

电 工

试 用 本

下 册

上 海 纺 织 工 业 局

一 九 七 三 年 八 月

目 录

第六章 晶体管基础	129
第一节 概 述	129
第二节 晶体二极管整流电路	133
第三节 晶体三极管	147
第四节 可控硅	180
习 题	186

附 录:

附表一、常用电工符号表	189
附表二、绝缘导线安全载流量及漆包铜丝线规表	195
附表三、熔丝的额定电流表: (1) 铅锡熔丝 (2) 铜熔丝	198
附表四、常用晶体管参数表: (1) 检波二极管 (2) 整流二极管 (3) 稳压二极管 (4) 三极管 (5) 可控硅	199
附录一 万用电表使用介绍	205
附录二 小型电源变压器设计的简易计算	214
附录三 三相异步电动机旧壳重绕的简易计算	220
附录四 三相异步电动机的接线探讨	224
附录五 “静电”及其应用	247
附录六 晶体管应用线路举例	250

第六章 晶体管基础

第一节 概 述

用半导体材料制成的晶体管的出现与应用，并逐渐在一定范围内代替真空管，是电工工业上的一次飞跃，晶体管不但因不需要加热的灯丝而省电，散发的热量少，而且重量轻、体积小，坚固耐震，可在低电压下工作，寿命长，所以在电子工业中的小型化、高精度、高速度及自动化等方面都具有重要意义。当然任何事物都是“一分为二”的，晶体管在目前还存在着过载能力小，在高压大容量情况下工作比较困难等缺点，有待于在今后的实践中逐步改进。

我国从大跃进的1958年开始生产晶体管以来，在毛主席无产阶级革命路线指引下，不论在产量与质量方面，都在突飞猛进地发展，而且填补了许多电子工业上的空白点。

晶体管电路在工农业生产和生活中的应用已经越来越广泛，尤其在工业中的自动控制、调压设备，电动机的调速设备等方面，逐步体现了应用晶体管元件的必要性和优越性。因此研究与掌握晶体管工作原理和应用，已经成为一个相当重要的课题。

一 半导体材料：

晶体管是用半导体材料制成的，所谓半导体材料，就是介于如金、银、铜等导电性能极好的导体，和如木材、塑料、陶瓷等导电性能极差的绝缘体之间的材料。

半导体材料，具有不少独特的特性：如在某一基础材料中加入少量的其他材料的“杂质”其导电性能就会发生很大改变，又如在热或光的照射下，导电性能也会发生变化。根据上述特性，就可以制造出各种性能的晶体管和

热敏、光敏元件。

晶体管的基础材料，一般采用锗或硅。在锗或硅中加入极微量（百万分之一）的杂质硼、铝、镓、铟等就形成了P型半导体，如加入杂质，磷、砷、锑等则形成N型半导体。

纯的锗或硅的导电性能是很差的，而加入了杂质的P型N型半导体，则导电性质有了或百万倍的增加。

二、晶体管的分类：

各种晶体管就是由2个或2个以上P型N型半导体组合而成，我们一般常见的晶体管的分类是这样的：

从极数来分，有二极管、三极管等。

从半导体材料来分，有锗的PNP型，NPN型和硅的PNP型、NPN型。

从可以工作的最高频率来分有低频管、高频管等。

从晶体管本身可以承受的最大消耗功率来分，有小功率管、大功率管等。

从用途来分，有整流管、检波管、放大管、振荡管、开关管、光电管、稳压管等。

三、晶体管的命名

为了便于识别各种类型晶体管的基本性能，我国规定了晶体管的命名方法。

晶体管的型号由四个部份（有的在后面再加一个字母）组成。

第一部份	第二部份	第三部份	第四部份——附加字母
			表示同一型号 管中某些性能 上稍有差别。
			用数字表示器件的序号
		用拼音字母表示器件的类型	
	用拼音字母表示器件的材料和极性		
用数字表示器件电极的数目			

各部份中符号的含义如下表所示。

第一部份极数		第二部份,材料和极性		第三部份类型		第四部份: 序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	
2	二极管		二极管	P	普通管	如第一、二、三部份相同, 仅第四部份不同, 则表示在某些特性上, 稍有差别。
3	三极管	A	N型锗材料	V	微波管	
		B	P型 "	W	稳压管	
		C	N型硅材料	C	参量管	
		D	P型 "	Z	整流器	
			三极管	L	整流堆	
		A	PNP型锗材料	S	隧道管	
		B	NPN型 "	U	光电管	
		C	PNP型硅材料	K	开关管	
		D	NPN型 "	X	低频小功率管	
				G	高频小功率管	

(续上表)

第一部份:极数		第二部份:材料和极性		第三部份:类型		第四部份:序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	
				D	低频大功率管	
				A	高频大功率管	
				T	可控整流管 (截止频率小于3MC为低频、耗散功率小于1W为小功率)	

例如: 2CP10是N型硅二极管普通管(可作整流用)

