

项目一 直流电路的应用

知识目标:

- 1.了解电路的组成和作用及电路中基本物理量的概念;
- 2.掌握电路的三种工作状态及电压、电流、功率关系;
- 3.熟悉电阻、电容、电感元件以及它们的特性;
- 4.掌握欧姆定律和基尔霍夫定律并能熟练运用。

能力目标:

- 1.能正确识别并检测电阻、电容、电感元件;
- 2.能认识并检测汽车电路基础器件, 正确选用各电器元件;
- 3.能识读汽车电路图, 分析直流电路;
- 4.会正确使用汽车常用仪器仪表。

项目一 直流电路

任务一 电路的基本概念及常用电路元件

任务二 电路的基本定律和电源的等效变换

任务三 汽车电路基本器件

任务四 汽车电路

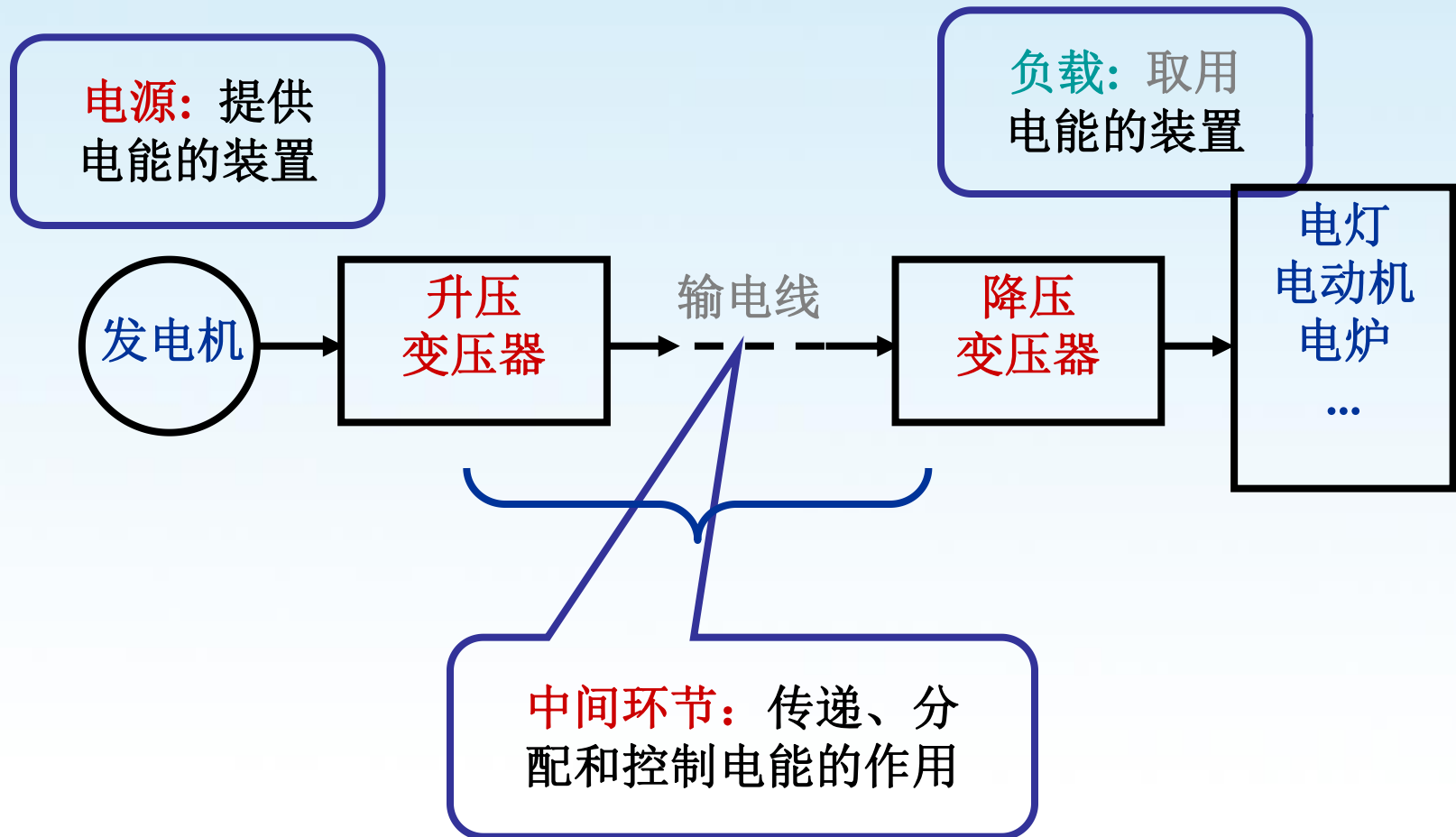
任务五 汽车常用仪器仪表的使用



任务一 电路的基本概念及常用电路元件

一、 电路的组成和功能

电路是电流所能流过的路径。电路由以下三部分组成。



二、电路模型和电路图

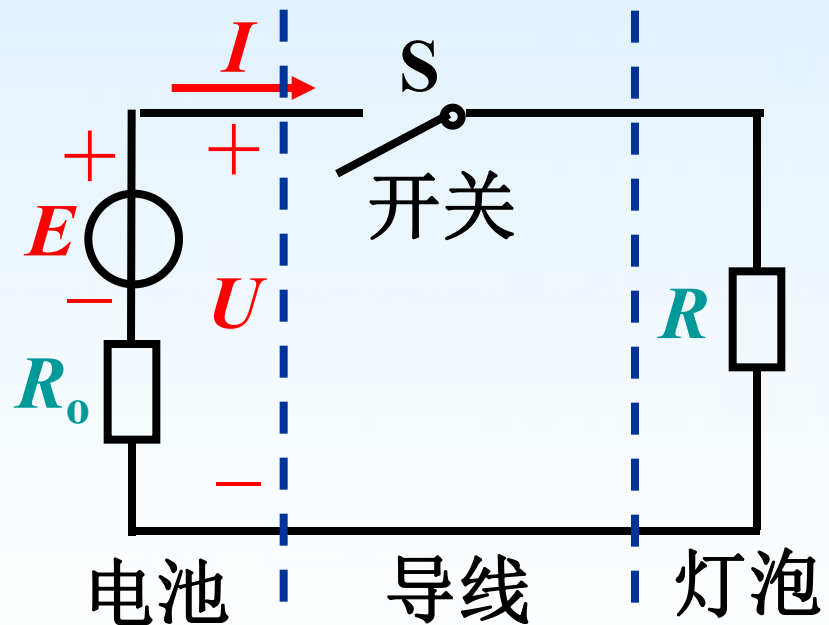
用理想电路元件构成的电路称为电路模型，今后我们研究的电路都是电路模型。理想的电路元件用规定的符号表示，实际电路元件模型化后，就可以用电路元件符号绘制出电路图。

理想电路元件主要有电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等。

例：手电筒

手电筒由电池、灯泡、开关和筒体组成。

手电筒的电路模型



三、电路基本物理量

1. 电流

电荷作定向移动就形成电流。电流可分为两类：一类是大小和方向均不随时间改变的电流，称为恒定电流，简称直流（**DC**）；另一类是大小和方向都随时间变化的电流，称为变动电流。其中一个周期内电流的平均值为零的变动电流称为交变电流，简称交流（**AC**）。

直流电流用 I 表示，其大小为单位时间内通过导体横截面的电荷量 Q ，即

$$I = \frac{Q}{t}$$

交流一般用 i 表示，其大小为

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

2. 电压

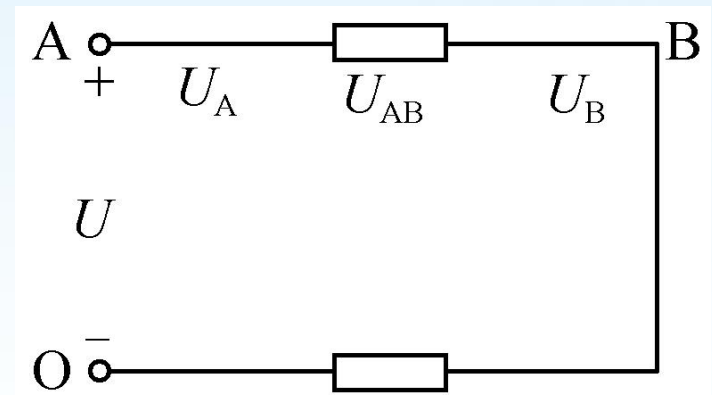
在任何电路的外电路中，正电荷受电场力作用由电源的“+”端通过负载向电源的“-”端移动。正电荷所具有的电位能逐渐减少，同时将电能转换为其他形式的能量。

如图所示电路中，A、B两端间的电压，用 U_{AB} 表示，

其大小等于电场力把单位正电荷从A端移动B端所做的功，即

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q}$$

选择电路中任意一点为参考点，则电路中某点至参考点电压就叫做这一点的电位（相对于参考点）。



物理中对基本物理量规定的方向

物理量	实 际 方 向	单 位
电流 I	正电荷运动的方向	kA 、 A、 mA、 μ A
电压 U	高电位 $\rightarrow$ 低电位 (电位降低的方向)	kV 、 V、 mV、 μ V
电动势 E	低电位 $\rightarrow$ 高电位 (电位升高的方向)	kV 、 V、 mV、 μ V

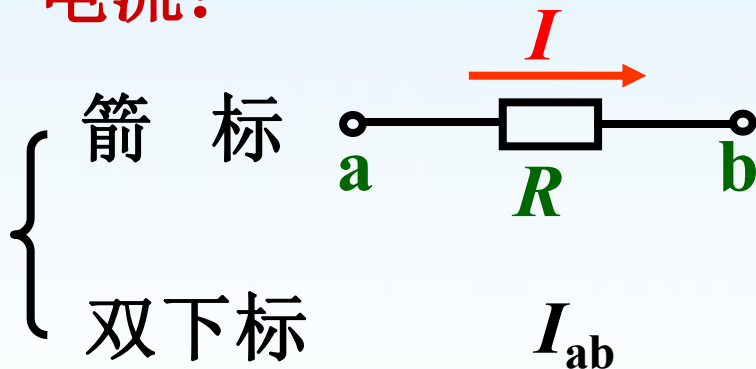
2. 电路基本物理量的正方向

(1) 正方向

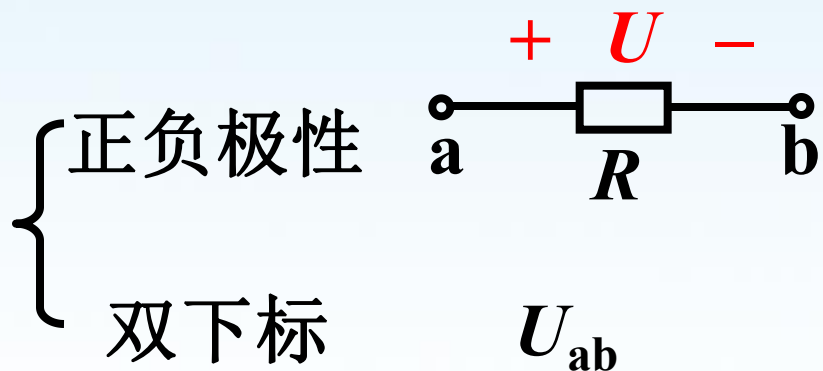
在分析与计算电路时，对电量任意假定的方向。

(2) 正方向的表示方法

电流：



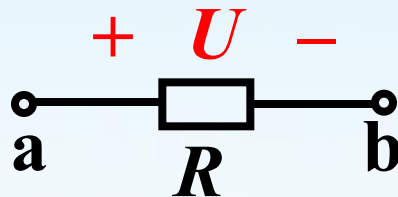
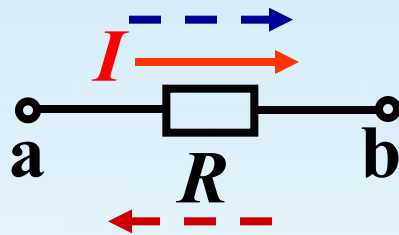
电压：



(3) 实际方向与正方向的关系

实际方向与正方向**一致**，电流(或电压)值为**正值**；
实际方向与正方向**相反**，电流(或电压)值为**负值**。

例：



若 $U = 5V$ ，则电压的实际方向
从 a 指向 b；

注意：

正方向选定后，电流（或电压）才有正负之分，
不指定正方向，电流（或电压）的正负则无意义。

3. 功率

电流在单位时间内做的功称为电功率，在直流情况下，功率用符号***P***表示，其大小为

$$P = \frac{W}{t} = UI$$

功率的单位为瓦特，符号为***W***。

4. 电能

在直流电路中，负载上的功率不随时间变化，则电路消耗的电能

$$W = Pt$$

若功率的单位为瓦特（***W***），时间的单位为秒（***s***），
则电能的单位为焦耳（***J***）。

四、 电路的三种工作状态

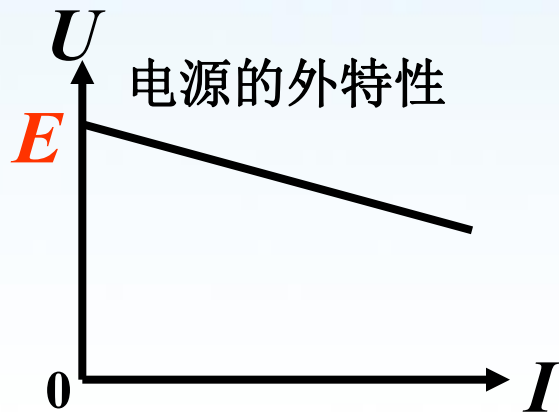
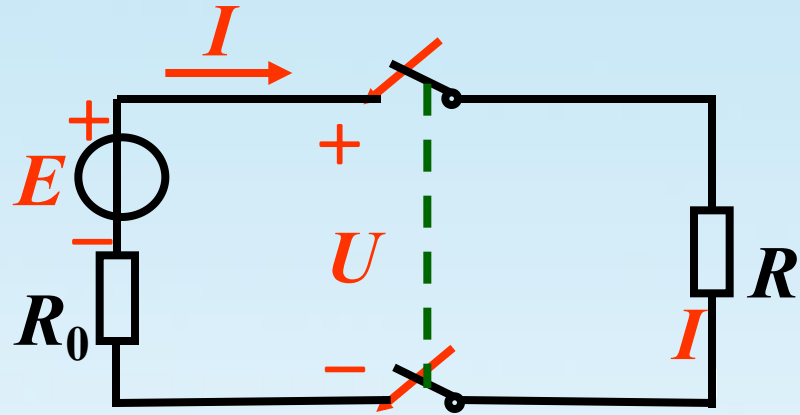
1. 有载工作状态

开关闭合,接通
电源与负载

特征:

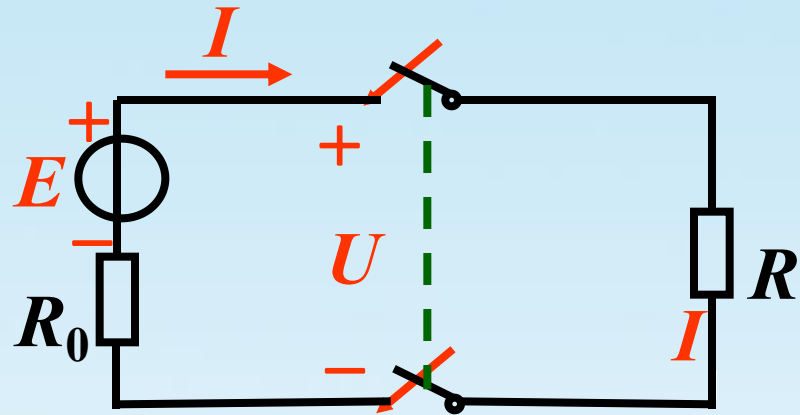
$$I = \frac{E}{R_0 + R_L}$$

$$\text{或 } U = E - IR_0$$



当 $R_0 \ll R$ 时, 则 $U \approx E$, 表明
当负载变化时, 电源的端电压变
化不大, 即带负载能力强。

开关闭合,接通
电源与负载。



$$U = IR$$

负载端电压

$$P = P_E - \Delta P$$

负载
取用
功率

电源
产生
功率

内阻
消耗
功率

① 电流的大小由负载决定。

$$\text{或 } U = E - IR_0$$

② 在电源有内阻时, $I \uparrow \rightarrow U \downarrow$ 。

$$UI = EI - I^2 R_0$$

③ 电源输出的功率由负载决定。

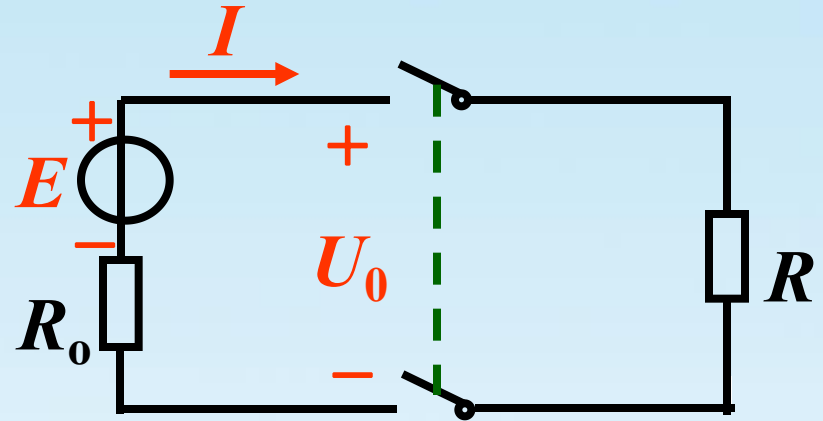
负载大小的概念:

负载增加指负载取用的
电流和功率增加(电压一定)。

2. 断路状态

开关 断开
特征:

$$\left\{ \begin{array}{l} I = 0 \\ U = U_0 = E \quad \text{电源端电压 (开路电压)} \\ P = 0 \quad \text{负载功率} \end{array} \right.$$

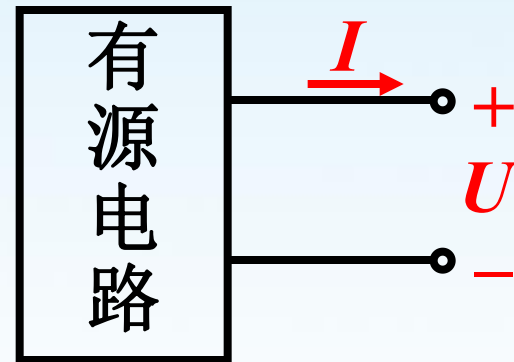


电路中某处断开时的特征:

1. 开路处的电流等于零;

$$I = 0$$

2. 开路处的电压 U 视电路情况而定。



3. 短路状态

电源外部端子被短接

特征:

$$I_s = \frac{E}{R_0}$$

$$U = 0$$

$$P = 0$$

$$P_E = \Delta P = I^2 R_0$$

短路电流 (很大)

电源端电压

负载功率

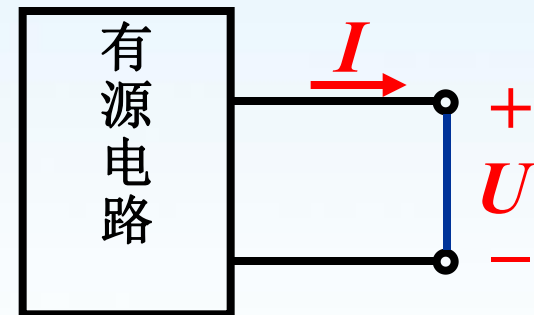
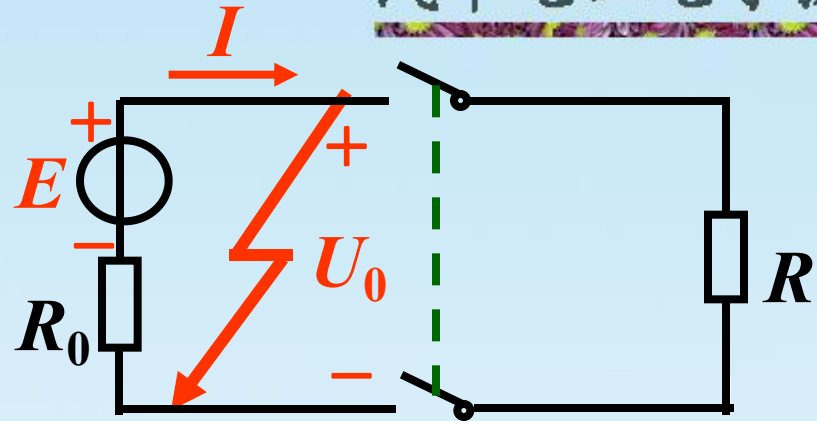
电源产生的能量全被内阻消耗掉

电路中某处短路时的特征:

1. 短路处的电压等于零;

$$U = 0$$

2. 短路处的电流 I 视电路情况而定。



五、电路的基本元件

（一）电阻元件

电阻元件是用电阻率较大的材料制成的，它的主要作用是限流、分压、耦合、负载等。常用电阻器一般分为固定电阻器和可变电阻器两大类。固定电阻器是指电阻的阻值固定不变，可变电阻器的阻值根据需要可以在一定范围内进行调节。

1. 识别电阻元件

(1) 固定电阻器

固定电阻器也简称电阻，根据材料和工艺的不同，可分为碳膜电阻器（**RT**）、金属膜电阻器（**RJ**）、线绕电阻器（**RX**）、热敏电阻器（**RR**）、光敏电阻器（**RG**）等不同类型。其外形如图1.1所示。

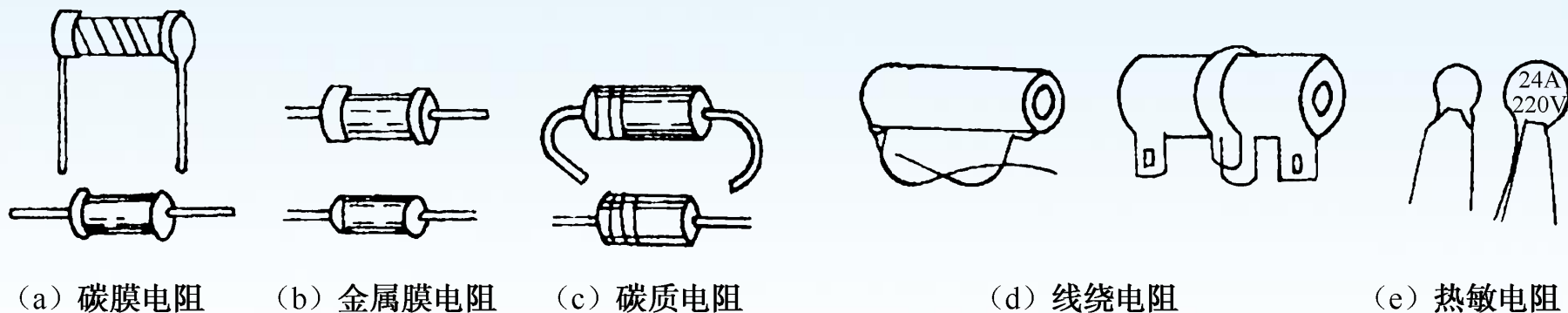


图1.1 常用固定电阻器外形

(2) 可变电阻器

可变电阻器也简称可变电阻，是指其阻值在规定的范围内可任意调节的电阻器。它可分为半可调电阻器和电位器两类。常用可变电阻器的外形如图1.2所示。

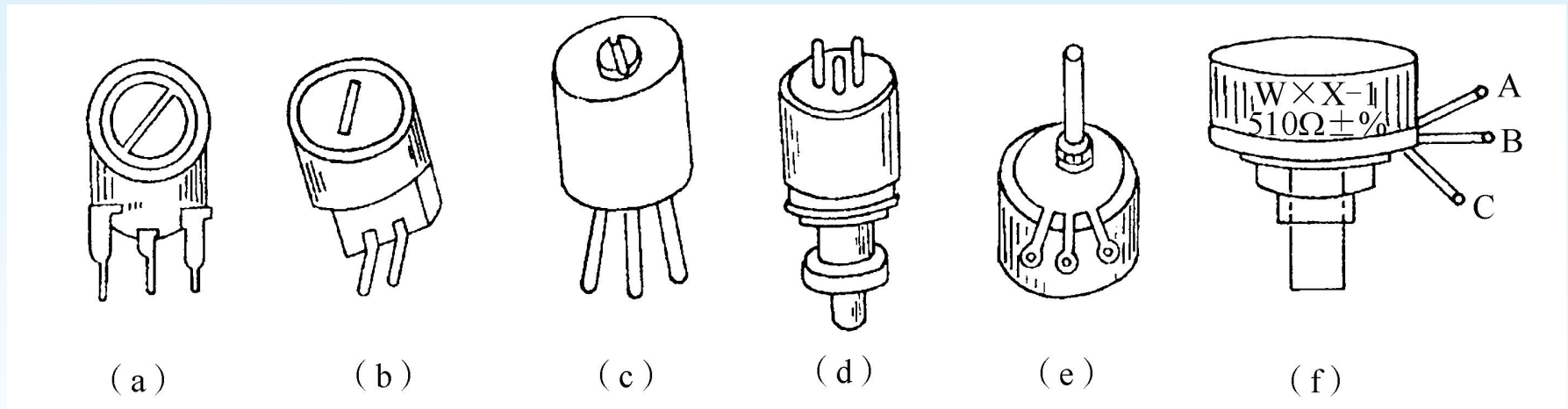


图1.2 常用可变电阻器外形

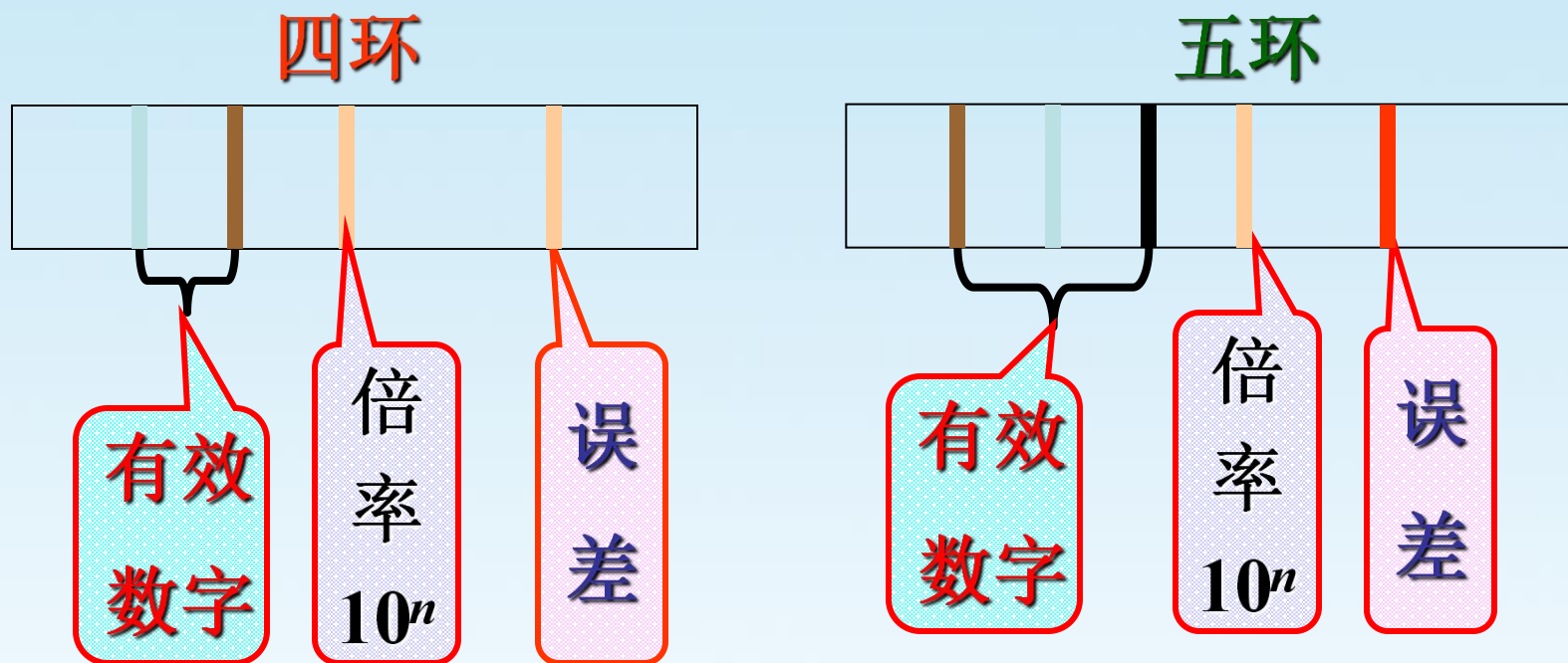
2. 电阻元件的主要参数和型号命名方法

电阻的标称值

误差	$\pm 10\%$ (E12)	$\pm 5\%$ (E24)
标 称 值	1.0、1.2、1.5、 1.8、2.2、2.7、 3.3、3.9、4.7、 5.6、6.8、8.2	1.0、1.1、1.2、1.3、 1.5、1.6、1.8、2.0、 2.2、2.4、2.7、3.0、 3.3、3.6、3.9、4.3、 4.7、5.1、5.6、6.2、 6.8、7.5、8.2、9.1等

