

# 工业电子学

—机织专业—

无锡轻工业学院

1974年6月

# 毛主席语录

……你要有知识，你就得参加变革现实的实践。

读书是学习，使用也是学习，而且是更重要的学习。

世界上怕就怕“认真”二字，共产党就最讲“认真”。

学习的敌人是自己的满足。要认真学习一点东西，必须从不满足开始。对自己“学而不厌”，对人家“诲人不倦”，我们应采取这种态度。

- 4-3 可控硅使用注意事项
- 4-4 可控整流电路——半波可控整流电路、滑差电机可控整流和桥式可控整流电路

## 第五章 可控硅触发电路

- 5-1 单结晶体管的结构及管脚识别
- 5-2 可控硅简单触发电路
- 5-3 常用可控硅触发电路实验
- 5-4 带有脉冲变压器输出的触发电路

## 第六章 可控硅无级调速电路

- 6-1 分析电路的基本方法
- 6-2 可控灯
- 6-3 控制滑差电动机
- 6-4 控制直流电动机
- 6-5 具有测速反馈的可控硅调速电路
- 6-6 具有测速和电压微分负反馈的调速电路
- 6-7 G142A-180 浆纱机可控硅电路  
附：G142A-180 浆纱机电气原理图的动作过程
- 6-8 失控问题的讨论

## 补充教材

## 第七章 晶体管放大

- 7-1 特性曲线和主要参数
- 7-2 单管放大器——工作原理、~~负载分析~~和偏置电路
- 7-3 晶体管多级放大器——阻容耦合和变压器耦合

## 第八章 收音机知识

- 8-1 概述
- 8-2 矿石收音机
- 8-3 单管收音机
- 8-4 收音机电路图

## 附录

- 一. MF-30型万用表使用方法
- 二. 示波器的使用方法

# 工业电子学目录

## 第一章 调速电动机

- 1-1 直流电动机
- 1-2 直流并激电动机启动、调速和反转
- 1-3 并激电动机的关系式
- 1-4 串激电动机
- 1-5 复激电动机
- 1-6 滑差电动机

## 第二章 整流电路

- 2-1 二极管的测试实验
- 2-2 二极管的导电实验
- 2-3 为什么晶体二极管具有单向导电性
- 2-4 关于晶体二极管的说明——伏安特性、参数和命名方法
- 2-5 半波整流电路实验
- 2-6 滤波
- 2-7 桥式整流π型滤波电路实验
- 2-8 各种整流电路和滤波器的比较

## 第三章 晶体三极管及放大电路

- 3-1 晶体三极管——构造、放大作用和测试方法
- 3-2 电子继电器实验——光电、恒温 and 液面控制
- 3-3 测湿仪实验

## 第四章 可控硅整流电路

- 4-1 可控硅及其工作情况
- 4-2 可控硅的构造与工作原理

工业电子学是研究各种品质因数电子元件组成的电路应用于工业中的科学。是一门新兴的技术，利用它可以实现生产自动化。这门产品质量，根据品质因数，根据劳动条件，劳动条件多，快，好，省地迅速提高生产总效率的。在纺织工业中电子线路系统获得广泛地应用。染整机的无级调速就是一个例子。我们将要介绍的电子线路就是我们在纺织工业中一些常用的电子电路，尤其是可控制调速电动机无级调速，为此先从调速电动机介绍。

# 第一章 调速电动机

染整机要进行大范围的无级调速，过去用“机械”人工调速操作不便，该系统用机械无级调速，但设备复杂，占地多，故人们进而想从电机本身调速来予以解决。而直流电动机与滑差电动机皆能满足染整机的调速要求的。但两者都至直流电流。随着我国电子工业的发展，又人们应用可控制控制调速电动机解决了直流电流问题，又能很好地进行调速。

## 1-1 直流电动机

### 一、工作原理：

1. 图 1-1 所示为直流电动机最简单的原理图。其中磁极是圆形的磁极，转子装在磁极之间，转子绕组两端引至互相绝缘的两个铜片上（单铜片）组成换向口，又称整流子，安装在轴上并与轴互相绝缘。由圆形的电刷与换向口接触，因此转子绕组的端头通过换向口与电刷引至外电路。转子绕组在外加直流电压的作用下，电流方向如图 1-1 所示。通电流导体在磁场中受到电磁力的作用，方向由左手定则决定（即伸开左手，手掌面