又如: 3AX31, 是PNP型锗低频小功率三极管。

3AX31与3AX81是同一类型的管子, 但3AX31的最大耗散功率是100~125 MW, 而3AX81的最大耗散功率是200 MW。

又如: 3DG6 是NPN硅高频小功率三极管。

3DG6A与3DG6B是同一类型的管子, 但3DG6A的耐压比3DG6B低。

第二节 晶体二极管及整流电路

晶体二极管由阳极与阴极等二个极组成。它的外形及符号如图 6-2-1 所示。

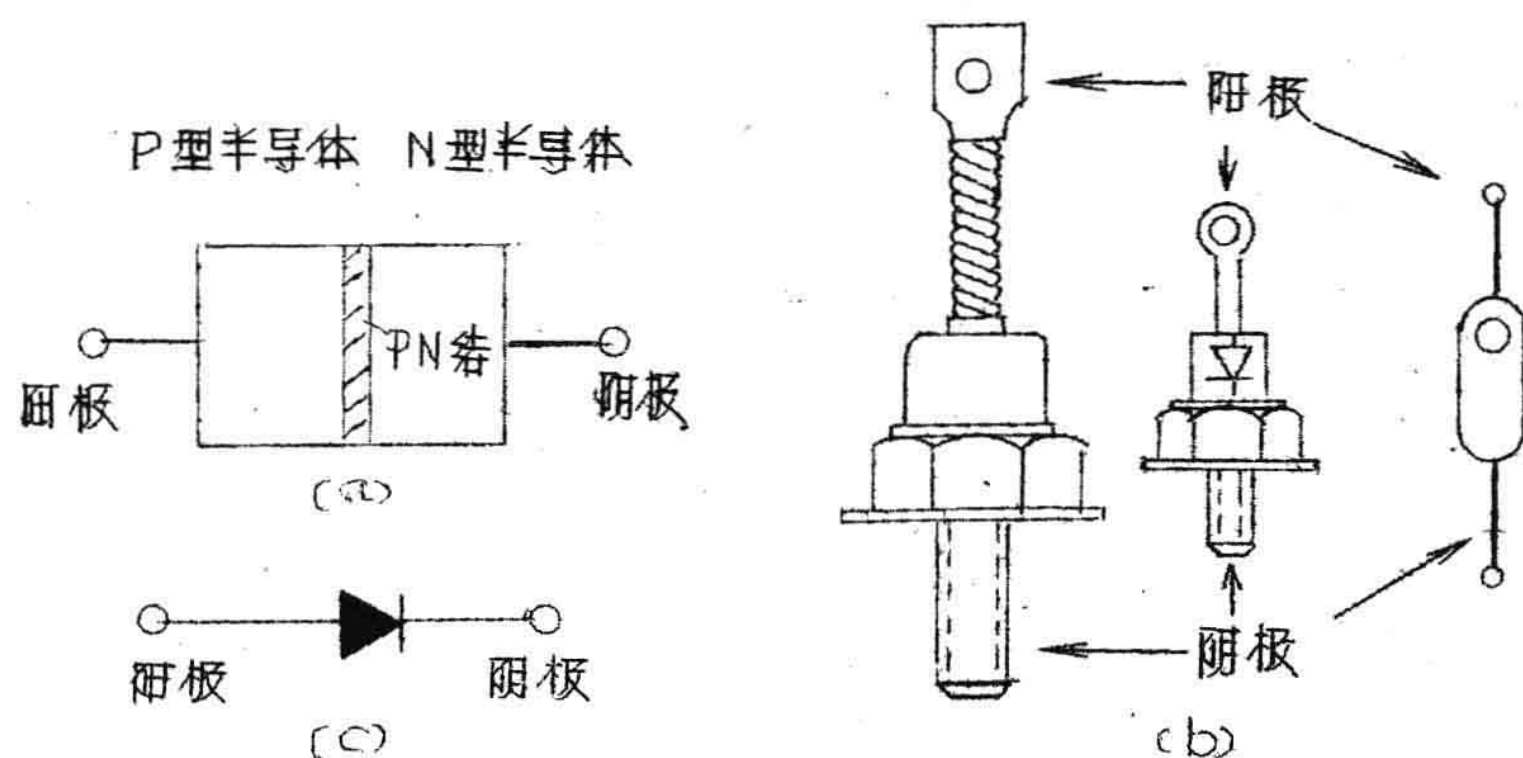
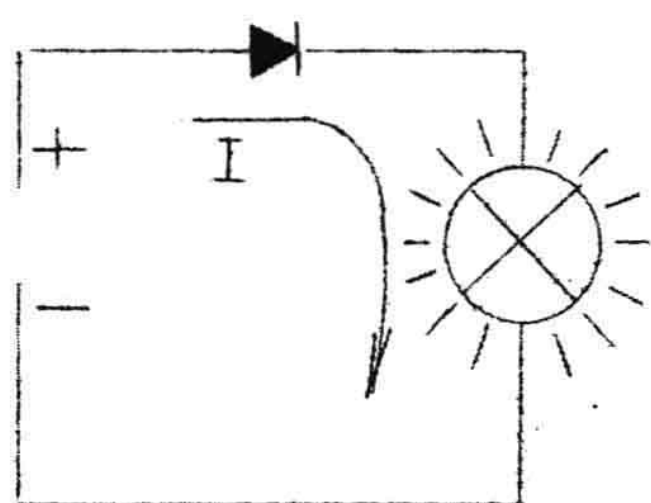


图 6-2-1

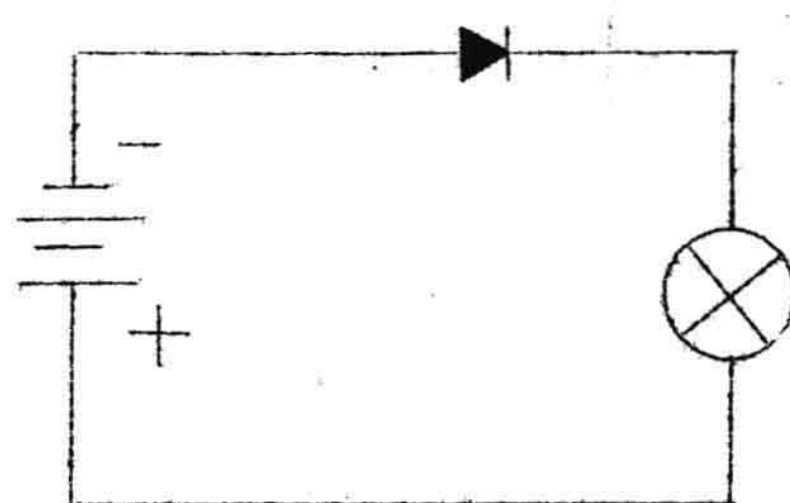
一、晶体二极管的基本特性：

1. 单向导电：

晶体二极管与真空二极管一样，具有只能从阳极流向阴极的单向导电特性（当然实际上不是绝对不能从阴极流向阳极，而是在一定反向电压的范围内。从阴极流向阳极方向的电流极小而已）这可以通过如图 6-2-2 所示的实验来得证明。



加正向电压、灯亮



加反向电压、灯不亮

图 6-2-2

为什么晶体二极管有单向导电性能呢？是因为晶体二极管，是由一块 P

型半导体材料和一塊N型半导体材料通过一定的方法结合而成，在P型与N型的结合处形成了一个“PN结”的薄层，这个薄层（PN结）就具有单向导电性能。PN结不但是晶体二极管也是晶体三极管的基本结构。

