_{a1} 从变

压器次级绕组的上端出发, 经过二极管 G_1 和负载回到中心抽头。反之, 当二极管 G_2 的阳压为正, 二极管 G_1 的阳压为负时, 二极管 G_2 导电, 阳流 I_{a2} 从次级绕组的下端出发, 经过二极管 G_2 和负载回到中心抽头。由于两管轮流导电, 在交流电的整个周期中, 负载中始终有同一方向的电流通过, 因而称为全波整流。负载中电流和电压的波形, 如图 43-8(b) 所示。

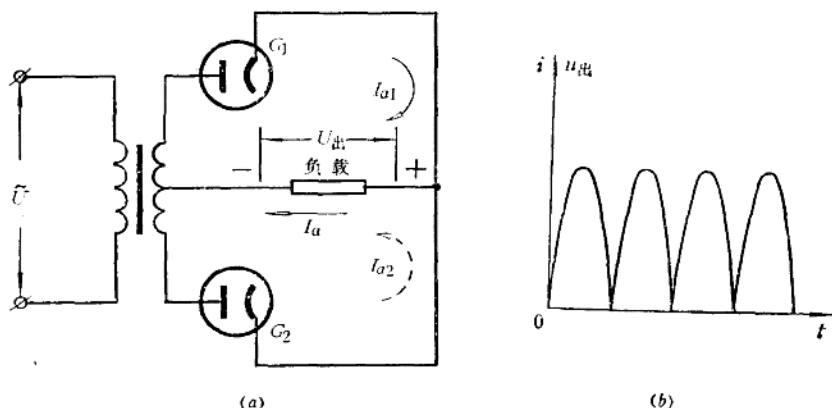


图 43-8 全波整流电路和电流及电压的波形

同半波整流比较, 全波整流时电流、电压的脉动程度比较小, 其中的直流成分比较大, 所以一般应用得较多。但半波整流电路比较简单, 且不需要有中心抽头的变压器, 因此在电压较高而功率不大的设备中也有应用。

整流后电流、电压的脉动, 对有些设备 (例如蓄电池的充电设备、整流式仪表以及某些控制设备) 来说, 影响并不很大; 但对多数电子设备来说, 则是不能容许的。这时, 必须在整流器的输出端装设平滑滤波器, 将电流、电压中的交流成分滤掉。

常用的平滑滤波器有电感滤波器、电容滤波器、 Γ 型滤波器、 Π 型滤波器和阻容滤波器等。

带有电感滤波器的整流电路, 如图 43-9(a) 所示, 电路中的扼流圈, 其电感 L 很大, 常在几个亨利以上。当电流增大时, 扼流圈要产生自感电动势阻碍电流增大, 使其增长的速率减慢; 当电流减小时, 扼流圈的自感电动势要阻碍其减小, 使其下降的速率也减慢。这样, 整流后电流的峰

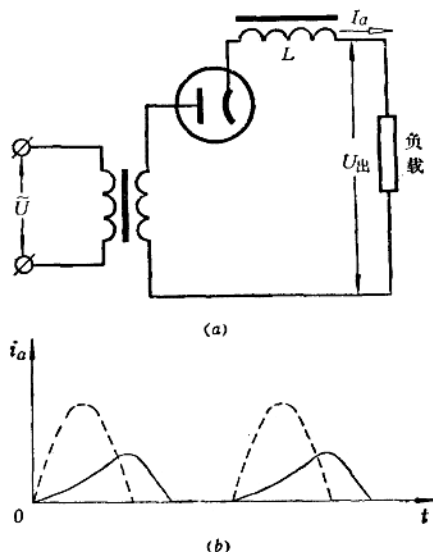


图 43-9 接有电感滤波器的半波整流电路和电流波形

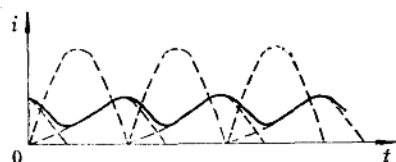
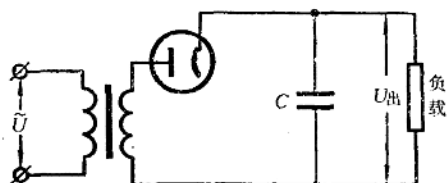