看N极，而把电流流出方向，大拇指就代表电流的方向。可是转子受到电流的作用，用右手定则来判断，线圈从一个磁极下转到另一个磁极下时，由于换向器的换向作用，线圈电流变为另一方向。由于电刷A总是与N极导体

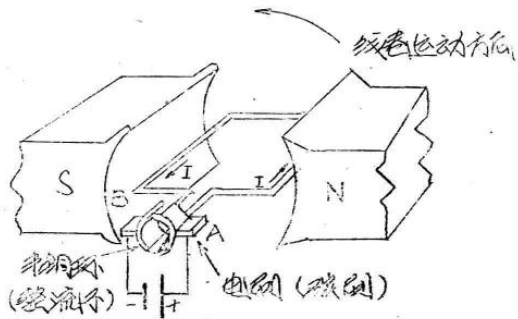


图 1-1 直流电动机原理图

相接，电刷B总是与S极导体相接，所以在各磁极下导体电流方向保持不变，所以线圈力的方向也保持不变。线圈就可以继续旋转。可见直流电动机中换向器的作用是改变通入转子线圈电流的方向，使每个磁极下导体电流的方向保持不变。

2. 线圈转矩M的大小正与转子磁通中的电流I

即  $M = C_M \Phi I$        $C_M$ : 与电机结构有关的常数。

3. 线圈旋转时，由于切割磁感线而产生感应电势。根据右手定则（即伸开右手，手掌迎着N极大拇指代表导体运动方向，四指就代表电势方向。可知感应电势方向与电流方向相反，称为反电势，反电势的大小与磁通中成正比，与转速n成正比

$E_R = C_e \Phi n$        $C_e$ : 与电机结构有关的常数。

反电势  $E_R$  与外加电流I形成一对矛盾。

$I \uparrow M = C_M \Phi I \uparrow, n \uparrow E_R = C_e \Phi n \uparrow$       阻止  $I \uparrow$

$I \downarrow M = C_M \Phi I \downarrow, n \downarrow E_R = C_e \Phi n \downarrow$       阻止  $I$  的减小。

但是这对矛盾的斗争有因在于I亦即外加电压E所决定的。

六 “矛盾的斗争和非斗争的方面互相转化着，事物的性质也就随着起变化。”例如，在外加电压E一定时线圈转速n的变化，

反电势成了正电势，电动机成了发电机。这时电流方向倒转，对E充电了。由于通电导体在磁场中受到力的作用，方向由左手定则确定，发现这个电磁力是逆着外加机械力的，这两个力也组成一对矛盾。当然矛盾的主要方面是外力。

5. 回到电动机方面来，要使线圈反转方法有二种。

- 1) 以对称极位置时换一下，线圈就会反转。
- 2) 改变电流I的方向，线圈亦会反转。

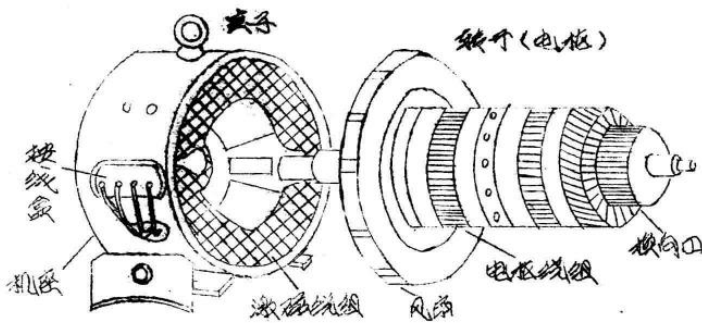


图1-2 直流电动机构造

### 二. 构造:

1. 直流电动机主要分定子与转子二部分如图1-2所示。定子部分主要是固定的磁极一般都用永久磁铁而不用电磁铁如图1-3。这是因为电磁铁的体积小，重量轻，磁通可以调节。磁极可做成一对或数对，励磁的线圈称激磁绕组  $F_1 F_2$  放在磁极上，激磁绕组通电流后便产生N极S极。

