

中等专业学校試用教科书

工业电子学

南京电力专科学校远动教研組編



中国工业出版社



本书系1961年中技教材會議确定編写的教科书。书內主要敘述真空管、充气管和半导体等电路元件的基本知識，整流器、放大器、振荡器、电子继电器等基本电路的作用原理以及电子与离子控制电路和常用測量仪表。

本书可供发电厂电网及电力系统、电力系统继电保护与自动装置、电厂热能动力装置、电厂热力控制、电厂化学等专业作为教科书，对从事以上专业工作的工程技术人员也有参考价值。

本书由南京电力专科学校陈信岡、張伯安、王才保三位同志編写。

工业电子学

南京电力专科学校远动教研組編

*

水利电力部办公厅图书編輯部編輯(北京阜外月坛南营房)

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印張 $7^{1/4}$ ·字数173,000

1961年7月北京第一版·1962年1月北京第二次印刷

印数6,034—12,083·定价(9-4)0.73元

*

統一书号: K15165·302(水电-46)

目 录



緒論

第一章 真空二极管及单相整流器	4
第一节 电子发射	4
第二节 真空二极管的构造	5
第三节 真空二极管电路	6
第四节 真空二极管的特性曲线	7
第五节 二极管整流电路	8
第六节 平滑滤波器	11
第七节 整流器的元件	12
第二章 栅极控制真空管	14
第一节 三极管的结构	14
第二节 三极管的特性曲线与参量	14
第三节 电压放大的基本概念	18
第四节 负载线的分析	19
第五节 三极管的等效电路	20
第六节 四极管	21
第七节 五极管	22
第八节 电子注——功率四极管	24
第三章 真空管放大器及振荡器	26
第一节 真空管放大器的分类	26
第二节 多级耦合放大器	27
第三节 功率放大器	30
第四节 放大器的实例	33
第五节 放大器电路中的反馈	35
第六节 真空管振荡器	35
第四章 充气管(离子管)	41
第一节 气体放电的概况	41
第二节 稳压管	42
第三节 热阴极充气二极管	44
第四节 闸流管——热阴极充气三极管	47
第五节 汞弧管	54
第六节 引燃管	56
第七节 逆换流器	58
第五章 多相整流电路	60
第一节 大功率整流	60
第二节 三相半波整流	60
第三节 三相全波整流	61

07/01

第四节 六相半波整流电路	62
第五节 可控整流器	64
第六节 效率及电压调节率	65
第六章 半导体	66
第一节 半导体导电的基本概念	66
第二节 $p-n$ 结	68
第三节 晶体二极管	69
第四节 金属整流元件	70
第五节 晶体三极管	73
第六节 热敏电阻	76
第七节 光敏电阻	76
第八节 光电池	78
第七章 光电元件和光电控制装置	80
第一节 光电管	80
第二节 光电倍增管	82
第三节 光电继电器	82
第四节 光电控制装置	85
第八章 电子和离子继电器	89
第一节 继电器	89
第二节 电子和离子继电器	89
第三节 电子和离子定时电路	91
第四节 饱和电抗器	93
第九章 发电机和电动机的电子控制	94
第一节 交直流发电机的电压自动调整器	94
第二节 直流电动机的基本电子控制电路	96
第三节 直流电动机的整步控制和交流发电机整步时的自动开关	97
第十章 真空管电压表和阴极射线示波器	99
第一节 真空管电压表	99
第二节 阴极射线示波器	102
附录一、电子管的编号系统	
附录二、真空管的特性	
附录三、充气管的特性	
附录四、半导体器件的特性	
附录五、几种苏联出品的光电管的特性	

目 录

緒論

第一章 真空二极管及单相整流器	4
第一节 电子发射	4
第二节 真空二极管的构造	5
第三节 真空二极管电路	6
第四节 真空二极管的特性曲线	7
第五节 二极管整流电路	8
第六节 平滑滤波器	11
第七节 整流器的元件	12
第二章 栅极控制真空管	14
第一节 三极管的结构	14
第二节 三极管的特性曲线与参量	14
第三节 电压放大的基本概念	18
第四节 负载线的分析	19
第五节 三极管的等效电路	20
第六节 四极管	21
第七节 五极管	22
第八节 电子注——功率四极管	24
第三章 真空管放大器及振荡器	26
第一节 真空管放大器的分类	26
第二节 多级耦合放大器	27
第三节 功率放大器	30
第四节 放大器的实例	33
第五节 放大器电路中的反馈	35
第六节 真空管振荡器	35
第四章 充气管(离子管)	41
第一节 气体放电的概况	41
第二节 稳压管	42
第三节 热阴极充气二极管	44
第四节 闸流管——热阴极充气三极管	47
第五节 汞弧管	54
第六节 引燃管	56
第七节 逆换流器	58
第五章 多相整流电路	60
第一节 大功率整流	60
第二节 三相半波整流	60
第三节 三相全波整流	61