电阻的标称值 = 标称值 $\times 10^n$

电阻器的色环表示法

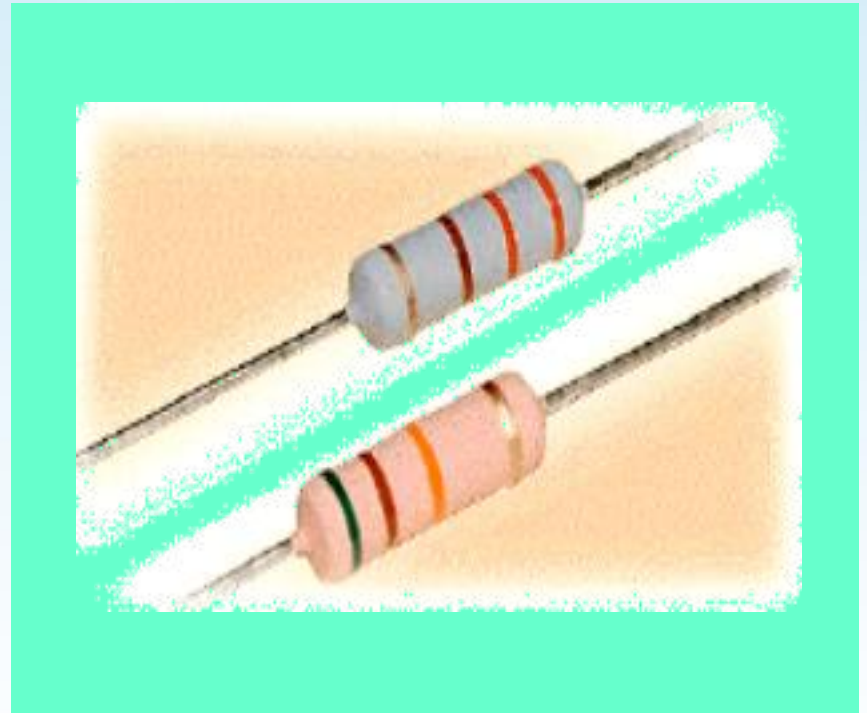
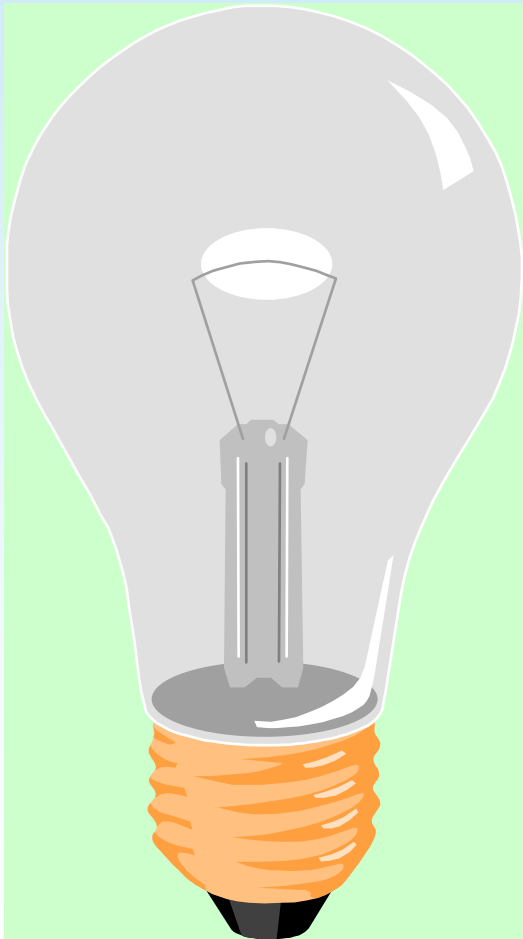


黑、棕、红、橙、黄、绿、蓝、紫、灰、白、金、银

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0.1 0.01

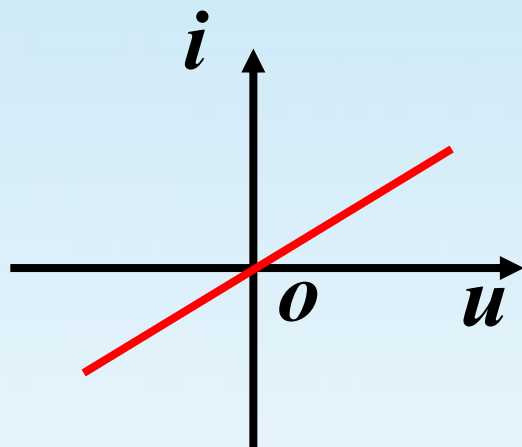
误差: $\pm 1\%$ 2 / / 0.5 0.2 0.1 / 5 10

电阻为耗能元件如电阻器、白炽灯、电炉等。



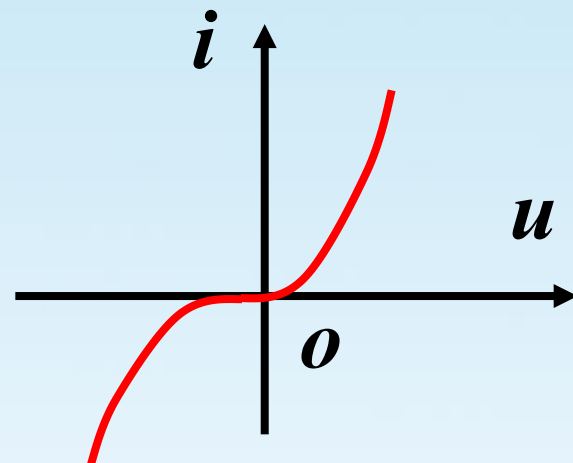
2. 电阻的伏安特性

电路端电压与电流的关系称为伏安特性。



线性电阻的伏安特性

$$R = \frac{u}{i} = \text{常数}$$



非线性电阻的伏安特性

$$R = \frac{u}{i} \neq \text{常数}$$

注意：欧姆定律仅适用于线性电阻电路。

3.电阻元件的功率和能量

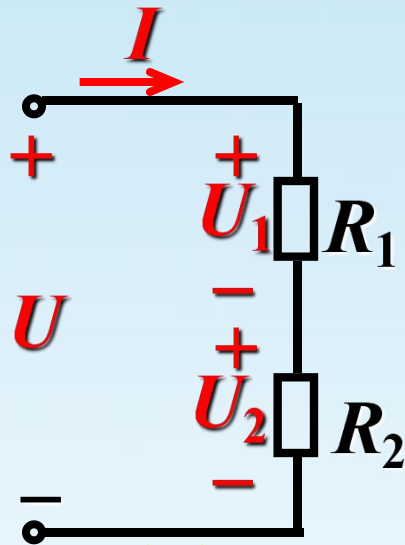
在关联参考方向下，电阻元件的功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad \text{单位为瓦特 (W)}$$

从 t_1 到 t_2 的时间内，电阻元件吸收的能量为

$$w = \int_{t_1}^{t_2} Ri^2 dt \quad \text{单位为焦耳 (J)}$$

4、电阻的串联



特点:

- 1) 各电阻一个接一个地顺序相联;
- 2) 各电阻中通过同一电流;
- 3) 等效电阻等于各电阻之和;

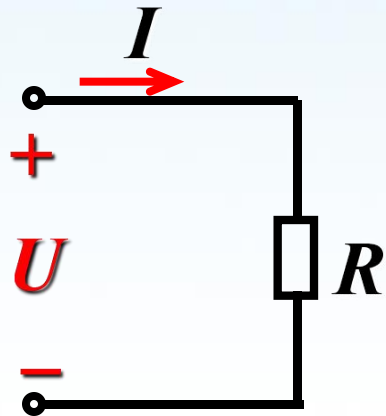
$$R = R_1 + R_2$$

两电阻串联时的分压公式:

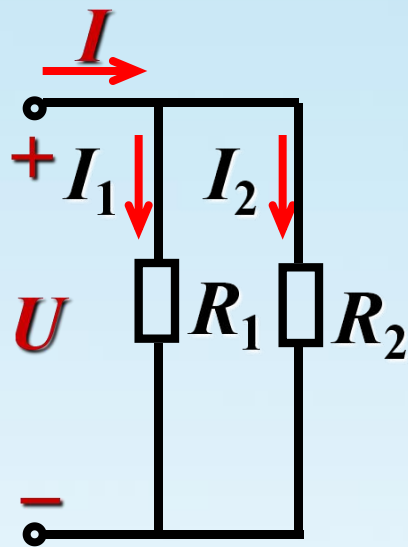
$$U_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \quad U_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

应用:

降压、限流、调节电压等。



5、电阻的并联



特点:

- (1)各电阻联接在两个公共的结点之间;
- (2)各电阻两端的电压相同;

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

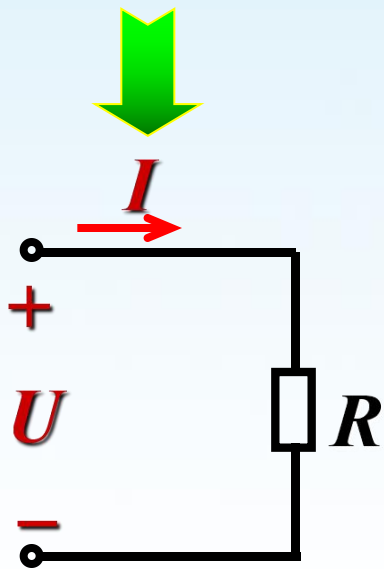
两电阻并联时的分流公式:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

应用:

分流、调节电流等。



6.混联电路

在实际电路中，既有电阻的串联又有电阻的并联，这种电路被称为电阻的混联。分析电阻混联的一般步骤：

- (1) 计算各串联电阻和并联电阻的等效电阻，再计算总的等效电阻。
- (2) 用欧姆定律求出总电流。
- (3) 根据串联电阻分压关系，并联电阻分流关系，逐步计算出各支路电流、各部分电压以及电路的其他参数。

(二) 电容元件

电容器（简称电容）也是电子电路中常用的电子元件之一。电容器具有隔直流、通交流、储能等特性，常用它来组成滤波、耦合、旁路、振荡等电子电路。电容器由两块金属板中间隔一层绝缘介质所构成。

电容器的形状很多，如图1.8所示。

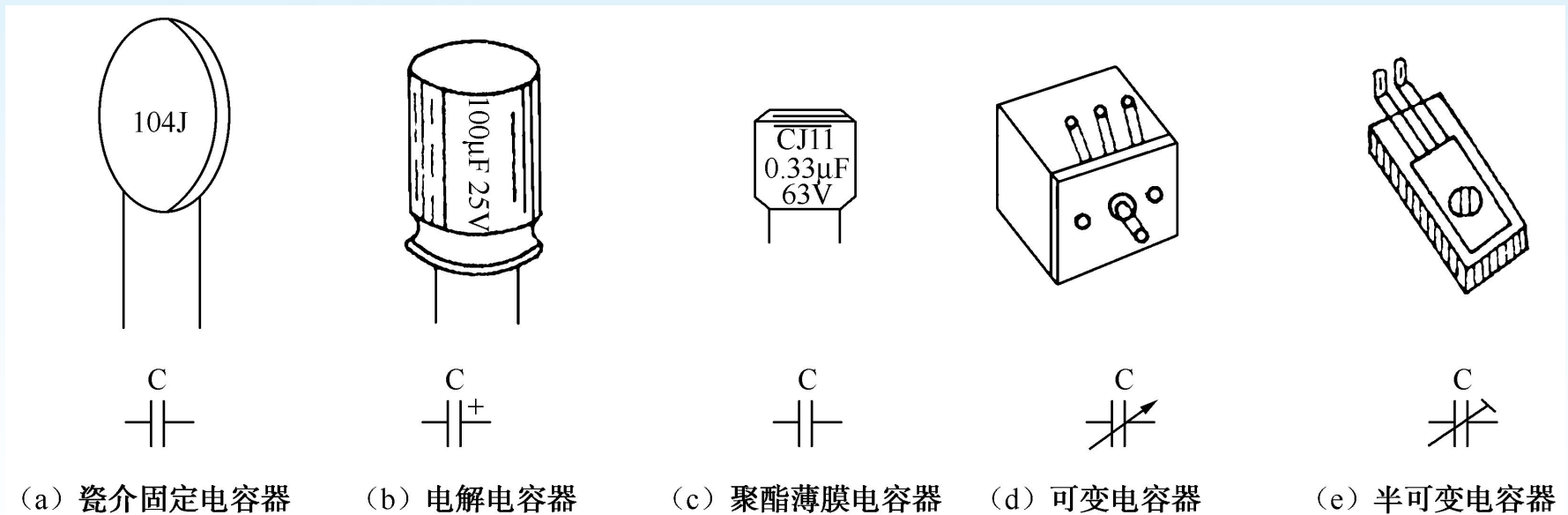


图1.8 电容器形状及图形符号

2. 电容器的参数及标注方法

电容器的主要参数有电容器的标称容量、允许误差和耐压等。

(1) 电容器的额定工作电压

电容器长期连续可靠工作时，两电极间最高承受的电压称为电容器的额定工作电压，简称电容的耐压。

(2) 电容器的标称容量

标注在电容器外壳上的电容量大小称为标称容量，它是由标准系列规定的，如表1.5所示。

(3) 电容量的标注

电容器的电容量常按下列规则标印在电容器上。

- ① 直标法。
- ② 数码表示法。
- ③ 色标法。

3. 电容量

$$C = \frac{q}{u} (F)$$

电容器的电容量与极板的尺寸和介质的介电常数有关。

$$C = \frac{\varepsilon S}{d} (F)$$

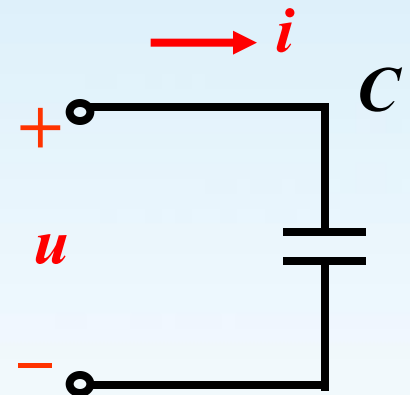
S — 极板面积 (m^2)

d — 板间距离 (m)

ε — 介电常数 (F/m)

当电压 u 变化时，在电路中产生电流：

$$i_C = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_C}{dt}$$



电容元件

4. 电容元件的储能

根据： $i_C = C \frac{du_C}{dt}$

将上式两边同乘上 u ，并积分，则得：

$$\int_0^t ui \, dt = \int_0^u C u \, du = \frac{1}{2} Cu^2$$

电场能

$$W = \frac{1}{2} Cu^2$$

即电容将电能转换为电场能储存在电容中，当电压增大时，电场能增大，电容元件从电源取用电能；当电压减小时，电场能减小，电容元件向电源放还能量。

4. 电容器的充电、放电

(1) 电容器的充电

图1.10是阻容串联电路，当开关S拨到A端时，串联电路接通直流电源，在电场力作用下电荷向电容器开始充电。

在充电刚开始时，因电容器上没有电荷， u_C 为零，故充电电流最大。随着充电的继续，电容器极板上的电荷不断增

多，电压 u_C 逐渐增大，而输入电压 U 与电容电压 u_C 之差逐渐减小，因此充电电流随电压 u_C 增大而不断减小。当电容电压 u_C 增大到等于输入电压 U 时，充电电流减小为零，充电结束。可见，只有在电容器充电的短暂时间内，直流电路才是导通的，一旦充电结束，电路进入稳定状态，则电路处于开路状态，说明电容器具有隔直流的作用。

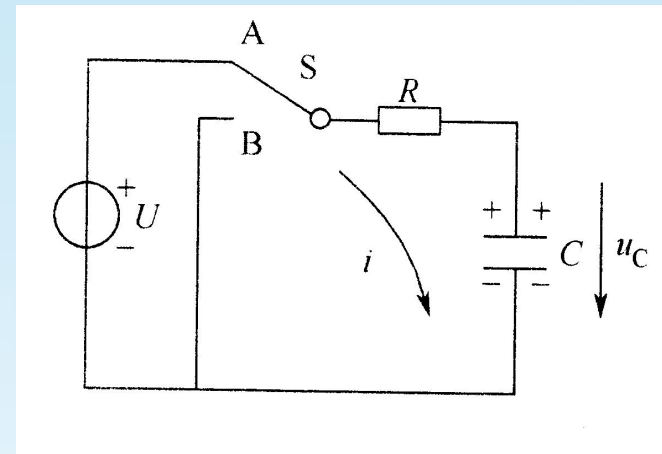


图1.10 电容的充、放电电路

(2) 电容器的放电

充电结束之后，把开关**S**从**A**端拨到**B**端，输入电压为零，充过电的电容器通过电阻放电，其方向与充电相反。

在放电刚开始时，电容器的电压最高，此时放电电流最大。随着放电的继续，极板电荷的不断减少，电压 u_c 不断减小，放电电流也随之减小。当电荷全部释放完毕时，电压 u_c 为零，放电结束。

当电容器接通交流电源时，由于交流电的大小和方向不断交替变化，使电容器反复进行充、放电，这样，电路中就会出现连续不断的交流电流，对交流来讲，电容器始终是导通的。

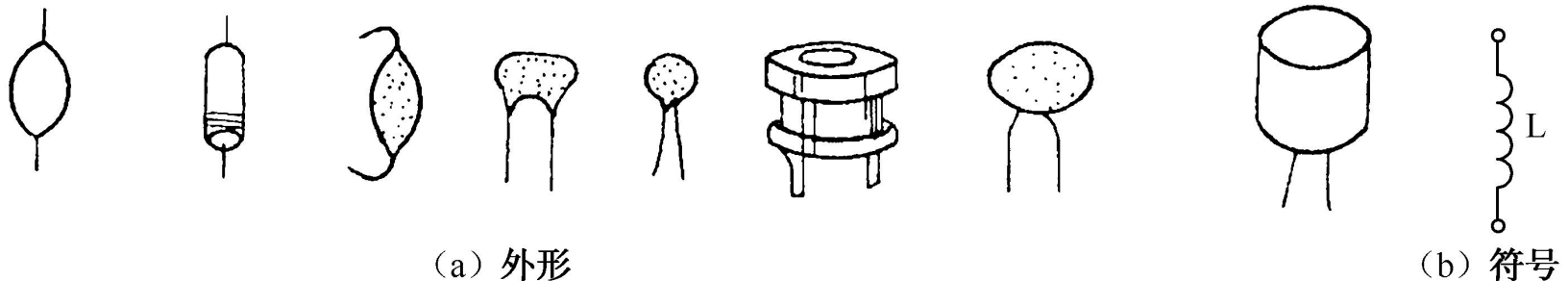
(三) 电感元件

电感是用漆包线在绝缘骨架上绕制而成的一种能够储存磁场能量的电子元件。电感是电工电子线路的重要元件之一，它可与电阻、电容、晶体管等元器件组合构成各种功能的电子电路，在调谐、振荡、耦合、匹配、滤波等电路中都是重要元件。

1. 电感器的分类

(1) 固定电感器

① 小型固定电感器。其外形结构和表示符号如图1.11所示，这种电感器的特点是体积小、重量轻、结构牢固、安装方便，被广泛应用于收录机、电视机等电子产品中。



② **空心线圈**。空心线圈是用导线直接在骨架上绕制而成的。其线圈内没有磁性材料做成的磁芯或铁芯，有的线圈甚至没有骨架。其外形与表示符号如图1.12所示。这种线圈由于没有铁芯、磁芯，故电感量往往很小，一般只用在高频电路中。

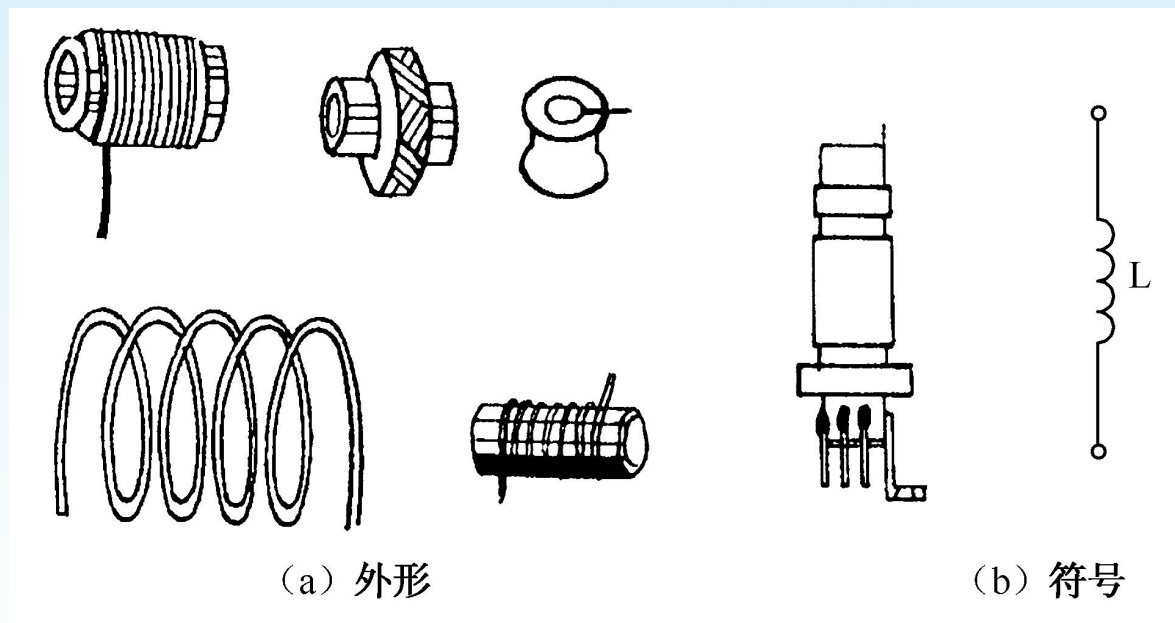
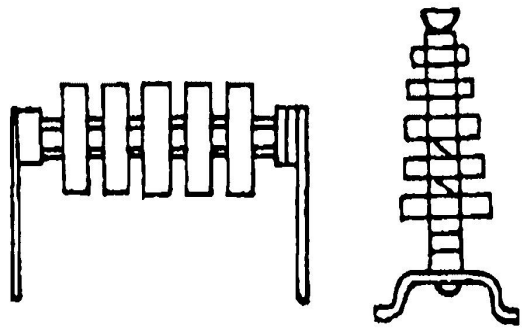
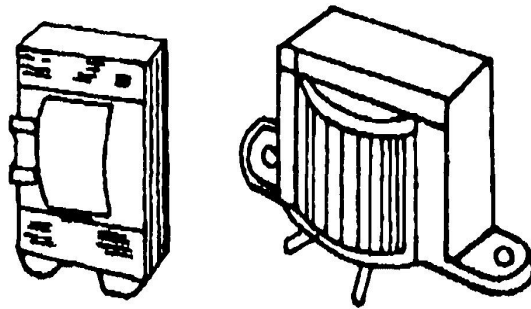


图1.12 空心线圈的外形与表示符号

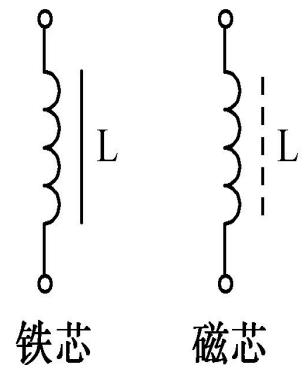
③ **扼流圈**。扼流圈可分为两类：高频扼流圈和低频扼流圈。高频扼流圈是用漆包线在塑料或瓷骨架上绕成蜂房式结构，如图1.13（a）所示。它在高频电路中的作用是阻止高频信号通过，而让低频信号畅通无阻。低频扼流圈是指用漆包线在铁芯外经过多层绕制制成的大电感量的电感器，也有的是通过将漆包线绕在骨架上，然后在线圈中间插入铁芯（或硅钢片）制成的，如图1.13（b）所示。它们通常与电容器组成滤波电路，用以滤除整流后的残余交流成分，从而让直流成分顺利通过。



(a) 高频扼流圈



(b) 低频扼流圈



(c) 符号

(2) 可变电感器

① 可变电感线圈，其外形与表示符号如图1.14所示。

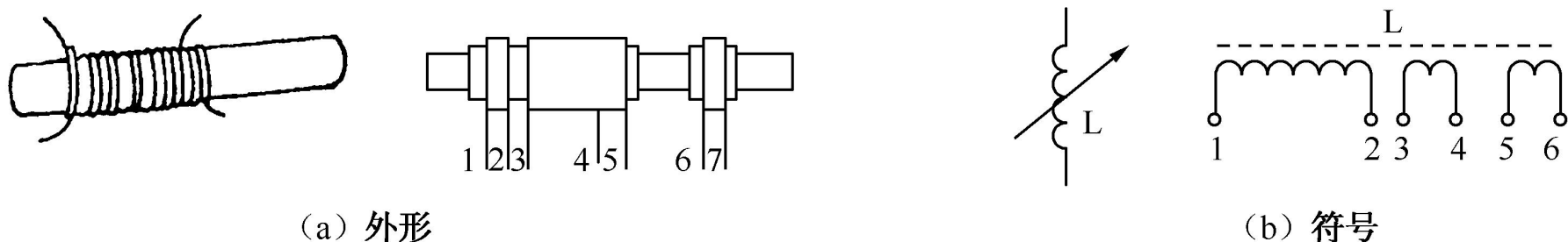


图1.14 可变电感线圈的外形与符号

② 微调电感线圈。它在线圈中间装有可调节的磁帽（或磁芯）。通过旋转磁帽可调节磁芯或磁帽在线圈中的位置，从而改变电感量。微调电感线圈的外形及表示符号如图1.15所示。

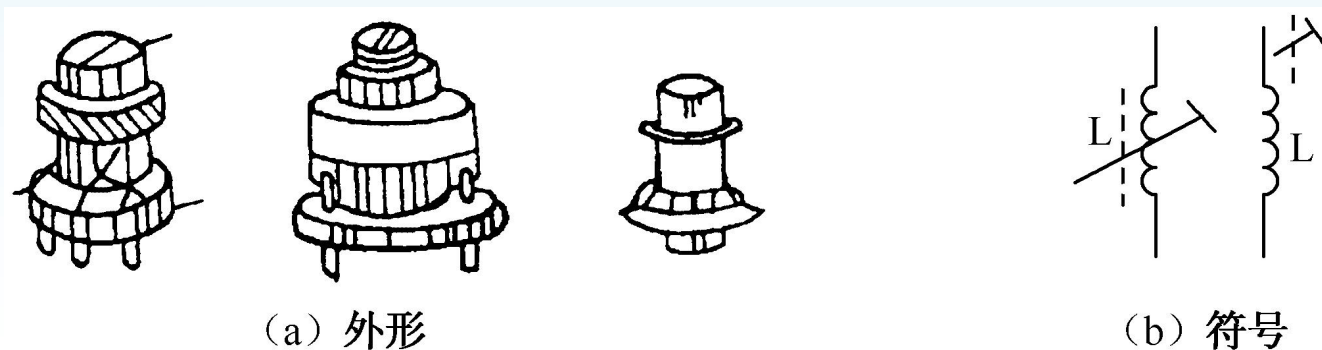


图1.15 微调电感线圈的外形与符号

2. 电感器的型号、命名及识别方法

(1) 电感线圈的命名

第一部分 第二部分 第三部分 第四部分



区别代号（用字母A,B,C,⋯表示）

型式（X为小型）

特征（G为高频）

主称（L为线圈，ZL为扼流圈）

(2) 电感器的识别方法

① **直标法**。直标法是指将电感器的主要参数，如电感量、误差值、最大直流工作电流等用文字直接标注在电感器的外壳上。电感器直标法如图1.17所示，其中，最大工作电流常用字母**A**，**B**，**C**，**D**，**E**等标注，字母和电流的对应关系如表1.7所示。

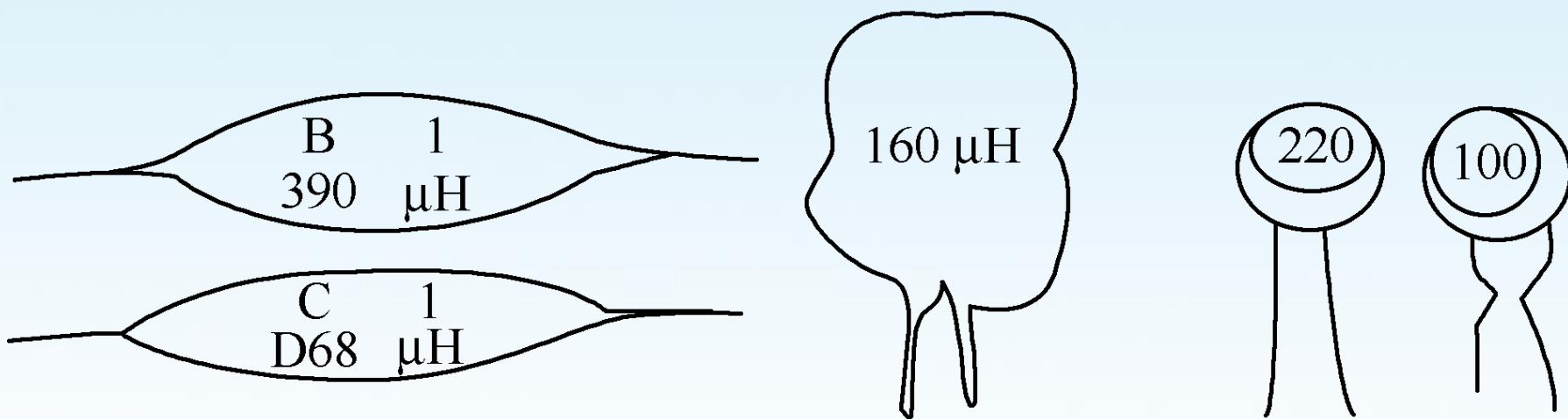


图1.17 小型固定电感器直标法

3. 电感器的主要参数

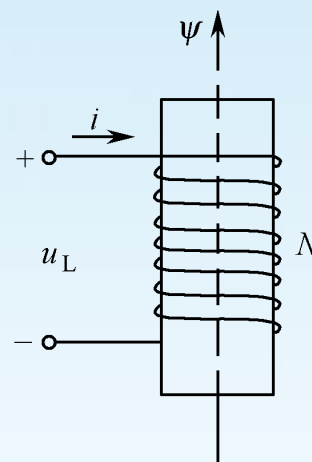
电感量、品质因数、固有电容、稳定性、额定电流。

4. 电感器的电压、电流特性

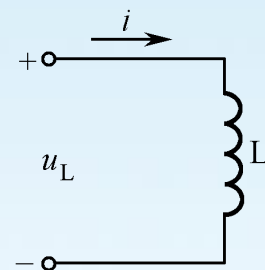
电流通过一匝线圈产生 $\rightarrow \Phi$ (磁通)

电流通过 N 匝线圈产生 $\rightarrow \Psi = N\Phi$ (磁链)

电感:
$$L = \frac{\Psi}{i} = \frac{N\Phi}{i} \quad (\text{H, mH})$$



(a) 电感元件



(b) 符号

线性电感: L 为常数; 非线性电感: L 不为常数;