转子部分的铁芯用软钢片叠成，上面的线圈称电枢绕组  $S_1 S_2$  它共有几个线圈，而其均匀放置的若干个线圈，各个线圈的两端分别接至换向口，因此换向口也有相互绝缘的许多片。

2. 直流电机符号如图1-4所示， $S_1 S_2$  为电枢绕组，电阻  $R_s$  很小只有毫欧几个到几个欧， $F_1 F_2$  为激磁绕组，电阻



$R_F$  较大一般有几毫欧到几十，甚至以欧级用万用表测量它们的电阻值后才能区别出是电枢绕组还是励磁绕组。

3. 直流电动机的电枢绕组与励磁绕组都要通直流电，两者联接不同，直流电动机分为三类，其中并励电动机用得最多。

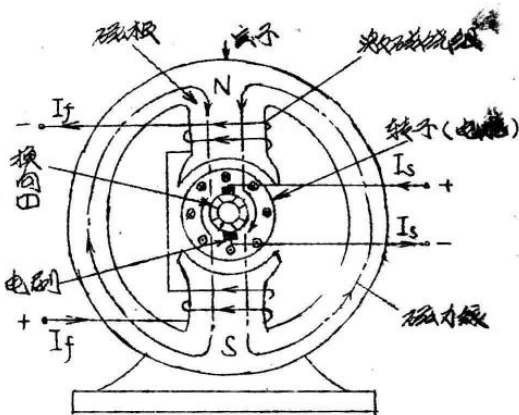


图 1-3 直流电动机示意图

1) 并励电动机

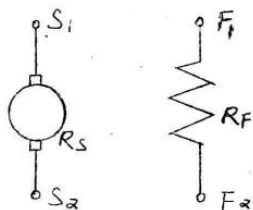
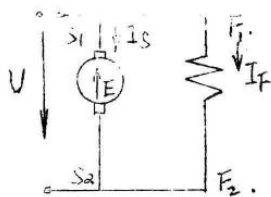
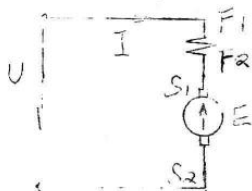


图 1-4 直流电动机符号图

2) 串励电动机



3) 复励电动机

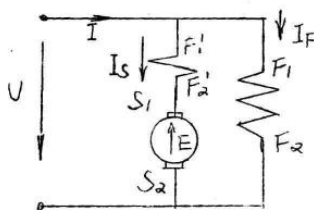


图 1-5 直流电动机分类

# 1-2 並激电动机启动、调速、加反转的实验

## 一、设备

电动机一台，1.75KW。

1450转/分 110V 的直流电动机一台。

调速电阻 100Ω 2.5A

一个。

1) 用万用表区别电机上四个端子两个是电枢绕组  $S_1, S_2$  那两个是励磁绕组  $F_1, F_2$ 。

2) 用摇表分别测量  $S_1, S_2, F_1, F_2$  对地， $S_1, S_2$  与  $F_1, F_2$  之间的绝缘电阻，这三个绝缘电阻全大于 0.5 兆Ω，电动机才能应用。

3) 按 1-6 图接线，接好后再做检查，然后操作。

## 二、操作

1. 启动、启动，就是启动电阻  $R_{sk}$ ，串入电枢电路中因为启动瞬间  $n=0$ ，反电势  $E=Ce\Phi n=0$  这时电枢绕组中启动电流为

$$I_{sk} = \frac{U - E}{R_s} = \frac{U}{R_s}$$

由于  $R_s$  很小，故  $I_{sk}$  很大可达额定值的十几倍到几十倍，这样大的启动电流会烧坏绕组和换向口。同时，启动转矩  $M_{sk} = C_m \Phi I_{sk}$  也

