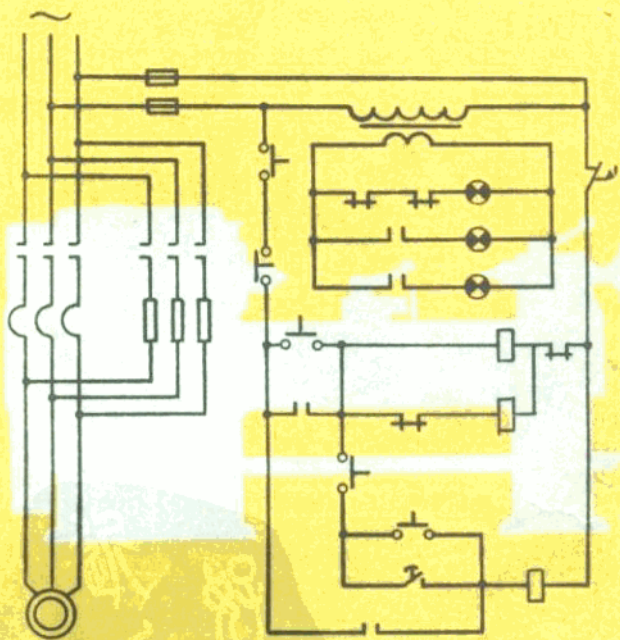


工业企业电力拖动基础知识

武士新



水利电力出版社

前 言

本书是为从事工业企业电力拖动自动控制技术的工作人员而编写的。书中较系统地介绍了工业生产自动化常用的半导体器件、典型电子线路、直流电机和异步电动机的基本知识。

以应用继电器和接触器为主所组成的电力拖动自动控制系统，在自动控制领域中占有重要地位。近年来，由于低压电器技术性能的不不断提高，以及半导体继电器等新的控制元件出现，使继电接触器控制系统又有了新发展。在我国，继电接触器控制系统在工业、农业、交通运输以及日常生活中应用十分广泛。为此，本书对常用低压电器（主要是继电器和接触器）及其组成的继电接触器控制系统作了较详细的叙述，并结合典型生产机械控制电路实例进行了分析。

本书主要供工业企业电力拖动领域的工作人员参考，也可供具有一定电工基础知识的人员作培训教材。

全书由武士新编写，在编写过程中韩宝玲同志给予了大量协助，由于编者水平有限，有不当之处，望广大读者给予批评指正。

编 者

1985.8.

目 录

前 言

第一章 电子技术基本知识	1
第一节 晶体二极管和整流电路	1
一、晶体二极管及其伏安特性	1
二、单相整流电路	6
三、三相桥式整流电路	18
第二节 晶体三极管放大电路	21
一、晶体三极管	21
二、交流放大器	33
三、直流放大器	52
第三节 直流稳压电源	59
一、硅稳压管及简单稳压电路	59
二、串联型晶体管稳压电路	62
第四节 脉冲数字电路	64
一、脉冲数字电路基础知识	65
二、反相器	74
三、门电路	77
四、双稳态触发器	85
五、单稳态触发器	95
六、自激多谐振荡器	99
第二章 可控硅及其应用	105
第一节 可控硅元件的工作情况	105
一、可控硅元件	105
二、可控硅的伏安特性与主要参数	108

第二节 可控硅整流电路	116
一、单相可控整流电路	117
二、三相可控整流电路	134
第三节 可控硅的触发电路	147
一、单结晶体管及其触发电路	148
二、同步电压为锯齿波的触发电路	159
三、三相半控桥的触发电路	161
第四节 可控硅元件的保护	165
一、过电流保护	166
二、过电压保护	168
第三章 直流电机	172
第一节 直流电机的结构和工作原理	173
一、直流电机的结构	173
二、直流电机的工作原理	176
三、直流电机的系列和铭牌数据	184
第二节 电枢绕组的感应电动势和电磁转矩	187
一、电枢绕组的感应电动势	187
二、电磁转矩	196
三、直流电机的电动作用和发电作用	198
第三节 直流电动机	202
一、转矩、电压及功率的平衡方程式	202
二、他励直流电动机的机械特性和调速方法	204
三、他励直流电动机的起动和制动	213
四、串励电动机和复励电动机	218
五、直流电动机的维修	220
第四章 异步电动机	225
第一节 三相异步电动机的构造和工作原理	226
一、基本结构	226