2. 二极管的特性曲线

二极管的特性曲线是用曲线的形式来表示，二极管加上了不同数值的正向电压或反向电压后，流过二极管电流的方向和大小。

一般习惯上，以从阳极流向阴极的电流为正值（正向电流）反之为负值（反向电流）。

上述的特性曲线（即伏安特性曲线）也可通过实验来获得，其特性曲线如图6-2-3所示。

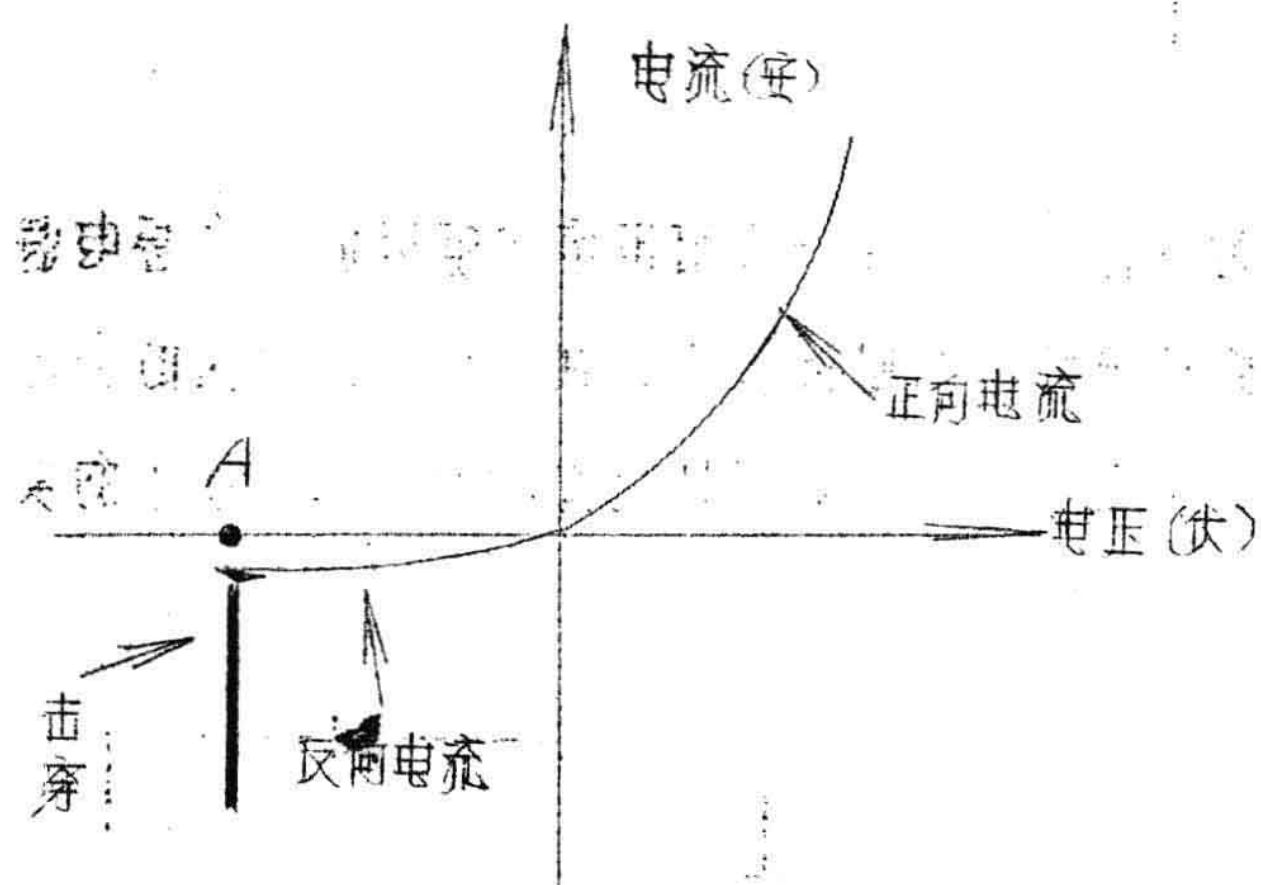


图6-2-3

从图6-2-3中可以看出，当二极管加上正向电压时，就有正向电流流通，随着正向电压的升高，正向电流也增加。

加上反向电压时，就有反向电流流通，当反向电压在一定范围内时，反向电流是很小的，但反向电压上升到一定值时（如图6-2-3中的A点）反向电流急剧增大，这说明该二极管已处于反向击穿状态，A点电压就称为“击穿电压”，当反向击穿时电路中又没有设法阻止它的反向电流的增加，那末二极管就可能因发热而烧毁。

3. 二极管的参数

二极管的“参数”是用数值来表示某一型号二极管的性能，二极管一

般常用的参数有下列几个：

1. 最高工作频率：在可能保持其单向导电特性前提下外加电源的最高频率。

二极管和其他晶体管一样，它的最高工作频率是由它的内部结构所决定的。晶体二极管内部结构一般有点接触和面接触两种。点接触的极间分布电容小，所以最高工作频率在 3MC 以上，但允许通过的电流（整流电流）也小，一般用于检波电路中。面接触的管子极间分布电容小，最高工作频率在 3MC 以下，允许通过的电流较大，一般用于整流电路中。

2. 额定整流电流：即允许通过的最大正向电流。

一般检波二极管只能通过几到几十毫安电流，而整流二极管一般可通过几十到几百毫安，甚至几安培到几百安培。额定整流电流，在 5安培 以下的叫小功率整流管， 5安培 以上的叫大功率整流管。