很大，造成转速过大，电机和机械受损。所以直流电动机

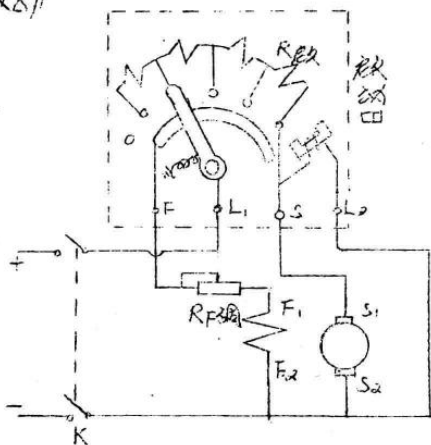


图1-6 并激电动机启动电路图

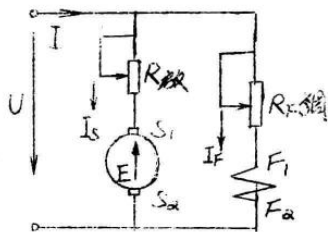


图1-7

一般不能直接制动，必须限制它的制动电流和转矩。额定电流 $I_{S\text{放}}$ 值  $I_{S\text{放}} = \frac{U}{R_s + R_{\text{放}}}$  为额定电流的1.5—2倍。

制动前 $R_{\text{放}}$ 全部接入，制动过程中将它逐渐地减小到0。注意 $R_{\text{放}}$ 电阻不能长期接在电机电路中，不能当调速电阻用至因 $R_{\text{放}}$ 电阻是长期设计而用的，时间长了会烧坏的。

2. 调速，制动完毕后，就可进行调速，调速方法为二种。

1) 改变磁通 $\Phi$ （我们已在激磁电路中串入附加电阻 $R_F$ 调）观察 $R_F$ 调从0逐渐变到最大，电机的转速有什么变化？  
由于激磁电路电流很小仅佔总电流的1—5%，因而串入电阻 $R_F$ 消耗功率小，故应用较多，缺点就是转速只能上调。

必须指出，运转的电动机，激磁电路切不可断开，否则  
 $I_F = 0$  磁极上仅有极小的剩磁 $\Phi$ ，转速会很高，离心力过大会损坏电机和机械。

2) 在图1-7中将 $R_{\text{放}}$ 改或 $R_s$ 调。（即 $R_s$ 调容量大可以长期接入电机电路） $R_s$ 调 增加转速几下降。

此法： $R_s$ 调 具串入电机电路，消耗功率大，不经济，故少用。

3) 改变电机两端电压调速。这是一种很好的调速方法。可以从不同的大范围调速即无级调速但需有可调直流电源。由于可控硅整流器的采用，以解决上述矛盾，故为广泛应用。

3. 反转，改变电动机的转向决定于磁通 $\Phi$ 及电机电流的方向，因此只要在改变激磁电流方向或电机电流方向即可使电机反转。可以任取一种，即 $S_1, S_2$  两头对换，或 $F_1, F_2$  两头对换。

问题：若两者均对换，电机是否仍反转？\_\_\_\_\_

### 1-3 並激電動機的關係式

1. 電與電流係式:

$$I = I_s + I_f \quad \text{--- ①}$$

$$U = E + I_s R_s \quad \text{--- ②}$$

$R_s$ : 電樞繞組電阻

2. 電與機速係式:

$$\text{反電勢 } E = C_e \Phi n \quad \text{--- ③}$$

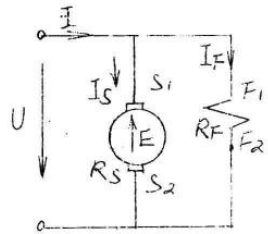


圖 1-8 並激電動機

$$\text{轉矩 } M = \frac{E}{C_e \Phi} = \frac{U - I_s R_s}{C_e \Phi} \quad \text{--- ④}$$

$$\therefore \text{②式 } E = U - I_s R_s$$

$$\text{轉速 } n = C_m \Phi I_s \quad \text{--- ⑤}$$

3. 機與機速係式:

$$\text{將⑤式改寫成 } I_s = \frac{M}{C_m \Phi} \text{ 代入④}$$

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R_s}{C_m C_e \Phi^2} M \quad \text{--- ⑥}$$