二、定子绕组的接线方法	229
三、工作原理	230
四、三相异步电动机的铭牌数据及主要系列	236
第二节 三相异步电动机的机械特性	239
一、机械特性	239
二、电动机带动生产机械时的稳定工作条件	242
第三节 三相异步电动机的启动、制动和 调速	244
一、启动	244
二、制动	249
三、调速	253
第四节 三相异步电动机的使用和维护	256
一、使用前的检查和使用中的维护	256
二、运行中常见故障的分析和处理	258
第五节 单相异步电动机	260
一、结构和工作原理	260
二、单相异步电动机的种类	262
第五章 常用低压电器	265
第一节 接触器	266
一、接触器的作用和基本结构	266
二、接触器的主要技术数据	267
三、触头和灭弧装置	270
四、电磁机构	277
五、接触器典型产品举例	285
六、接触器的选择	292
七、接触器常见故障及处理方法	301
第二节 继电器	301
一、电磁式电流、电压和中间继电器	301
二、时间继电器	310

三、热继电器	317
四、速度继电器	325
第三节 熔断器和自动开关	327
一、熔断器	327
二、自动开关	332
第六章 电力拖动自动控制	337
第一节 概述	337
一、什么叫电力拖动	337
二、电力拖动自动控制系统的基本型式	338
三、继电器-接触器控制电路原理图的组成	340
第二节 直流电动机的自动控制	344
一、他励直流电动机的起动	344
二、他励直流电动机的制动	351
三、他励直流电动机的反转	352
四、直流电动机的继电器-接触器控制电路	353
五、直流发电机-电动机组(F-D)的调速系统	356
六、交磁放大机及其控制系统	358
七、可控硅-直流电动机调速系统	370
第三节 三相异步电动机的自动控制	381
一、异步电动机的起动控制线路	381
二、异步电动机的联锁控制线路	387
三、行程控制	393
四、异步电动机的制动控制线路	394
五、设计控制电路时应注意的几个问题	400
第四节 机床的电器控制电路	402
一、Z3040×16摇臂钻床电器控制电路	402
二、X52K立式铣床电器控制电路	407
三、继电器-接触器控制线路的一般分析方法	419
本书主要符号说明	422

第一章 电子技术基本知识

第一节 晶体二极管和整流电路

一、晶体二极管及其伏安特性

(一) 晶体二极管

晶体二极管也叫半导体二极管，是由一个PN结，加上相应的电极、引出线和管壳构成。具有单向导电性能。

1. 晶体二极管的分类 晶体二极管的种类很多，可按其所用的材料、PN结的结构和用途进行分类。

(1) 按所用的材料分类。主要有锗二极管和硅二极管两种。

(2) 按二极管的结构分类。主要有点接触型、面接触型和硅平面型三种。

点接触型PN结的面积很小，允许通过的电流较小，一般为十几或几十mA。因为结面积小，所以极间电容很小，可用于高频信号的检波或用作脉冲数字电路里的开关元件，也可用来作小电流的整流。如2AP5就是点接触型锗二极管，最大整流电流为16mA，最高工作频率为150MHz。

面接触型与点接触型不同，它的PN结面积大，因而允许通过较大的电流，例如一百mA或几百mA，有的甚至达几百A。但由于结电容大，只能在较低的频率下工作。因此，它的主要用途是做大功率整流。如2CP25就是面接触型硅二极管，最大整流电流为300mA，最高工作频率为50kHz。