07/01

第四节 六相半波整流电路	62
第五节 可控整流器	64
第六节 效率及电压调节率	65
第六章 半导体	66
第一节 半导体导电的基本概念	66
第二节 $p-n$ 结	68
第三节 晶体二极管	69
第四节 金属整流元件	70
第五节 晶体三极管	73
第六节 热敏电阻	76
第七节 光敏电阻	76
第八节 光电池	78
第七章 光电元件和光电控制装置	80
第一节 光电管	80
第二节 光电倍增管	82
第三节 光电继电器	82
第四节 光电控制装置	85
第八章 电子和离子继电器	89
第一节 继电器	89
第二节 电子和离子继电器	89
第三节 电子和离子定时电路	91
第四节 饱和电抗器	93
第九章 发电机和电动机的电子控制	94
第一节 交直流发电机的电压自动调整器	94
第二节 直流电动机的基本电子控制电路	96
第三节 直流电动机的整步控制和交流发电机整步时的自动开关	97
第十章 真空管电压表和阴极射线示波器	99
第一节 真空管电压表	99
第二节 阴极射线示波器	102
附录一、电子管的编号系统	
附录二、真空管的特性	
附录三、充气管的特性	
附录四、半导体器件的特性	
附录五、几种苏联出品的光电管的特性	

緒 論

近代电子学是研究电子、离子和半导体等器械的作用原理和工程应用的一門科学。这些器械的作用是基于在真空、稀薄气体和半导体中的电气现象。

工业电子学包括了电子、离子和半导体器械在各种各样目的上的应用，如：整流和变流、监视、自动化、工艺过程的控制、拖动和机械的控制，等等。

借助于工业电子学，提高了各种机械和机床的工作速度，扩大了电气拖动控制的范围，創造了新的工艺和改善了劳动条件。

在电力生产过程中，工业电子学得到了广泛的应用。例如：热工过程的自动监视和自动調整；发电站和变电站的远距离监视和远距离控制等。

我国解放后，在党的领导下，經過了三年經濟恢复时期和第一个五年計劃，特別是經過了1958年以来的大跃进，大大改变了解放前工业电子学的落后状况。

在元件的生产上，目前我国已經能大量生产各种类型的真空管与离子管；半导体二极管与三极管已經試制成功，并进行生产。我国出产的电子、离子仪器已达到較高的水平。

在科学研究上，許多科学研究机关、大专学校和生产单位，在工业电子学方面，开展了各种各样的科学研究活动和技术革新，并且取得了輝煌的成績。在培养人材方面，許多高等学校和中等专业学校設置了工业电子学方面的专业或課程。

我国現在在发电厂中大量采用了电子器件，例如用自动电子电桥、自动电子調整器来测量和調整各种热工量或电气量；有不少水电站与变电站，实现了自动化；有些电力系统采用了自动調頻、調压装置。所有这些，都在电力生产的安全性和經濟方面带来了显著效果。

这些事实都充分說明了社会主义制度的无比优越与党的领导的正确。

本課程是基础技术課。目的在于使学生能系統地掌握电子学的基础理論，并获得一定的技术知識和技能，为将来选择与使用电子器械打下基础。

在学本課程以前，应具备电工学、物理学及微积分学的基础知識。

本书着重介紹理論基础，对真空管整流、放大、充气管与半导体的导电过程和特性，都作了較詳細的讲述。同时也特別注意联系实际，例如对于整流、放大和测量仪器等的实用电路，都作了典型介紹。

第一章 真空二极管及单相整流器

真空二极管是真空器件中最简单的元件，一些有关真空管基本知识，将在本章叙述，例如电子发射，电子管导电特性等等。

真空二极管主要用于整流，也就是从交流电源中产生直流电流。在有交流电流的场所，它比蓄电池更为方便与经济。

二极管所以能整流，是由于它具有单向导电的特性。因交流电源一般为正弦波，以致整流后电流为一种单向脉动电流，为了减小脉动，使整流波形更符合要求，往往在二极管与负载间接入平滑滤波器。

所以，整流器往往包括二极管与平滑滤波器。

第一节 电子发射

电子从金属表面逸出到真空或稀薄气体中的现象称为电子发射。差不多所有的真空管和离子管都是靠电子发射而工作的。

根据现代的电子理论，金属中存在大量的自由电子，它们可以在金属内部自由移动。但是除了个别的偶然具有很大能量的电子能逸出金属表面外，一般的电子如没有外来的能量激发是不能离开金属表面的。这是因为：（1）电子离开金属表面后，在金属表面上出现了与逸出电子电量相等的正电荷，对电子产生吸引力。（2）金属表面附近有电子组成的所谓“电子云”存在。这电子云是由刚从金属逸出，但由于受到先前逸出金属的电子的排斥而积聚在金属表面附近的电子所形成的。电子云形成带负电的电荷层，阻止电子逸出金属。所以只有当电子能量足以克服上述两种扼制力时，才能从金属表面逸出。

由此可见，为了使电子从金属逸出，除了金属中电子本身所具有的最大能量 W_i 以外，还必须加上一定数值的能量 $e\phi_0$ 。电子从金属逸出所必需的总能量 W_a 决定于上述两个数值之和，

即
$$W_a = W_i + e\phi_0 \quad (1-1)$$

或者
$$W_a - W_i = e\phi_0 \quad (1-2)$$

所加能量 $e\phi_0$ 称为“逸出功”。逸出功 $e\phi_0$ 通常以“电子伏”计量。

电子伏的定义是：电子在 1 伏特电位差的电场内沿电场方向运动时获得的能量。很明显，

$$1 \text{ 电子伏} = 1.601 \times 10^{-19} \text{ 库仑} \times 1 \text{ 伏} \approx 1.6 \times 10^{-19} \text{ 焦耳} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ 尔格} \quad (1-3)$$