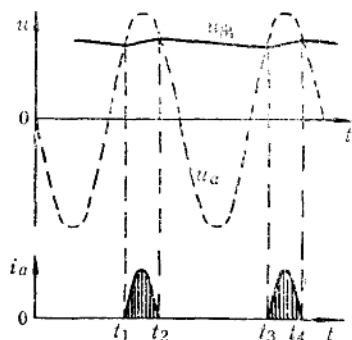
图 43-10 接有电感滤波器的全波整流电路中电流的波形

值就要减小一些, 电流流通的时间也要长一些, 其波形如图 43-9(b) 中的实线所示。如果是全波整流, 则各个半周内电流迭加的结果, 就会使负载中的电流变为连续不断的, 其脉动程度也就大大减小了, 如图 43-10 中的实线所示。

带有电容滤波器的半波整流电路, 如图 43-11(a) 所示, 和负载并联的电容器, 其电容量 C 很大, 约 $8 \sim 20$ 微法。当二极管导电时, 电流一方面通过负载, 一方面向电容器充电。当二极管停止导电时, 负载中的电流由电容器供给。因电路的时间常数 (RC) 很大, 电容器放电未完, 二极管又开始导电, 负载上即可得到一个比较平稳的电流和电压。电压的波形如图 43-11(b) 中的曲线 $u_{\text{出}}$ 所示。



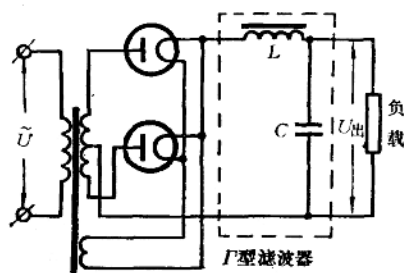
(a)



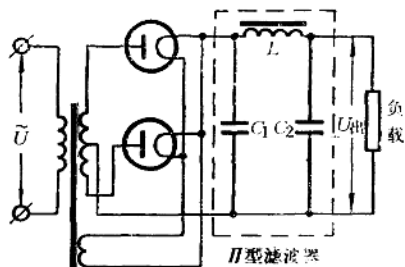
(b)

图 43-11 接有电容滤波器的半波整流电路和电流及电压的波形

带有 Γ 型滤波器和 Π 型滤波器的全波整流电路, 如图 43-12 所示。这两种滤波器可以看作是前面两种滤波器的组合, 它们的滤波效果较好。其中 Γ 型滤波器的特性接近于电感滤波器, 而 Π 型滤波器则接近于电容滤波器。



(a)



(b)

图 43-12 接有 Γ 型和 Π 型滤波器的全波整流电路

如果 Γ 型或 Π 型滤波器中的电感用电阻代替, 就成为阻容滤波器, 它同样可以起到滤

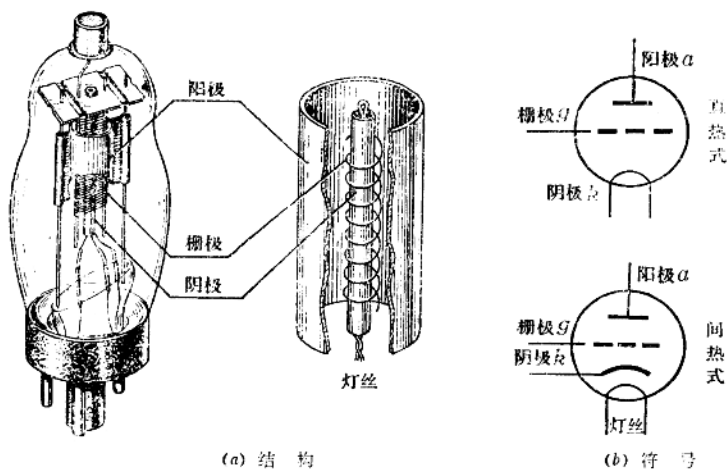
波作用,但其滤波效果要差一些,且输出电流不宜过大。

在含有滤波电容的高压整流电路中,当电源断开后,电容上的高压可能保持很长的时间。为了保证安全,通常在滤波器的输出端并联一个电阻,用以加速电容器的放电。这个电阻称为泄放电阻,其数值可根据输出电压和通过它的电流算出,一般泄放电阻中的电流占整流器满载时输出电流的10~20%。应用泄放电阻后,不仅可以减小负载变动时对输出电压的影响,而且还可利用泄放电阻制成分压器。