硅平面型的结面积较大时，可以通过较大的电流，适用于大功率整流。结面积小时PN结电容小，适合在脉冲数字

电路中作开关用。

(3) 按用途分类, 主要有普通二极管、整流二极管、开关二极管和稳压二极管等。至于它们的具体应用, 将在以后的各节中介绍。

如上所述, 晶体二极管可根据不同的情况, 分成各种类型。图 1-1 所示的为点接触型及面接触型二极管的外形图, 它们都有正负两个极, 正极是 P 型半导体的引出线, 负极是 N 型半导体的引出线。晶体二极管在电路图中的符号如图 1-2 所示。

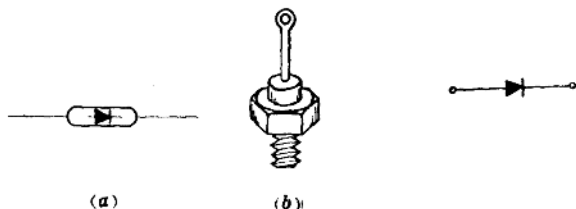


图 1-1 晶体二极管的外形
(a)点接触型; (b)面接触型

图 1-2 晶体二极管符号

2. 晶体管的命名方法 晶体管的品种很多, 不同规格的晶体管, 用不同的型号来表示, 我国规定晶体管型号的命名由四部分组成, 其命名方法如表 1-1 所示。

【例 1-1】 2CP10 其中 2 表示二极管, C 表示该管由 N 型硅材料为基础组成, P 表示普通型管, 10 为序号。

(二) 晶体二极管的伏安特性

所谓晶体二极管的伏安特性就是指加到晶体二极管两端的电压与通过晶体二极管的电流之间的关系曲线。

图 1-3 画出了二极管 2AP21 的伏安特性曲线, 一个二极管的伏安特性曲线, 可以分成三部分:

常用晶体管型号组成部分的符号及其意义

表 1-1

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	
数字	意义	字母	意义	字母	意义	字母	意义
2	二极管	A	N型锗材料	P	普通管		数字是序号, 用来区别同一类型, 但参数不同的管子, 除了用数字序号外, 有时在数字序号后, 加一个字母, 它反映了管子的某一特点 例如 3DG6A 的 $I_{cbo} = 0.1\mu A$, 3DG6B 的 $I_{cbo} = 0.01\mu A$.
3	三极管	B	P型锗材料	V	微波管		
		C	N型硅材料	W	稳压管		
		D	P型硅材料	C	稳压管		
		A	PNP型锗材料	Z	整流管		
		D	NPN型锗材料	L	整流管		
		C	PNP型硅材料	S	整流管		
		D	NPN型硅材料	U	继电器		
		C	PNP型硅材料	K	光电管		
		D	NPN型硅材料	X	开关管		
				G	低频小功率管 (截止频率 $< 3\text{MHz}$, 耗散功率 $< 1\text{W}$)		
				D	高频小功率管 (截止频率 $\geq 3\text{MHz}$, 耗散功率 $< 1\text{W}$)		
				A	低频大功率管 (截止频率 $< 3\text{MHz}$, 耗散功率 $\geq 1\text{W}$)		
				T	高频大功率管 (截止频率 $\geq 3\text{MHz}$, 耗散功率 $\geq 1\text{W}$)		
					可控整流器		

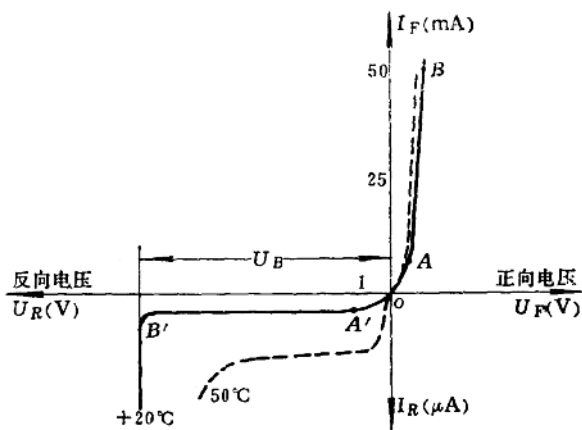


图 1-3 晶体二极管2AP21的伏安特性

1. 正向特性 当二极管两端加上正向电压（即阳极接正，阴极接负），就产生正向电流。当正向电压很低时，正向电流很小，这时二极管呈现比较大的电阻，这就是特性曲线的OA段。当正向电压超过一定数值（这个数值叫做死区电压，硅管死区电压为0.6V左右，锗管为0.2V左右）以后，电流增长很快，二极管的电阻很小，这就是特性曲线的AB段。