逸出功的大小决定于金属的性质和表面情况。如果金属表面涂以某些物质，可以使逸出功减少。例如：钨的逸出功为 4.52 电子伏，而敷钽的钨则为 2.63 电子伏。

按照使电子从金属逸出的方法不同，电子发射形式可以分为下列几种：

（1）热电子发射：将金属加热，使金属内自由电子吸收了热能而增加了动能，就有可能逸出金属表面。在许多电子和离子器件中，广泛应用这种热电子发射的方法。

（2）光电发射：当辐射线（可见或不可见的）照射到金属上时，由于光子被金属吸

收，改变了原子中电子能量的状态，而有电子从金属表面逸出，这种现象称光电发射。

(3)二次发射：当高速的电子或离子打击到金属表面，由于高速电子或离子的动能部分或全部被金属吸收，改变了金属原子中电子能量的状态，而有电子从金属表面逸出，这种现象称二次发射。

(4)场致发射：当金属表面附近的电场强度很大(约 10^6 伏/厘米)时，电场力使电子有可能逸出金属表面，这种现象称场致发射。

第二节 真空二极管的构造

真空二极管是利用热电发射来工作的。它是一个抽成高度真空的玻璃泡，泡中装有两个电极：一个叫阴极，一个叫板极，如图1-1所示。

阴极是用来发射电子的。它每秒钟所发射的电子的总电量叫做发射电流。阴极愈热，阴极的表面愈大，它的发射电流就愈大。金属的材料与发射电流也有很大关系。

板极的用途是吸引阴极发出的电子，形成板极电流。因电子在电场中一定从低电位飞向高电位，所以板极电位必须较阴极为高。

在制造时，泡内的空气必须抽去，否则阴极在高温时就要和空气中的氧发生作用而烧坏。如果泡内剩有少量空气，那么从阴极向板极高速飞行的电子就会撞击气体分子，使它们变成正离子和电子。正离子向阴极移动会打坏阴极，破坏真空管的正常工作。因此，漏气的和抽气不良的真空管，都不能得到满意的工作。

电极有各种形式。普通板极成圆筒、椭圆筒、长方筒或板形。板极的材料，通常是用难以氧化的耐熔金属如镍、钼、钽等，有时也用炭。

真空管的阴极常用下列几种材料做成，它们各有优缺点，因此各有不同的应用。

(1)钨阴极——钨阴极是用钨丝制成。钨是耐熔金属，当温度高达 $2,300^{\circ}\text{C}$ 左右烧得白熾刺眼时，钨阴极才发射较多的电子。由于温度很高就要消耗很多能量。钨阴极的优点是寿命较长，发射稳定，在很高的板压下也是如此，所以这类真空管在它的灯丝烧断前，工作一直良好。由于它的构造坚固，经得起正离子的撞击。因此在大功率的真空管中，一般都用钨阴极。

(2)氧化物阴极——它是把钨、钼或钙的氧化物涂在钨丝上制成的。使用温度约为 800°C ，当烧到有红色光时就能发射出很多的电子，发射电流比钨阴极大得多。它的发射不稳定，不能在高的板压下工作，而且最不坚固容易受到正离子的撞击而损坏。所以这种阴极大多用在小功率的真空管中。

阴极形状一般成直线形、倒V形或螺旋形，如图1-2所示。

阴极的加热方式可分为两类：发射电子的阴极和加热体(灯丝)合在一起的，叫做直热阴极。用这种阴极的真空管，消耗能量较少，适合于电池式或移动式电子器械。直热阴极不能用交流电来加热，否则灯丝的温度，就要随电源电压的周期变化而改变，于是发射电流及板流就不能稳定(整流用真空管一般是直热阴极并可用交流电加热，因为板