线圈的电感与线圈的尺寸、匝数以及附近的介质的导磁性
能等有关。

② 色标法。

色标法是指在电感器的外壳涂上各种不同颜色的环，用来标注其主要参数。电感器色标含义如表1.3所示（电感与电阻色标法相同）。如图1.18所示。

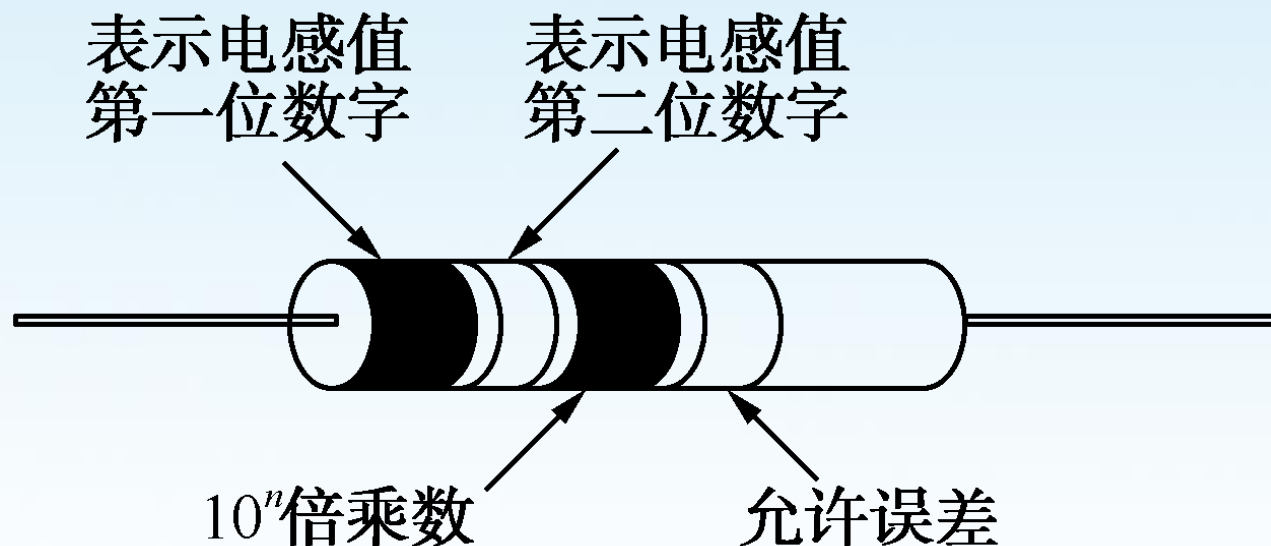


图1.18 小型固定电感器色标法

电感元件储能

当通过线圈的电流发生变化时，由于穿过线圈的磁通也相应地发生变化，因此在线圈两端产生感应电压，根据电磁感应定律有：

$$u_L = \frac{d\psi}{dt} = L \frac{di}{dt}$$

将上式两边同乘上 i ，并积分，则得：

$$\int_0^t u i dt = \int_0^i L i di = \frac{1}{2} L i^2$$

磁场能

$$W = \frac{1}{2} L i^2$$

即电感将电能转换为磁场能储存在线圈中，当电流增大时，磁场能增大，电感元件从电源取用电能；当电流减小时，磁场能减小，电感元件向电源放还能量。

任务二 电路的基本定律和电源等效变换

一、电路名词

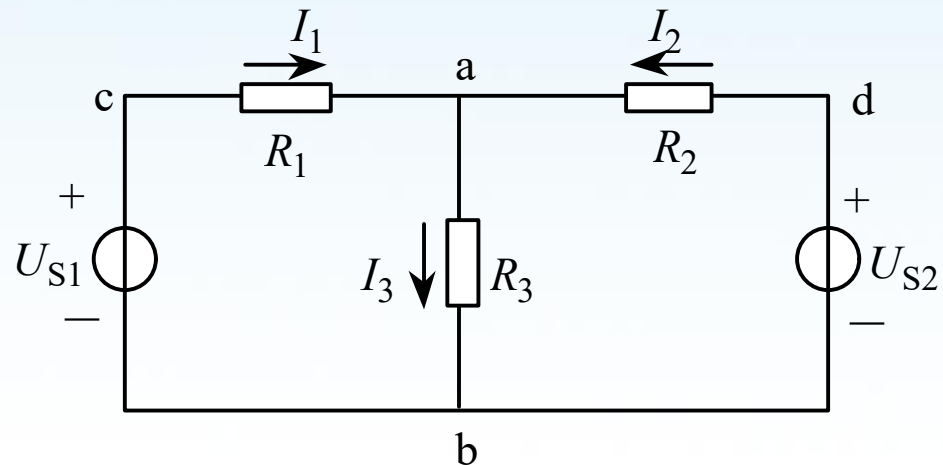
支路、节点、回路、网孔

一个或一个以上的二端元件相串联所组成的中间无任何分岔的电路称为支路。

电路中3条或3条以上支路的联接点称为节点。

电路中任一闭合的路径称为回路。回路内部不含支路的称网孔。

图示电路有3条支路、两个节点、3个回路、两个网孔。



二、基尔霍夫定律

1.基尔霍夫电流定律（KCL）

表述一

任一时刻，流入电路中的任一个节点的各支路电流代数和恒等于零。

$$\sum I = 0$$

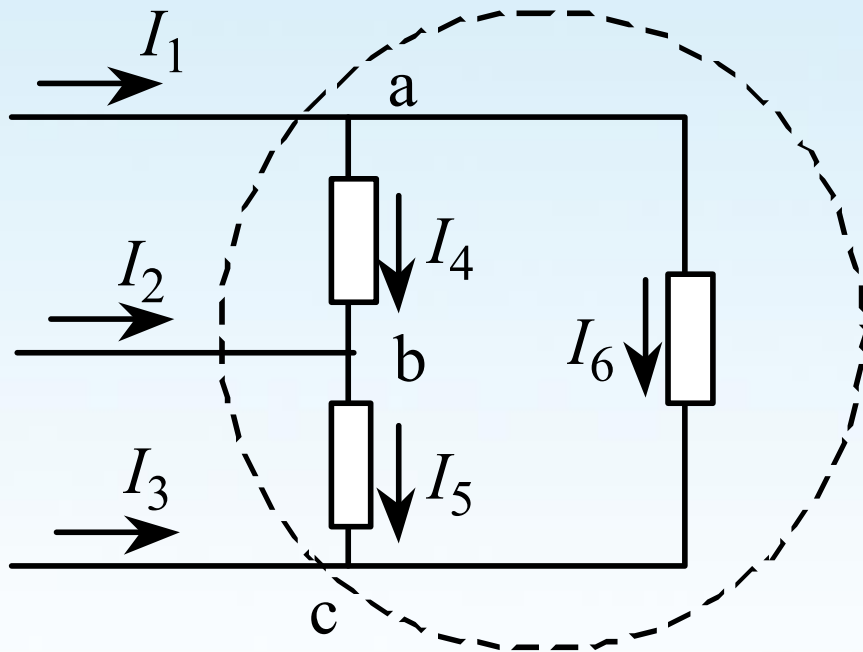
表述二

在任一瞬时，流入任一节点的电流之和必定等于从该节点流出的电流之和。

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$$

KCL通常用于节点，但是对于包围几个节点的闭合面也是适用的。

例：列出下图中各节点的KCL方程



解：取流入为正

节点a $I_1 - I_4 - I_6 = 0$

节点b $I_2 + I_4 - I_5 = 0$

节点c $I_3 + I_5 + I_6 = 0$

以上三式相加： $I_1 + I_2 + I_3 = 0$

2. 基尔霍夫电压定律 (KVL)

表述:

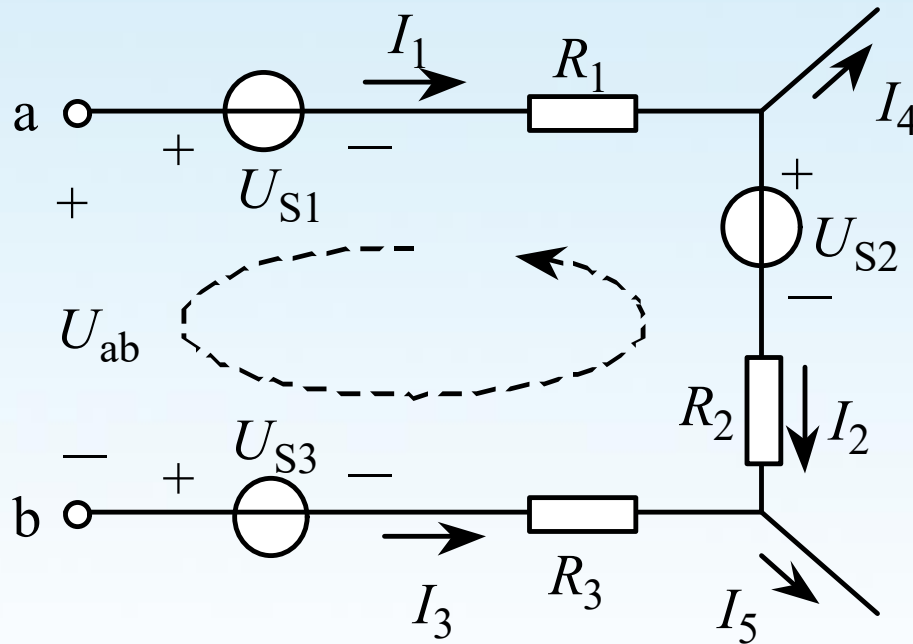
在电路中沿任一回路循行方向，任一时刻其电压的代数和恒等于零。

$$\sum U = 0$$

电压参考方向与回路绕行方向一致时取正号，相反时取负号。

KVL通常用于闭合回路，但也可推广应用到任一不闭合的电路上。

例：列出下图的KVL方程

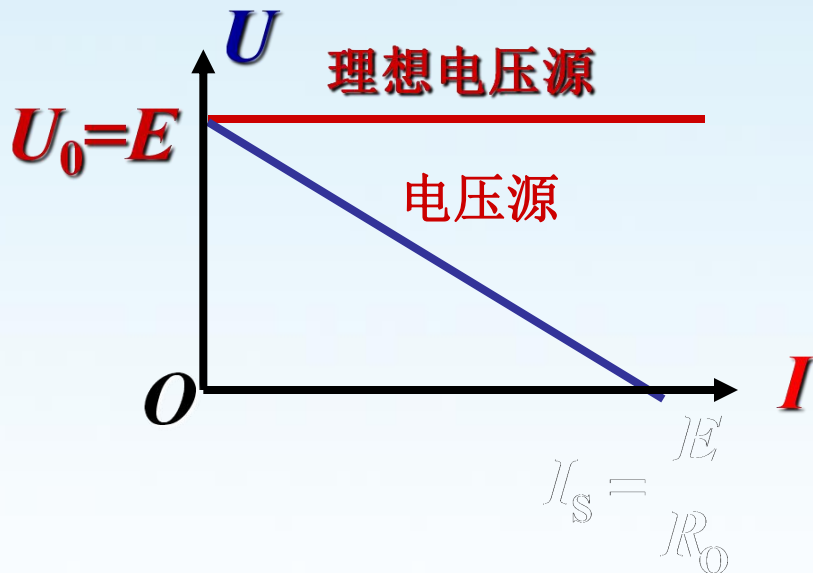


$$U_{ab} + U_{s3} + I_3 R_3 - I_2 R_2 - U_{s2} - I_1 R_1 - U_{s1} = 0$$

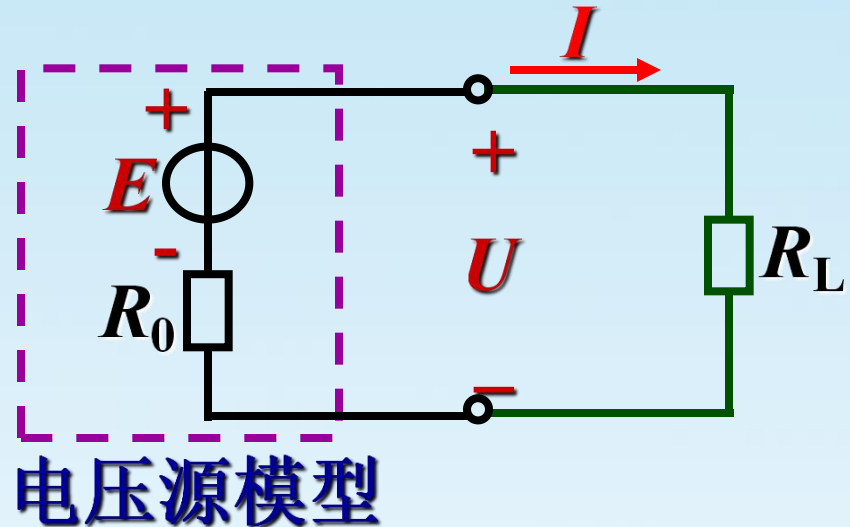
三、电压源和电流源等效变换

1. 电压源

电压源是由电动势 E 和内阻 R_0 串联的电源的电路模型。



电压源的外特性



由上图电路可得：

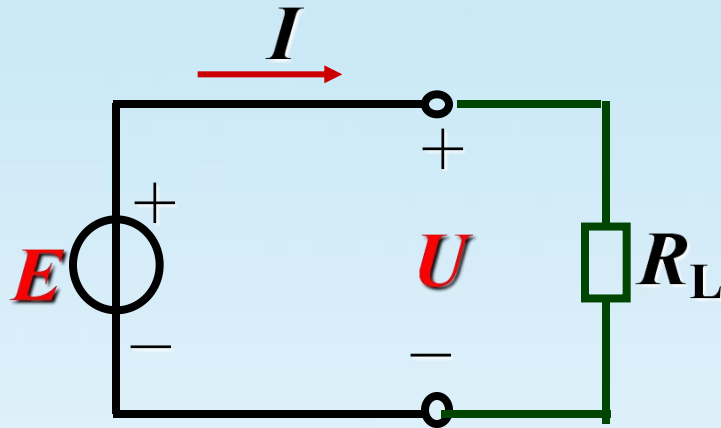
$$U = E - IR_0$$

若 $R_0 = 0$

理想电压源： $U \equiv E$

若 $R_0 \ll R_L$ ， $U \approx E$ ，
可近似认为是理想电压源。

理想电压源（恒压源）



外特性曲线

特点：(1) 内阻 $R_0 = 0$

(2) 输出电压是一定值，恒等于电动势。

对直流电压，有 $U \equiv E$ 。

(3) 恒压源中的电流由外电路决定。

例1：设 $E = 10 \text{ V}$ ，接上 R_L 后，恒压源对外输出电流。

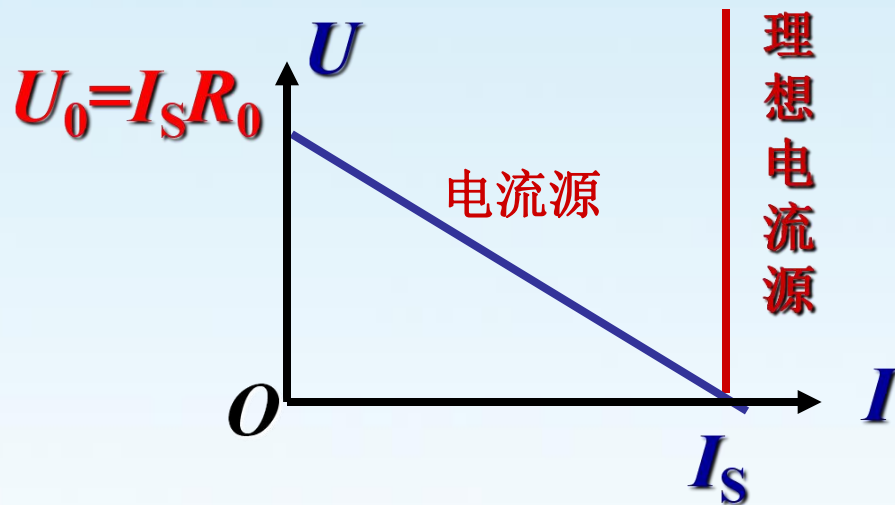
当 $R_L = 1 \Omega$ 时， $U = 10 \text{ V}$ ， $I = 10 \text{ A}$

当 $R_L = 10 \Omega$ 时， $U = 10 \text{ V}$ ， $I = 1 \text{ A}$

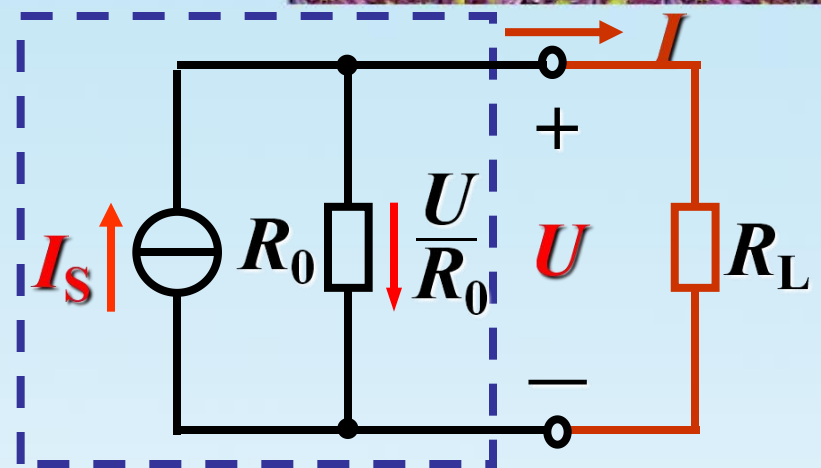
电压恒定，电
流随负载变化

2. 电流源

电流源是由电流 I_S 和内阻 R_0 并联的电源的电路模型。



电流源的外特性



电流源模型

由上图电路可得：

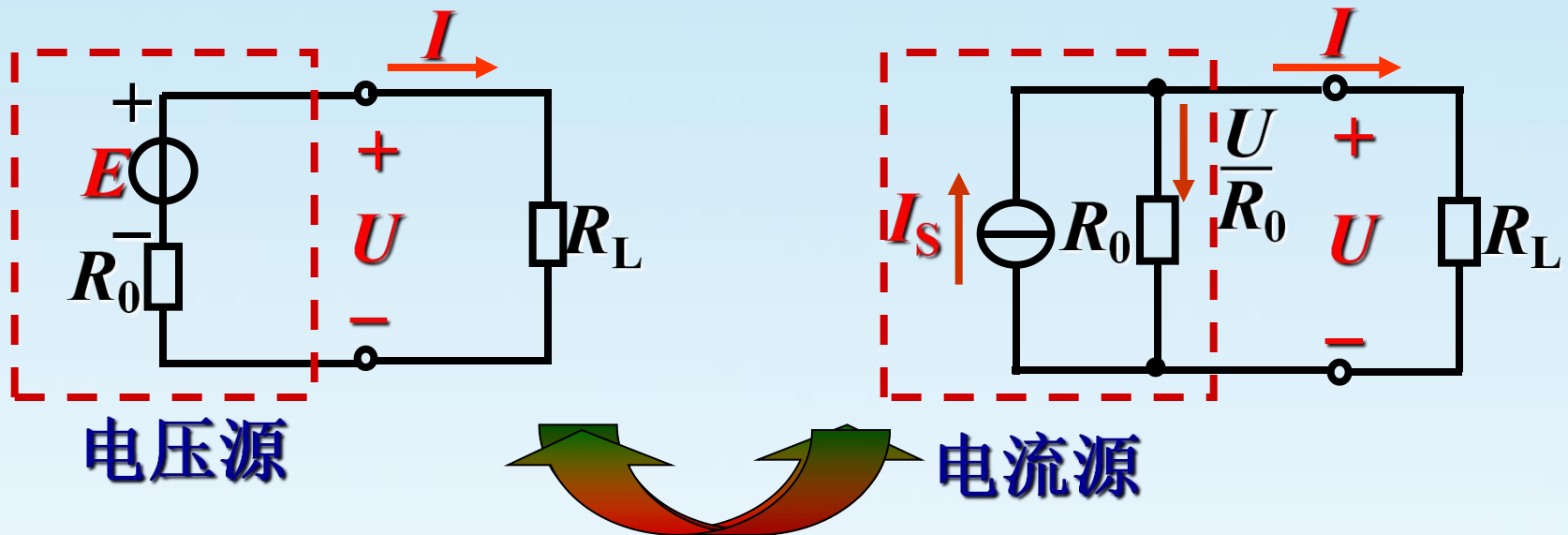
$$I = I_S - \frac{U}{R_0}$$

若 $R_0 = \infty$

理想电流源： $I \equiv I_S$

若 $R_0 \gg R_L$ ， $I \approx I_S$ ，可近似认为是理想电流源。

3. 电压源与电流源的等效变换



由图a:

$$U = E - IR_0$$

由图b:

$$U = I_S R_0 - IR_0$$

等效变换条件:

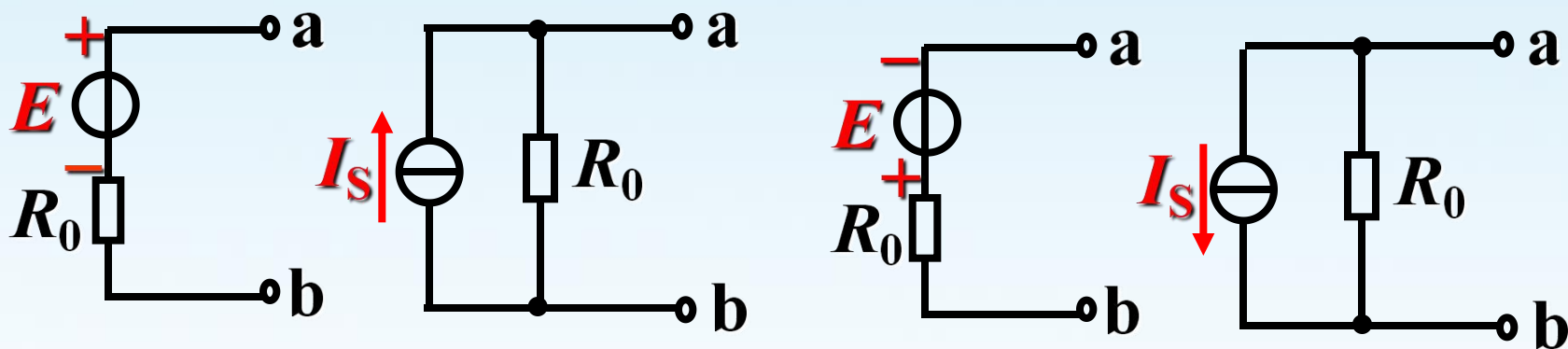
$$\begin{cases} E = I_S R_0 \\ I_S = \frac{E}{R_0} \end{cases}$$

注意事项:

- ① 电压源和电流源的等效关系只对外电路而言，对电源内部则是不等效的。

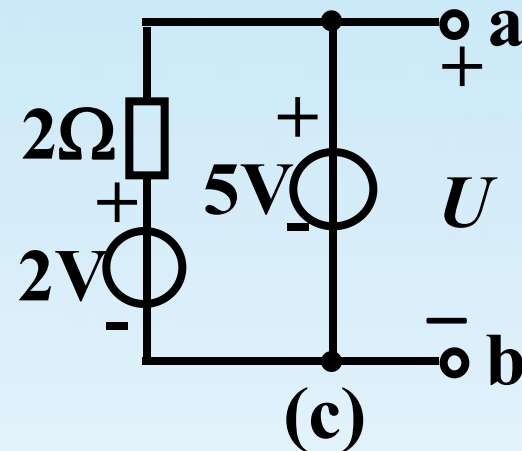
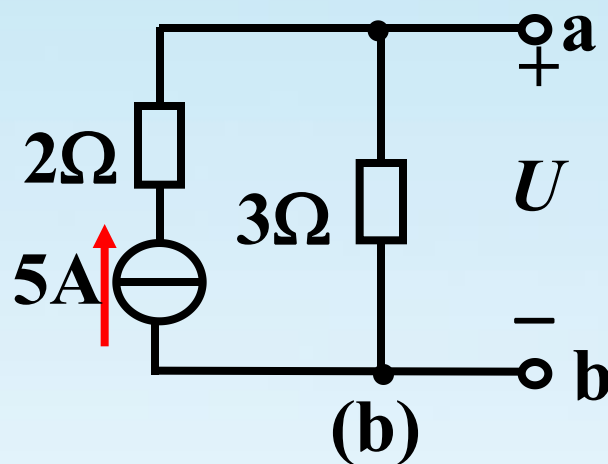
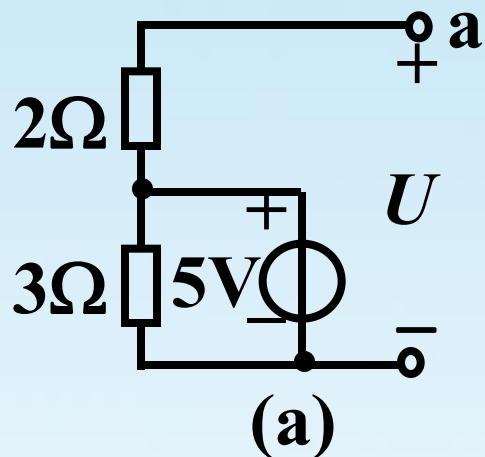
例：当 $R_L = \infty$ 时，电压源的内阻 R_0 中不损耗功率，而电流源的内阻 R_0 中则损耗功率。

- ② 等效变换时，两电源的参考方向要一一对应。

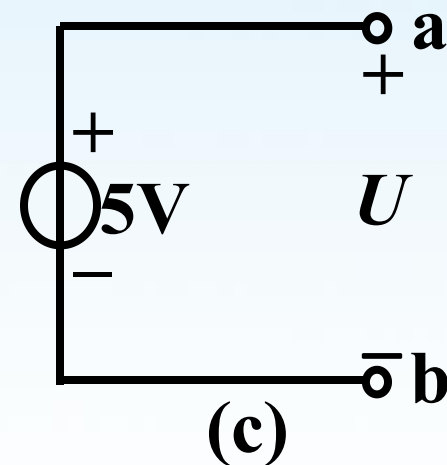
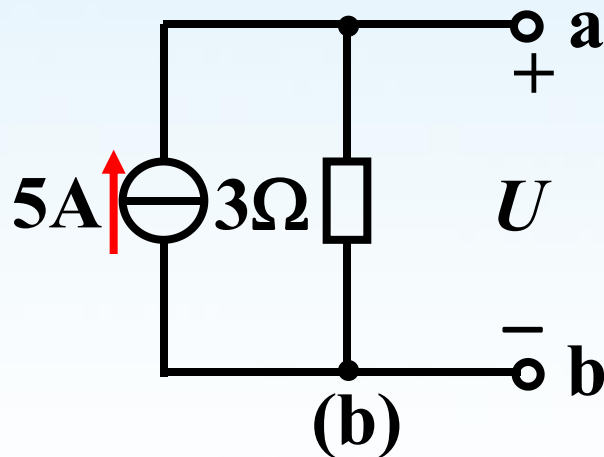
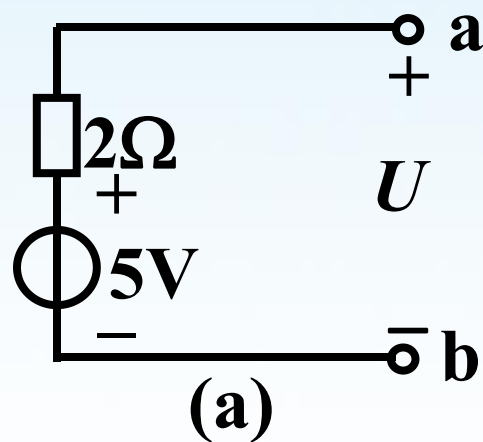


- ③ 理想电压源与理想电流源之间无等效关系。
- ④ 任何一个电动势 E 和某个电阻 R 串联的电路，都可化为一个电流为 I_s 和这个电阻并联的电路。

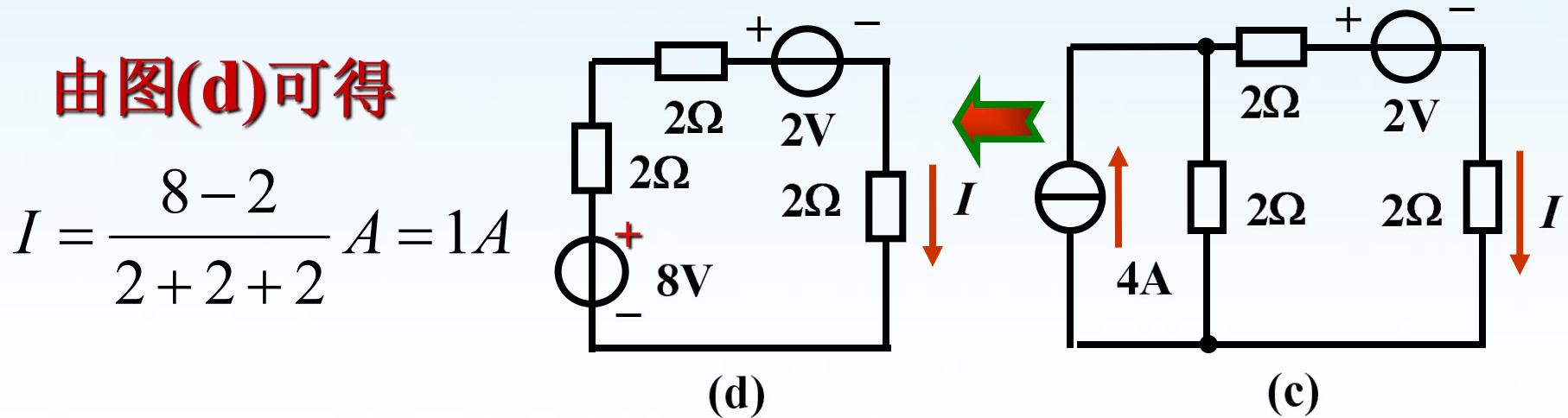
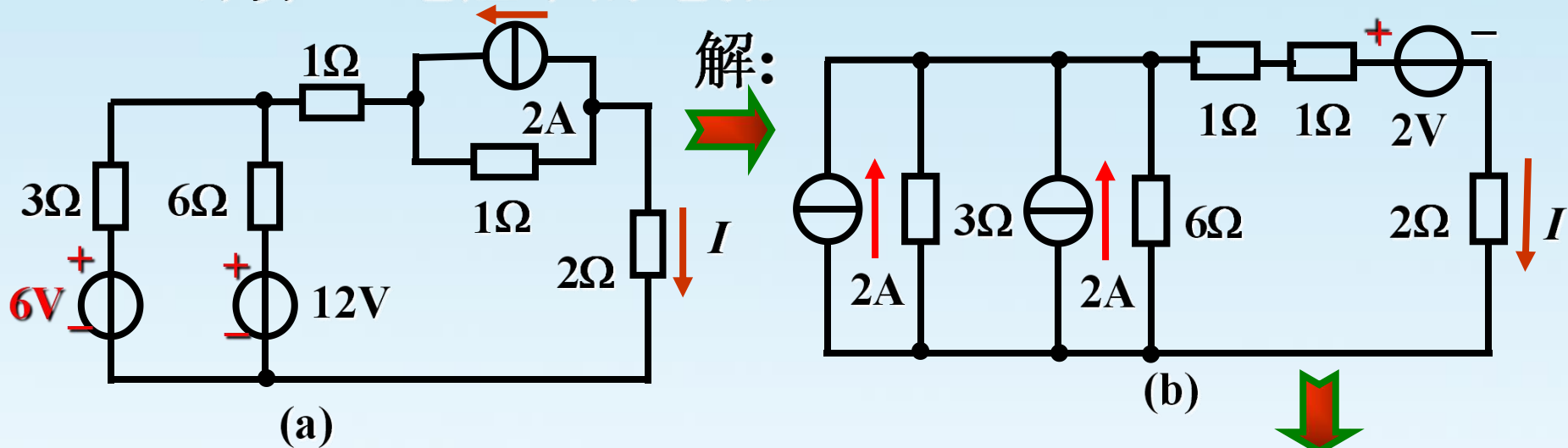
例1: 求下列各电路的等效电源