整流用的二极管通常也叫整流管。应用整流管时,必须注意不要使它的最大阳流、灯丝电压和最高反向电压超过额定值。因为阳流过大,会使阳极过热而变形或熔化;灯丝电压过高,会使灯丝电流过大而将灯丝烧断;反向电压(即整流管不导电时阳极、阴极之间的电压)过高,则会引起整流管反向导电和使绝缘击穿。有的整流管,为了提高其最高反向电压的额定值,常把阳极引线从管顶引出。整流管上反向电压的最大值,不仅和交流电压的振幅有关,而且和滤波器有关。例如,半波整流电路在不接滤波器时,其最高反向电压等于交流电压的振幅,而接入电容滤波器后,其最高反向电压可接近于交流电压振幅的两倍。

二、三极管

在二极管的阳极和阴极之间靠近阴极的地方,加入一个网状电极,就成为三极管。这个网状电极,称为控制栅极,简称栅极。三极管的结构和符号,如图43-13所示。三极管常用来放大电信号,产生电振荡,进行调制或检波等等。



(a) 结构
图 43-13 三极管的结构和符号

(一) 栅极的控制作用

三极管是一个控制式非线性电阻元件,它的阳流不但要受到阳压的控制,而且还要受到栅压(即栅极到阴极的电压)的控制,这是它和二极管的本质区别。因此,要了解三极管的特性,必须首先研究栅极的控制作用。

图 43-14 是三极管的基本电路, 栅压 U_g 的正方向, 如图中的箭头所示。在阳压保持不变

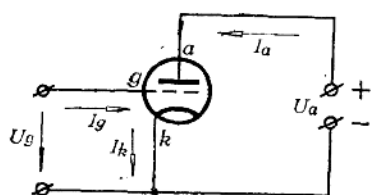


图 43-14 三极管的基本电路

阳流较小, 栅压越负, 阳流也就越小; 当栅压为正时, 栅极帮助阳极吸引电子, 因而阳流增大, 在一定的范围内, 栅压越正, 阳流也越大。但是, 这时栅极处于正电位, 一部分电子也会跑到栅极上, 形成栅流 I_g , 如果栅压过高, 跑到栅极上的电子数目过多, 则阳流反而减小。在实用中, 栅流的出现往往会使电子管的工作情况变坏, 所以, 在一般情况下, 三极管都工作在负栅压状态,

为此, 要在栅阴之间加一个负的直流电压, 这个电压通常称为栅偏压。

上述分析表明, 改变三极管的栅压, 能够控制阳流的大小。由于栅极距离阴极较阳极近, 而且栅极对阳极电场有一定的屏蔽作用, 所以栅极对阳流的控制能力要比阳极强, 这是三极管具有放大特性的基础。

（二）三极管的静态特性曲线

三极管的静态特性, 是指阳压(或栅压)固定不变时, 阳流和栅压(或阳压)之间的关系。表示这些关系的曲线, 称为静态特性曲线。阳压固定时, 阳流和栅压之间的关系曲线, 称为阳栅特性曲线。栅压固定时, 阳流和阳压之间的关系曲线, 称为阳极特性曲线。三极管的静态特性曲线通常用实验方法求得, 其实验电路如图 43-15 所示。

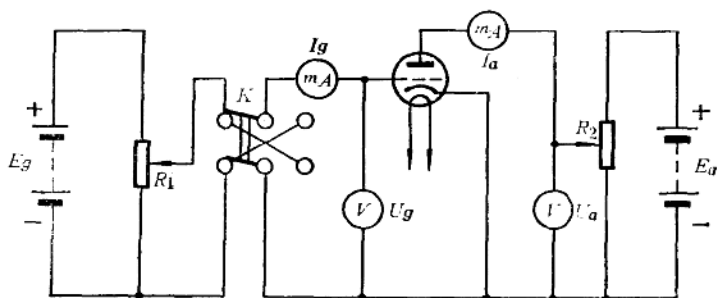


图 43-15 绘制三极管特性曲线的实验电路

三极管的静态特性由管子的结构确定, 它是研究电子管各种工作情况的基础。

1. 阳栅特性曲线

调节图 43-15 中的电位器 R_2 , 使阳压保持在某个固定值, 然后用电位器 R_1 调整栅压, 并记下相应的阳流数值, 即可画出图 43-16 中的一条阳栅特性曲线, 它的形状和二极管的阳极特性曲线相似。在不同的阳压下可以得到不同的阳栅特性曲线, 它们总称为阳栅特性曲线族。由于在相同的栅压下, 阳压越高, 阳流也越大, 它所对应的特性曲线也就越向左移; 反