3. 最高反向电压：将要引起反向击穿的电压值。一般检波二极管只有几伏到几十伏，而整流二极管可高到几百伏，甚至几千伏。

二 整流及滤波电路

利用晶体二极管的单向导电的特性，即可组成检波电路（从广义来讲“检波”也是一种小电流整流）或整流电路。

整流电路一般由变压器、整流、滤波等部分组成。在大功率电路中，还加有保护电路，在特殊要求下还要加稳压和调压电路，它们之间的连系如图6-2-4所示。

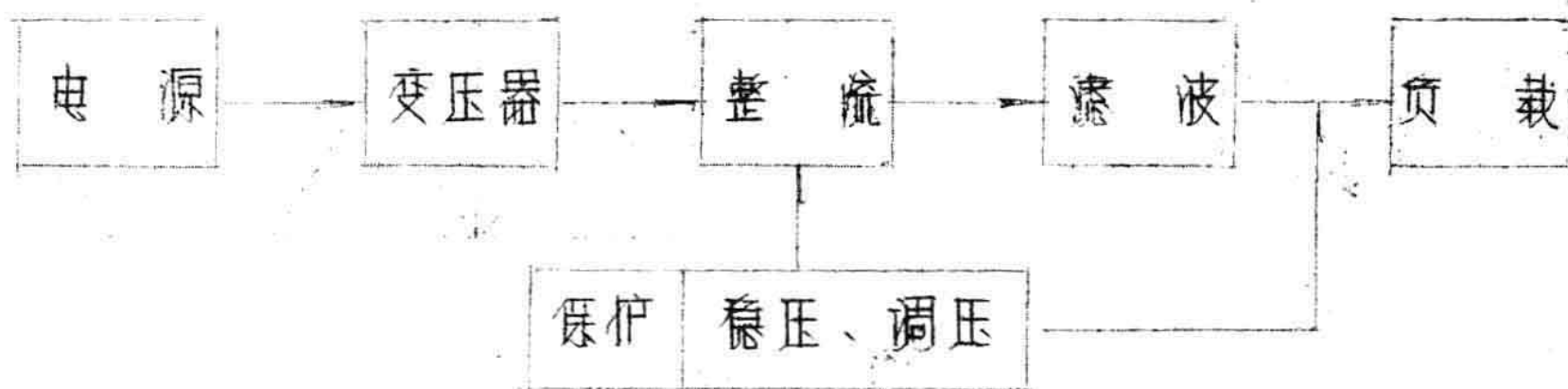


图 6-2-4

1. 整流电路：把交流电变成直流电的电路称为整流电路。常用的单相整流电路有下列几种。

1. 半波整流

其电路连接及电压波形如图 6-2-5 所示。

当经过变压器的输出电压 (U_{λ}) 为正半周时 (上正下负) 整流二极管导通, 在负载上获得电压, 并有电流流通。当 U_{λ} 负半周时就没有电流流通 (反向电流忽略不计)。