解:



例2: 试用电压源与电流源等效变换的方法
计算 2Ω 电阻中的电流。

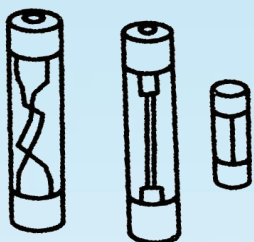


任务三 汽车电路基本器件

一、汽车电路保险装置

1. 熔断器

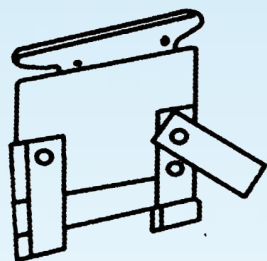
熔断器俗称保险丝，在电路中起保护作用。当电路发生短路或严重过载时，它的熔丝能自动迅速熔断，从而切断电路，防止烧坏电路连接导线和电气设备，并把故障限制在最小范围内。熔断器的主要元件是熔丝（片），其材料是锌、锡、铅、铜等金属的合金。常见熔断器按外形可分为熔片式、熔管式、绝缘式、缠丝式、插片式、瓷插式和螺旋式等。它们的结构如图5.1所示。



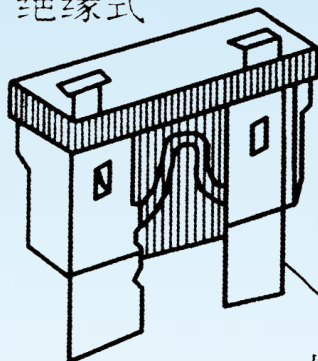
熔管式



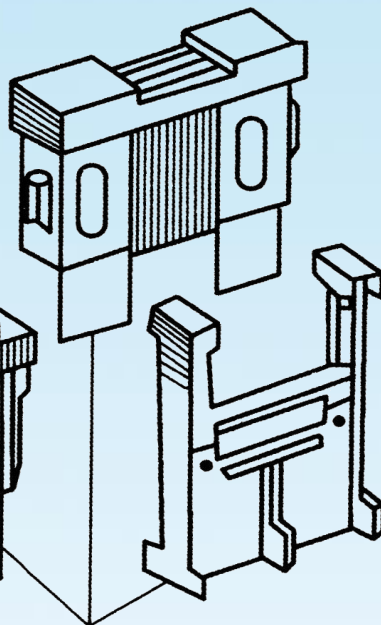
绝缘式



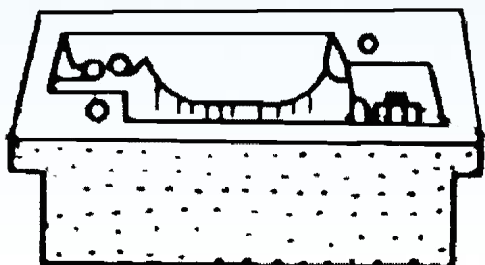
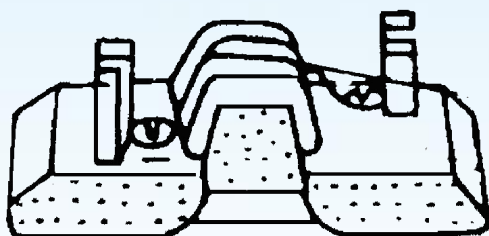
缠丝式



插片式



插片式
熔断器
插拔器



瓷插式



螺旋式

注意事项:

- (1) 熔断器熔断后，必须找到故障原因，彻底排除故障。
- (2) 更换熔断器时，一定要与原规格相同；汽车上增加用电设备时，不要随意改用容量大的熔断器，最好另外再安装熔断器。
- (3) 熔断器支架与熔断器接触不良会产生电压降和发热现象，安装时要保证良好接触。

2. 易熔线

易熔线是一种大容量的熔断器，用于保护电源电路和大电流电路。

注意事项：

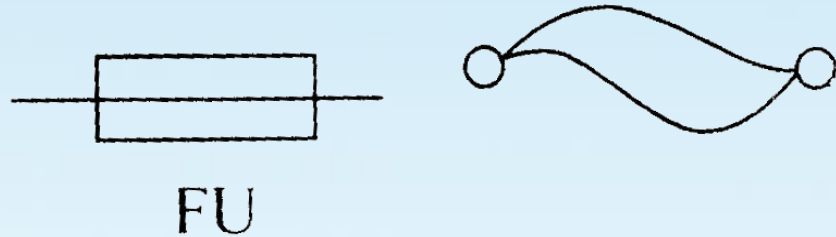


图 熔断器和易熔线的图形符号

- (1) 绝对不允许换用比规定容量大的易熔线。
- (2) 易熔线熔断，可能是主要电路发生短路，因此需要仔细检查，彻底排除隐患。
- (3) 不能和其他导线绞合在一起。

5.1.2 断路器

通过断开电路和截断电流以防止导线和电子元件过热和可能因此造成的火灾，断路器在电路中用于防止有害的过载（额外的电流）。断路器是机械装置，它利用两种不同金属（双金属）的热效应断开电路（见图）。如果额外

的电流经过双金属带，双金属带弯曲，触点开路，阻止电流通过。当电路断路器冷却，触点再次闭合，电路导通。当无电流时，双金属带冷却而使电路重新闭合，电路断路复位。

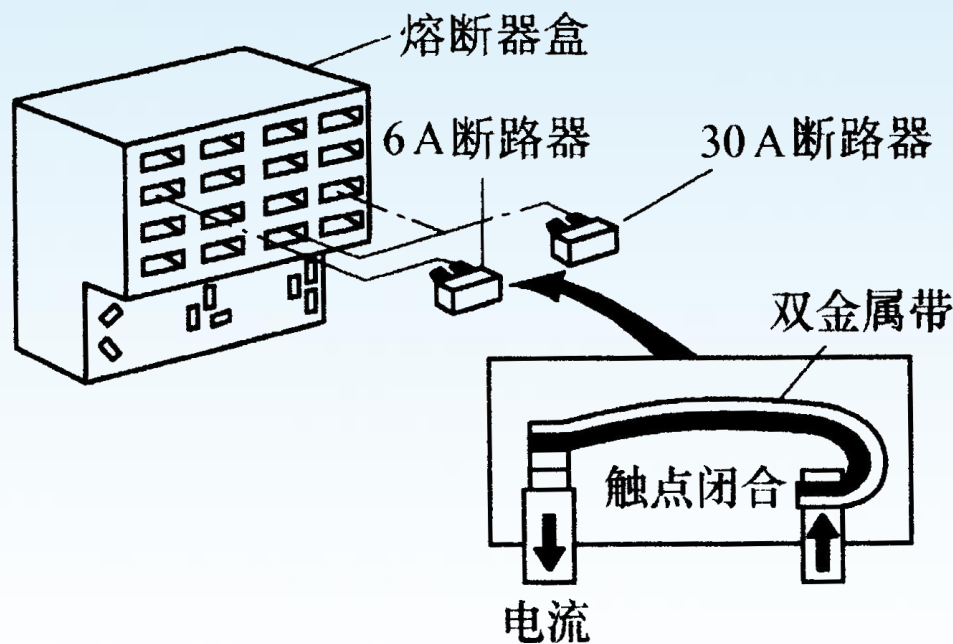


图 断路器

(1) 电路断路器的分类

①自动复位电路断路器（如上图所示）

②手动复位电路断路器

手动复位电路断路器又称为可复位电路断路器，它有两种形式。一种是通过按下断路器上的按钮复位，另一种是通过断开电路电源并让电路断路器冷却复位，如图1.48所示。

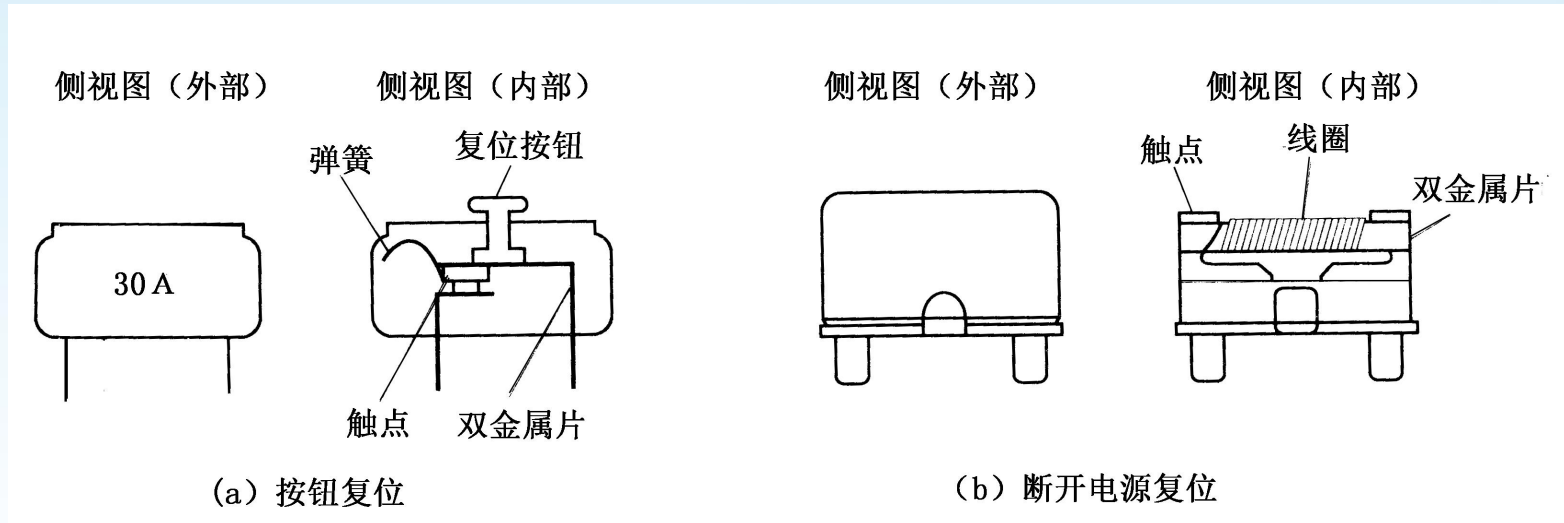


图1.48 可复位电路断路器

③PTC固态电路断路器

PTC固态电路断路器，如图1.49所示，这种电路断路器常线绕于负载元件的内部。当电流超出了设计极限，PTC固态电路断路器的电阻就会一直增加，直到电路断路。只有电路中的高电流状态消失后，PTC固态电路断路器才能恢复导通。

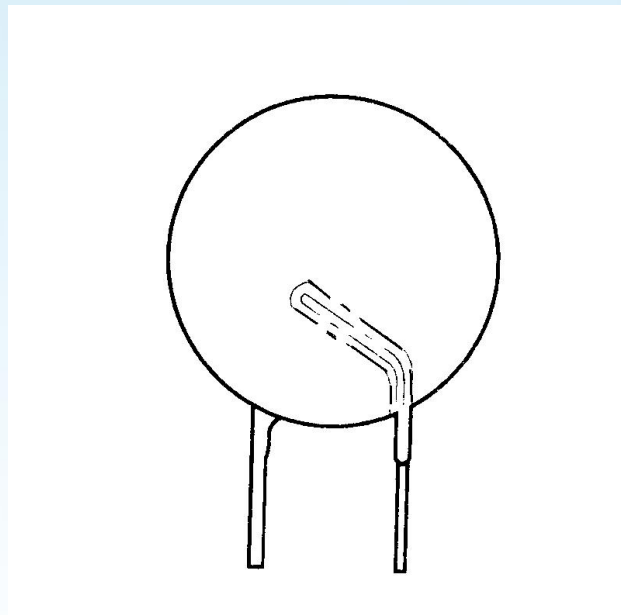


图 1.49 PTC 固态电路断路器

（2）电路断路器的应用

汽车电路断路器的一个代表应用电动车窗电路。电动车窗由可逆电机牵引，每个电机都由一个内置式断路器保护。如果车窗开关打开太久（车窗受到阻碍或达到上下极限后），断路器会将电路断开，待冷却之后又会自动复位。

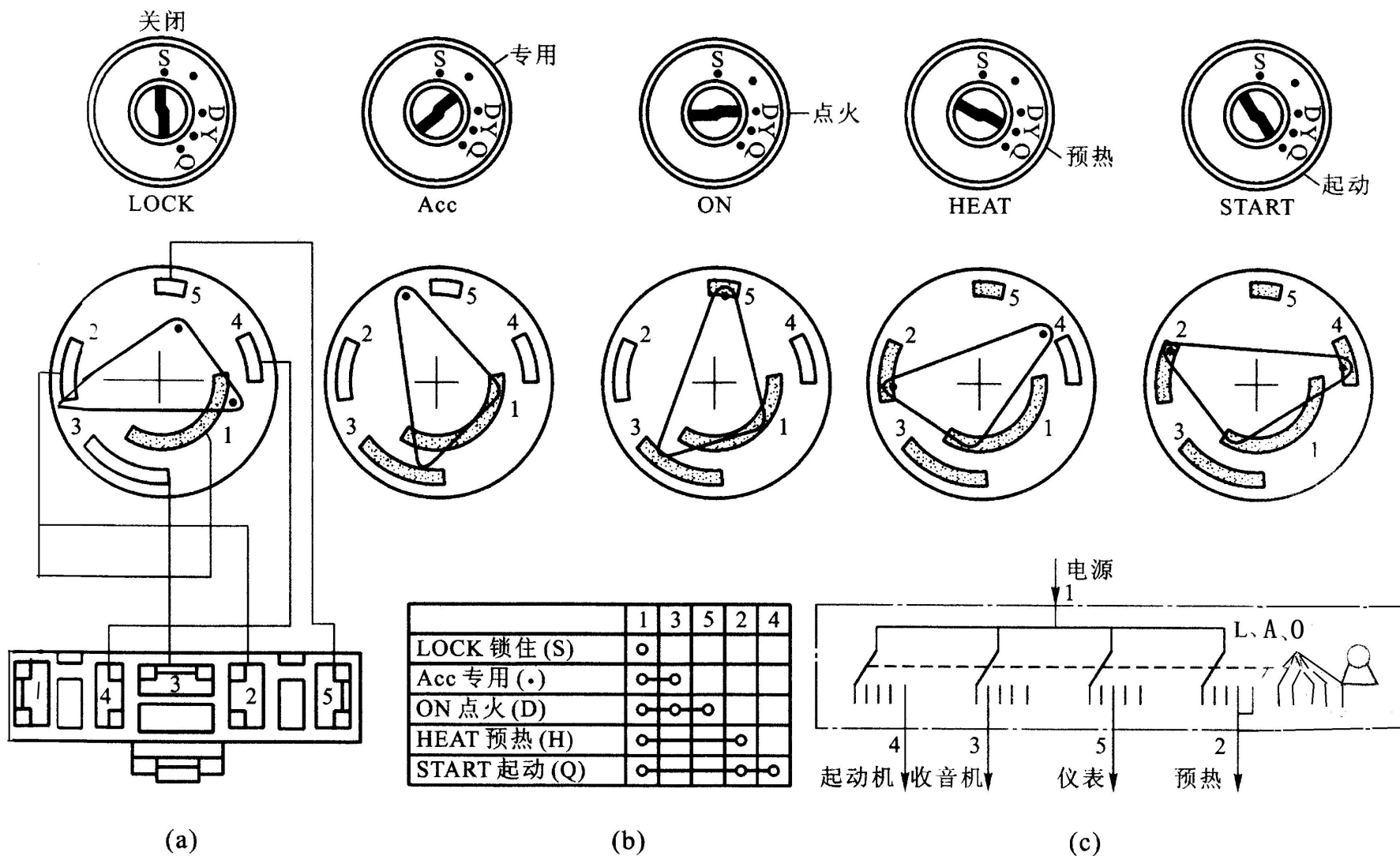
前照灯电路是应用断路器代替熔断器的一个例子。前照灯电路中任何地方发生短路或接地都会引起额外的电流，并会因此断开电路。在夜晚突然失去前照灯会产生灾难性的后果，可是，断路器在断开电路后又会迅速闭合电路，从而避免了电路过热，也提供了充足的电流以保持至少部分前照灯能够工作。

二、电子开关

1. 点火开关

点火开关主要用来接通和切断点火电路，同时还用以控制起动机、发电机励磁、收放机、空调、刮水器、点烟器、仪表、信号灯、进气热和其他电器设备电路。

点火开关是汽车电路是最重要的开关之一，是各条电路分支的控制枢纽，是多挡接线柱开关。其主要功能是：**锁住转向盘轴（LOCK），运行/点火（ON或IG）挡、起动（ST或Start）挡、附件（Acc）挡**，如果用于柴油车则增加**预热（HEAT）挡**。其中起动、预热挡因为工作电流很大，开关不宜接通过久，所以这两挡在操作时必须用手克服弹簧力，扳住钥匙，一松手就弹回点火挡，不能自行定位，其他挡均可自行定位。点火开关的结构及表示方法如图5.4所示。



(a) 结构示意图

(b) 表格表示法

(c) 图形符号表示法

图 点火开关的结构及表示方法

三、继电器

电磁继电器一般由铁心、线圈、衔铁、触点簧片等组成。只要在继电器线圈两端加上一定的电压，线圈中就会流过一定的电流，从而产生电磁效应，衔铁就会在电磁力的作用下（吸引）克服返回弹簧的拉力吸向铁心，从而带动衔铁的动触点与静触点（常开触点）吸合，当线圈失电后，电磁吸力也随之消失，衔铁就会在弹簧反作用力的作用下返回原来的位置使动触点与原来的静触点（常闭触点）吸合，这样反复吸合与释放，达到了接通与切断电路的目的。

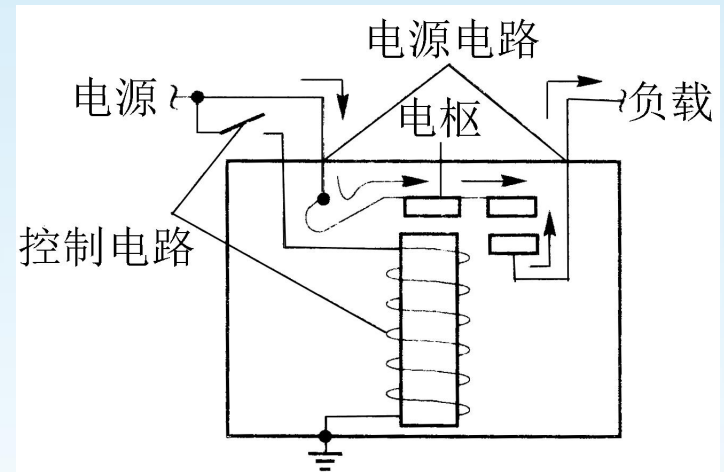


图 1.51 继电器

继电器是一种电子控制器件，它具有控制系统（又称输入回路）和被控制系统（又称输出回路）。继电器具有动作性，工作稳定，使用寿命长，体积小，广泛应用于电力保护领域，如自动化装置，遥控、测量及通信等装置中。继电器实际上是用较小的电流去控制较大电流的一种“自动开关”，在电路中起着自动调节、安全保护电路转换等作用。

汽车喇叭电路就是应用继电器实现控制的一个例子，如图1.52所示。按下图中的喇叭开关，电路中的继电器线圈得电，有电流通过，继电器常开触点闭合，接通蓄电池和喇叭部件间的电路。

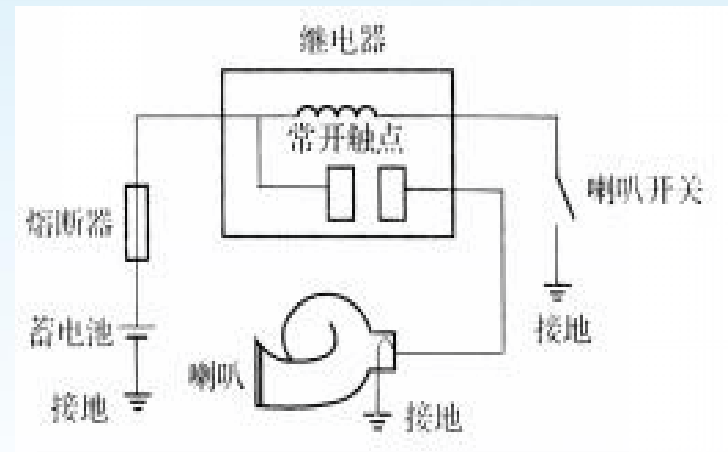


图 1.52 继电器在喇叭电路中用作大电流开关

2. 继电器的检测

继电器的检测方法有两种，即继电器的在车检测与离车检测。在车检测时可以先用万用表测量继电器两个线圈接线端子是否有电，如果一端有，那么另一端可以连上搭铁线，此时如果听到“咔”的响声，那么继电器是好的；如果此时无声无息（无动作），那么继电器是坏的。

（1）检测线圈。检测线圈时，应先用电阻表对继电器线圈的连通性进行测试，如图1.53所示，如果线圈未断开，说明继电器绕线部分没有问题；若电阻表的读数为无穷大，说明线圈已经烧断。

(2) 测试继电器的常开触点。如图1.54所示，进行这一步测试需要将电阻表连接在继电器常开触点的接线端上。当用适当的电池给继电器的线圈充电励磁时，电阻表的读数就能显示触点的连通性。如果触点已损坏，电阻表的电阻读数会很大。

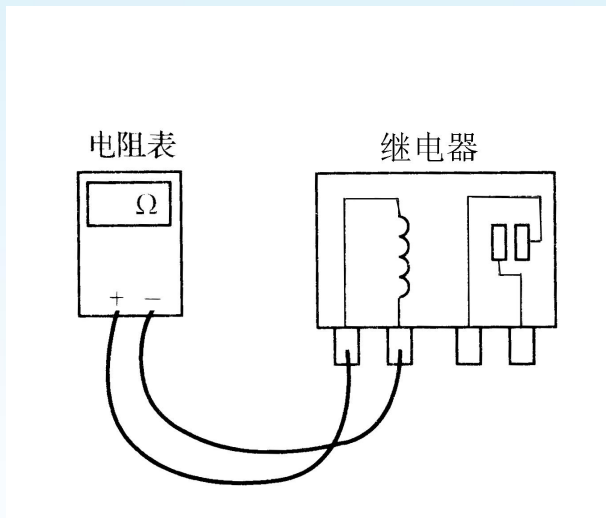


图1.53 测试继电器线圈的连通性

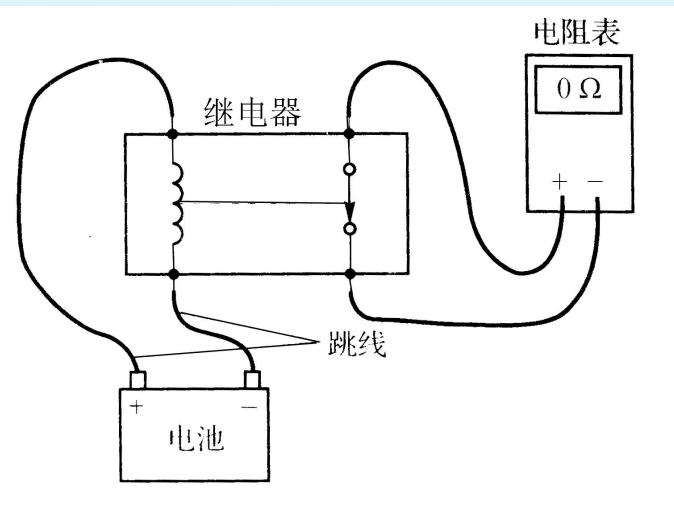


图1.54 检查继电器触点的连通性

任务四 汽车电路

一、汽车电路特点

1. 双电源低压直流供电

汽车电气系统的额定电压一般有12V、24V两种，汽油机普遍采用12V电源，柴油机多采用24V。汽车中电源有两类，一类是蓄电池，一类是交流发电机及其整流电路，它们都是直流低压电源。蓄电池是辅助电源，发动机未起动时向部分用电设备供电；发电机是主电源，当发动机起动后，发电机向全车用电设备供电，同时对蓄电池进行充电。

2. 单线制

单线制，就是利用汽车发动机和底盘、车身等金属机件作为各种用电设备的共用连线（俗称搭铁），而用电设备到电源只需另设一根导线。任何一个电路中的电流都是从电源的正极出发，经导线流入用电设备后，通过金属车架流回电源负极而形成回路。采用单线制不仅可以节省材料（铜导线），使电路简化，而且便于安装和检修，降低故障率。但在一些不能形成可靠的电气回路或需要精确电子信号的回路中，则采用双线。

3. 负极搭铁

搭铁，就是采用单线制时，将蓄电池的一个电极用导线连接到发动机或底盘等金属车体上。若蓄电池的负极连接到金属车体上，称为负极搭铁；反之，若蓄电池的正极连接到金属车体上，称为正极搭铁。我国标准中规定汽车电器必须采用负极搭铁。目前世界各国生产的汽车也大多采用负极搭铁方式。

4. 用电设备并联

用电设备并联，就是指汽车上的各种用电设备都采用并联方式与电源连接，每个用电设备都由各自串联在其支路中的专用开关控制，互不产生干扰。

5. 装有保护装置

为了防止电路或元件因搭铁或短路而烧坏电线束和用电设备，各种类型的汽车上均安装有保险装置。这些保险装置有的串接在元器件（或零部件）回路中，也有的串接在支路中。

6. 大电流开关通常加中间继电器

汽车中大电流的用电器（如启动机、电喇叭等）工作时的电流很大（例如通过启动机的电流一般约 $100\text{A}\sim 200\text{A}$ ），如果直接用开关控制它们的工作状态，往往会使控制开关早期损坏。

二、汽车电路识图

1. 汽车电气线路图

汽车电气线路图是表示汽车电源、用电设备、电器控制开关、继电器与导线连接方式及在车身上的分布情况的简图。它按照汽车用电设备在车身上的位置来进行布线，重点表示线路的走向、插接件连接和开关继电器的控制。

2. 汽车电路原理图

原理图是用简明的电路符号按照电路原理将每个系统元器件合理地连接起来，再将各个规则排列而成。

3. 汽车线路定位图

汽车线路定位图用于指示各电器及导线的具体位置，一般采用绘制的立体图或实物照片的形式，立体感强，能直观、清晰地反映电器在车上的实际位置，具有很高的实用价值。定位图还可进一步细化分为汽车电器定位图，汽车线束图、汽车线路连接器插脚图、汽车接线盒（含熔丝盒、继电器盒）平面置图。

任务五 汽车常用仪器仪表的使用

一、汽车专用数字式万用表

汽车专用数字式万用表具有精度高、输入阻抗高、量程范围宽、测量速度快、抗干扰能力强、功耗小、过载能力强、分辨率高等特点。

下面以KM300型汽车专用数字万用表如图1.57所示为例进行介绍。

1. 测量直流电压

将“选择开关”转到DCV位置，这时万用表会进入自动选择量程方式，自动选择最佳量程。也可以按下RANGE（量程）按钮，选择量程方式，每按一次按钮即可选择到下一个较高的量程。

将红表笔插入面板上的“V/ Ω ”插孔中，再将两黑表笔插入面板上的“COM”插孔中，再将两表笔并联接到被测电路上，读数即可。注意：红表笔（正）、黑表笔（负）应分别和电路测试点的“+”“-”极性应一致。

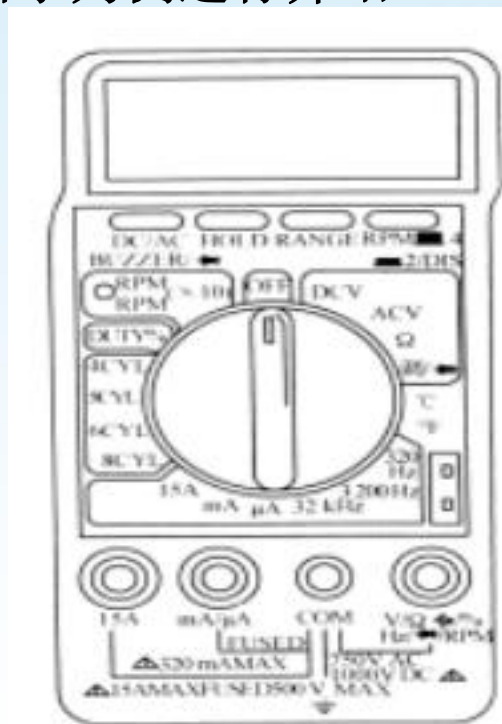


图 1.57 KM300 型汽车专用数字万用表

2. 测量直流电流

按下“DC/AC”切换按钮，选择直流。将“选择开关”转到15A或mA/uA位置。将红表笔插在15A或mA/uA插孔中，将黑表笔插入面板的“COM”插孔中。若事先不知道被测电流的大小范围，应从最大量程开始。此时应将万用表串联到被测电路中，待屏幕显示稳定后再读数。

3. 测量电阻

将“选择开关”转到“ Ω ”位置。这时万用表会进入自动选择量程方式，自动选择最佳量程。也可以按下RANGE（量程）按钮，选择量程方式，每按一次按钮即可选择到下一个较高的量程。将红表笔插入面板上的“V/ Ω ”插孔中，黑表笔插入面板上的“COM”插孔中，再将两表笔接到被测电路上，显示稳定后即可读数。

4. 测量温度

将“选择开关”转到 $^{\circ}\text{C}$ 位置。将汽车用数字万用表配备的带测针的特殊温度插头插到面板的黄色插孔内，让测针与被测温度的部位接触，待显示稳定后即可读数。

5. 测量发动机转速

将“选择开关”转到“RPM”或“RPM (×10)”位置。将感应夹的红色导线插入面板的“V/Ω”插孔中，黑色导线插入面板上的“COM”插孔中，将感应夹夹在通往火花塞的高压线上，其上方的箭头应指向火花塞。按“RPM”按钮，根据被测发动机的冲程数和有无分电器，选择“4”或“2/DIS”，读取发动机转速值。

6. 测量触点闭合角

根据被测发动机的气缸数，将“选择开关”转到触点闭合角区域中对应缸(4CYL、5CYL、6CYL、8CYL)位置上。闭合角插孔“V/Ω”插孔是同一个插孔，将红表笔插入面板的“V/Ω”插孔中，黑表笔插入面板的“COM”插孔中，再将两表笔接到被测电路上，读取触点闭合角数值。