2. 反向特性 当二极管两端加反向电压时，有很小的反向电流通过二极管，这时二极管呈现的电阻值很大，一般小功率硅管的反向电流为几微安到几十微安，而锗管的反向电流可达几百微安。

反向电流有两个特点：一是它随温度的上升增长很快，

另一特点是当温度一定时只要外加反向电压在一定的范围以内，反向电流就基本上维持一定大小，和反向电压的数值无关。如图1-3所示，虚线表示温度为 50°C 时的伏安特性。由图可见，温度的增加对反向电流的影响很大；另外在图1-3中 $A'B'$ 段是比较平的，说明在 $A'B'$ 段反向电压增加，反向电流基本不变。

3. 反向击穿特性 从图1-3可以看到，当从 B' 点继续增加反向电压时，反向电流会突然急速增加，这时二极管就失去了单向导电性，这种现象叫做反向击穿。因此二极管在电路中工作时，反向电压在任何时候都不允许超过反向击穿电压。

(三) 晶体二极管的主要参数

所谓参数就是用数量表示的性能指标，一般二极管有三个参数：

1. 最大整流电流 I_F 指长期运行时，在规定的散热条件下，允许通过的最大正向平均电流。例如2CP10最大整流电流为100mA。

2. 反向击穿电压 U_B 指二极管反向击穿时的电压值。一般手册上给出的最高反向电压为击穿电压的三分之二左右，以确保二极管的安全运行。例如2AP7最高反向工作电压规定为100V，而反向击穿电压实际上大于150V。

3. 反向电流 I_R 指二极管加反向电压后，尚未引起击穿时反向电流的大小，其值愈小，则管子的单向导电性能愈好。

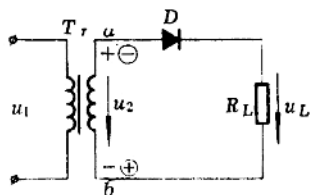


图 1-4 单相半波整流电路

二、单相整流电路

整流电路就是利用二极管的单向导电特性，把交流电转换成直流电的电路。整流后虽然已是直流，但从波形上看仍有波纹，因此需要在输出端加滤波环节，将波纹部份滤掉，从而得到一个波形较为平滑的直流电源。

(一) 单相半波整流电路

单相半波整流电路如图1-4所示，电源变压器 T 的初级线圈接到电压为 u_1 的电源上，次级线圈感应的交流电压为 u_2 ， $u_2 = \sqrt{2} U_2 \sin \omega t$ 。当 u_2 为正半周时，即 a 端为正， b 端为负，二极管 D 因正向电压而导通，电流流过负载电阻 R_L 。负半周时，即 a 端为负， b 端为正，二极管上加反向电压，故 D 不导通，没有电流流过负载。从图1-5可见，由于二极管的单向导电作用，只有单一方向的电流 i_L 流过负载 R_L ，因此负载上的电压 u_L 为单向的脉动直流电压，它好像把一个正弦波的负半周削掉一样，故称半波整流。对脉动电压求取平均值就是整流后的直流输出电压 U_L 。根据计算结果，正弦电压在半个周期内的平均值是其最大值的 $\frac{2}{\pi}$ 或0.637倍。那

么半波电压在一个周期内的平均值就应该是最大值的 $\frac{1}{\pi}$ 倍，即

$$U_L = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0.45 U_2 \quad (1-1)$$