之, 阳压越低, 曲线也就越向右移。所以整个曲线族可以看作是其中任一条曲线平移的结果。

每条阳栅特性曲线在横轴上的起点, 表示在该点的栅压下, 阳流完全截止, 故该点的栅压称为截止偏压。阳压越高, 三极管的截止偏压也越大。

2. 阳极特性曲线

调节图 43-15 中的电位器 R_1 , 使栅压保持在某个固定值, 然后调整电位器 R_2 改变阳压, 并记下相应的阳流数值, 即可画出图 43-17 中的一条阳极特性曲线。当栅压为零时, 三极管的阳极特性曲线和二极管的基本相同。当栅压为负值时, 因只有阳压高到一定数值后, 克服了负栅压

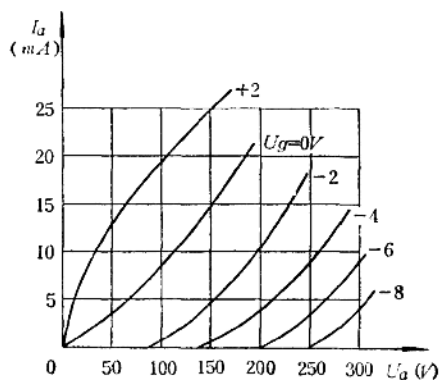


图 43-17 三极管的阳极特性曲线族

对阳流的影响, 才能开始有阳流, 所以阳极特性曲线要向右平移一段距离。负栅压越大, 平移的距离也越大。当栅压为正值时, 因栅压能帮助阳极吸收电子, 阳压为零时阳流虽仍为零, 但阳流却随阳压的增加而很快地增大。取几个不同数值的栅压, 可以画出几条阳极特性曲线, 这些曲线总称为阳极特性曲线族。

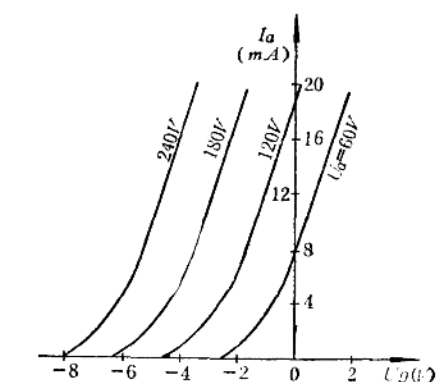


图 43-16 三极管的阳栅特性曲线族

(三) 三极管的静态参数

利用静态特性曲线, 虽然可以清楚地看出阳流、阳压、栅压间的关系, 可用它表示电子管的特性, 但在分析和计算电路时, 却有其不便之

处, 所以通常还引用一些参考数据来表示电子管的特性。这些数据就是电子管的静态参数。三极管的静态参数有跨导、内阻和放大系数。

1. 跨 导

跨导 s (也叫互导) 是指阳压保持定值时, 阳流变化量 ΔI_a 与栅压变化量 ΔU_g 的比值, 即

$$s = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \Big|_{U_a = \text{定值}} \quad (43-1)$$

跨导的大小表示栅压控制阳流能力的强弱。若栅压小的变化能引起阳流大的变化, 则跨导就大, 说明栅压控制阳流的能力强。跨导的单位是毫安/伏。

跨导的数值等于阳栅特性曲线上各点的切线斜率 (见图 43-18), 即

$$s = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} = \tan \alpha.$$

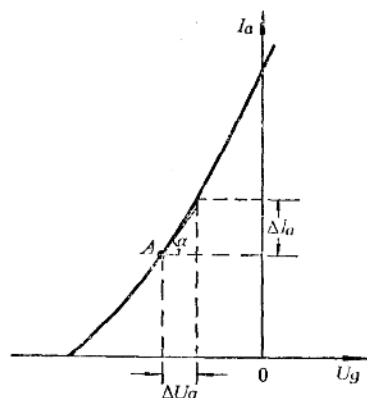


图 43-18 从阳极特性曲线求跨导

由于阳栅特性曲线不是直线，所以跨导也不是常数，只有在特性曲线的直线部分才可以看作常数。

三极管的栅阴距离越小，或栅丝越密，栅压控制阳流的能力越强，跨导也就越大；反之，跨导就越小。一般三极管的跨导，约在 1~6 毫安/伏之间。

2. 内 阻

三极管的内阻一般是指它的交流内阻。三极管的交流内阻 $r_{内}$ 就是栅压为定值时，阳压变化量 ΔU_a 与阳流变化量 ΔI_a 的比值，即

$$r_{内} = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \Big|_{U_g = \text{定值}} \quad (43-2)$$