二、汽车专用示波器

显示和记录随时间变化的电量（如电压、电流等）的仪器称为示波器。

一.概述

示波器则用电压随时间的变化的图像来反映一个电信号，它显示电信号比万用表更准确、更形象。

1. 模拟示波器

模拟示波器显示屏上显示的电压波形称为光迹，是由阴极射线管(**CRT**)内移动的光束形成的。电子枪产生光束，**CRT**内的电压极板则在垂直和水平方向上使光束发生偏转，形成光迹，其光迹是一种模拟式的“实时”电压图像。适合于测量频率较快、重复性好(周期稳定)的电压信号。

2. 数字示波器

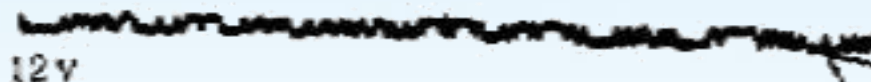
数字示波器采集模拟的电压信号，然后将其转变为数字信息记录下来，再通过显示屏将其重现。相比于模拟示波器，该信息具有以下特性：可暂停显示、保存、打印或记录某个波形；可显示、捕捉慢速变化且周期不稳的单一脉冲信号波形。

3. 数字示波器在汽车维修中的作用

汽车电子设备的有些信号其变化速率非常快，其变化周期达到千分之一秒，许多故障信号是间歇的，时有时无，这就需要仪器的测试速度高于故障信号的速度。通常要求测试仪器的扫描速度是被测信号的**5~10**倍。数字示波器完全可以胜任这个速度，数字示波器不仅可以快速捕捉电路信号，还可以用较慢的速度来显示这些波形，以便可以一面观察，一面分析。它还可以用储存的方式记录信号波形，可以倒回来观察已经发生过的快速信号，这就为分析故障提供了极大方便。

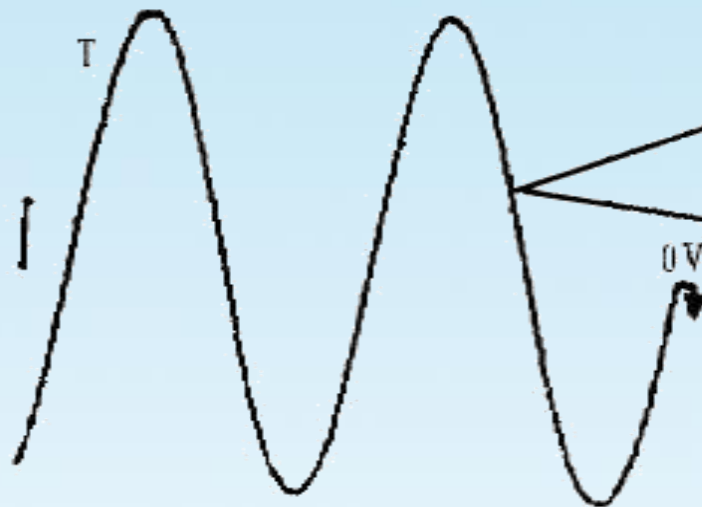
2. 汽车电控系统输入信号与输出信号的种类

(1) 直流（DC）信号波形



直流信号是一种模拟信号，汽车上产生直流信号的传感器元件有：发动机冷却水温度传感器、燃油温度传感器、进气温度传感器、节气门位置传感器、废气再循环压强和位置、翼板式或热丝式空气流量计、真空和节气门开关，以及通用、克莱斯勒和亚洲等公司生产的汽车的进气压力传感器。

(2) 交流 (AC) 信号波形



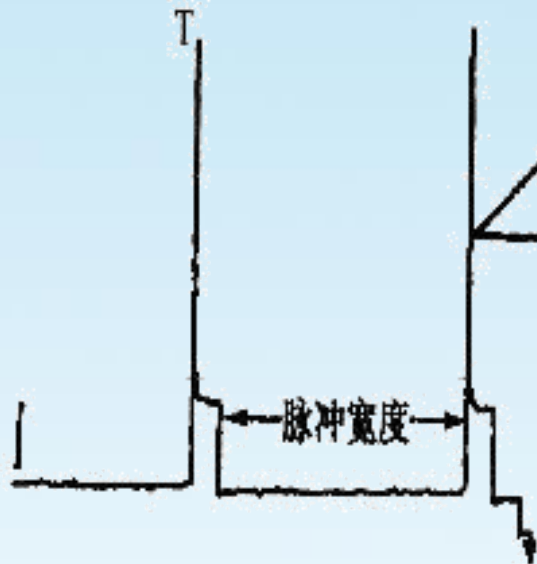
在汽车中产生交流信号的传感器和装置有：车速传感器、防滑制动轮速传感器、磁电式曲轴转角凸轮轴传感器，从模拟压力传感器信号得到的发动机真空平衡波形和爆震传感器。

(3) 频率调制信号波形



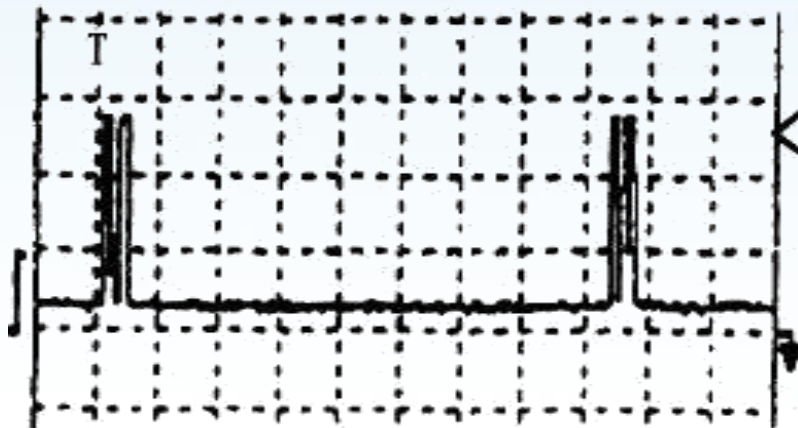
汽车中产生可变频率信号的传感器和装置有：数字式空气流量计、福特数字式进气压力传感器、光电式车速传感器、霍尔式车速传感器、光电式凸轮轴和曲轴转角传感器、霍尔式车速传感器、霍尔式凸轮轴和曲轴转角传感器。

(4) 脉宽调制信号波形



在汽车中产生脉宽调制信号的电路或装置有：初级点火线圈、电子点火正时电路、废气再循环控制、净化、涡轮增压和其他控制电磁阀、喷油嘴、怠速控制发动机和电磁阀。

(5) 串行数据信号波形



若汽车中具备有自诊断能力和其他串行数据传送能力的控制模块，则串行数据是由发动机控制电脑、车身控制电脑和防滑制动系统或其控制模块产生。

3. 分析示波器波形的重要参数

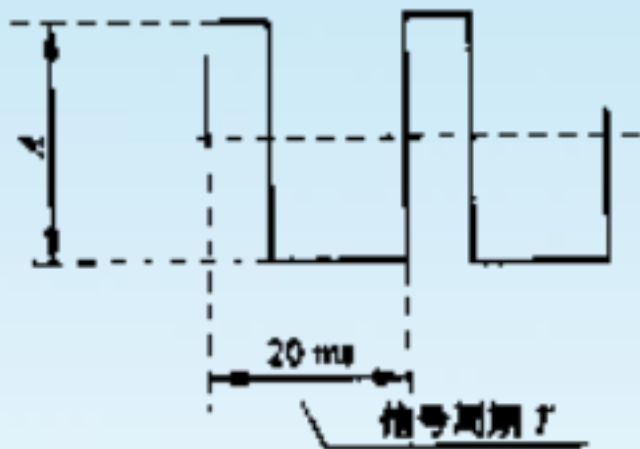


图 脉冲波形的峰值与周期

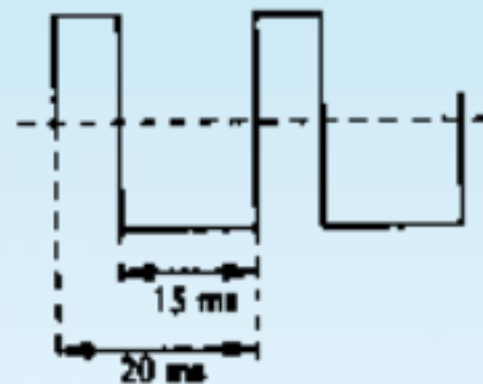


图 脉冲波形的宽度与占空比

(1) 幅值 A

(2) 频率 f

(3) 形状

(4) 脉冲宽度

(5) 阵列

4. 示波器控制

示波器控制按照其功能可分为两种。一种控制Y轴上的电压，一种控制X轴上的时间。

(1) 示波器用语

电压比例：每格垂直高度代表的电压值；

时 基：每格水平长度代表的时间值；

触发电平：示波器显示时的起始电压值；

触发源：示波器的触发通道：通道(CH1)、通道(CH2)；

触发沿：示波器显示时的波形上升或下降沿；

自动触发：示波器根据信号特点自动设置触发条件。

2. 调整电压比例

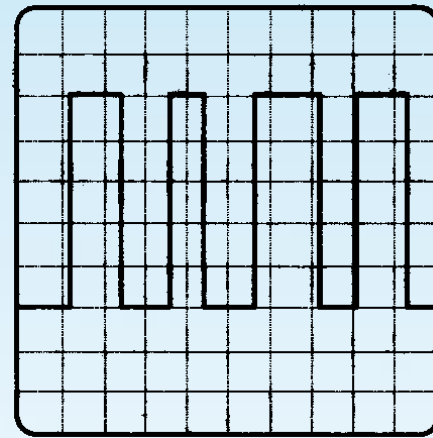
纵坐标控制系统可调节电压轨迹在Y轴上的显示。
用户可以选择以下旋钮调节电压：

- 1)电压刻度。
- 2)基准电压。
- 3)输入信号耦合。

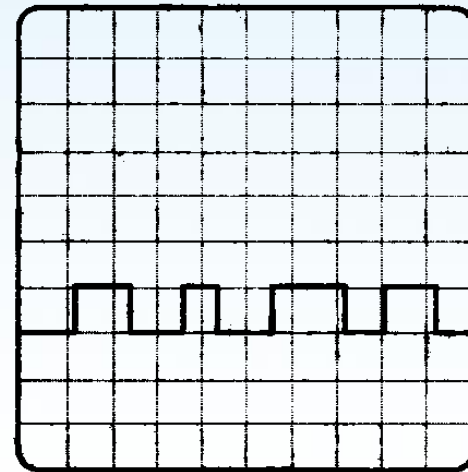
电压比例是指屏幕垂直方向上显示

的每个格子所对应的实际电压值。

如图（a）、图（b）所示。



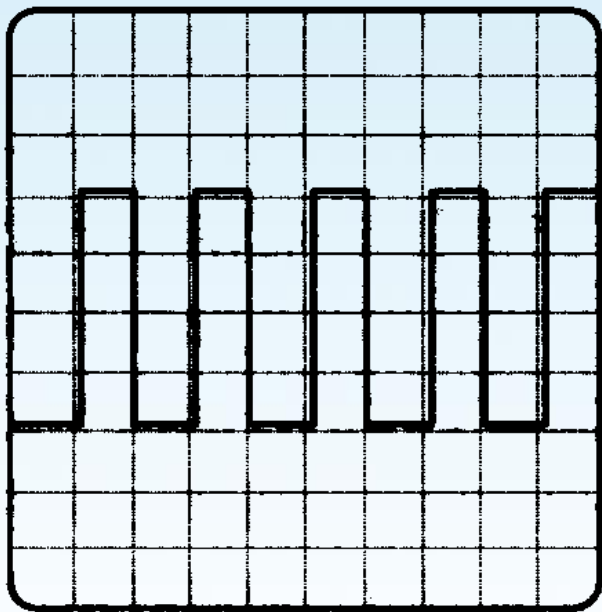
(a)



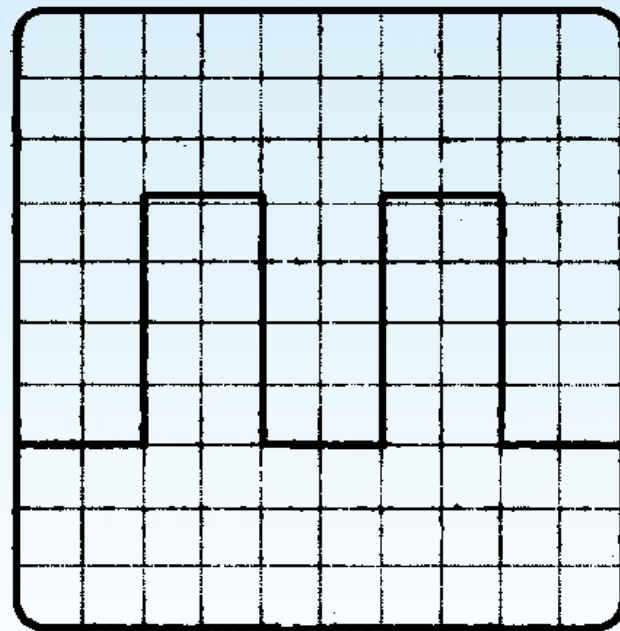
(b)

3. 调整时基

时基的选择决定了重复性信号在屏幕上显示的频数，是指屏幕水平方向上显示的每个格子所对应的实际时间值。同样的信号使用不同的时基显示的情况如图(a)、图(b)。

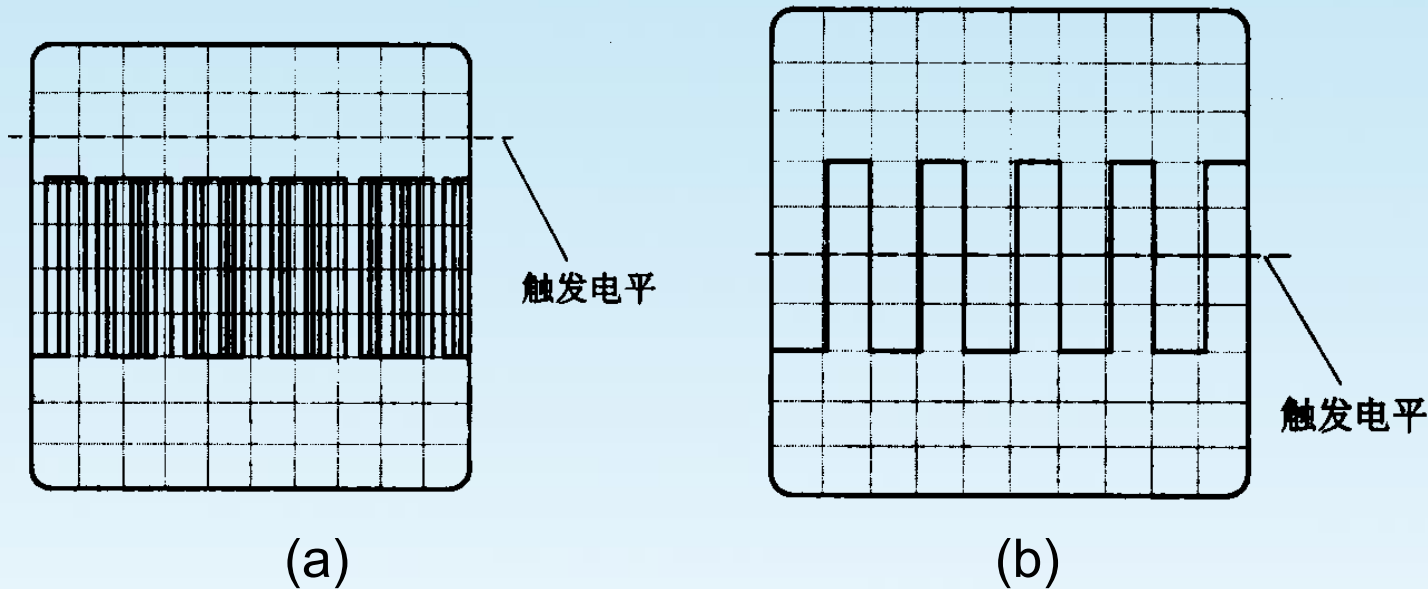


(a)



(b)

4. 调整触发



图(a)由于设定的触发电平超出了信号的电平范围，示波器无法确定显示的起始位置，因此屏幕上显示的波形左右晃动，无法锁定。

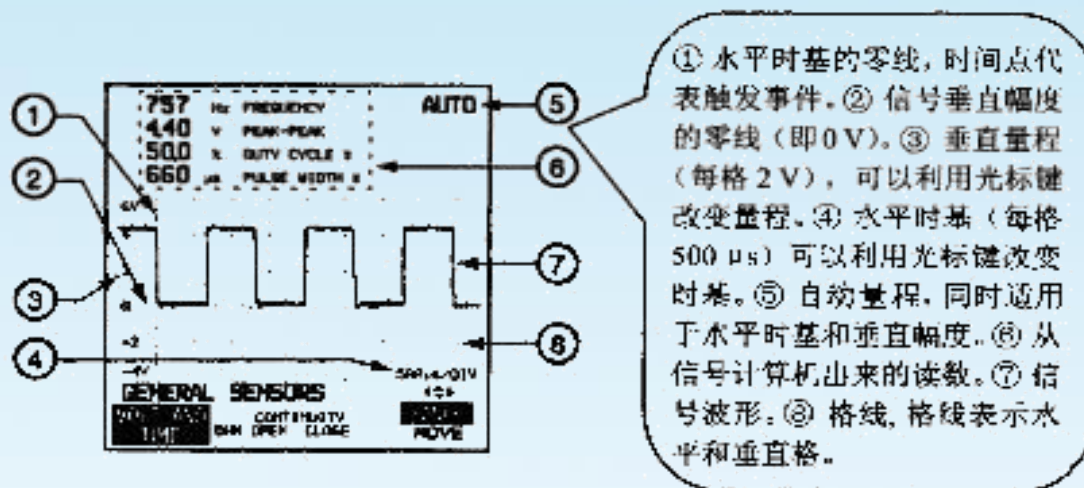
图(b)正确设定了触发电平，示波器可以准确锁定波形。

触发正负的设定是用于确定示波器显示的波形是以大于触发电平(正触发)还是小于触发电平(负触发)的电压变化点来作为显示起始点。

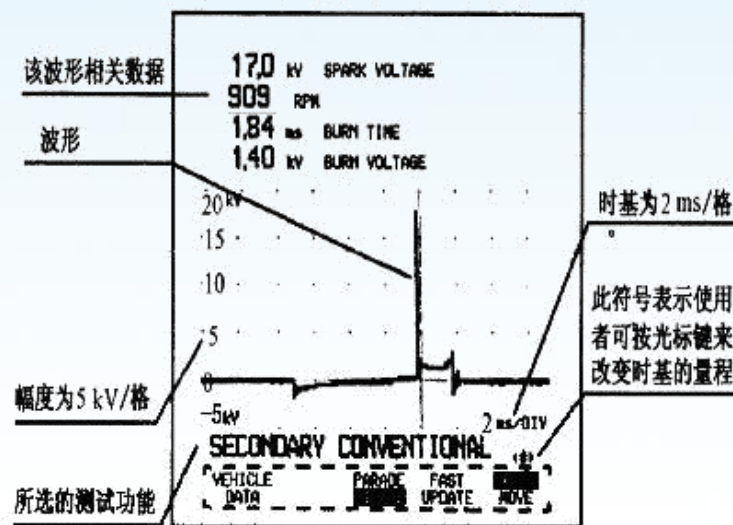
触发源是用于设定以哪一通道的信号来作为触发信号。

5. 波形界面识别

(1) 单通道波形识别图，如图 (a)、(b) 所示。

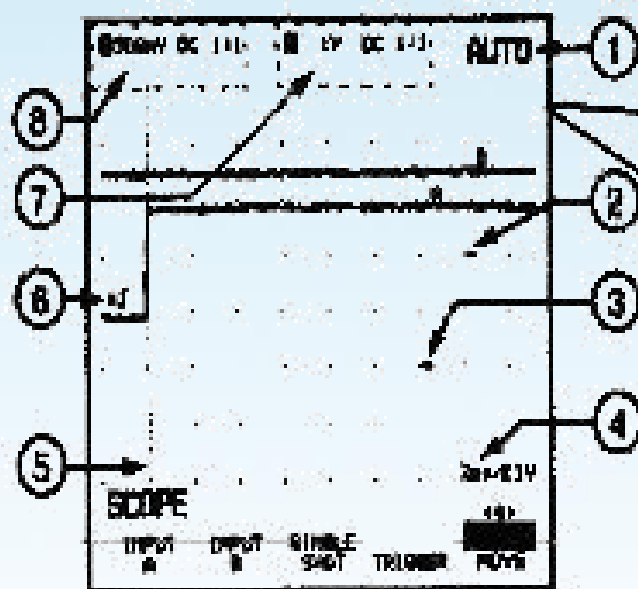


(a)



(b)

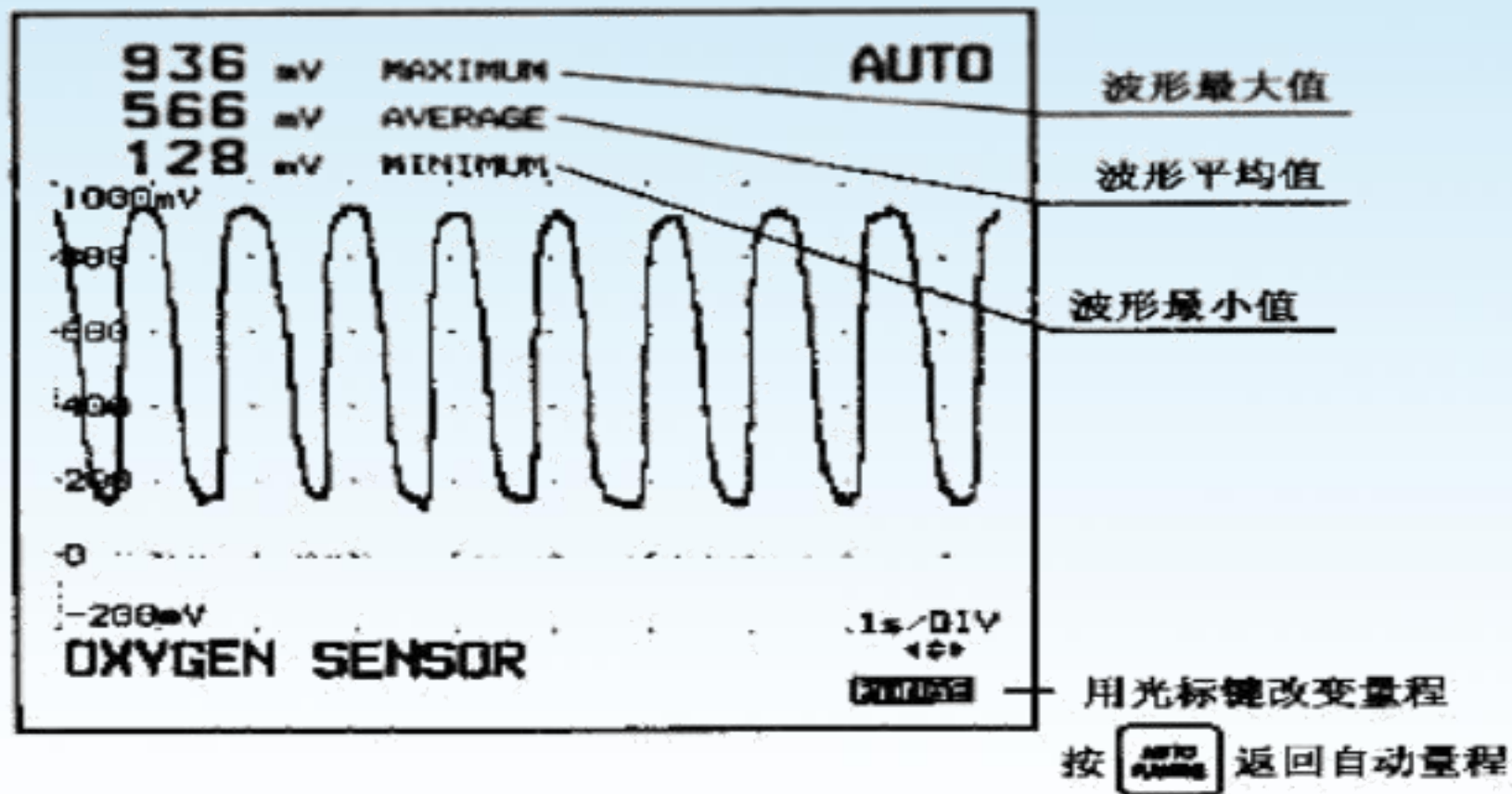
(2) 双通道波形识别图, 如图6.41所示。



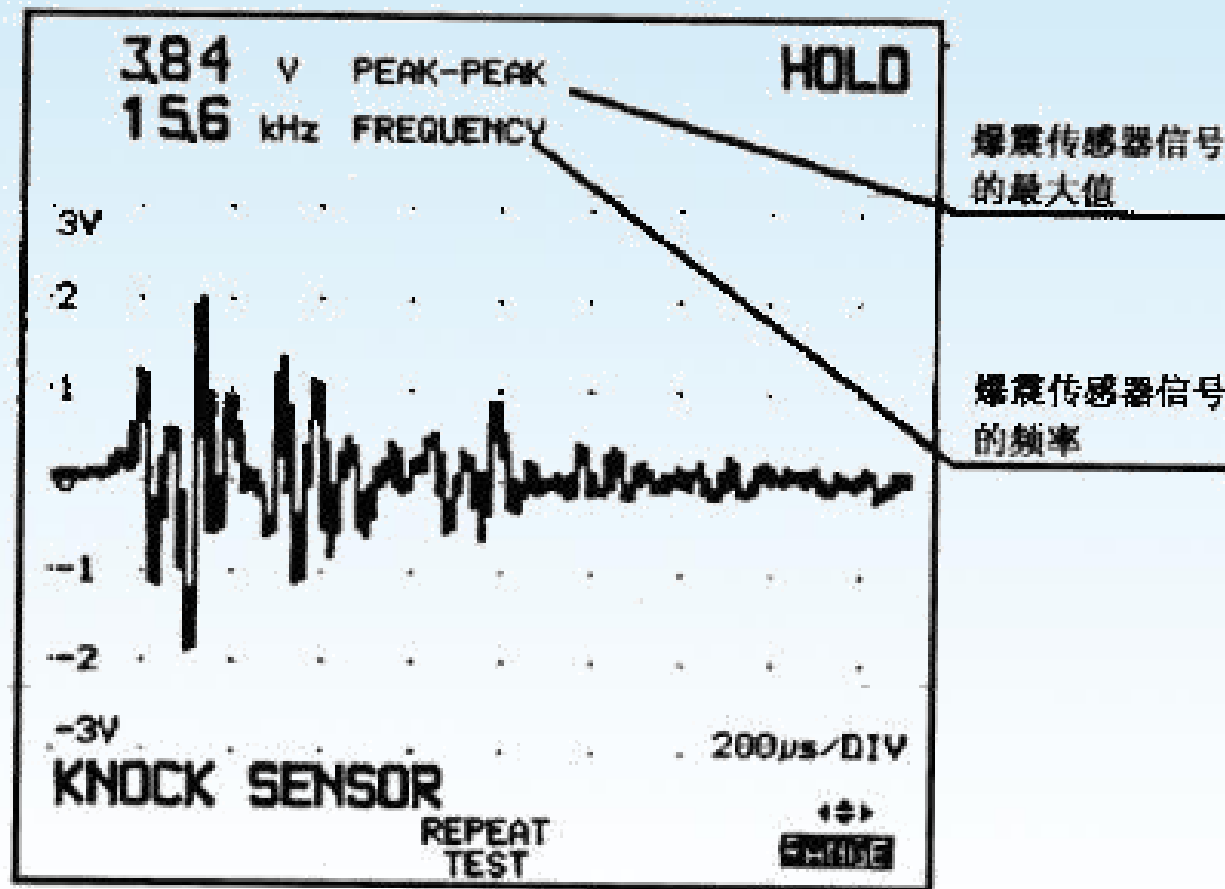
- ① 自动量程设定及信号追踪功能作用; ② 通道零电位; ③ 通道 A 零电位; ④ 时基范围; ⑤ 时基零位线(触发事件); ⑥ 触发标记, 表示触发源 (a 表示通道 A)、触发率(表示负沿)和触发电平(图例的垂直位置); ⑦ 通道 B 量程设定和探头识别。在通道 B 关闭时显示 OFF; ⑧ 通道 A 量程设定和探头识别。

6. 波形数据的识别

(1) 氧传感器的信号波形，如图所示。



(2) 爆震传感器的信号波形，如图所示。



6.2 汽车专用示波器

显示和记录随时间变化的电量（如电压、电流等）的仪器称为示波器。

6.2.1 示波器的操作入门

一.概述

示波器则用电压随时间的变化的图像来反映一个电信号，它显示电信号比万用表更准确、更形象。

1. 模拟示波器

模拟示波器显示屏上显示的电压波形称为光迹，是由阴极射线管(**CRT**)内移动的光束形成的。电子枪产生光束，**CRT**内的电压极板则在垂直和水平方向上使光束发生偏转，形成光迹，其光迹是一种模拟式的“实时”电压图像。适合于测量频率较快、重复性好(周期稳定)的电压信号。

2. 数字示波器

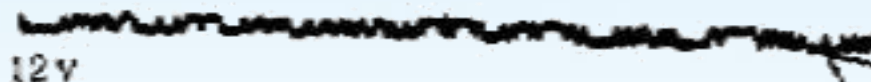
数字示波器采集模拟的电压信号，然后将其转变为数字信息记录下来，再通过显示屏将其重现。相比于模拟示波器，该信息具有以下特性：可暂停显示、保存、打印或记录某个波形；可显示、捕捉慢速变化且周期不稳的单一脉冲信号波形。

3. 数字示波器在汽车维修中的作用

汽车电子设备的有些信号其变化速率非常快，其变化周期达到千分之一秒，许多故障信号是间歇的，时有时无，这就需要仪器的测试速度高于故障信号的速度。通常要求测试仪器的扫描速度是被测信号的**5~10**倍。数字示波器完全可以胜任这个速度，数字示波器不仅可以快速捕捉电路信号，还可以用较慢的速度来显示这些波形，以便可以一面观察，一面分析。它还可以用储存的方式记录信号波形，可以倒回来观察已经发生过的快速信号，这就为分析故障提供了极大方便。