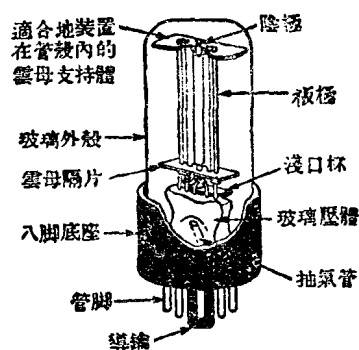


图 1-1 真空二极管的构造

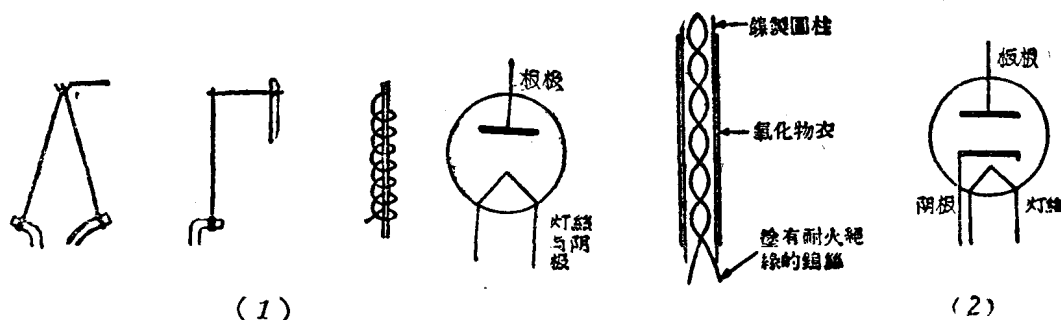


图 1-2 阴极的构造及其通用图型

(1) 直热式阴极及其通用图型; (2) 旁热式阴极及其通用图型。

流的不稳定可用滤波器消除)。

另一种阴极,叫做旁热式阴极。真空管的阴极的加热,是由与阴极隔开的灯丝发热而得,见图1-2(2)。

旁热阴极是在一个镍制的圆筒上面涂一薄层氧化物制成。圆筒(即阴极)的里面有螺旋状灯丝,灯丝上涂有绝缘物质,这样灯丝与阴极就互相隔开。灯丝的作用只是加热,阴极的作用只是发射电子,灯丝电流不经过阴极。这种阴极由于质量较大,有相当大的热惰性,要加热或者冷却需要几十秒钟的时间,所以虽用交流电源,阴极的温度仍可保持不变。不过真空管不能在接通灯丝电源之后立即开始工作,而是要经过30~40秒,等到整个阴极烧热后才能开始。

旁热阴极有较大的表面,要想达到所需的阴极温度,必须供给灯丝以较高的功率,所以它主要用在交流作灯丝电源的真空管中。

第三节 真空二极管电路

用以加热阴极的电源叫做灯丝电源。这个电源和灯丝所组成的电路叫灯丝电路。流经灯丝的电流用 I_f 表示,灯丝电压用 U_f 表示。

灯丝电压总是比较低的,通常只有几伏,如1.5伏、5伏、6.3伏等。灯丝电流一般有几十、几百毫安或几安。当电流流过灯丝使它的温度升高到必需的数值时,阴极就能发射电子。

接在阴极与板极之间的电路组叫板极电源。这个电源和真空管(板极与阴极之间的空间)所组成的电路,叫板极电路。

从电工学中已经知道,电流的方向与电子运动的方向正好相反。按习惯,板极电路中的电流是从电源的正端经真空管的板极、阴极到电源的负端;而实际上电子真正的运动方向恰恰相反。图1-3中的箭头均表示电流的方向。板极电流是真空管的主要电流,因此,我们必须记住它的途径。

很显然,板极电流之所以产生是由于阴极加热后发射电子,以及板极电位较阴极电位为高的缘故。板极与阴极之间的电位差叫做板极电压,常简称极压。

从上可知:灯丝电路的用途在于保证阴极在加热到必要的温度后发出电子;板极电路的用途在于板极加上正电压后能吸引这些电子构成板极电流(常简称板流)。

在图1-3中,板极电源的负端和阴极的一端相联,这联接点叫公共负极。在一般真

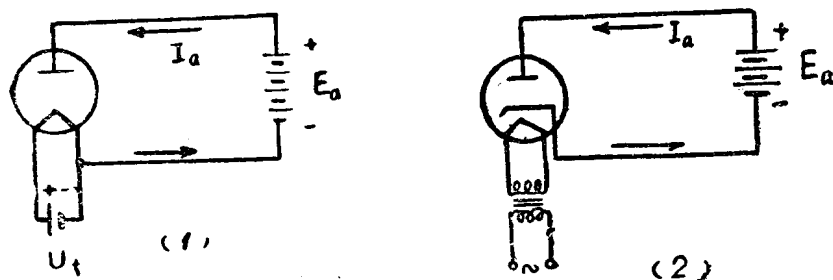


图 1-3 真空二极管电路图

空管电路中，这一点总接在机壳上。习惯上，这一点的电位被认为零电位。所有的电压，都是根据这一点计算的。

第四节 真空二极管的特性曲线

选择真空管的时候，应该知道板流和板压的关系。当灯丝电压不变时，每秒钟内离开阴极的电子数维持不变。然而并非所有的电子都能达到板极，能达到板极的电子数与板压有关。表示这种关系的曲线，叫做二极管的板极特性曲线或伏安特性曲线。图 1-4 是这种曲线的例子。

如果板压等于零，板流也接近于零。当板压加上后，板流随着产生；如果板压逐渐增加，板流也就增大；起初增得较慢，后来比较快。当板压在某个范围内变化时，板流是线性地增长，以后板流的增长就慢下来；再往后，板压增到一个数值时，板流达最大数值，即使板压再增长，板流也不会再增大，这个板流的最大数值叫做饱和电流（饱和板流）。

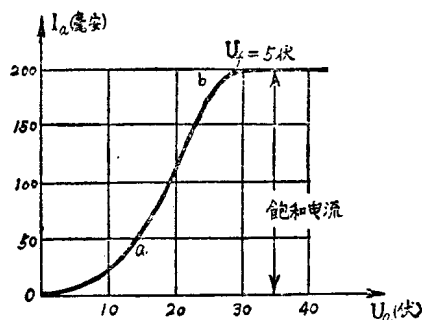


图 1-4 二极管的板极特性曲线。

板极特性曲线的形状可以解释如下：

当阴极没有加热的时候，两电极间的电场是均匀的，它的电位曲线（表示电压与电极间距离的关系曲线）是一直线，如图 1-5 所示。

当阴极受热以后，就有电子走向板极，电子从阴极出发到达板极需要的时间称为电子渡越时间，在二极管间渡越的电子称为空间电荷。当电子向板极运动的过程中，不断地被加速，因此电子运动的速度在阴极附近最小，所以该处的空间电荷密度最大。由于空间电荷存在，它的周围将产生一电场，此电场使极间各点电位均将降低。因为空间电荷的密度在阴极附近最大，所以该处的电位降低得最厉害。如外加电压 U_a 。