三极管的交流内阻表示阳压对阳流的控制能力。内阻越大，说明阳压对阳流的控制能力越弱，内阻的单位是欧。

三极管的交流内阻，等于阳极特性曲线上各点的切线斜率的倒数(见图 43-19)，即

$$r_{内} = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{1}{\tan \alpha}.$$

三极管的内阻也不是常数，只有特性曲线的直线部分才可以看作常数。三极管内阻的大小同阳阴之间的距离和电极的尺寸有关。阳阴距离越近，阳压控制阳流的能力就越强，内阻也就越小；反之，内阻就越大。一般三极管的内阻约为几千欧到几十千欧。

3. 放大系数

放大系数 μ 是指保持阳流为定值时，阳压变化量 ΔU_a 与对应的栅压变化量 ΔU_g 的比值，即

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \Big|_{I_a = \text{定值}} \quad (43-3)$$

放大系数表示栅压控制阳流的能力是阳压控制阳流的能力的多少倍。因电子管的栅压控制阳流的能力恒比阳压强，所以放大系数是恒大于 1 的。三极管的阳阴距离越大，栅阴距离越小，栅丝越密，放大系数也就越大；反之就越小。一般三极管的放大系数约在 3~100 之间。

跨导 s 、内阻 $r_{内}$ 和放大系数 μ 之间的关系，可从它们的定义公式中推导出来。将公式 (43-1) 和 (43-2) 相乘，可得

$$s \cdot r_{内} = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \cdot \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} = \mu,$$

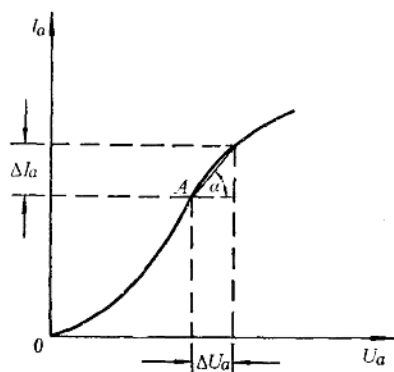


图 43-19 从阳极特性曲线求交流内阻

即

$$S \cdot r_{pi} = \mu.$$

(43-4)

上式表明,放大系数等于跨导与内阻的乘积。根据公式(43-4),只要知道了其中的任意两个参数,即可求得另外一个。

三、多极管

具有三个以上电极的一般电子管,统称多极管。以下只介绍一些常用的多极管:四极管、五极管和集射管。

(一) 四极管

在三极管的栅极和阳极之间再加入一个网状电极,就成为四极管。新加入的这个电极,称为屏栅极(也叫帘栅极)。四极管的符号,如图 43-20 所示。

四极管中引入屏栅极,主要是为了减小阳栅之间的极间电容。因为三极管中阳栅极间电容比较大,会使阳极电路和栅极电路通过阳栅极间电容产生寄生耦合,使阳栅电路的电流电压互相影响,这对放大器的工作是不利的,所以通常都力求减小它。

根据静电屏蔽的原理,若把屏栅极和阴极相联或接地(见图 43-21),它就能很好地屏蔽阳栅之间的电场,使阳栅极间电容大大减小,阳极电路和栅极电路的寄生耦合就大大削弱。但由于屏栅极同时也屏蔽了阳阴之间的电场,会使阳流减小很多,所以,屏栅极一般都接有一个稍低于阳压的正电压(叫做屏栅压),并在屏栅极和阴极之间跨接一个电容较大的旁路电容器 C_{g2} ,如图 43-22 所示,以保证屏栅极和阴极具有同样的交流电位,这样既可保证有足够的阳流,又可起到屏蔽作用。在低频放大器中屏栅极的旁路电容约为 0.1 微法。