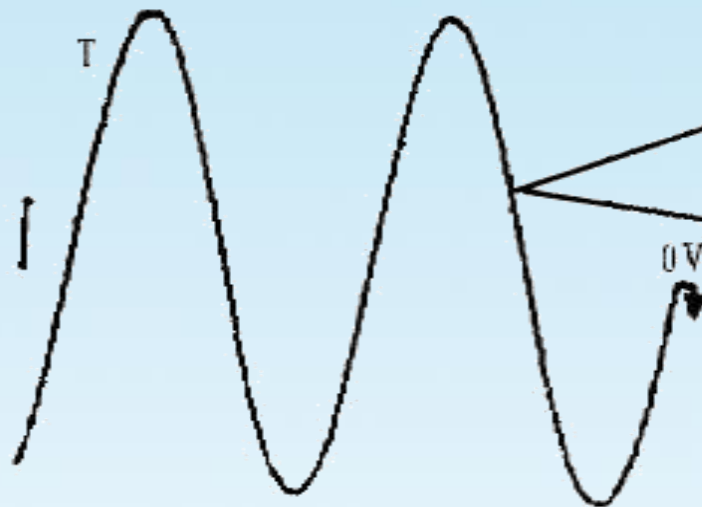
2. 汽车电控系统输入信号与输出信号的种类

(1) 直流（DC）信号波形



直流信号是一种模拟信号，汽车上产生直流信号的传感器元件有：发动机冷却水温度传感器、燃油温度传感器、进气温度传感器、节气门位置传感器、废气再循环压强和位置、翼板式或热丝式空气流量计、真空和节气门开关，以及通用、克莱斯勒和亚洲等公司生产的汽车的进气压力传感器。

(2) 交流 (AC) 信号波形



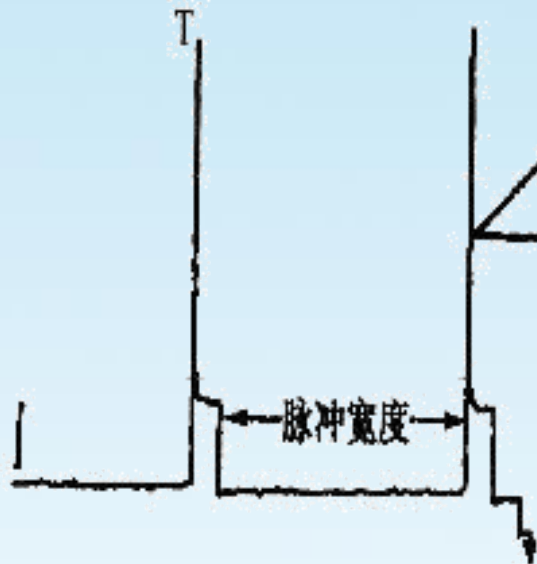
在汽车中产生交流信号的传感器和装置有：车速传感器、防滑制动轮速传感器、磁电式曲轴转角凸轮轴传感器，从模拟压力传感器信号得到的发动机真空平衡波形和爆震传感器。

(3) 频率调制信号波形



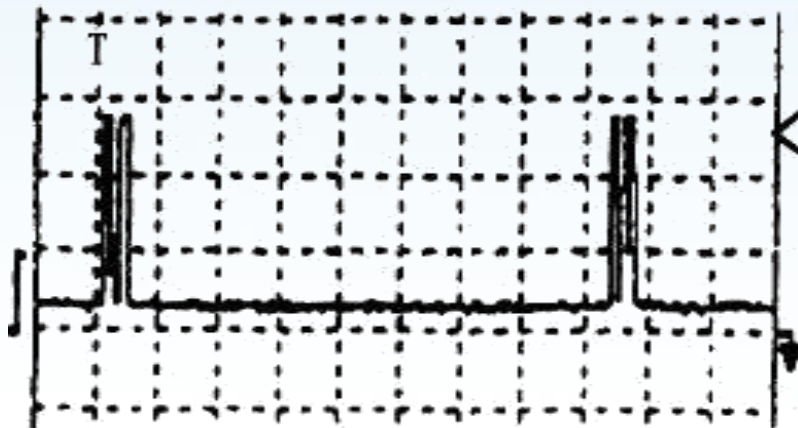
汽车中产生可变频率信号的传感器和装置有：数字式空气流量计、福特数字式进气压力传感器、光电式车速传感器、霍尔式车速传感器、光电式凸轮轴和曲轴转角传感器、霍尔式车速传感器、霍尔式凸轮轴和曲轴转角传感器。

(4) 脉宽调制信号波形



在汽车中产生脉宽调制信号的电路或装置有：初级点火线圈、电子点火正时电路、废气再循环控制、净化、涡轮增压和其他控制电磁阀、喷油嘴、怠速控制发动机和电磁阀。

(5) 串行数据信号波形



若汽车中具备有自诊断能力和其他串行数据传送能力的控制模块，则串行数据是由发动机控制电脑、车身控制电脑和防滑制动系统或其控制模块产生。

3. 分析示波器波形的重要参数

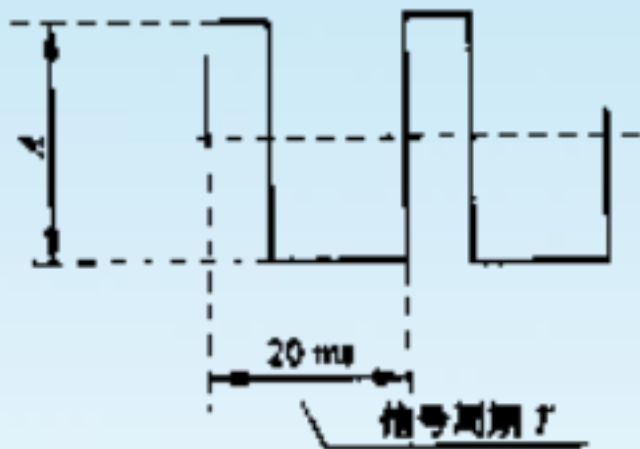


图6.32 脉冲波形的峰值与周期

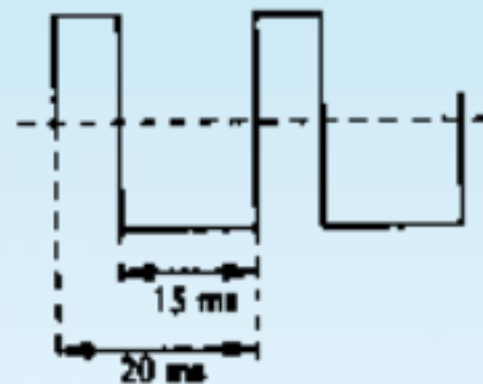


图6.33 脉冲波形的宽度与占空比

- (1) 幅值 A
- (2) 频率 f
- (3) 形状
- (4) 脉冲宽度
- (5) 阵列

4. 示波器控制

示波器控制按照其功能可分为两种。一种控制Y轴上的电压，一种控制X轴上的时间。

(1) 示波器用语

电压比例：每格垂直高度代表的电压值；

时 基：每格水平长度代表的时间值；

触发电平：示波器显示时的起始电压值；

触发源：示波器的触发通道：通道(CH1)、通道(CH2)

触发沿：示波器显示时的波形上升或下降沿；

自动触发：示波器根据信号特点自动设置触发条件。

2. 调整电压比例

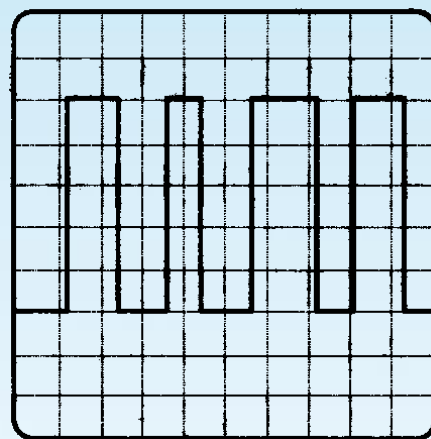
纵坐标控制系统可调节电压轨迹在Y轴上的显示。
用户可以选择以下旋钮调节电压：

- 1)电压刻度。
- 2)基准电压。
- 3)输入信号耦合。

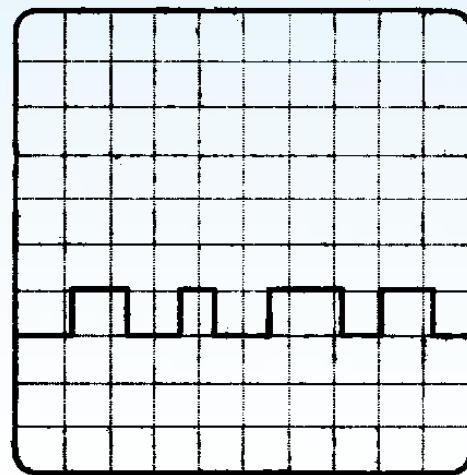
电压比例是指屏幕垂直方向上显示

的每个格子所对应的实际电压值。

如图（a）、图（b）所示。



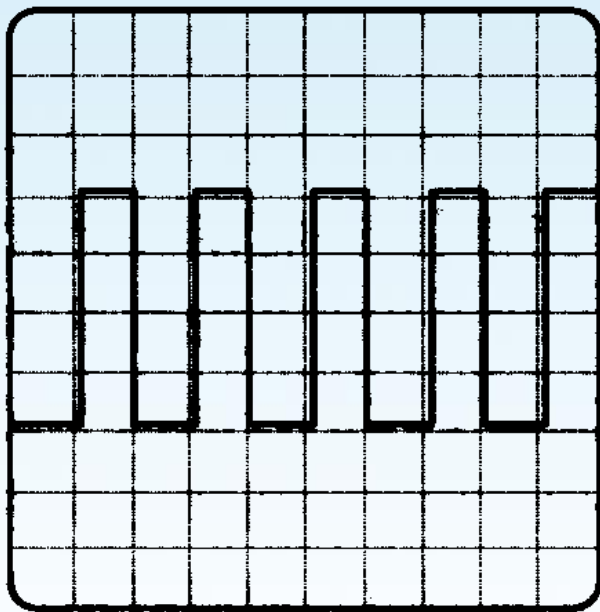
(a)



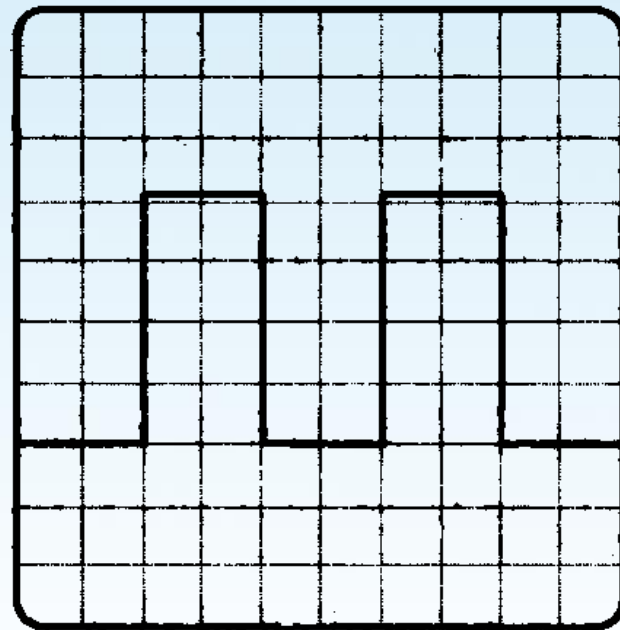
(b)

3. 调整时基

时基的选择决定了重复性信号在屏幕上显示的频数，是指屏幕水平方向上显示的每个格子所对应的实际时间值。同样的信号使用不同的时基显示的情况如图(a)、图(b)。

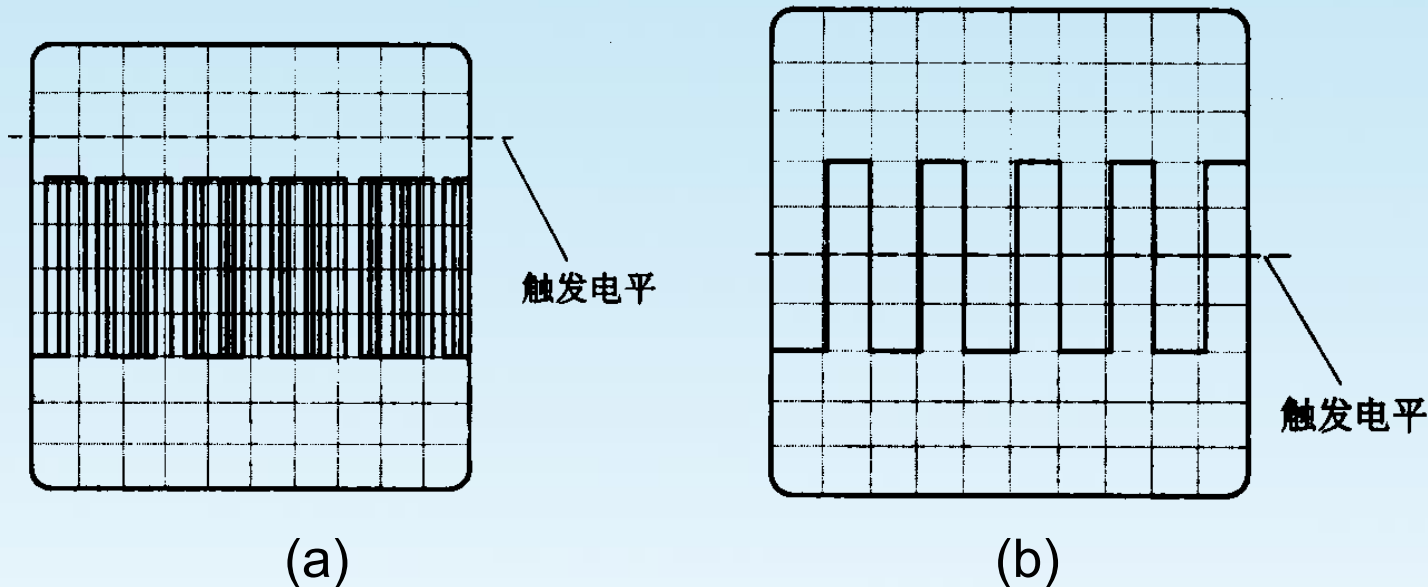


(a)



(b)

4. 调整触发



图(a)由于设定的触发电平超出了信号的电平范围，示波器无法确定显示的起始位置，因此屏幕上显示的波形左右晃动，无法锁定。

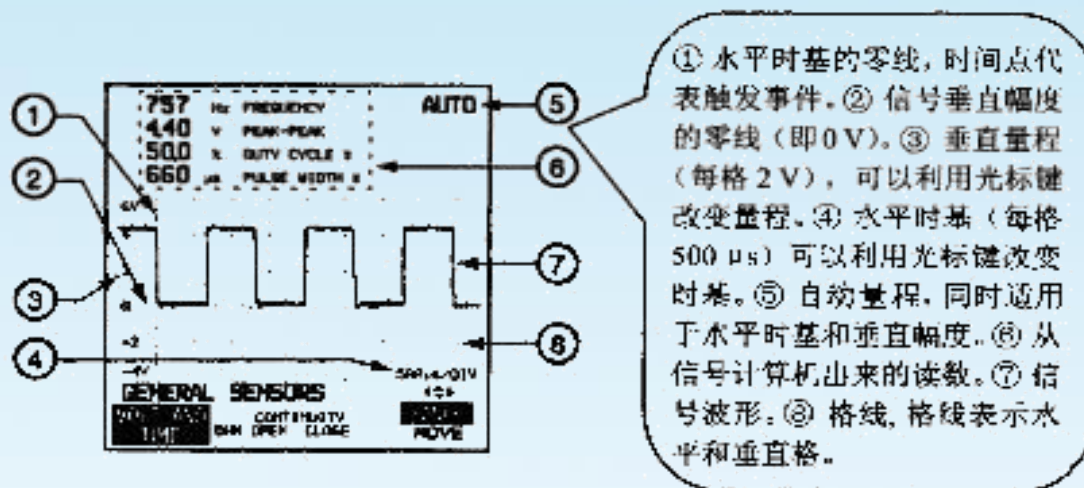
图(b)正确设定了触发电平，示波器可以准确锁定波形。

触发正负的设定是用于确定示波器显示的波形是以大于触发电平(正触发)还是小于触发电平(负触发)的电压变化点来作为显示起始点。

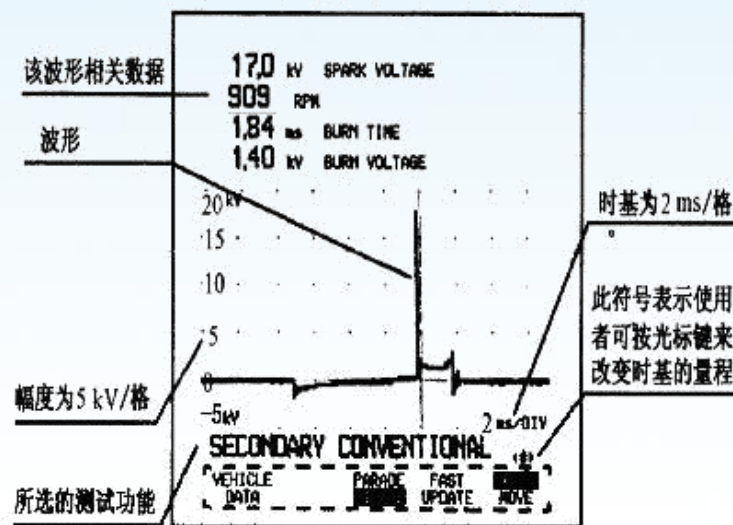
触发源是用于设定以哪一通道的信号来作为触发信号。

5. 波形界面识别

(1) 单通道波形识别图，如图 (a)、(b) 所示。

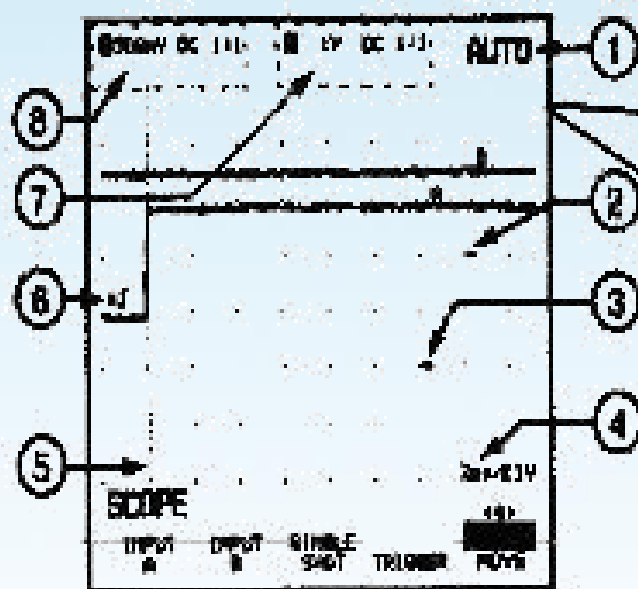


(a)



(b)

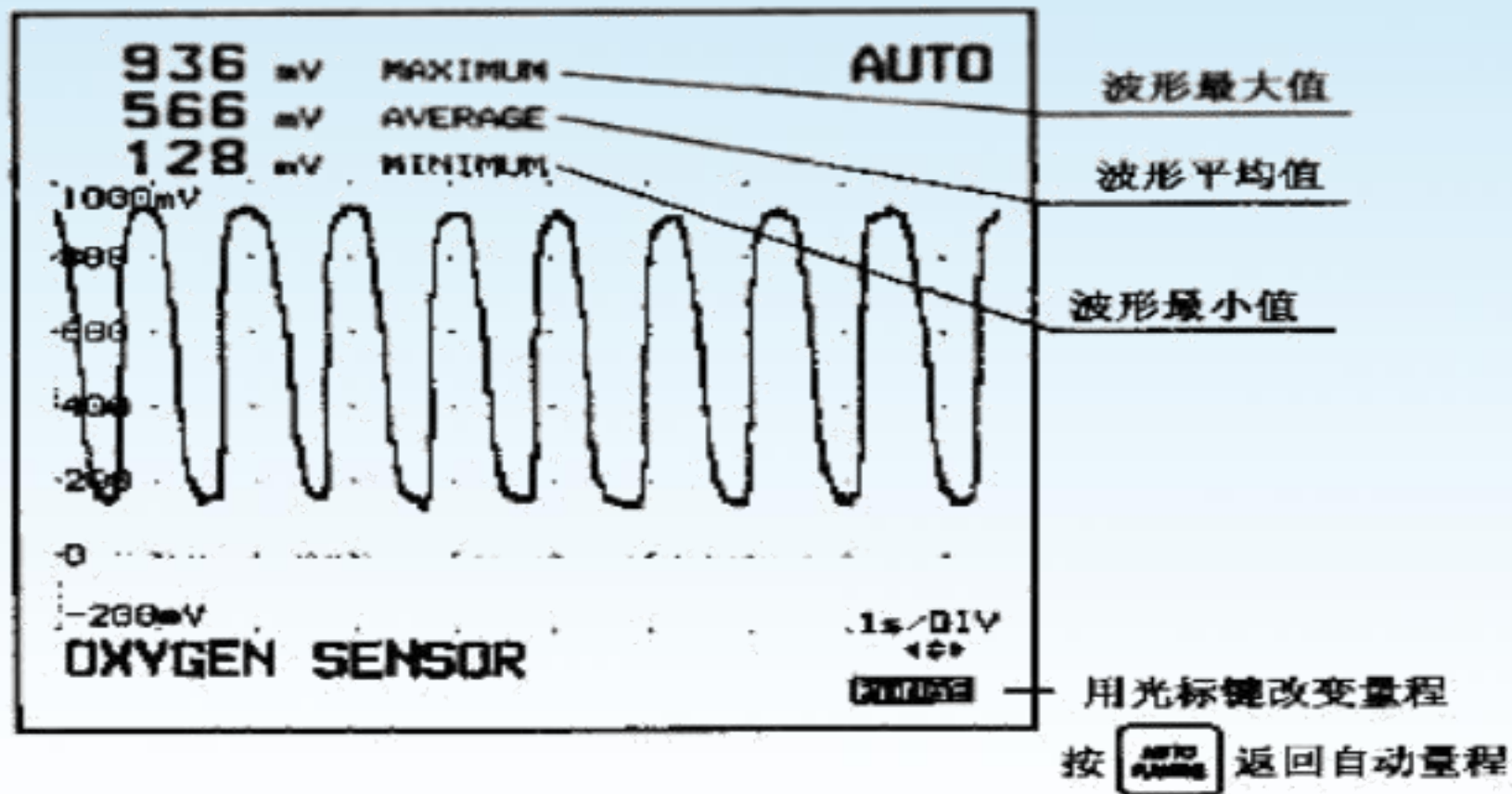
(2) 双通道波形识别图，如图所示。



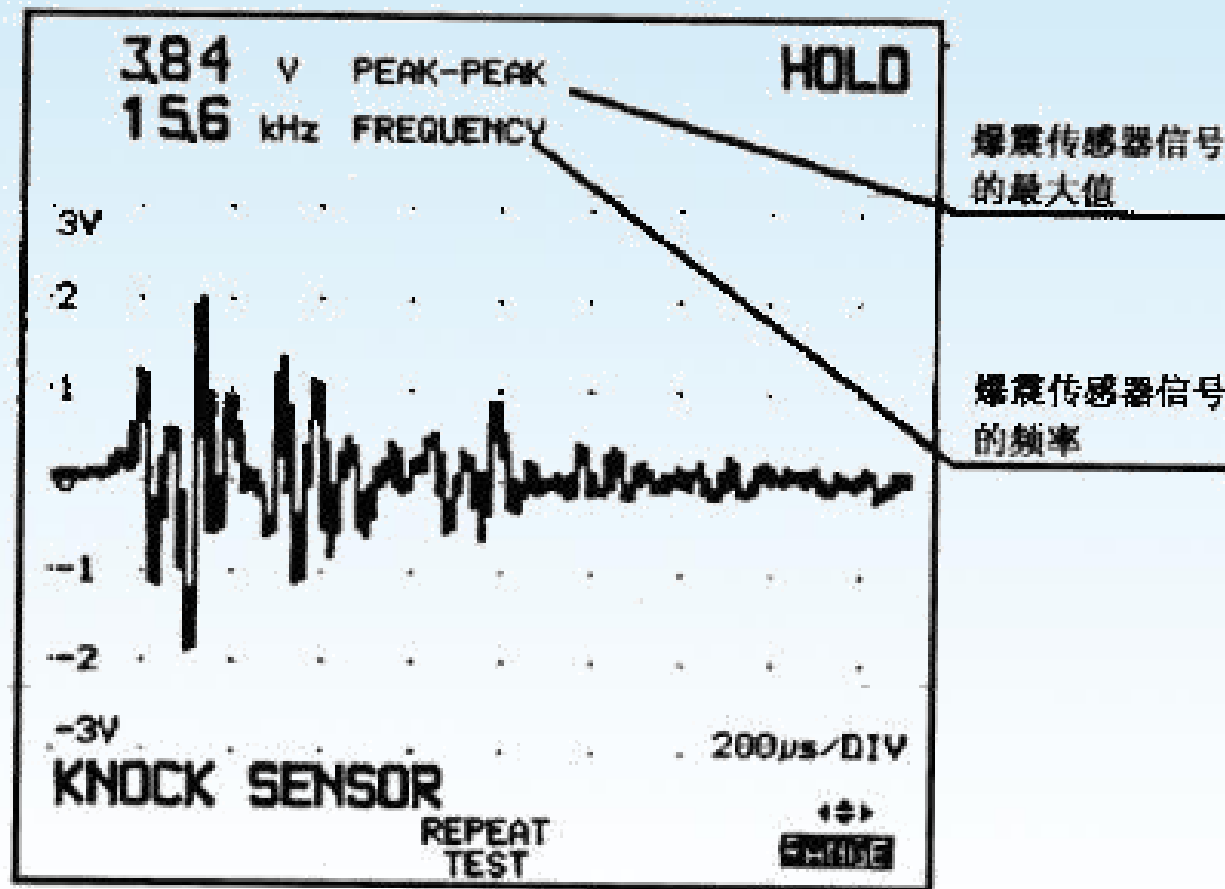
- ① 自动量程设定及信号追踪功能作用；② 通道零电位；③ 通道 A 零电位；④ 时基范围；⑤ 时基零位线（触发事件）；⑥ 触发标记，表示触发源（a 表示通道 A）、触发率（表示负沿）和触发电平（图例的垂直位置）；⑦ 通道 B 量程设定和探头识别。在通道 B 关闭时显示 OFF；⑧ 通道 A 量程设定和探头识别。

6. 波形数据的识别

(1) 氧传感器的信号波形，如图所示。



(2) 爆震传感器的信号波形，如图所示。



项目二 交流电路的应用

任务一 正弦交流电路

任务二 单相交流电路

任务三 三相交流电路

任务四 安全用电



项目二 交流电路的应用

知识目标:

- 1.了解正弦交流电的周期、频率、角频率、幅值、初相位、相位差等特征量;
- 2.掌握正弦交流电的解析式、波形图、相量图、三要素等概念;
- 3.掌握单相交流电路的特点,具备分析简单交流电路的能力;
- 4.掌握RLC串、并联交流电路中电压与电流的相位、数量关系及功率计算;
- 5.掌握三相交流电源和三相负载的连接方法及特点。

能力目标:

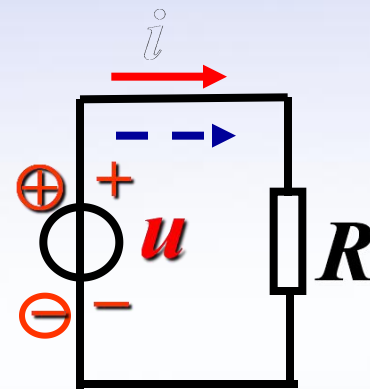
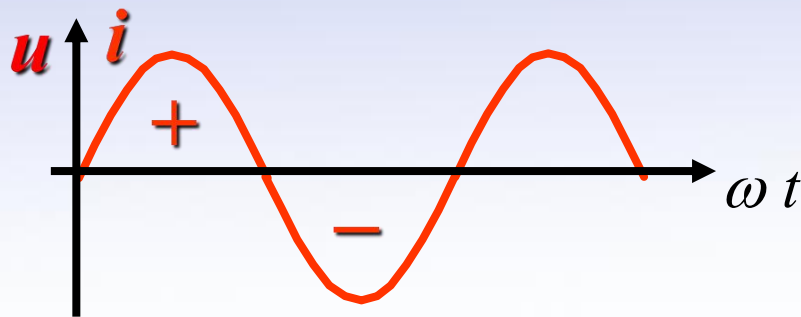
- 1.会用万用表测量交流电压和电流;
- 2.会正确使用示波器和函数发生器。

任务一 正弦交流电路

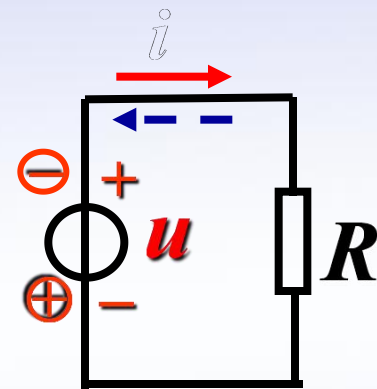
1. 正弦交流电压与电流

正弦量：

随时间按正弦规律做周期变化的量。



正半周



负半周

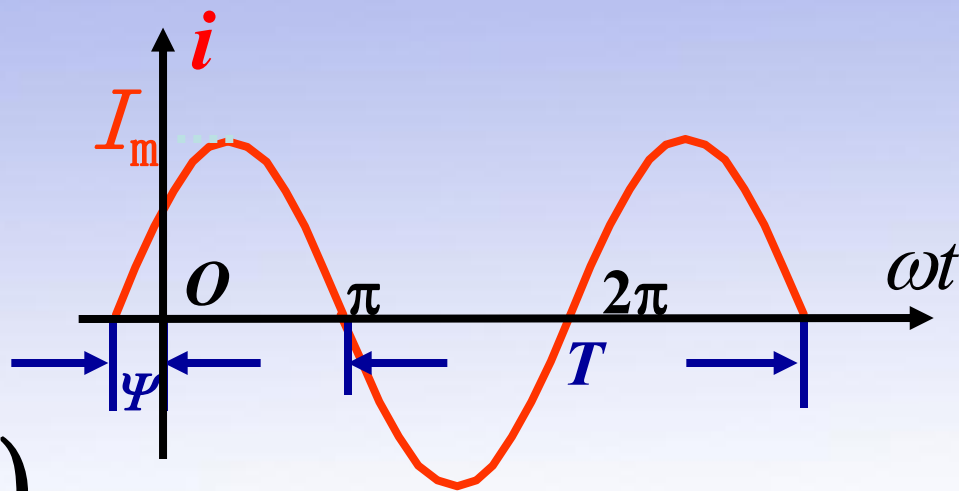
正弦交流电的优越性：

便于传输；易于变换；
便于运算；
有利于电器设备的运行；

.....