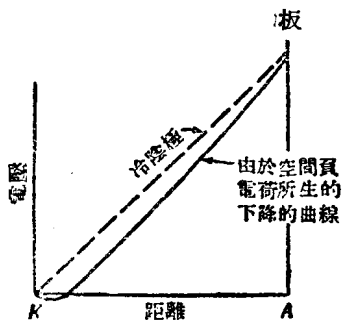


图 1-5 二极管平行电极的电位分布曲线。虚线表示阴极没有发射电子时的电位分布。实线表示有空间电荷时的电位分布

较小而阴极附近空间电荷产生的负电位大于外加电压在该处造成的正电位，使得该处的

电位变为负值，电位分布将如图 1-5 中实线所示。由于负电位出现，使电子在阴极表面到最低电位这一范围内，受到一拒斥力，因此只有发射出来的电子有足够动能克服拒斥电场的作用才能到达板极，动能小的在拒斥电场作用下返回阴极，所以图 1-4 曲线 Oa 段板流上升较慢。随着外加电压 U_a 的增加，阴极附近的拒斥电场作用逐渐减弱，使更多电子飞到板极。当板压足够高时，阴极发射的电子全部到达板极。这时，板流最大，如板压再增加，板流亦不会增长。这种情况下的板流就是饱和板流。

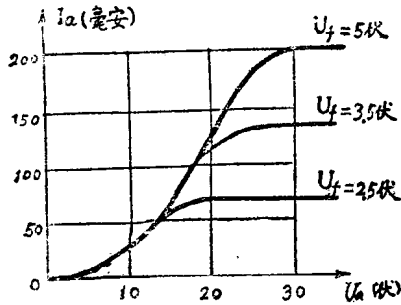


图 1-6 二极管在灯丝电压等于某些定值时的特性曲线

如果灯丝温度增高，每秒发射的电子数增多，从而饱和电流就能相应增大。如果温度减低，饱和电流就将减小。图 1-6 所示是灯丝电压等于某些定值时，二极管的板极特性曲线。

必须指出，当板压等于零时板流实际上并不等于零，而是一个极小的数值。这是因为从阴极飞出具有很大速度的一些电子，能穿过阴极附近空间电荷而达到板极的缘故。

在一个正在工作的二极管中，在某一正板压条件下，就有板流，这二者之比叫做二极管的板阻。二极管的板阻并不是常数，它与板极电压的极性及其大小有关。例如当板极加上负电压时，没有电流通过二极管，其板阻是无限大。

第五节 二极管整流电路

二极管具有单向导电的特性。在二极管内，只能阴极发射电子而板极却不能，同时只有在板极对阴极是正电位时才有电子流向板极。如板极电位较阴极为负，板极就会排斥由阴极飞来的电子，因而二极管中没有电流通过。由于二极管具有这种单向导电的特性，所以可以用来把交流加以整流，就是说使交流变成单向的脉动电流。

用于这一目的的二极管，叫做整流管；利用整流管将交流转变为直流的设备，叫做整流器。

二极管整流器的电路很多，下面是常见的几种。

一、半波整流电路

图 1-7(1) 示最简单的二极管半波整流电路。图中的 T 是电源变压器，它的原线圈 A ，

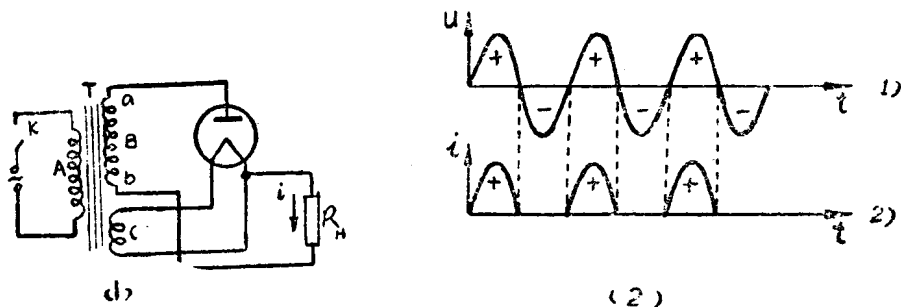


图 1-7 二极管半波整流电路及其整流电流
(1) 半波整流电路图；(2) 半波整流电流。

通过开关 K 和电源相接。付线圈有两只, C 是用来加热整流管的灯丝。 B 是升压线圈, 它的一端接到二极管的板极, 另一端则和负载电阻 R_L 相联。

当开关 K 合上时, 付线圈中有交流电势产生, 灯丝电路内有电流通过使灯丝烧热, 发射电子。线圈 B 中的电势既是交流的, 所以它的大小和方向在作周期性的变动。只有当 a 端的电位较 b 端为正时, 板极电路负载电阻 R_L 中才有电流流过。相反, 当 a 端的电位较 b 端为负时, 板极电位是负值, 没有板流产生。由此可见, 在 R_L 中的电流的方向是永远不变的, 而它的大小是周期性变化的, 这种电流, 叫做脉动电流。 R_L 上的电压, 也是脉动的, 而且在整流管阴极的那一端的极性总是正的。