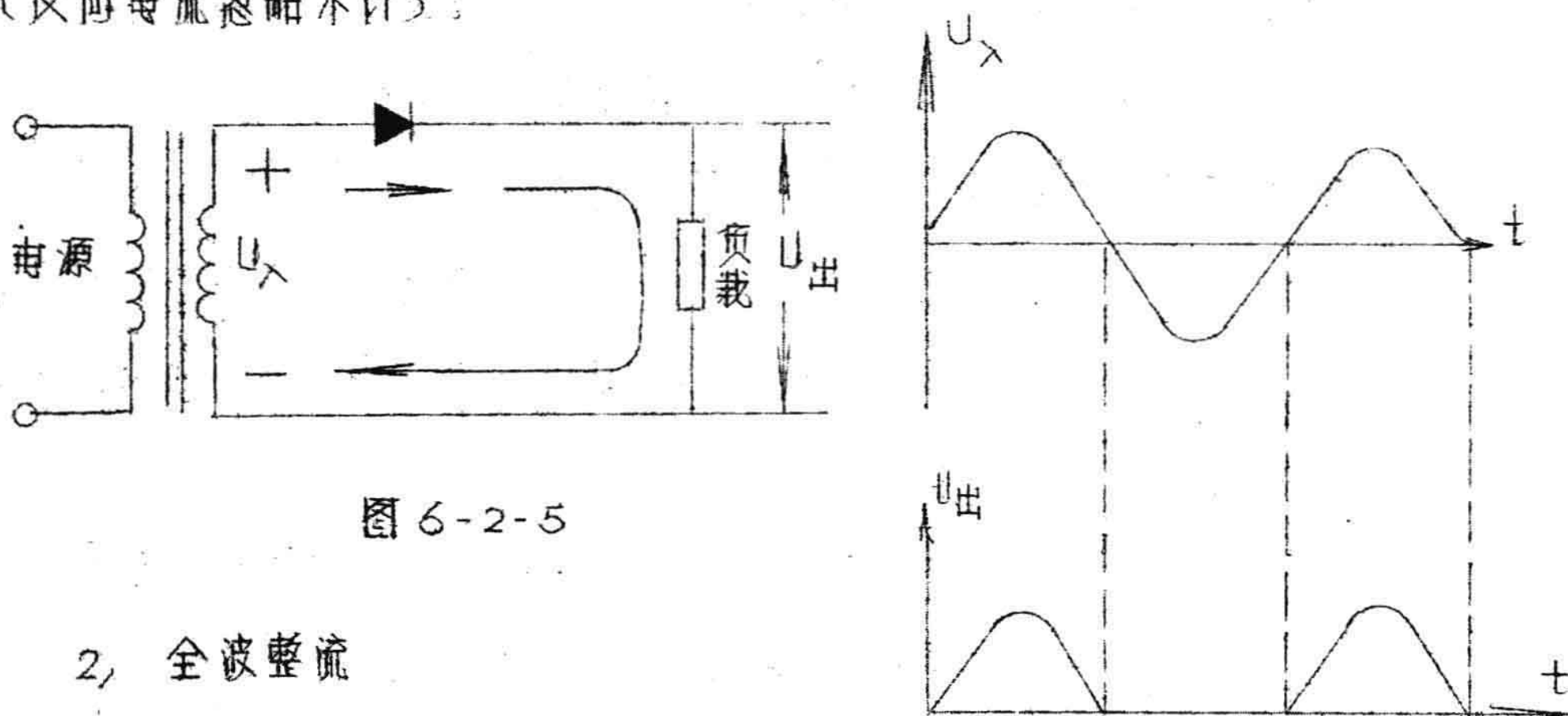


图 6-2-5

2. 全波整流

其电路连接及电压波形如图 6-2-6 所示。

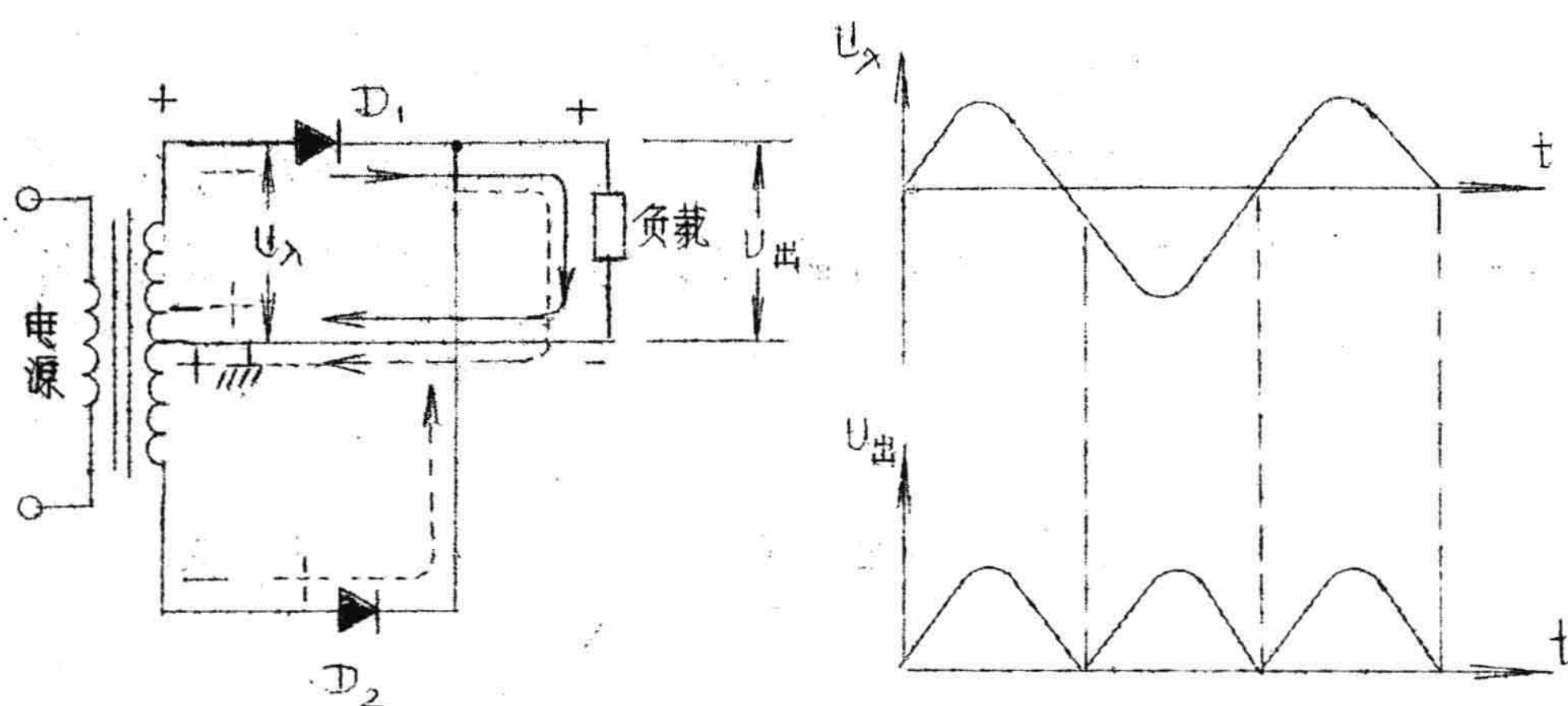


图 6-2-6

当 U_A 为正半周时（上正下负）二极管 D_1 导通，这时 D_2 上是加的反向电压，所以是不通的。

当 U_A 为负半周时（上负下正）二极管 D_1 上加的是反向电压，所以不导通，而 D_2 则处于导通状态。

由上述分析可知，不论 U_A 是正半周还是负半周，在负载上都有同一方向的电流流通，也就是在其两端一直加有一个正向电压（ $U_{出}$ ）其大小是随 U_A 的绝对值变化而变化。

在全波整流电路中通常是将变压器中心头接地，次级相互串联的两部份线圈是平衡的，即圈数相同，使用的导线线径相同，一般是采用双绞平绕，绕好后一组的尾接另一组的头作为中点，其他两个线头就分别接到二极管的阴极上去。

3. 桥式整流：

其电路连接及电压波形如图 6-2-7 所示。

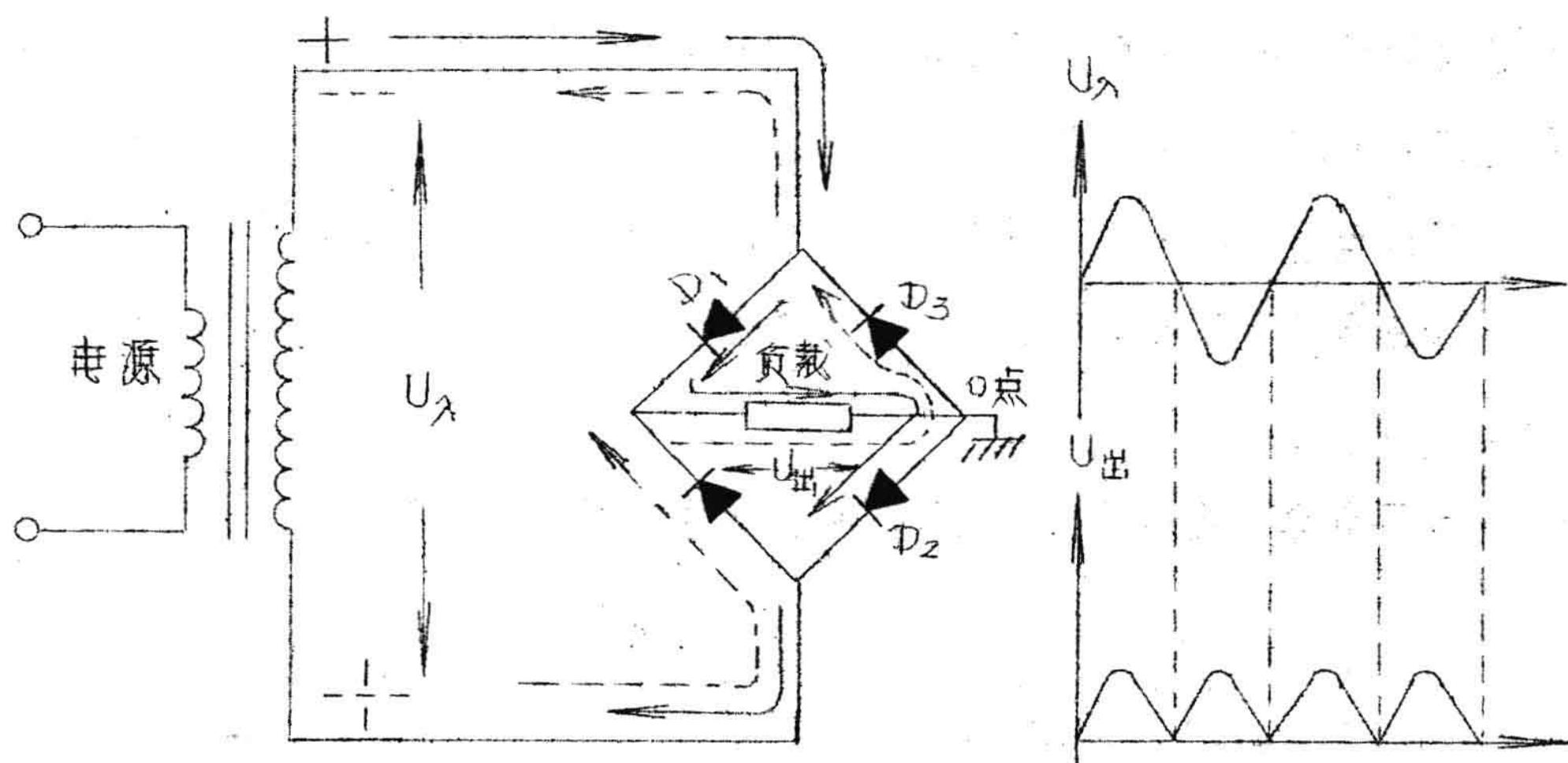


图 6-2-7

当 U_A 为正半周时, $D_1 D_2$ 导通, U_A 为负半周时, $D_3 D_4$ 导通。由图 6-2-7 可知它与全波整流一样在负载上一直有一同方向的电流流通。 $U_{出}$ 的大、小也是随 U_A 的绝对值变化而变化。