2. 正弦交流量的基本特征和三要素

设正弦交流电流：



$$i = I_m \sin(\omega t + \psi)$$

初相角：决定正弦量起始位置

角频率：决定正弦量变化快慢

幅值：决定正弦量的大小

幅值、角频率、初相角成为正弦量的三要素。

(1) 瞬时值、最大值和有效值

瞬时值：把任意时间正弦交流量所对应的值称为瞬时值，用小写字母表示，如 e 、 u 、 i 等。瞬时值可以是正值、负值，甚至是零。

最大值：正弦交流量最大的瞬时值称为最大值（或称峰值、振幅）。用大写字母加 m 下标表示，如 E_m 、 U_m 、 I_m 等。

有效值：正弦交流量的有效值是根据交流电流和直流电流热效应相等的原则而确定的，即让交流电和直流电分别通过阻值完全相同的电阻，在相同的时间内直流电流和交流电流在两电阻上产生的热效应相等，则将此直流电数值定义为该交流电的有效值。有效值用大写字母表示，如 E 、 U 、 I 等。

有效值与最大值通过计算有如下关系：

$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m \\ U &= \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707 U_m \\ E &= \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707 E_m \end{aligned} \right\}$$

通常设备上标定的值和交流电表上指示的值均为有效值。

(2) 周期、频率和角频率

周期 T : 正弦量变化一次所需要的时间 (**s**)。

频率 f : 正弦量在单位时间内变化的次数。

周期与频率的关系:

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{Hz})$$

角频率 ω : 正弦交流量一秒钟变化的电角度。

角频率与周期及频率的关系:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (\text{rad/s})$$

电网频率: 我国 **50 Hz** , 美国、日本 **60 Hz**。

(3) 相位、初相位和相位差

相位：正弦量表达式中的角度。

初相： $t=0$ 时的相位。

相位差：两个同频率正弦量的相位之差，其值等于它们的初相之差。如

$$u = U_m \sin(\omega t + \theta_u)$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \theta_i)$$

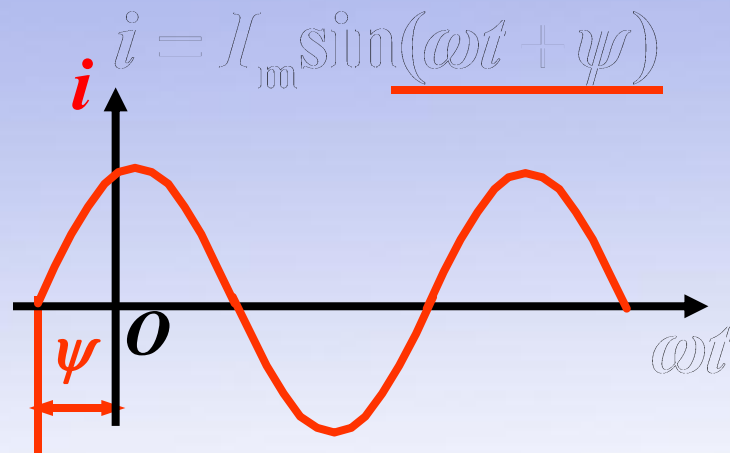
相位差为：

$$\varphi = (\omega t + \theta_u) - (\omega t + \theta_i) = \theta_u - \theta_i$$

3. 初相位与相位差

相位： $\omega t + \psi$

反映正弦量变化的进程。



初相位： 表示正弦量在 $t=0$ 时的相角。

$$\psi = (\omega t + \psi) \Big|_{t=0}$$

ψ ：给出了观察正弦波的起点或参考点。

相位差 φ :

两同频率的正弦量之间的初相位之差。

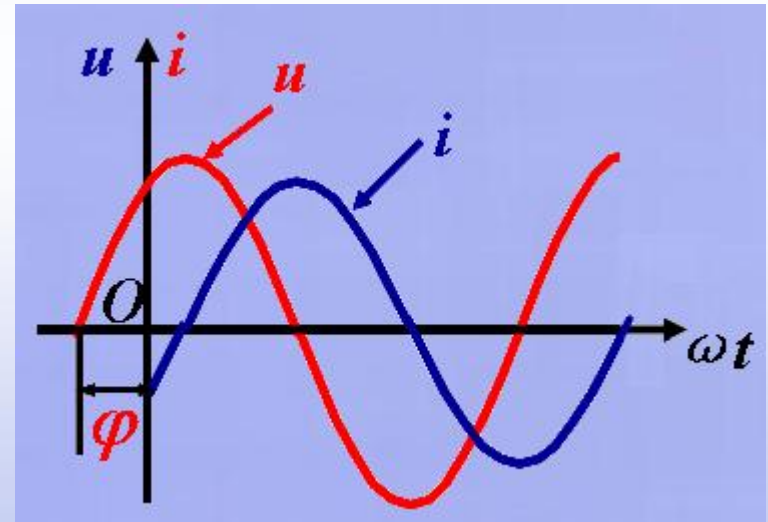
如: $u = U_m \sin(\omega t + \psi_1)$

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_2)$$

$$\begin{aligned}\varphi &= (\omega t + \psi_1) - (\omega t + \psi_2) \\ &= \psi_1 - \psi_2\end{aligned}$$

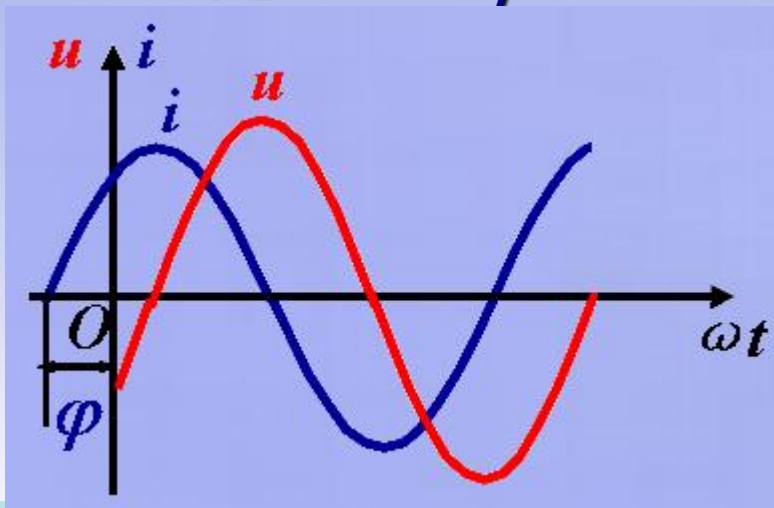
若 $\varphi = \psi_1 - \psi_2 > 0$

电压超前电流 φ



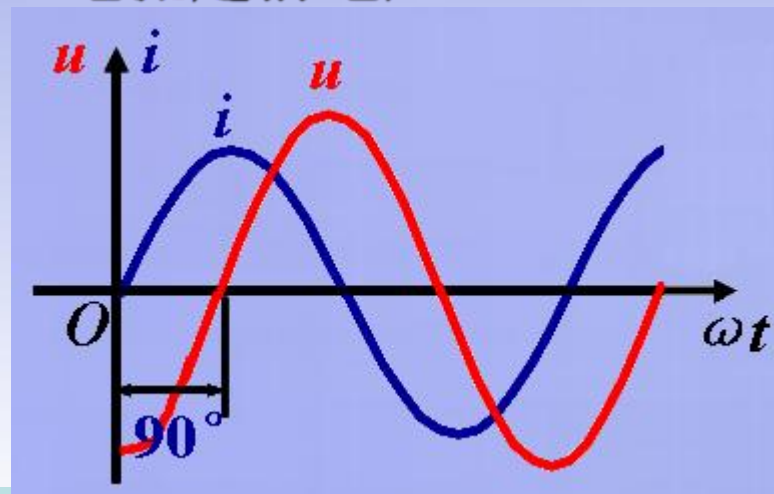
$$\varphi = \psi_1 - \psi_2 < 0$$

电流超前电压 φ



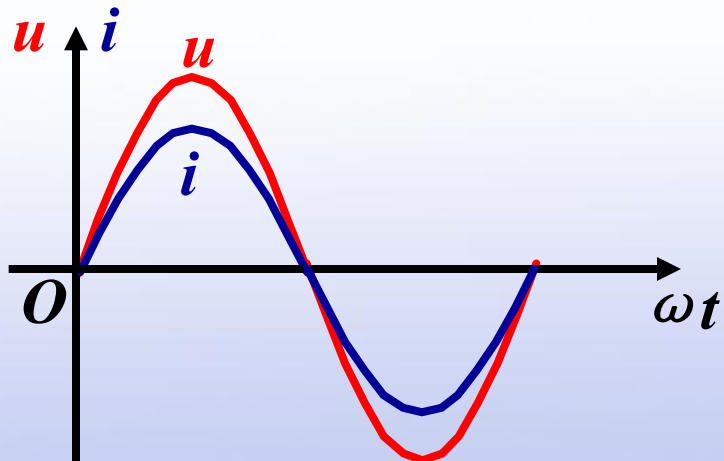
$$\varphi = \psi_1 - \psi_2 = -90^\circ$$

电流超前电压 90°



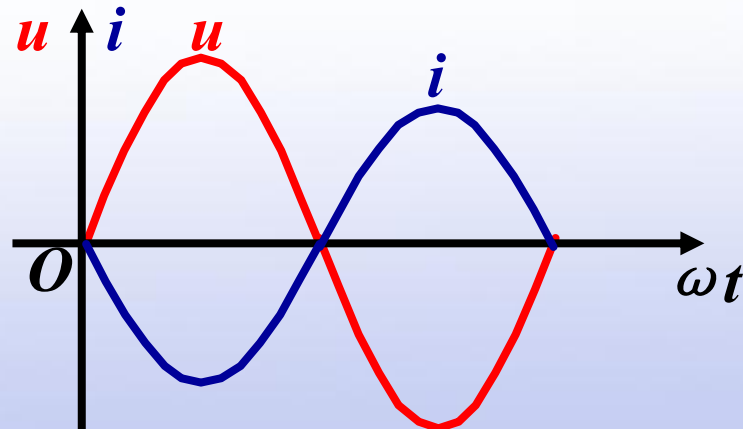
$$\varphi = \psi_1 - \psi_2 = 0$$

电压与电流同相



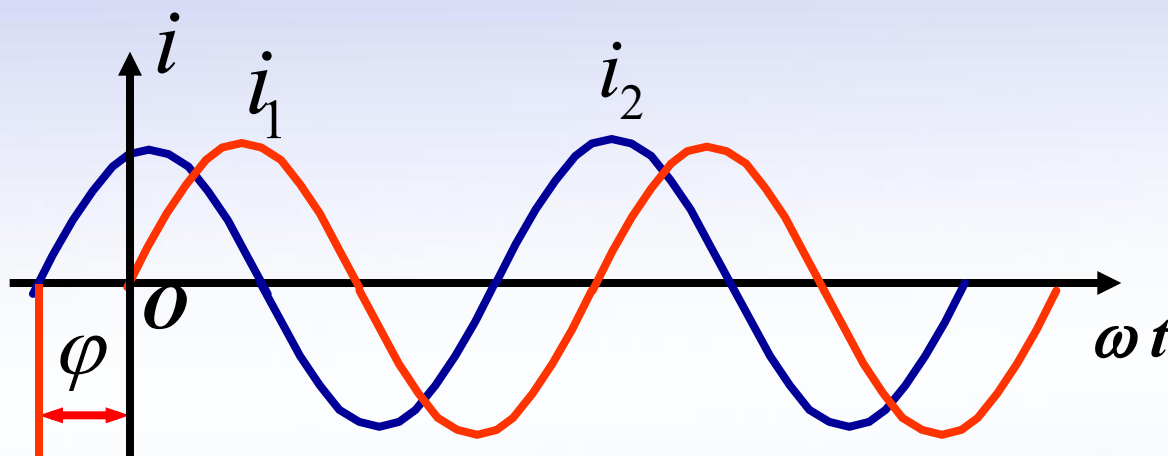
$$\varphi = \psi_1 - \psi_2 = 180^\circ$$

电压与电流反相



注意:

- ① 两同频率的正弦量之间的相位差为常数，与计时的起点无关。



- ② 频率不同的正弦量比较相位无意义。

(4) 正弦量的三要素

以正弦电流为例

$$i = I_m \sin(\omega t + \theta_i)$$

振幅

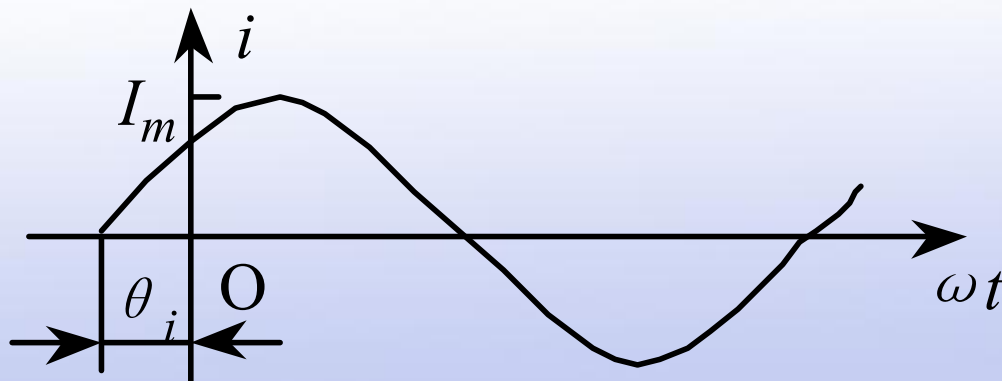
角频率

相位

初相角: 简称初相

振幅、角频率和初相称为正弦量的的三要素。

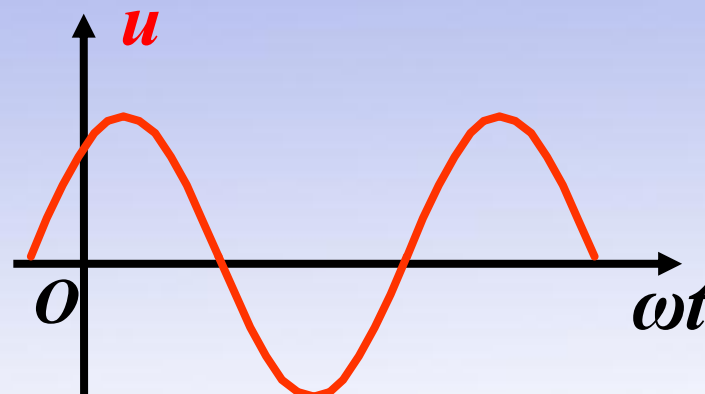
波形



3. 正弦量的相量表示法

(1) 正弦量的表示方法

波形图



瞬时值表达式

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi)$$

相量

$$\dot{U} = U \angle \psi$$

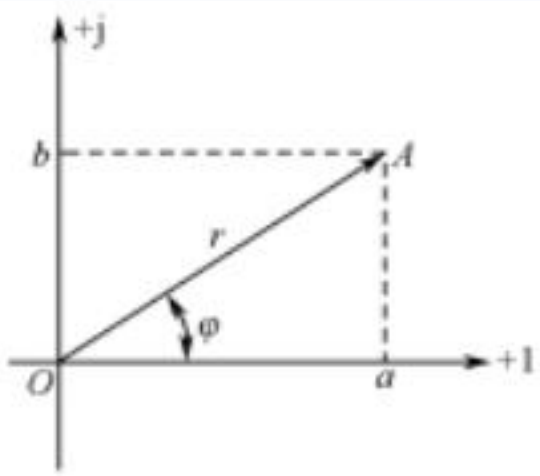
必须
小写

重点

前两种不便于运算，重点介绍相量表示法。

相量法就是用相量来表示正弦交流量。由于在同一个正弦交流电路中，各种正弦响应量与激励电源的频率相同，电路中各种正弦交流量仅存在大小与相位（或初相位）的不同，因此，对电路中各种正弦交流量的描述可以采用相量来表示。

在一个直角坐标系中，设横轴为实轴，单位用+1表示；纵轴为虚轴，单位用+j表示，由此两轴构成复数平面（或称复平面）。在复数平面上有向线段由原点指向平面上任意一点，平面中的有向线段与复数可相互转换，如图所示有向线段A，其复数表示式为



$$A = a + jb$$

$$a = r \cos \varphi$$

$$b = r \sin \varphi$$

复数的实部

复数的虚部

(3) 指数式 $A = re^{j\varphi}$

(4) 极坐标式 $A = r \angle \varphi$

$$A = a + jb = r \cos \psi + jr \sin \psi = re^{j\psi} = r \angle \psi$$

相量：表示正弦量的复数称为相量

设正弦量： $u = U_m \sin(\omega t + \psi)$

用相量表示：

$$\dot{U} = U e^{j\psi} = U \angle \psi$$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{相量的模=正弦量的有效值} \\ \text{相量辐角=正弦量的初相角} \end{array} \right.$

电压的有效值相量

或:

$$\dot{U}_m = U_m e^{j\psi} = U_m \angle \psi \left\{ \begin{array}{l} \text{相量的模} = \text{正弦量的最大值} \\ \text{相量辐角} = \text{正弦量的初相角} \end{array} \right.$$

注意:

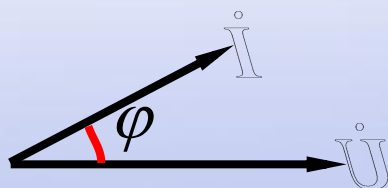
电压的幅值相量

①相量只是表示正弦量，而不等于正弦量。

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi) \neq I_m e^{j\psi} = I_m \angle \psi$$

②只有正弦量才能用相量表示，
非正弦量不能用相量表示。

③只有同频率的正弦量才能画在同一相量图上。

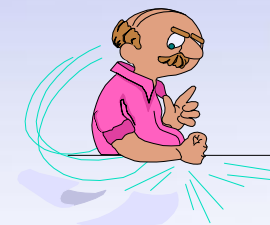
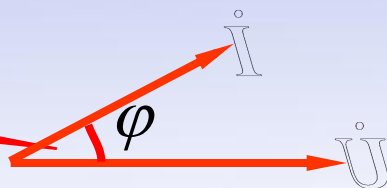


④相量的两种表示形式

相量式: $\dot{U} = U e^{j\psi} = U \angle \psi = U(\cos \psi + j \sin \psi)$

相量图: 把相量表示在复平面上的图形

可不画坐标轴



⑤相量的书写方式

- 模用最大值表示，则用符号： $\dot{U}_m$ 、 $\dot{I}_m$
- 实际应用中，模多采用有效值，符号： $\dot{U}$ 、 $\dot{I}$

如：已知 $u = 220 \sin(\omega t + 45^\circ) \text{V}$

则 $\dot{U}_m = 220 e^{j45^\circ} \text{V}$ 或 $\dot{U} = \frac{220}{\sqrt{2}} e^{j45^\circ} \text{V}$

例1: 将正弦量 u_1 、 u_2 用相量表示

$$u_1 = 220\sqrt{2} \sin(\omega t + 20^\circ) \text{ V}$$

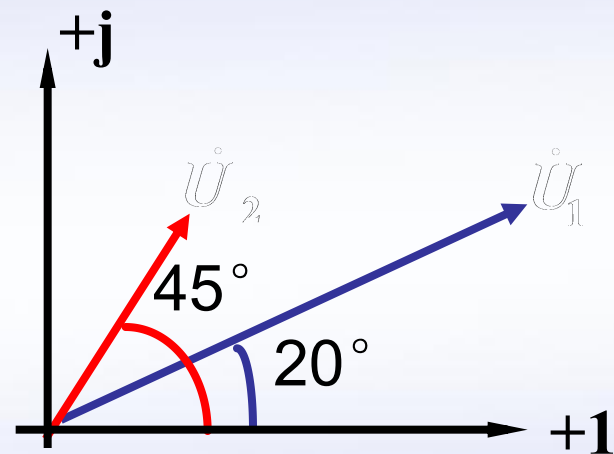
$$u_2 = 110\sqrt{2} \sin(\omega t + 45^\circ) \text{ V}$$

解: (1) 相量式

$$\dot{U}_1 = 220 \angle +20^\circ \text{ V}$$

$$\dot{U}_2 = 110 \angle +45^\circ \text{ V}$$

(2) 相量图



$\dot{U}_1$ 落后于 $\dot{U}_2$

超前落后？

任务二 单相交流电路

1、纯电阻电路

(1) 电压与电流的关系

根据欧姆定律: $u = Ri$

设 $u = U_m \sin \omega t$

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m \sin \omega t}{R} = \frac{\sqrt{2}U}{R} \sin \omega t$$

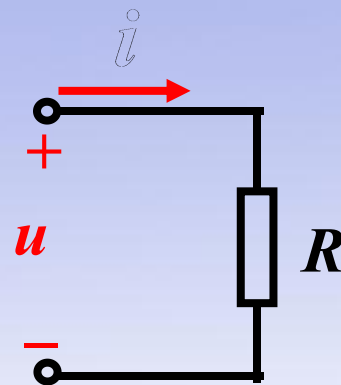
$$= I_m \sin \omega t = \sqrt{2} I \sin \omega t$$

① 频率相同

② 大小关系: $I = \frac{U}{R}$

③ 相位关系: u 、 i 相位相同

相位差 φ : $\varphi = \psi_u - \psi_i = 0$



相量图

相量式:

$$\dot{I} = I \angle 0^\circ$$

$$\dot{U} = U \angle 0^\circ = \dot{I}R$$

(2) 功率关系

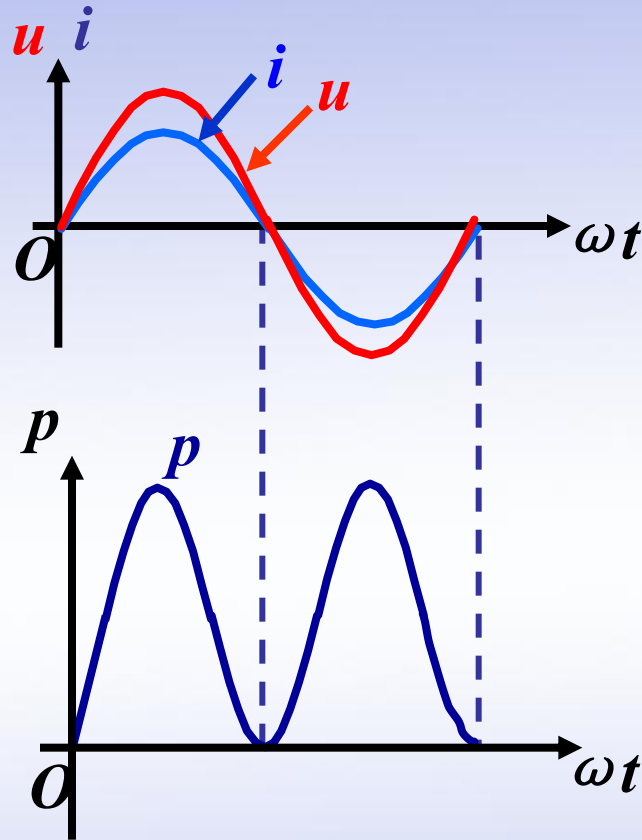
瞬时功率 p : 瞬时电压与瞬时电流的乘积

$$i = \sqrt{2} I \sin \omega t$$

$$u = \sqrt{2} U \sin \omega t$$

小写

$$\begin{aligned} p &= u \cdot i \\ &= U_m I_m \sin^2 \omega t \\ &= \frac{1}{2} U_m I_m (1 - \cos 2\omega t) \end{aligned}$$



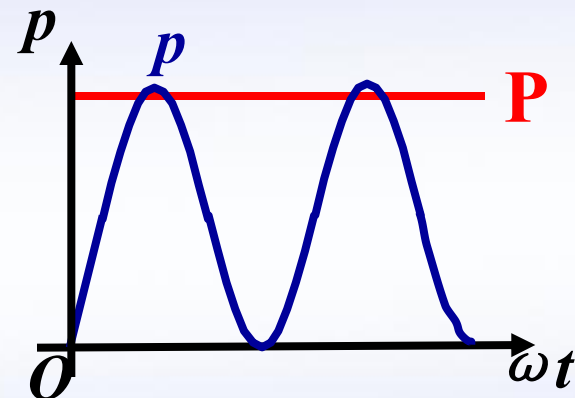
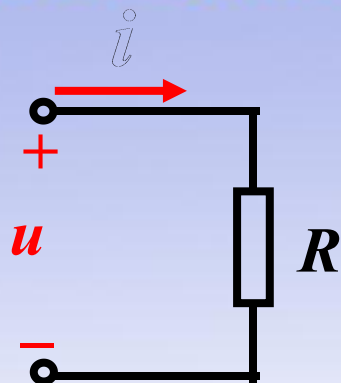
结论: $p \geq 0$ (耗能元件), 且随时间变化。

(2) 平均功率(有功功率) P

瞬时功率在一个周期内的平均值

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

单位:瓦 (W)



注意：通常铭牌数据或测量的功率均指有功功率。

2. 纯电感电路

(1) 电压与电流的关系

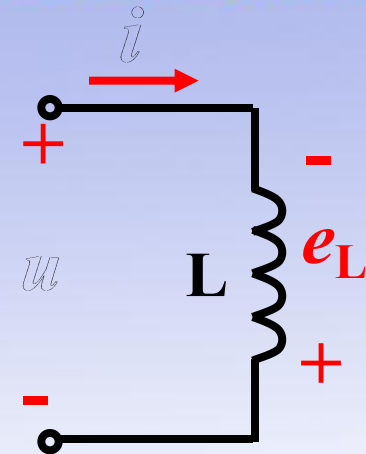
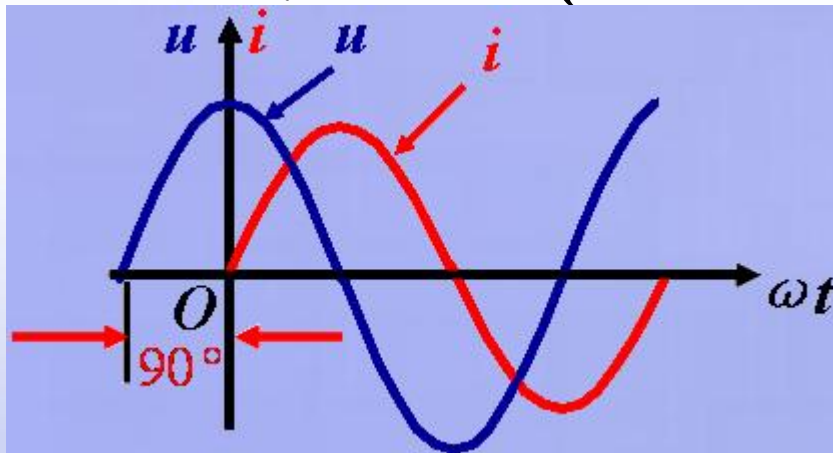
基本关系式: $u = -e = L \frac{di}{dt}$

设: $i = \sqrt{2} I \sin \omega t$

$$u = L \frac{d(I_m \sin \omega t)}{dt}$$

$$= \sqrt{2} \underline{I \omega L} \sin (\omega t + 90^\circ)$$

$$= \sqrt{2} U \sin (\omega t + 90^\circ)$$



① 频率相同

② $U = I \omega L$

③ 电压超前电流 90°

相位差 $\varphi = \psi_u - \psi_i = 90^\circ$

$$\begin{cases} i = \sqrt{2}I \sin \omega t \\ u = \sqrt{2}I \omega L \cdot \sin(\omega t + 90^\circ) \end{cases}$$

有效值: $U = I\omega L = IX_L$ 或 $I = \frac{U}{\omega L}$

定义: $X_L = \omega L = 2\pi fL$ 感抗(Ω)

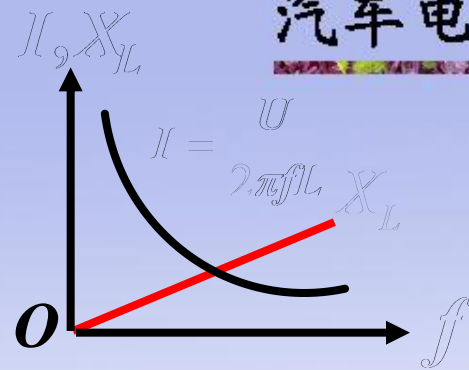
则: $U = I\omega L = IX_L$

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \begin{cases} \text{直流: } f=0, X_L=0, \text{ 电感 } L \text{ 视为短路} \\ \text{交流: } f \uparrow \longrightarrow X_L \uparrow \end{cases}$$

$\therefore$ 电感 L 具有通直阻交的作用

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

感抗 X_L 是频率的函数



根据:
$$\begin{cases} i = \sqrt{2}I \sin \omega t \\ u = \sqrt{2}I \omega L \cdot \sin (\omega t + 90^\circ) \end{cases}$$

可得相量式:
$$\dot{I} = I \angle 0^\circ$$

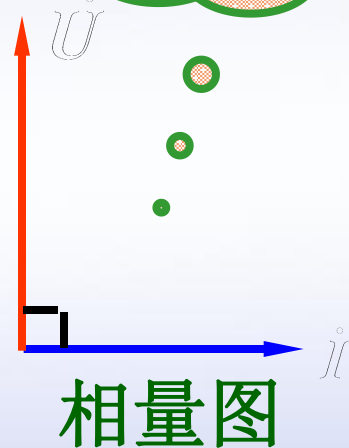
$$\dot{U} = U \angle 90^\circ = I \omega L \angle 90^\circ$$

则:
$$\frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{U}{I} \angle 90^\circ = j \omega L$$

$$\dot{U} = j \dot{I} \omega L = \dot{I} \cdot (j X_L)$$

电感电路复数形式的欧姆定律

U 超前 i 90°



(2) 功率关系

① 瞬时功率

$$\begin{aligned} p &= i \cdot u = U_m I_m \sin \omega t \sin (\omega t + 90^\circ) \\ &= U_m I_m \sin \omega t \cos \omega t = \frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t \\ &= UI \sin 2\omega t \end{aligned}$$

② 平均功率

$$P=0$$

L 是非耗
能元件

③ 无功功率 Q

用以衡量电感电路中能量交换的规模。用瞬时功率达到的最大值表征，即

$$Q = UI = I^2 X_L = \frac{U^2}{X_L}$$

单位：var

例1: 把一个0.1H的电感接到 $f=50\text{Hz}$, $U=10\text{V}$ 的正弦电源上, 求 I , 如保持 U 不变, 而电源 $f=5000\text{Hz}$, 这时 I 为多少?

解: (1) 当 $f=50\text{Hz}$ 时

$$X_L = 2\pi fL = 2 \times 3.14 \times 50 \times 0.1\Omega = 31.4\Omega$$

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{10}{31.4} = 318\text{mA}$$

(2) 当 $f=5000\text{Hz}$ 时

$$X_L = 2\pi fL = 2 \times 3.14 \times 5000 \times 0.1 = 3140\Omega$$

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{10}{3140} = 3.18\text{mA}$$

所以电感元件具有通低频阻高频的特性.