图1-7(2)为变压器线圈 B 两端的交流电压及板极电路内的电流。由于电流仅在交流电的某一半周期内流动, 所以这种整流器叫做半波整流器。

二、全波整流电路

在全波整流电路中, 交流的正负半周都被利用。经过整流后, 由这两个半周所造成的脉动电流具有相同的方向。

图1-8示两种全波整流电路。在图1-8(1)中使用两只二极管, 而在图1-8(2)中则使用一只双二极管。电源变压器的升压线圈有一个中心分接头, 这个付线圈所供应的电压, 应为半波整流时的两倍。负载电阻一端接到阴极, 另一端则接到这个分接头。在图1-8(1)中, 两个灯丝并联后, 与降压线圈相联。

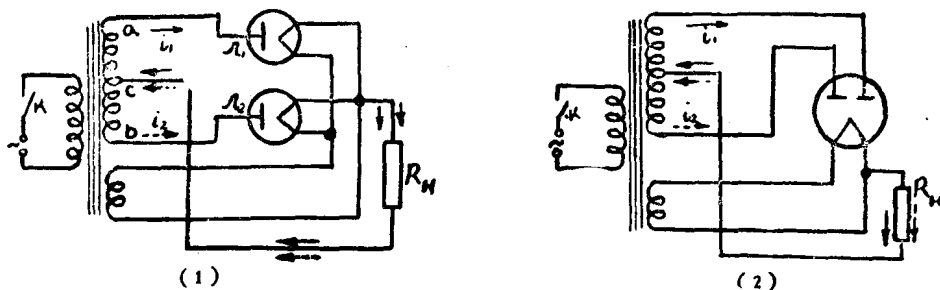


图 1-8 全波整流电路

在图1-8(1)的电路中, 两只二极管互相交替工作。在交流的第一个半周时, 设 a 端为正, b 端为负, 那么 c 点较 a 为负而较 b 为正, 所以二极管 J_1 导电, 这时电流沿实线箭头所示的方向, 从升压线圈的 a 端流出, 经二极管 J_1 及负载到 c 点, 完成回路。在另一半周中, b 端为正, a 端为负, 二极管 J_2 导电, 电流就沿着虚线箭头所示的方向, 从 b 端流出, 经 J_2 及负载完成回路。在负载电阻 R_L 中, 两电流以同一方向通过。

在图1-9中, 曲线(1)表示升压线圈中的电压; 曲线(2)及(3), 表示两个半周在整流后的电流; 曲线(4)表示总的整流电

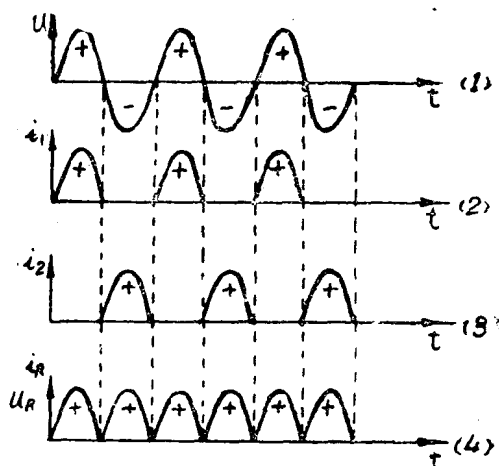


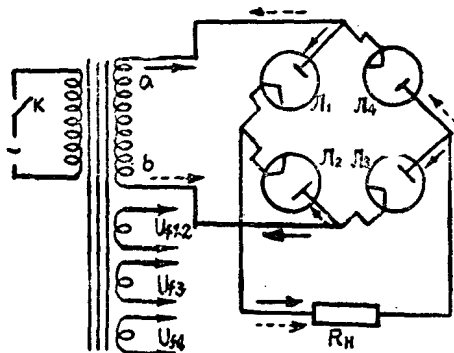
图 1-9 全波整流电路整流过程曲线

流，也就是经过 R_n 的脉动电流。 R_n 上的脉动电压，同样也可用它来表示。

图1-8(2)的整流原理和上述完全相同，不过把两只二极管，用一只双二极管代替而已。

三、桥式整流电路

图1-10是桥式全波整流器电路。电源变压器与半波整流器中的相同，当升压线圈 a 端为正时，电流按实线箭头的方向，从 a 端流出，经电子管 J_1 、负载电阻 R_n 、电子管 J_3 ，



流到 b 端，完成回路。当 b 端为正时，电流则沿虚线箭头的方向，经 J_2 、 R_n 、 J_4 流到 a 端，于是得到全波整流。

这种电路的缺点是：(1)必须用四只整流管；(2)变压器要有三只彼此之间绝缘良好的灯丝线圈，否则要造成短路。

但这种电路在半导体整流器中用得很多，将于第六章内叙述。

四、倍压整流电路

在第一个半周中(图1-11)，假设 a 端为正，整流管 J_1 导电，电容器 C_1 被充电，它的电压

图 1-10 桥式全波整流电路

逐渐增高到与升压线圈中电压的最大值相等。在第二个半周中， b 端为正，整流管 J_2 导电， C_2 被充电，电压也几乎充到与上述数值相等为止。 C_1 与 C_2 是串联着的，此时它们对 R_n 来说，成为一个电源，通过 R_n 放电，因此电压就要下降。此后 C_1 、 C_2 继续被充电，继续经过 R_n 放电，这样， R_n 上就有比较平稳的直流通。