当 U_A 正半周时, 电流方向是 $U_A^+ \rightarrow D_1 \rightarrow \text{负载} \rightarrow \text{O点} \rightarrow D_2 \rightarrow U_A^-$ 。那末电流流过负载到 O 点后, 是否流向 D_3 呢, 这是不可能的。因为 O 点的电位比 U_A^+ 端低电流是不可能由低电位处流向高电位处的。流过 D_2 后也决不能从 D_4 倒流, 因为 U_A^- 一端电位比负载左端的电位低。同样 U_A 负半周时电流只可能流经 $D_4 D_3$ 而不可能中途径 D_2 或 D_1 倒流。

桥式整流电路与全波整流电路相比较它的变压器次级只要一组线圈。因此变压器的利用率较高, 它使用的整流二极管要比全波整流多一倍, 但对同样输出整流电压来说, 每二极管的耐压 (最高反向电压) 只要全波整流时的一半就可以了。

2. 滤波电路

上面所介绍的几种整流电路有一个共同的特点, 那就是它们的 $U_{出}$ 都是脉动直流而不是纯直流, 这在实际使用上是不符合要求的, 一般整流后都要经过滤波电路再送到负载去。

滤波电路的任务就是把整流器输出的脉动直流变成较为平滑的直流。

一般滤波都采用 π 式滤波器, 它是由二只电容 (C) 和电感 (L) 或电阻 (R) 组成。

电容电感 π 式滤波器的连接和电压波形如图 6-2-3 所示。

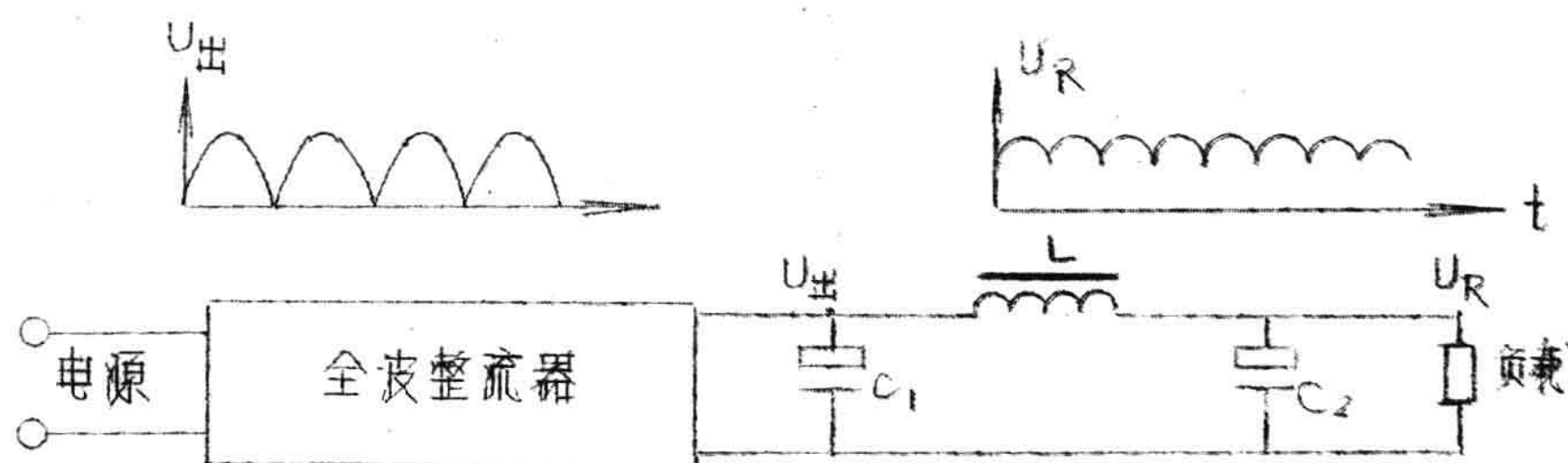


图 6-2-3

由图6-2-8可知，滤波电感 L 是串联在电路中的而滤波电容 C_1, C_2 是并联在电路中的。

LC滤波器所以能把脉动直流变为较平坦的直流是利用了通过 L 的电流和加在 C 两端的电压不能突变的原理，也就是说当 $U_{出}$ 由零上升时电容就充电， $U_{出}$ 到峰值时，电容两端电压也充到峰值，当 $U_{出}$ 由峰值下降时，电容通过负载 R 放电，但 R 值一般远大于整流器的内阻，所以放电很慢，只放掉一小部份（即电容两端电压下降不多） $U_{出}$ 又从零升到峰值了。

L 的作用是这样： $U_{出}$ 的上升或下降必将导致通过 L 流向负载的电流值的变化，但由于 L 将产生一个反方向的自感电动势来阻止或减小电流值的变化。由于 L, C 的联合作用，而达到滤波的目的。