此式為並激機的機械特性。

由於  $R_s$  很小  $\frac{R_s}{C_m C_e \Phi^2}$  更小

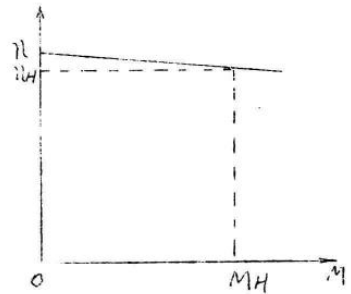


圖 1-9 機械特性式或

故  $M$  增加時，轉速  $n$  下降很少具有硬的機械特性，如圖 1-9 所示。

改變電樞電壓  $U$ ，減少磁通  $\Phi$ ，或在電樞電路中串電阻  $R_s$  均，可以獲得不同的機械特性如圖 1-10 所示。

尤其是改變電樞電壓可以獲得大範圍調節轉速。

因式⑥中由於  $I_s R_s$  的值很小，與  $U$  相比可略去不計。此時我們可以寫出  $n \propto \frac{U}{C_e \Phi}$  如果我們保持激磁電流不變。

即  $\alpha$  不变，通过改变  $U$ ，即可达到调节  $n$  的目的。

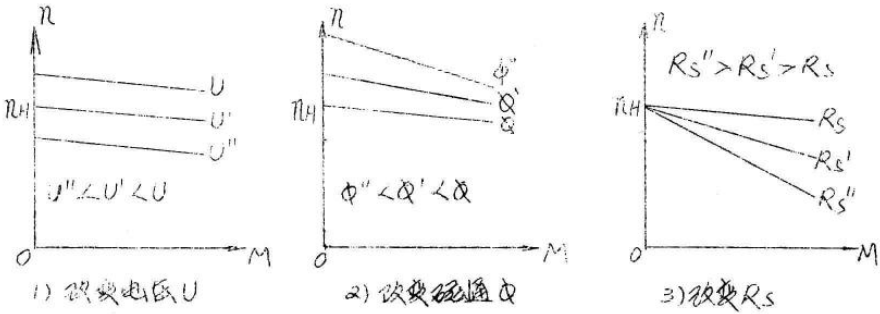


图 1-10

#### 1-4 串激电动机

激磁绕组与电枢绕组串联，如图 1-11 所示。

$$I = I_s = I_f$$

$$U = E + I(R_f + R_s)$$

由于  $I_s = I_f$ ，磁通  $\Phi$  随  $I_s$  变化，正常运转时磁路没有饱和，磁通  $\Phi$  正比于  $I_s$ 。

$$M = C_M \Phi I_s = C_M' I_s^2$$

可是串激电动机的转矩和输出功率较大，这类串激机的特点之一，便是特别适用于起重大面、织布车面的电焊机，就是 230 至 36V 的串激直流电动机，由于重量轻，是直接激磁的。

当负载增加时，电动机转速  $n$  下降，电枢电流  $I_s$  随之增大，使电磁转矩  $M = C_M' I_s^2$  大为增加，与机械转矩达到新的平衡，电动机以比原来低的转速运转。

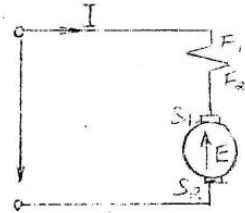


图 1-11

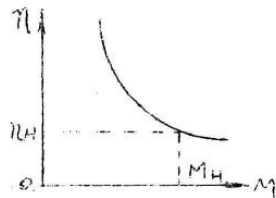


图 1-12 串激电机机械特性

$$\text{从 } \eta = \frac{E}{Ce\Omega} = \frac{U - I_s(R_s + R_F)}{Ce\Omega} \text{ 可以看出, } I_s \uparrow \rightarrow M - C_m I_s^2 \uparrow$$

$I_s(R_s + R_F) \uparrow \rightarrow \Omega \uparrow \rightarrow \eta$  因而急剧下降。但是当磁路饱和时, 磁通  $\Phi$  不能再随  $I_s$  增加而增加, 转速  $\Omega$  下降较少。特性曲线渐趋于平直。

串激电动机的转速随转矩的增加而显著下降的特性称为软特性。这是串激电动机的另一个特点。这种软特性特别适用于起重设备。例如起重重物时, 其转速低, 保证久作安全, 起重轻物时, 转速较高, 提高生产率。