式中 U_L ——负载直流电压，即半波电压在一个周期内的平均值；

U_2 ——变压器副边交流电压的有效值。

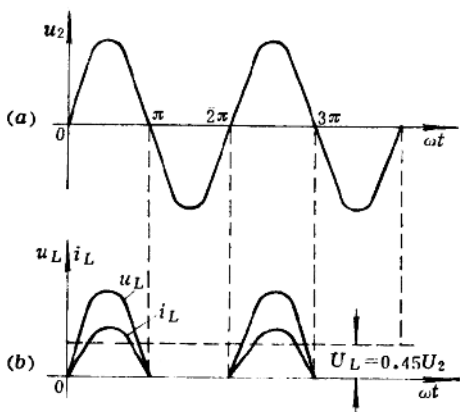


图 1-5 单相半波整流电路波形图

(a) 变压器副边交流电压 u_2 ; (b) 负载电压 u_L ; 负载电流 i_L

图1-5为单相半波整流电路 u_2 , u_L , i_L 在纯电阻负载时的波形图。图中 U_L 为单相半波整流电路负载电压的平均值。单相半波整流电路的明显缺点是交流电压的半个周波没有得到利用，因而整流效率不高。只是在小电流的场合（几十毫安以下）才用到它。当负载电流较大时，要选择更好的整流电路。

(二) 单相桥式整流电路

单相桥式整流电路如图1-6(a)所示。单相桥式整流电路的整流波形如图1-7所示。

从图1-6(a)可以看出，它是由四个二极管 D_1 、 D_2 、 D_3 和 D_4 组成一个桥式电路，交流电压 u_2 加到电桥的一个对角线，而电桥的另一对角线两端输出直流电压。为方便起见，单相桥式整流电路常采用简化的画法，如图1-6(b)所示。

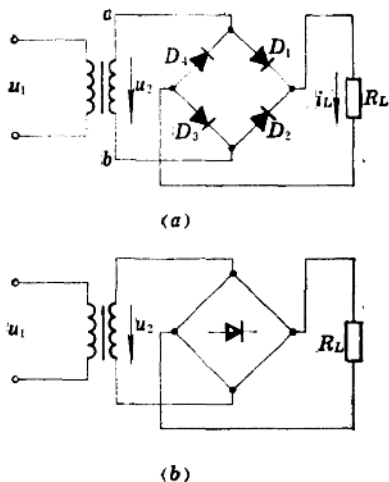


图 1-6 单相桥式整流电路的工作原理
(a)单相桥式整流电路；(b)简化画法

在交流电压 u_2 正半周时，变压器副边 a 点电位高于 b 点电位，所以二极管 D_1 、 D_3 导通， D_2 、 D_4 截止。电流通路为 $a-D_1-R_L-D_3-b$ ，这样在负载上得到一个半波电压。其波形图如图1-7(b)中 $0 \sim \pi$ 区间所示。

当交流电压 u_2 为负半周时，变压器副边 b 点电位高于 a 点电位，因此，二极管 D_1 、 D_3 截止， D_2 、 D_4 导通，电流通路为 $b-D_2-R_L-D_4-a$ ，同样在负载上得到半波电压，其波形图如图1-7(b)中的 $\pi \sim 2\pi$ 区间所示。

由上面的分析可知，在交流电压的一个周期内，流过负载 R_L 的电流方向相同，从波形图可以看出，由于电流在一个周期的两个半波都通过负载，所以这种全波整流电路负载

电阻 \bar{R}_L 上的直流电压比在半波整流电路时增加了一倍，其电压和电流的平均值计算公式为

$$U_L = 2 \times 0.45U_2 = 0.9U_2 \quad (1-2)$$

$$I_L = 0.9 \frac{U_2}{R_L} \quad (1-3)$$

式中 U_L ——负载直流电压，即全波整流电压在一个周期内的平均值；

I_L ——全波整流电流在一个周期内的平均值。

在桥式电路中，每两个二极管串联起来导电半周，因此每个二极管中流过的平均电流 $I_D = \frac{1}{2}I_L$ ，截止二极管上的反向电压就是电源电压 u_2 ，因此二极管反向截止时所承受的最大反向电压为 u_2 的最大值，即