由上述分析可知，当滤波器输出端未接负载时，那末它的输出电压 U_R 将是 U_A 的峰值（ $\sqrt{2} \times U_A$ ）这时因为滤波电容只充电而不放电所造成的。当接上负载后，假如忽略了整流器内阻上的压降的话， C_1 上的电压仍将等于或接近等于 U_A 的峰值，而 C_2 两端电压即 U_R 将等于 C_1 两端的电压减去电流（ I ）流过 L 时在 L 的直流电阻上所造成的电压降，即

$$U_R = \sqrt{2} U_A - IR_L$$

（ R_L 是 L 上的直流电阻成份）

在对滤波性能要求不高时，为了减少成本、缩小体积，也可用滤波电阻代替滤波电感，组成RC π 形滤波器。

3. 整流滤波电路各元件数值的选择

现用一个带有LC π 形滤波的全波整流器来说明这个问题，电路如图6-2-9所示。

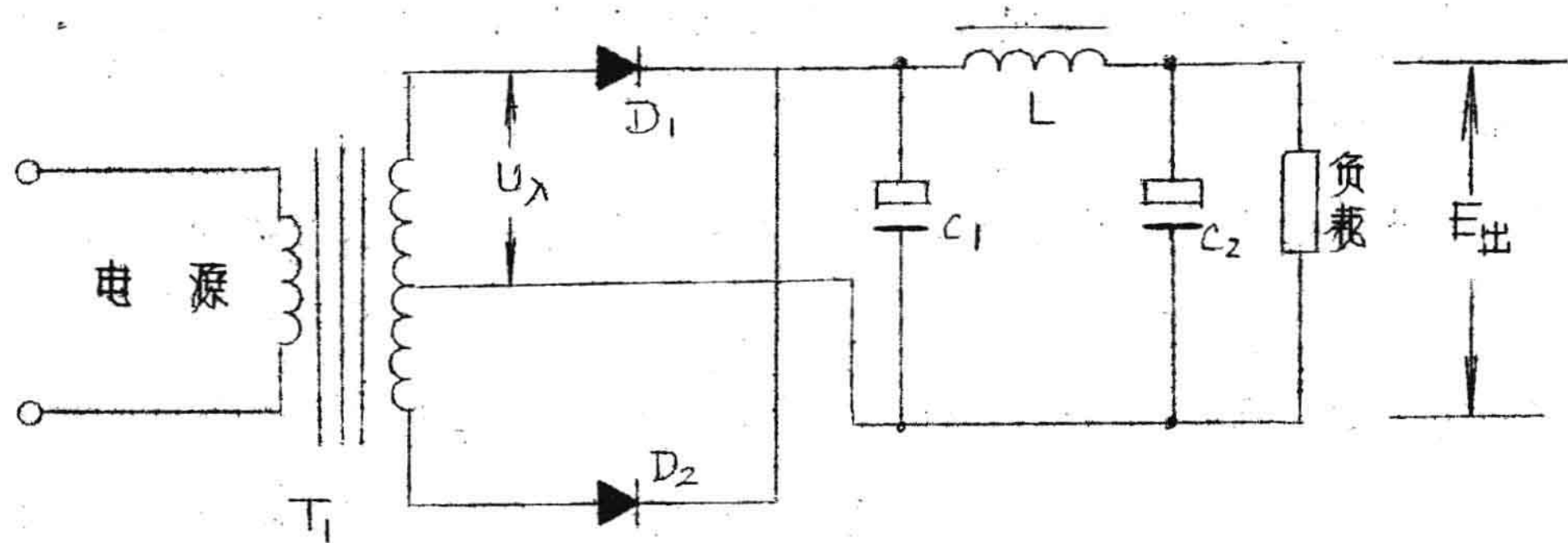


图 6-2-9

1. 电源变压器 (T) : 其容量应根据需要确定次级电压 U_{λ} 一般应等于 $1 \sim 1.5 U_R$.

2. 整流二极管:

—— 额定电流半波整流时应大于负载上所需的最大电流, 全波整流或桥式整流应大于 $1/2$ 负载电流.

—— 最高反向电压: 半波或全波整流时应大于 $2\sqrt{2} U_{\lambda}$ 桥式整流时应大于 $\sqrt{2} U_{\lambda}$.

3. 滤波电容:

—— 耐压: 应大于 $\sqrt{2} U_{\lambda}$

—— 容量: 从滤波效果来说, 应越大越好, 但容量过大, 充电冲击电流过大, 会损坏整流二极管, 同时为了降低成本、缩小体积, 一般 $E_{出}$ 在几百伏时用 $10 \sim 100 \mu f$, $E_{出}$ 在几十伏时 (如 $15V$ 、或 $24V$ 时) 用一百到几千 μf .

4. 滤波电感 (L)

—— 电感量: 一般用 10 到几十亨利, 电流大时用较小值.

—— 所用的导线直径应足够流过可能的最大电流、直流内阻不能过大, 在小电流时 (如 $100mA$ 以下) 直流内阻一般为几十到几百欧姆, 在大电流

时为几到几十欧姆。

三、特种二极管

由于内部结构不同而具有某些特殊性能的二极管叫特种二极管，常见的有稳压二极管和光电二极管等。

1. 稳压二极管：稳压二极管的外形及符号如图 6-2-10 所示。

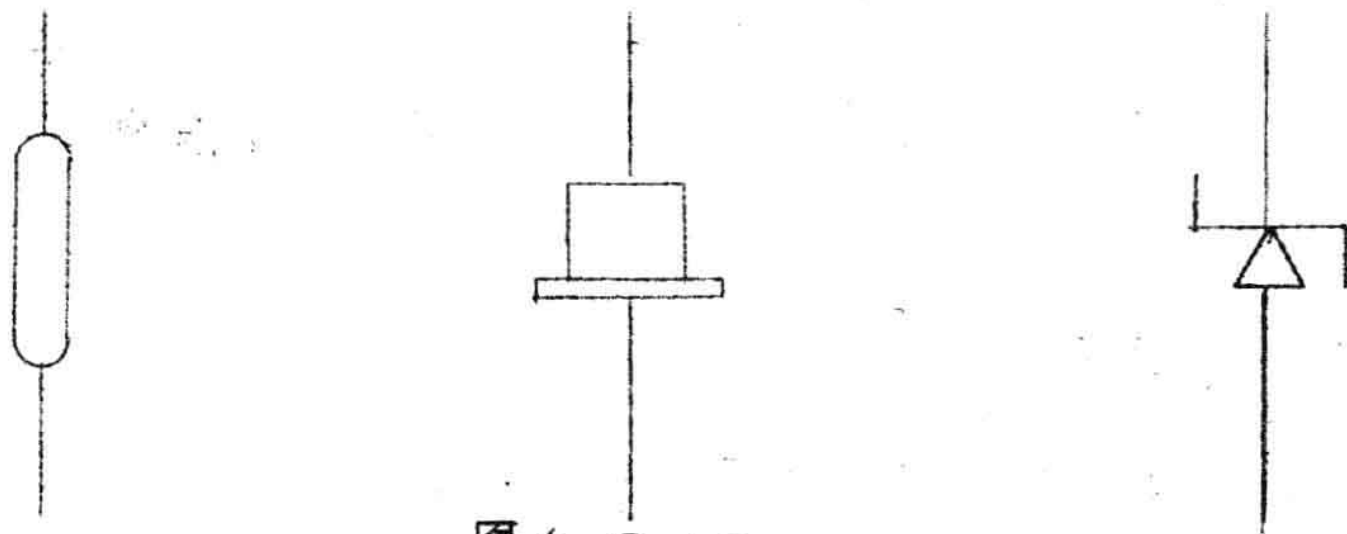


图 6-2-10

稳压二极管的作用是使流过负载的电流在一定范围内变动时维持其两端电压基本稳定。

在未加稳压管的整流电路中当流过负载的电流变化时，由于在整流器和滤波电路上的压降变化输出电压也要变化，因此加到负载上的电压也发生波动，这在要求较高的电路中是不容许的。