由于 C_1 与 C_2 上的电压，几乎等于升压线圈中的电压，它们串联后的电压，就几乎等于上述电压的两倍。因此有倍压整流器的名称。

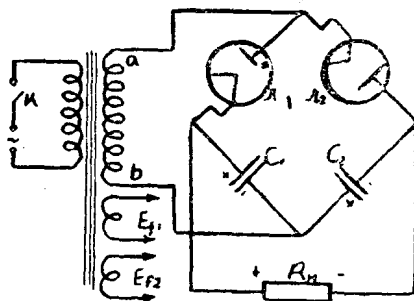


图 1-11 倍压整流电路

五、不用变压器的整流器

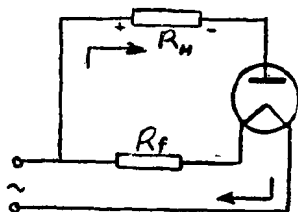


图 1-12 不用变压器的整流器电路

电源变压器是整流器中的复杂而较贵重的元件。有时在整流器中，可以不用电源变压器，而采用直接由市电供电的半波整流电路(图1-12)。在这种整流器中，整流管的灯丝一般都是直接接到交流电源上，而用降压电阻 R_f 来降低电压，使适合灯丝电压的数值。

整流后的电压，从负载电阻 R_n 上取得，整流电流的方向如箭头所示。

这种电路的缺点是：(1) R_f 上消耗的能量较大；(2) 负载与供电电源直接联接，使用时需特别注意人身安全。

第六节 平滑滤波器

根据上节所讲可知交流经过整流后，所得的整流电流是一种脉动电流。由电工学中知道，它是包含有直流分量及交流分量的电流。

整流器的任务是供给负载以稳定的直流，因此整流电流中的交流分量是无益的，不能让它通过负载电阻，而直流分量才是我们需要的。

为了使负载电阻 R_H 上的电流及电压保持稳定，必须利用滤波器将脉动加以平滑。

平滑滤波器的作用，是使直流分量能通过负载电阻，而把交流分量滤除。图1-13所示，是几种常用的平滑滤波器电路，其中 L 是扼流圈。

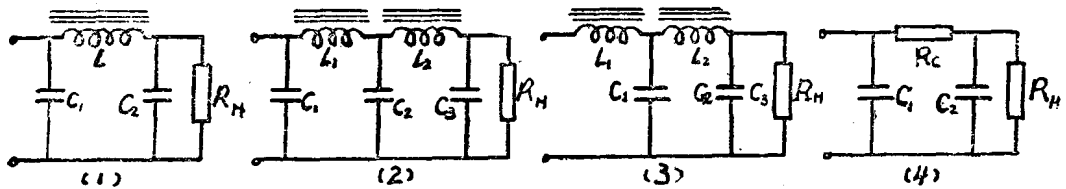


图 1-13 各种平滑滤波器电路图

在图1-13(1)中的电容器 C_1 ，对50及100赫(50赫是市电频率，100赫是它的二次谐波的频率)等以上的频率，所呈现的容抗很小，因此，整流后脉动电流中的交流分量，能顺利地通过这只电容器。但扼流圈 L ，对它则具有很大的感抗，差不多不让他通过。扼流圈的铜线，对直流分量的电阻不大，所以直流分量在扼流圈上所造成的电压降很小。

因为有极小的一部分交流分量仍会流过 L ，所以在 L 后与 R_H 并联一只 C_2 ，结果通过 L 的交流分量，大多被 C_2 旁路，而不流入 R_H ，因此 R_H 中的电流，是平稳的直流电流，因而它上面的电压也是平稳的直流电压。扼流圈的感抗愈大，及电容器的容抗愈小，则滤波器的平滑作用就愈好，所以 L 及 C 的数值，最好用得大些。

关于平滑滤波器的滤波作用，我们还可利用充放电的过程来说明。

当整流后的第一个脉动电压来时， C_1 很快地被充电到几乎等于脉动电压的最大值，然后通过 L 逐渐向 R 放电。 L 的感抗是用来阻止电流的迅速上升及电容器电压的迅速下降的。

L 及 R 的数值愈大， C_1 放电愈慢，因此电压就不会下降得象没有 C_1 那样快。当 C_1 上的电压略有下降时，下一个脉动电压又使 C_1 充电，结果 C_1 上的电压重新升到脉动电压的最大值。图1-14中的实线，表示当半波整流时 C_1 上电压变化的曲线。可以看出，经过

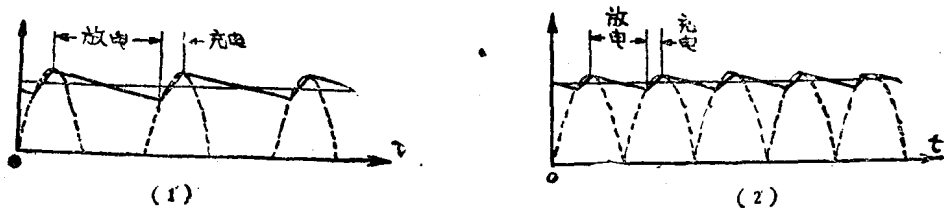


图 1-14 C_1 对脉动电流起的平滑作用

(1)半波整流电路；(2)全波整流电路。

C_1 的作用后,脉动现象已大为平稳,脉动频率仍等于市电频率。图 1-14(2) 示全波整流时的情况。脉动的幅度较半波整流时更小,但脉动频率是市电频率的两倍。 C_1 上的脉动电压,加在相互串联的 L 及 C_2 上, L 的感抗比 C_2 的容抗大得多,所以脉动中的交流分量,都降落在 L 上,只有极小的部分在 C_2 及 R 上。脉动的频率愈高,滤波器的效果愈好,因为这时 ωL 增加而 ωC 减小,所以全波整流的作用较好。