$$U_{RM} = \sqrt{2}U_2 \quad (1-4)$$

式中 U_{RM} ——二极管所承受的最大反向电压。

在设计整流电路时，为了合理选用变压器或自行设计变压器，需对变压器的电压、电流和容量进行计算。由式(1-2)可得变压器副边电压的有效值为

$$U_2 = \frac{U_L}{0.9} = 1.11U_L \quad (1-5)$$

变压器副边电流的有效值（纯电阻情况）为

$$I_2 = \frac{U_2}{R_L} = \frac{1.11U_L}{R_L} = 1.11I_L \quad (1-6)$$

计算变压器的容量时，应把变压器原边和副边的伏安值分别计算出来，然后取平均值作为设计变压器容量的依据。

变压器副边输出的功率可以根据副边绕组的电压 U_2 和副边电流 I_2 来计算。当变压器有 n 个副边绕组时，副边功率

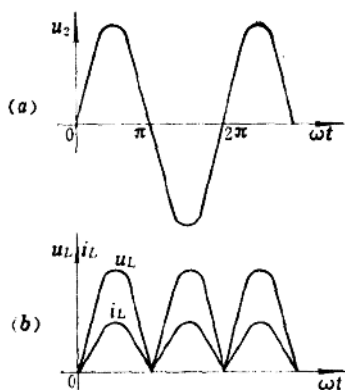


图 1-7 单相桥式整流电路波形图
(a) 变压器副边交流电压 u_2 ; (b) 负载电压 u_L 、电流 i_L

P_2 为各个副边绕组功率之和, 即

$$P_2 = (U_2 I_2)_1 + (U_2 I_2)_2 + \dots + (U_2 I_2)_n \quad (1-7)$$

变压器的原边输入功率 P_1 是由副边负载功率来确定的。由于在传递功率的过程中, 变压器本身存在着损耗, 因此副边输出的平均功率总比原边输入功率小, 输出功率和输入功率的比值, 称为变压器的效率, 用 η 来表示。

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (1-8)$$

η 一般在 0.8—0.9 之间。

变压器的总容量 P_T 按输入功率和输出功率的平均值来计算, 即

$$P_T = \frac{P_1 + P_2}{2} \quad (1-9)$$

确定了以上参数之后, 就可以确定变压器的铁芯尺寸和

原边、副边绕组的技术数据。

单相桥式整流电路与单相半波整流电路相比，其优点是输出电压高，纹波电压低，同时因电源变压器在正负半周内都有电流供给负载，电源变压器得到了充分的利用，效率较高，因此这种电路得到了颇为广泛的应用。

(三) 滤波电路

整流电路可以使交流电转换成直流电，但经过整流得到的还不是平稳的直流电。这种直流电在某些设备中（如电镜所用的直流电）可以使用，但在一些仪表和自动控制设备中，由于要求直流电压比较平稳，就不能满足要求了。这样就必须在整流电路的基础上应用滤波电路，以改善整流输出电压波形的平稳程度。

所谓滤波就是把直流脉动电压中的交流成分滤掉，使电压波形变得平稳。滤波电路一般由电容电感等元件组成，如在负载两端并联上一个电容器 C ，或将电感 L 串联接入电路，或将电容电感组合成各种复式滤波电路。常用的滤波电路如图1-8所示。

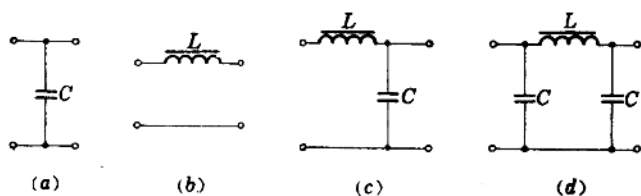


图 1-8 常用的滤波电路

(a) 电容滤波电路；(b) 电感滤波电路；(c) 倒L型滤波电路；(d) π 型滤波电路