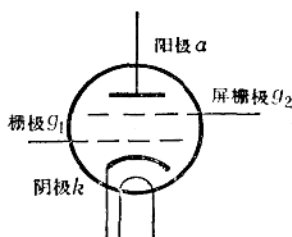


图 43-20 四极管的符号

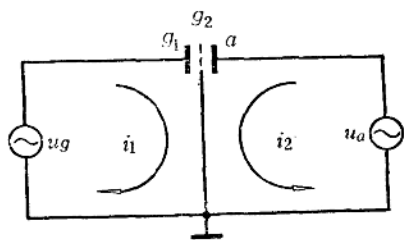


图 43-21 屏栅极屏蔽作用示意图

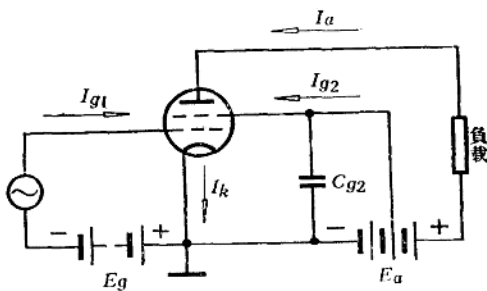


图 43-22 四极管的基本电路

屏栅极具有正电位,它也要吸收电子而形成屏栅流 I_{g2} ,但因屏栅极是一个网状电极,所以在正常情况下屏栅流比阳流小得多。

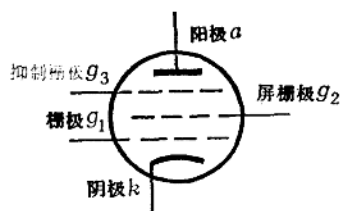
四极管虽然减小了阳栅极间电容,但是,在阳压稍低于屏栅压时,会出现负阻效应,即

阳压增高阳流反而减小的现象。出现负阻效应的原因在于：阳压升高到一定数值后，到达阳极的电子，速度已很大，它们将从阳极轰出二次电子，由于阳压低于屏栅压，这些电子将被屏栅极吸收而不再返回阳极，使阳流减小。随着阳压的升高，二次电子数目增多，阳流将更加减小。与此同时，屏栅流就要增大。这种现象一直继续到阳压比较高（高于屏栅压），阳极能重新把二次电子收集回来时为止。

负阻效应的出现，使四极管不能在阳压较低的情况下工作，大大地限制了它的应用范围。“矛盾不断出现，又不断解决，就是事物发展的辩证规律。”^①在四极管里，虽然阳栅极间电容大的问题解决了，但又产生了负阻效应问题。为了解决负阻效应问题，人们又发明了五极管和集射四极管（简称集射管）。

（二）五极管

五极管消除负阻效应的方法是在阳极和屏栅极之间，再引入一个具有低电位的网状电极，



这个电极叫做抑制栅极。五极管的符号，如图 43-23 所示。

抑制栅极的基本作用是抑制负阻效应。有些五极管的抑制栅极，在管内就和阴极接在一起，有的则引出管外，它可以接地，也可以接阴极或接一个不高的正电压。这样，在阳极和屏栅极之间就会造成一个低电位区，使阳极放射的二次电子不能转移到屏栅极，而回到阳极上去，从而消除了负阻效应。

图 43-23 五极管的符号

五极管的抑制栅极对阳极也有一定的屏蔽作用，使阳栅极间电容更加减小，同时使阳压控制阳流的能力更加减弱，五极管的内阻和放大系数也就更大。一般五极管的内阻约在 1 兆欧左右，放大系数往往在 1000 以上。五极管的电极数目比较多，阳流容易受到各电极上干扰电压的影响，这是它的缺点。

（三）集射管

集射管是利用电子管结构方面的一些特殊安排，使飞向阳极的电子，在阳极和屏栅极之间形成一个低电位区，来消除负阻效应的。集射管在结构上的特点有以下几个方面（见图 43-24）：

第一，阴极扁平，以增大放射面积，供给大量的电子。而且阴极表面同控制栅丝和屏栅丝所在平面平行，以使阴极各部分放射的电子比较均匀。

第二，在屏栅极的两侧装有一对和阴极相联的金属板，叫做集射板，它可以使阴极放射的电子流集中于阴极的短轴方向上，因而增大了这个方向的电子流。

第三，屏栅丝同栅丝一一相对，以减少屏栅极获得电子的机会，减小屏栅流，这也就增

① 《关于正确处理人民内部矛盾的问题》。《毛泽东著作选读》甲种本，人民出版社1964年6月第1版，第458页。