为了改善平滑作用起见,有时使用如图 1-13(2) 所示的滤波器。

当所需要的整流电流不太大,又容许有一小部分电压损失时,为了经济及使滤波器结构简单起见,扼流圈可用一只电阻器 R_0 来代替如图 1-13(4) 所示。因当频率为 50 周时, C_2 上的阻抗远较 R_0 为小,以致交流成份大部分降落在 R_0 上, C_2 对直流可看成阻抗无穷大,以致直流大部分降落在 C_2 二端。 R_0 的数值,大概是几千欧到几万欧。

图 1-15(1) 是一种常用的具有滤波器的全波整流器电路。图 1-15(2) 是整流电路中各处的电压波形。从这个波形,我们更可看出整流器是如何把交流变成直流的。

根据上面所述可知, R_H 上的电压波形中,仍旧有一些波纹,就是还有一些交流分量,这个分量叫做交流波纹,它的有效值是 $U_{\sim}$ (见图 1-16)。把这个有效值除以直流分量(即输出电压的平均值 U_0)再乘以 100%, 即得所谓波纹因数。我们常希望波纹因数愈小愈好。

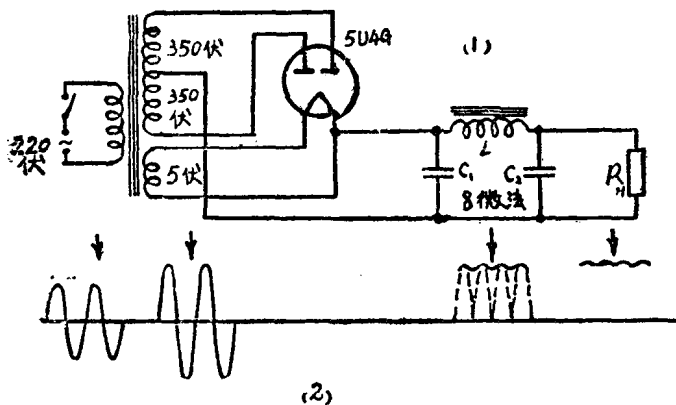


图 1-15 全波整流器中各处电压的波形。

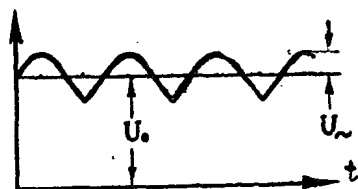


图 1-16 交流波纹

第七节 整流器的元件

一、电源变压器

电源变压器是整流器中的主要部分。原线圈可以分成几段绕(有分头),以备转接到各种不同的电源电压上。升压线圈可根据所需要的电压大小及整流管类型的不同,设计在约 250 伏到 500 伏。在一般的全波整流电路中,这个线圈中心有一分接头。降压线圈,一般不少于两只,其中一只作为整流管灯丝加热之用,而另一只则供给其他真空管的灯丝电源。

变压器铁心所用的矽钢片,一般都成日字形,它们相互绝缘。铁片应用螺钉紧紧地固定在一起,否则在工作时会发出响声。螺钉与铁心之间要用绝缘套管绝缘,以截断涡流的通路。

二、整流管

普通整流器中多用双二极管，如 5U4G、5Y4C、5Z3 等。在强电流的整流器中则常用充气二极管，在第四章将详细分析。

整流管的特性(見附录)可由它所能忍受的最大板极反向电压、最大板极电流平均值及其他有关数据来表明。所谓最大板极反向电压，就是在整流管的板极与阴极間还没有被打穿时，阴极与板极間能承受的最大电压。当板极电压在負半周时，整流管內沒有电流通过，此时板极与阴极間的电压最大，例如在一般半波整流器中，在真空管不导电时，板、阴极間电压等于变压器升压綫圈电压的振幅与滤波器中 C_1 上的电压之和。 C_1 上的电压差不多也等于升压綫圈中电压的振幅。所以在这种电路中，最大板极反向电压可为升压綫圈电压振幅的两倍。因此，升压綫圈的最大交流电压应比整流管的最大板极反向电压小几倍。最大板极电流平均值是指允許流过真空管最大的平均电流，例如 5Y4C 为 125 毫安，5U4G 为 225 毫安。这数值是我們选择真空管的一个重要依据，如負載上流过的电流超过最大板极电流平均值，則板极因电子碰撞引起的損耗会超过允許值而发紅色甚至燒毀。

三、扼流圈

扼流圈的构造和变压器相似，不过扼流圈只有一个綫圈而变压器則有几个綫圈。扼流圈的鉄心留有一个空气隙以增加鉄心的磁阻，这样才能减少鉄心的直流磁通饱和的可能性。鉄心的磁通饱和是有害的，因为它会减小扼流圈的电感。

四、电容器

一般用的是电解电容器，它的电容从几个微法到几十个微法。由于它具有极性，所以不能接反。