必须注意, 串激电动机一定要带有 30% 的额定负载。负载或轻载 (小于 30% 额定负载) 时, 转速太高会受到离心力过大而损坏电机, 故串激机一般与出平机械直接耦合, 不用皮带传动, 以免皮带打滑而发生事故。

### 1-5 复激电动机

请看图 1-5 复激电动机激磁绕组有二个  $F_1 F_2, F_1' F_2'$ , 其中  $F_1' F_2'$  是串入电枢电路的,  $F_1' F_2'$  与  $S_1 S_2$  构成串激  $F_1 F_2$  与  $S_1 S_2$  构成并激, 故复激是介于串激与并激之间, 机械特性见图 1-13。

纺织机上可用并激电动机也可用复激电动机, 后者低速时转矩较大, 用后者当然更好。一般织轴与边轴各一台, 功率在 4KW 左右, 转速 1500 转/秒, 两台电动机要求“同步”即两台电动机转的快慢一致。调速都是用可控硅来改变电枢电压进行的。

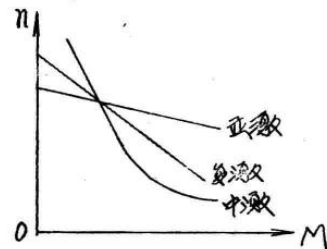


图 1-13 直流电机机械特性比较

### 1-6 滑差电动机

滑差电动机全名为电磁调速异步电动机, 也有人叫 V.S 马达,

反正是一回事，滑差电机有二个部分组成，第一部分是异步电动机，第二部分是电磁离合器。

电磁离合口由圆盘电磁铁与外面没有机械联系的铸钢杯（对于在极小功率场合用铝杯组成）。

铸钢杯（或铝杯）是装在异步电动机轴上，这具一般形式。图1-14所示是比较总的形式。

又作原理好格：异步机接上三相交流后以恒定转速带动电磁铁运转，为电

磁铁通入直流电后就会在电磁铁上产生圆盘磁场。但对铸钢杯（或铝杯）而言就成了旋转磁场，我们在讲异步机又作原理时，谈到旋转磁场切割鼠笼铝条后，会使转子跟着和慢于旋转磁场转速转动，这里的滑差电机与异步电机情况基本相同所不同的从滑差电机的旋转磁场的强弱可以控制，磁场强铸钢杯（或铝杯）转速高，磁场弱，铸钢杯（铝杯）转速低，从而达到调速目的。磁场强弱，可由控制直流电的大小来实现，图1-15是改变R，一般是由可控硅控制，来进行调速。G/42-A型-180浆纱机用一台11KW 1450转/分的异步电机带动二台调速出为600/240转/分的电磁离合器。（一台拖织轴，另一台拖边轴）。

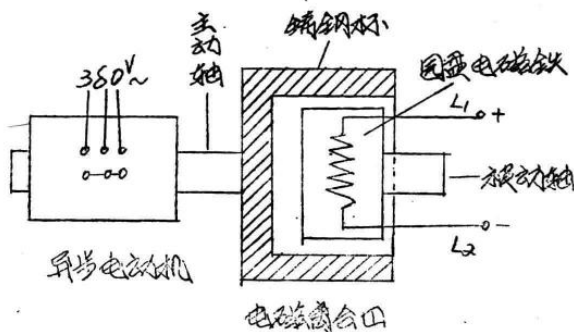


图1-14 滑差电机

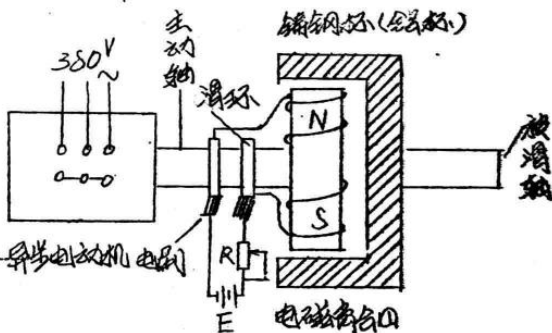


图1-15 滑差电机

# 第二章 整流电路

调速电动机一般需直流电，由于从电网出需要直流电，直流电那里来？可用直流发电机发出，但不经济，目前广泛使用整流电路来把交流电转变成直流电。整流电路一般由变压器、整流电路、滤波电路组成，电路及波形如图2-1所示。