稳压二极管所以能稳压是利用晶体二极管的反向击穿特性。

前面已经讲过：当二极管接上反向电压，且电压值超过一定值（击穿值）时，就引起反向击穿，如线路中未加阻止反向电路的元件，那末它就将烧毁，但如在电路中串联一个限流电阻（ $R_{限}$ ）使反向电流限制在一定范围内它就不会烧毁，而其两端电压将保持在击穿值附近，这样就起到了稳压作用。

二极管稳压电路如图 6-2-11 所示。

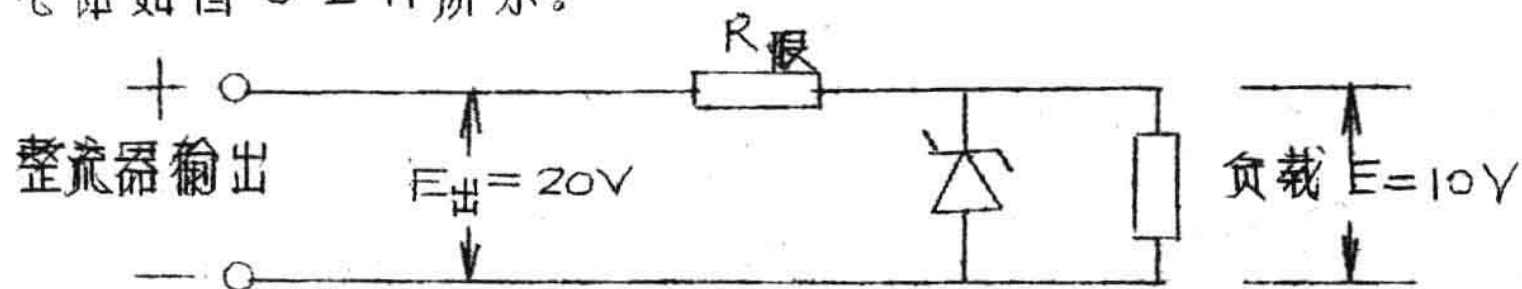


图 6-2-11

稳压二极管是并接在电路中而且是反向连接的。即阳极接电源负端，阴极接电源正端。不同型号的稳压二极管的稳定电压分别有几伏到几百伏不等，但稳压二极管的允许损耗功率一般只有零点几瓦到几瓦，所以它可以稳定的最大电流（即允许流过该管的反向电流）也不大。如一只 $1W, 10V$ 的稳压二极管的最大稳定电流 $= \frac{1W}{10V} = 0.1A = 100\text{Ma}$ 。而一只 $1W, 100V$ 的稳压二极管最大稳定电流就只有 10Ma ($= \frac{1W}{100V} = 0.01A = 10\text{Ma}$)。稳压二极管的型号，可根据需要来决定。选用的稳压二极管应满足以下两个条件：

- 稳定电压值等于负载上要求的电压值。
- 最大稳定电流等于或大于最大负载电流的两倍。

$R_{\text{限}}$ 的数值对稳压效果和安全工作有很大作用。

$$R_{\text{限}} = \frac{E_{\text{出}} - E(V)}{\text{最大稳定电流 (Ma)}} \quad (\text{K}\Omega)$$

计算举例：如图 6-2-11 中，负载电压 E 要求是 $10V$ ，而流过负载的电流将在 $0 \sim 10\text{Ma}$ 间变化。

对稳压管的要求：

$$E_{\text{稳}} = 10V$$

$$I_{\text{稳最大}} \geq 2 \times 10\text{Ma} = 20\text{Ma}$$

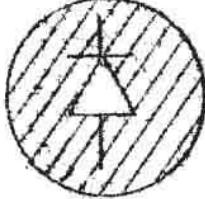
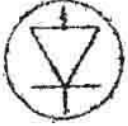
现选用 $2CW3$ 型稳压二极管，稳定电压 $9 \sim 10.5V$ 最大稳定电流 $= 26\text{Ma}$ 。

$$R_{\text{限}} = \frac{20V - 10V}{20\text{Ma}} = 0.5K = 500\Omega$$

二极管稳压电路，线路简单、成本低。但其稳定的电压受稳压管性能限制，且稳定范围也不大，故不适用于要求很高的电路中。

2. 光电二极管

光电二极管是利用半导体材料，受到光线照射后导电性能将发生变化的特性制成的一种二极管。

光电二极管用   符号来表示，光电二极管常用的是 2AU 型。

光电二极管与一般二极管一样有反向导电特性，它具有的特点是当无光线照射时，反向电阻值很大（几百 $k\Omega$ 到几个 $M\Omega$ ）当有光线照射时，反向电阻值就变小，光线越强则反向电阻值就越小。

利用它反向电阻值受光线强弱控制的特点，就能组成由光线控制的自动控制线路。

四. 二极管的保护及简易测量：

1. 二极管的保护

当通过二极管的电流过大时，二极管的 PN 结上就要因消耗相当大的功率而产生高温将二极管烧毁。所谓二极管的保护，就是采取一定措施，以提高其过载能力、减少烧毁的可能，但绝不是说加了保护措施后就可以任意地大量过载也不会损坏了。

二极管的保护（三极管及其它晶体管也大致相同）一般采用下列几项措施：

1. 散热：将晶体管在运行中产生的高温发散一部分以使其温度相对下降，并控制在安全范围内。

一般较大功率的晶体二极管的外壳是散热板（在大功率三极管上是集电极）是由散热性能较好的金属制成，表面面积较大便于散热，为了进一步提高散热效果一般大功率管要求将外壳固定在铝或其他金属制成的散热板或散热器上，这种叫自冷法，有的正向电流可达几百、几千安培的二极管，还要采取风冷、水冷、油冷等措施来提高散热能力。