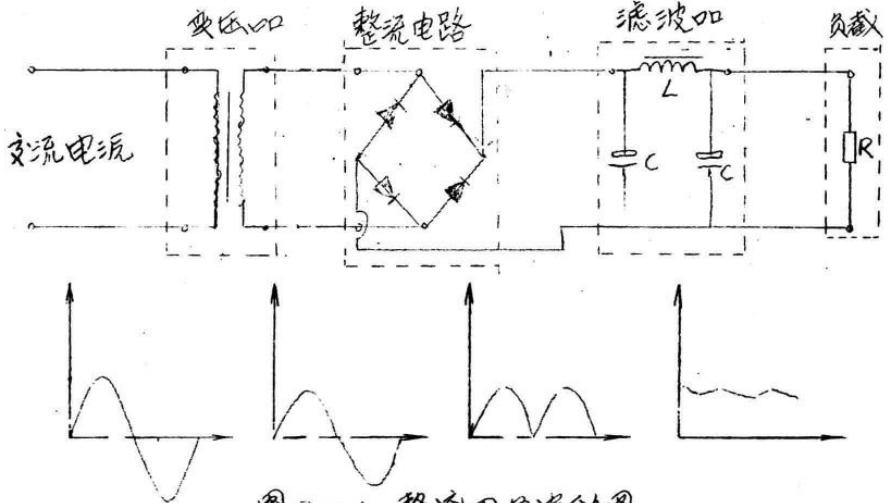


图2-1 整流电路及波形图

整流的过程是这样的：

1. 交流电流（如220V）首先经过变压器变压。
2. 变压器输出的交流电压经具有单向导电性的整流元件（如二极管）后，就整流成为脉动直流电压。
3. 脉动直流电压通过滤波电路后，便脉动变成直流电压，供负载使用。

“较为容易学，使用也容易学，而且具有重复的学习。”  
我们将先从使用开始。



## 2-1 二极管的测试实验

请看附录1. MF30型万用表使用方法, 尤其有关电阻测量部分。

用万用表测量二极管时, 把万用表S拨到 $\Omega$ 档一般是 $R \times 100$ 或 $R \times 1K$ 档 (应当注意: 不宜用 $R \times 1$ 或 $R \times 10K$ 档, 因为前者电流太大, 后者电压太高均为损坏管子), 然后用二根表棒分别正、反测量二极管的二端, 如图2-2所示。

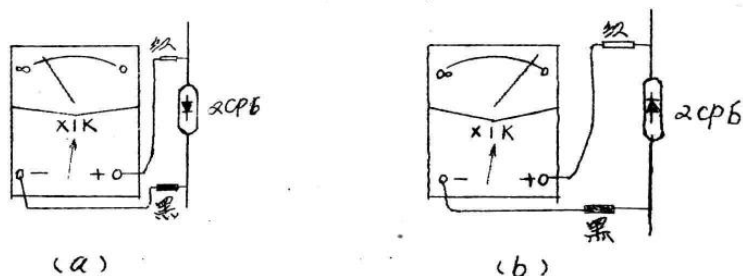


图2-2 二极管的测试

因为红表棒是接万用表中电池的负极, 黑表棒是接电池的正极所以红表棒带负电, 黑表棒带正电, 在图2-2(a)所示情况下二极管加的是反向电压, 测量出来的是反向电阻, 对于小功率二极管(如2CP6)而说大约几百欧姆(大功率晶体二极管如2CZ5A/500V 测量出来的阻值相应变小得多)。

一般二极管的正向电阻阻值相差较大越好, 若相差不大, 则表明这个二极管的性能不好, 如果测得正反向电阻皆为极大, 则表示管子内部已断路, 若测得正向反电阻都很小, 则表示管子内部已经短路; 这两种情况都说明管子已经坏了。

在上述测量过程中, 判别二极管的正负极的方法如下: 如果我们测得的电阻值为几百千欧如图2-2(a)所示情况, 这时红表棒接触的一端是二极管的正极, 黑表棒接触的一端是二极管的负极。如果我们测得电阻值为几百欧如图2-2(b)所示情况