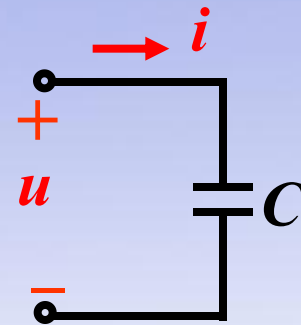
3. 纯电容电路

(1) 电流与电压的关系

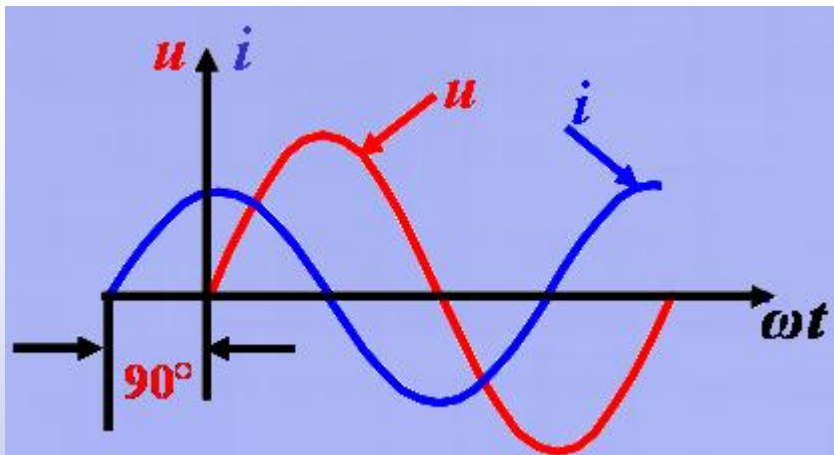
基本关系式: $i = C \frac{du}{dt}$

设: $u = \sqrt{2} U \sin \omega t$

$$\begin{aligned} \text{则: } i &= C \frac{du}{dt} = \sqrt{2} UC \omega \cos \omega t \\ &= \sqrt{2} U \omega C \sin(\omega t + 90^\circ) \end{aligned}$$



电流与电压
的变化率成
正比。



① 频率相同

② $I = U \omega C$

③ 电流超前电压 90°

相位差 $\varphi = \psi_u - \psi_i = -90^\circ$

$$\begin{cases} u = \sqrt{2} U \sin \omega t \\ i = \sqrt{2} \underline{U \omega C} \cdot \sin (\omega t + 90^\circ) \end{cases}$$

有效值

$$I = U \omega C$$

定义: $X_c = \frac{1}{\omega C}$ 容抗 (Ω)

则:

$$I = U \omega C = \frac{U}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U}{X_c}$$

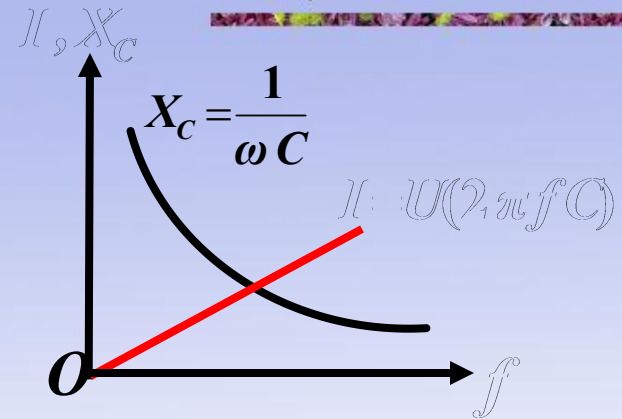
$$X_c = \frac{1}{\omega C}$$

$\begin{cases} \text{直流: } X_c \rightarrow \infty, \text{ 电容 } C \text{ 视为开路} \\ \text{交流: } f \uparrow \text{ — } X_c \downarrow \end{cases}$

所以电容 C 具有隔直通交的作用

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

容抗 X_C 是频率的函数



由:
$$\begin{cases} u = \sqrt{2} U \sin \omega t \\ i = \sqrt{2} U \omega C \cdot \sin (\omega t + 90^\circ) \end{cases}$$

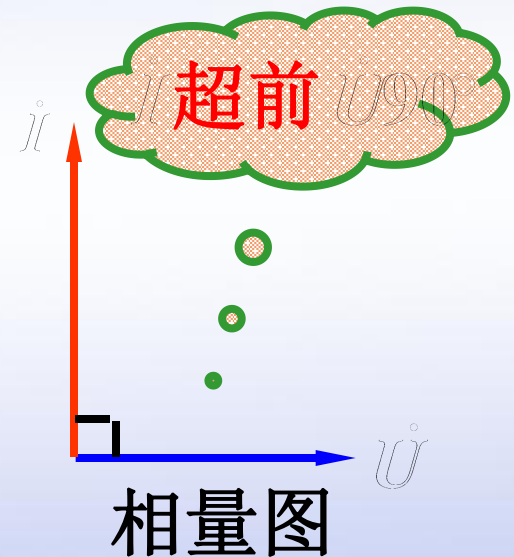
可得相量式 $\dot{U} = U \angle 0^\circ$

$$\dot{I} = I \angle 90^\circ = j U \omega C$$

则:

$$\dot{U} = -j \dot{I} \frac{1}{\omega C} = -j \dot{I} X_C$$

电容电路中复数形式的欧姆定律

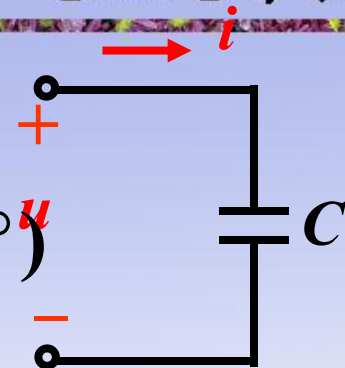


2. 功率关系

(1) 瞬时功率

$$p = i \cdot u = U_m I_m \sin \omega t \sin (\omega t + 90^\circ)$$

$$= \frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t = UI \sin 2\omega t$$



(2) 平均功率 P

$$P=0$$

C是非耗
能元件

(3) 无功功率 Q

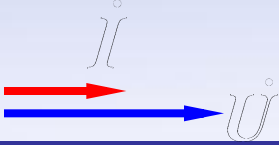
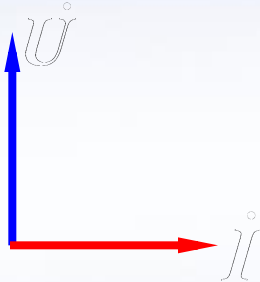
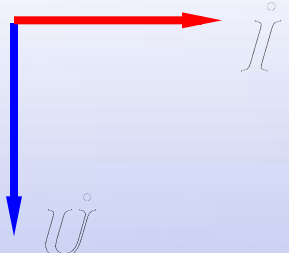
无功功率等于瞬时功率达到的最大值。

$$Q = UI = I^2 X_C = \frac{U^2}{X_C}$$

单位: var

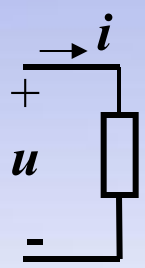
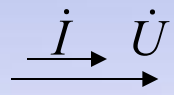
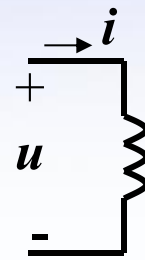
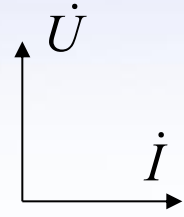
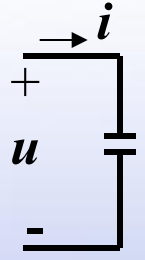
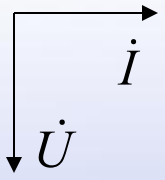
小结

单一参数电路中的基本关系

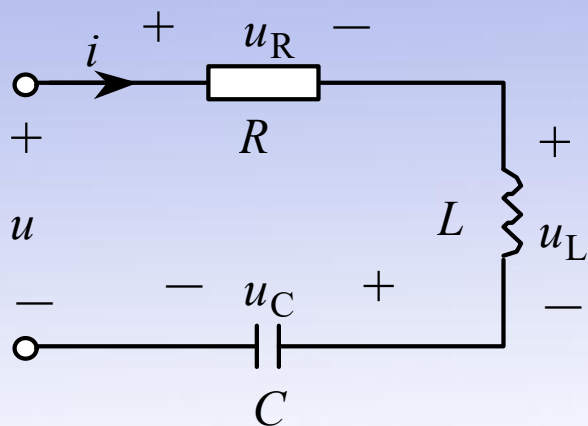
参数	阻抗	基本关系	相量式	相量图
R	R	$u = iR$	$\dot{U} = \dot{I}R$	
L	$jX_L = j\omega L$	$u = L \frac{di}{dt}$	$\dot{U} = j\dot{I}X_L$	
C	$i = C \frac{du}{dt}$	$i = C \frac{du}{dt}$	$\dot{U} = -j\dot{I}X_C$	

单一参数正弦交流电路的分析计算小结

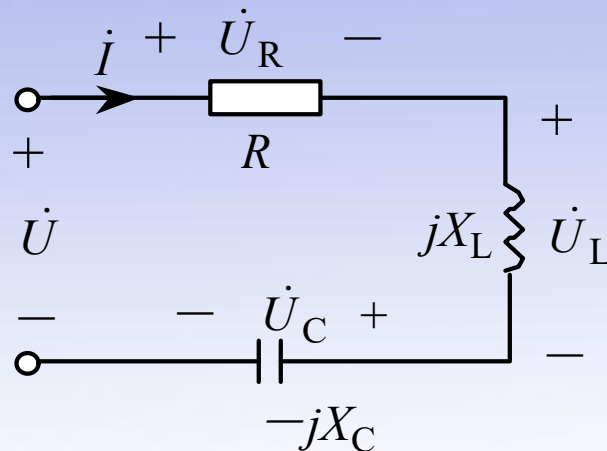
汽车电工电子技术

电路参数	电路图 (参考方向)	基本关系	阻抗	电压、电流关系				功率	
				瞬时值	有效值	相量图	相量式	有功功率	无功功率
R		$u = iR$	R	设 $i = \sqrt{2} I \sin \omega t$ 则 $u = \sqrt{2} U \sin \omega t$	$U = IR$	 $u、i$ 同相	$\dot{U} = \dot{I}R$	UI $I^2 R$	0
L		$u = L \frac{di}{dt}$	jX_L	设 $i = \sqrt{2} I \sin \omega t$ 则 $u = \sqrt{2} I \omega L \sin(\omega t + 90^\circ)$	$U = IX_L$ $X_L = \omega L$	 u 领先 i 90°	$\dot{U} = j\dot{I}X_L$	0	UI $I^2 X_L$
C		$i = C \frac{du}{dt}$	$-jX_C$	设 $i = \sqrt{2} I \sin \omega t$ 则 $u = \sqrt{2} I \omega C \sin(\omega t - 90^\circ)$	$U = IX_C$ $X_C = 1 / \omega c$	 u 落后 i 90°	$\dot{U} = -j\dot{I}X_C$	0	$-UI$ $-I^2 X_C$

二、RLC串联交流电路



(a) RLC 串联电路



(b) 相量模型

由欧姆定律：

$$\dot{U}_R = R\dot{I}$$

$$\dot{U}_L = jX_L\dot{I}$$

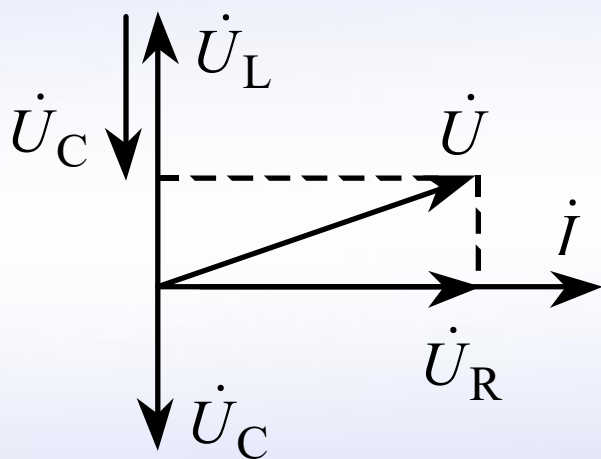
由KVL：

$$\dot{U}_C = -jX_C\dot{I}$$

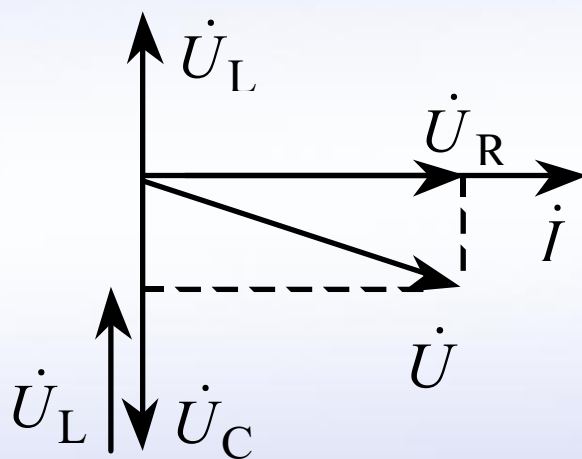
$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C = [R + j(X_L - X_C)]\dot{I} = Z\dot{I}$$

$$Z = Z_R + Z_L + Z_C = R + j(X_L - X_C) = R + jX$$

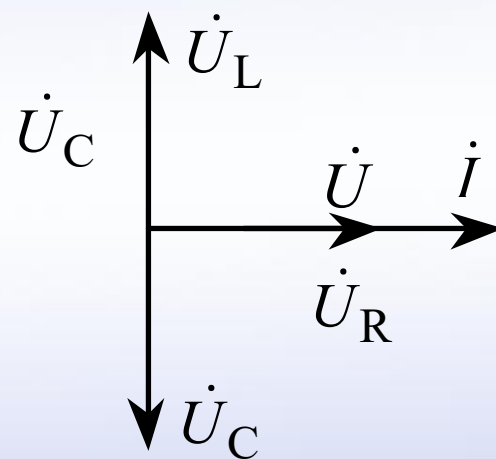
- (1) 当 $\omega L > \frac{1}{\omega C}$ 时, $X > 0$, $\varphi_z > 0$, 电路呈感性。
- (2) 当 $\omega L < \frac{1}{\omega C}$ 时, $X < 0$, $\varphi_z < 0$, 电路呈容性。
- (3) 当 $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ 时, $X = 0$, $\varphi_z = 0$, 电路呈电阻性。



(a) $X > 0$

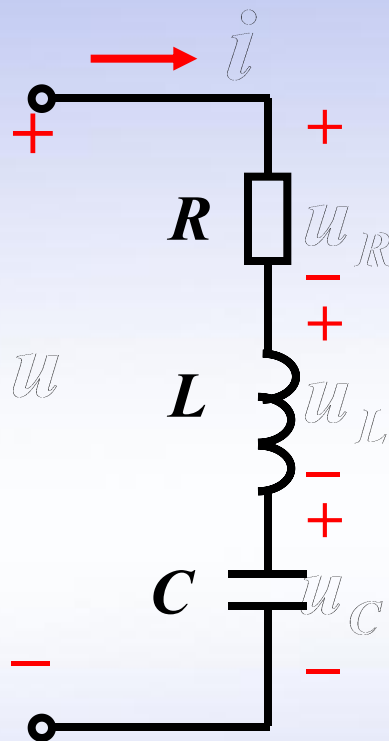


(b) $X < 0$



(c) $X = 0$

串联谐振电路



1. 谐振条件

由定义，谐振时： $\dot{U}$ 、 $\dot{i}$ 同相

即
$$\varphi = \arctan \frac{X_L - X_C}{R} = 0$$

谐振条件：

$$X_L = X_C$$

或：

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$$

谐振时的角频率

2. 谐振频率

根据谐振条件： $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$

(2) 电流最大

当电源电压一定时： $I = I_0 = \frac{U}{R}$

(3) $\dot{U}$ 、 $\dot{I}$ 同相

$$\varphi = \arctan \frac{X_L - X_C}{R} = 0$$

电路呈电阻性，能量全部被电阻消耗， Q_L 和 Q_C 相互补偿。即电源与电路之间不发生能量互换。

(4) 电压关系

电阻电压： $U_R = I_0 R = U$

电容、电感电压： $\dot{U}_L = -\dot{U}_C$

大小相等、相位相差 180°

$$U_L = I_0 X_L = U_C = I_0 X_C$$

当 $X_L = X_C \gg R$ 时:

有: $U_L = U_C \gg U_R = U$

U_C 、 U_L 将大于
电源电压 U

由于 $U_L = U_C \gg U$ 可能会击穿线圈或电容的绝缘, 因此在电力系统中一般应避免发生串联谐振, 但在无线电工程上, 又可利用这一特点达到选择信号的作用。

令:

$$Q = \frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC}$$

Q 品质因数, 表征串联谐振电路的谐振质量

有： $U_L = U_C = QU$

所以串联谐振又称为**电压谐振**。

注意 谐振时： $\dot{U}_L$ 与 $\dot{U}_C$ 相互抵消，但其本身不为零，而是电源电压的 Q 倍。

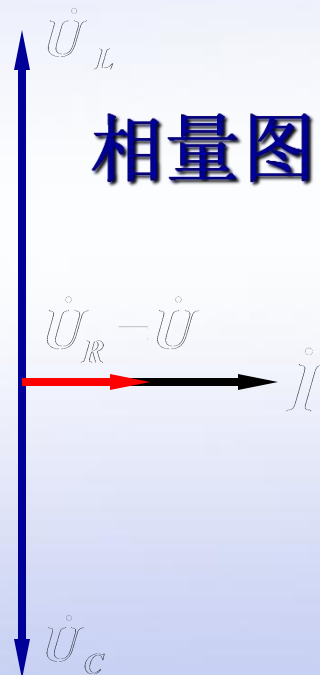
$$\begin{cases} U_L = I_0 X_L = \frac{\omega_0 L}{R} U = QU \\ U_C = I_0 X_C = \frac{1}{\omega_0 CR} U = QU \end{cases}$$

如 $Q=100, U=220V$,则在谐振时

$$U_L = U_C = QU = 22000V$$

所以电力系统应避免发生串联谐振。

相量图：



4. RLC串联电路的功率

RLC串联交流电路中的功率包括电阻上消耗的有功功率 **P** 和电容电感上的无功功率 **Q** ,

$$P = IU_{\text{R}} = IU \cos \varphi$$

$$Q = I(U_{\text{L}} - U_{\text{C}}) = IU \sin \varphi$$

电路中总电压与电流的有效值乘积为电源所提供的总功率,我们称之为视在功率或表观功率,用 **S** 表示,单位为伏安(VA), 则

$$S = IU$$

功率因数

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

三、RLC并联电路

1. R、L与C并联的交流电路

第一条支路是RL串联电路，电流的大小为

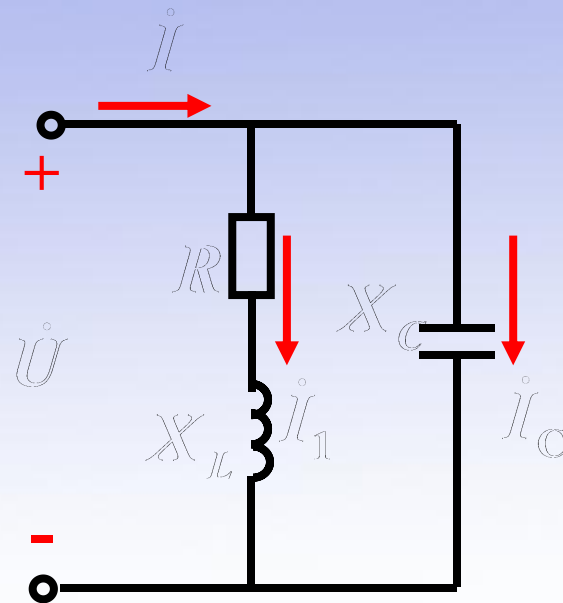
$$I_1 = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

它滞后电压的相位差为 $\varphi_1 = \arctan \frac{X_L}{R}$

第二条支路是电容电路， $I_2 = \frac{U}{X_C}$

总电流 I 的大小和滞后电压的相位差 φ 分别为

$$I = \sqrt{(I_1 \cos \varphi_1)^2 + (I_1 \sin \varphi_1 - I_C)^2}$$



$$\varphi = \arctan \frac{I_1 \sin \varphi_1 - I_C}{I_1 \cos \varphi_1}$$

由于电容支路不吸收有功功率，所以总有功功率应等于电阻、电感串联支路的有功功率，即

$$P = UI \cos \varphi = U_1 I_1 \cos \varphi_1$$

2. 并联谐振条件和谐振频率

$X_L = X_C$ 电路出现并联谐振，谐振的条件为 $\omega_0 L \approx \frac{1}{\omega_0 C}$

谐振的频率为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

3. 谐振的特点

(1) 总阻抗最大，且为纯电阻性，其值为

$$Z = \frac{R^2 + X_L^2}{R}$$

当 $X_L \gg R$ 时，
$$Z \approx \frac{X_L^2}{R} = QX_L$$

(2) 总电流最小，且与电压同相，其值为

$$I = I_R = I_1 \cos \varphi_1$$

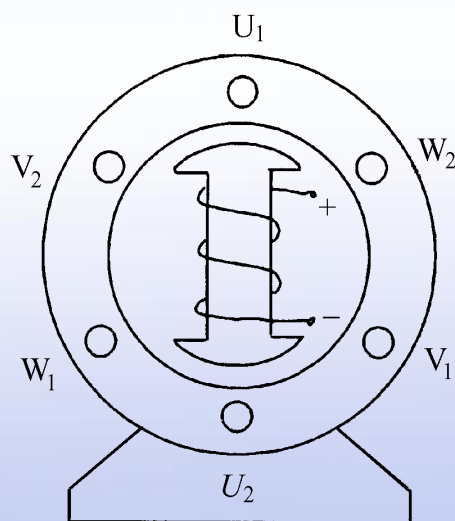
(3) 电容支路电流与电感支路电流的垂直分量相等，且为总电流的 Q 倍，所以并联谐振也称为电流谐振。

$$I_2 = I_L = I_1 \sin \varphi_1 = QI$$

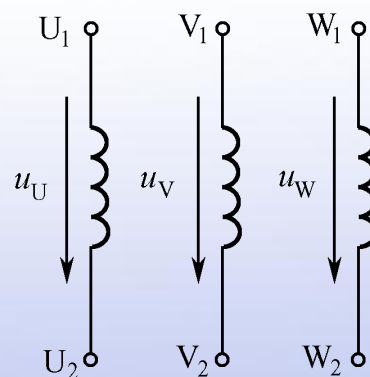
任务三 三相交流电路

所谓三相交流电路，就是由三个频率、幅值相等，彼此相位互差 120° 的单相交流电源构成的电路。与单相交流电相比，三相交流电路的优点是：降低输配电路网络建设成本及设备运行功率损耗；简化设备结构，优化设备性能，方便设备使用和维护。

三相交流电动势一般由三相交流发电机产生，三相交流发电机结构如图（a）所示，它主要由定子和转子两部分构成。定子铁心上嵌入三个对称的绕组 U_1-U_2 ， V_1-V_2 ， W_1-W_2 ，它们在空间内相互成 120° 分布，每个绕组为一相，三相绕组的首端 U_1 、 V_1 、 W_1 称为首端， U_2 、 V_2 、 W_2 称为末端。转子铁心上绕有直流励磁绕组。



（a）绕组分布图



（b）定子绕组示意图

1. 三相电源的连接

(1) 三相电源的星形(Y)连接

星形连接是将发电机三个绕组的末端 U_2 、 V_2 、 W_2 连接在一起，这一连接点称为电源的中点或零点，由该点引出的导线称为中线或零线，用 N 表示，三个绕组的首端 U_1 、 V_1 、 W_1 分别向外引出的导线称为相线或火线，如图所示。

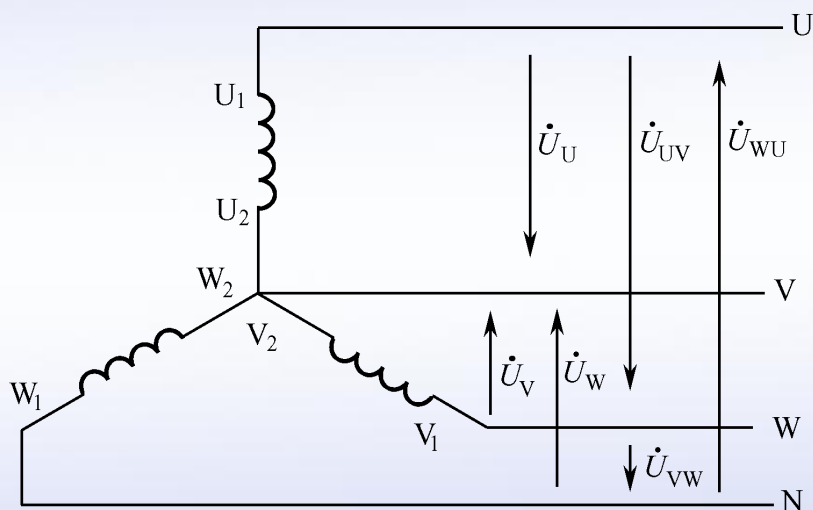
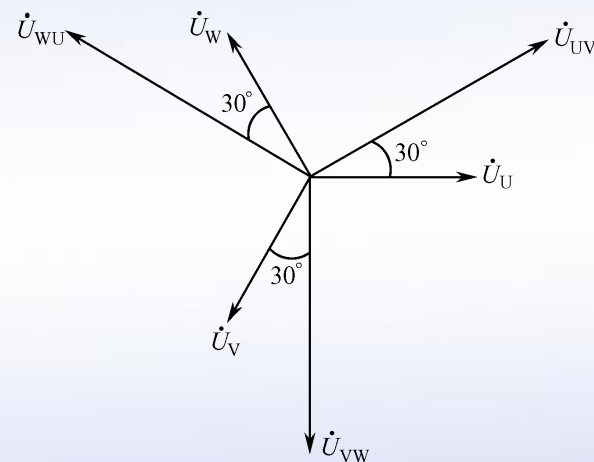


图 三相交流电源星形连接电路



$$U_l = \sqrt{3}U_p$$

线电压和相电压在相位上的关系是线电压超前相应的相电压 30° 。

(2) 三相电源的三角形(Δ)连接

三角形连接就是把发电机三个绕组中一个绕组的末端与另一个绕组的首端相连接，构成一个闭合回路，然后从三个连接点引出三根导线向外送电。如图所示。这种连接方式仅能得到一种电压，即线电压，对照图中所规定的电压参考方向可知：三个线电压就是对应于每相绕组的相电压，即

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{UV} &= \dot{U}_U \\ \dot{U}_{VW} &= \dot{U}_V \\ \dot{U}_{WU} &= \dot{U}_W \end{aligned} \right\}$$

$$U_1 = U_p$$

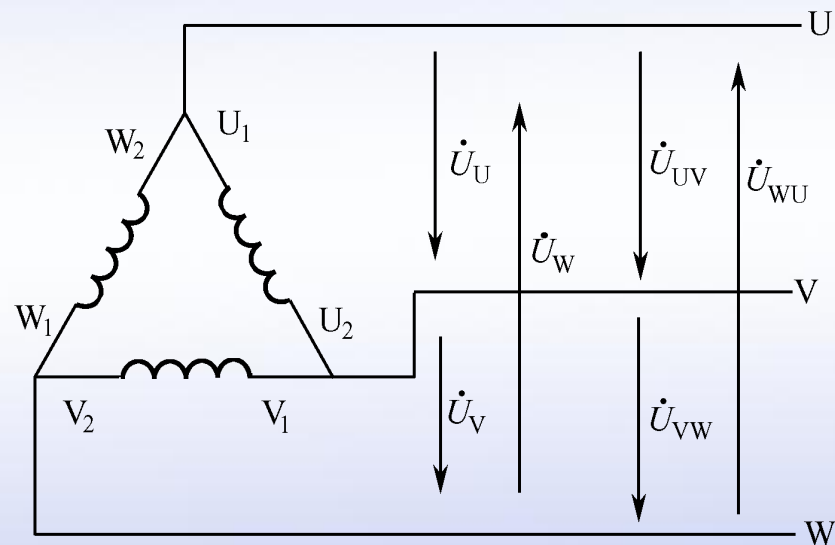


图 三相交流电源三角形连接电路

2. 三相负载的连接

(1) 三相负载的星形连接

将三相负载分别接在三相电源的一根相线和中线之间的连接方式称为负载星形连接，如图所示，对应的电路称为三相四线制电路。三相负载做星形连接时，负载上的线电压和相电压的关系就是电源线电压和相电压的关系。

相电流：负载中的电流。

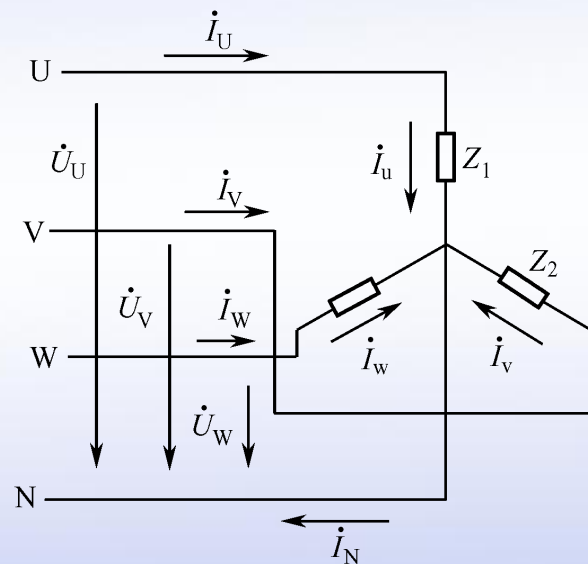
线电流：火线中的电流。

$$I_l = I_p$$

中线上的电流为 $\dot{I}_N = \dot{I}_u + \dot{I}_v + \dot{I}_w$

对于对称负载，即 $\mathbf{Z}_1 = \mathbf{Z}_2 = \mathbf{Z}_3$ 。

中线中没有电流，即 $\dot{I}_N = \dot{I}_U + \dot{I}_V + \dot{I}_W = 0$



(2) 三相负载的三角形连接

将三相负载分别连接在三相电源每两根相线之间的连接方式称为负载的三角形连接，如图所示。

三相负载做三角形连接时，负载上的相电压等于电源的线电压，即

$$U_1 = U_p$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_u &= \frac{\dot{U}_{UV}}{Z_2} \\ \dot{I}_v &= \frac{\dot{U}_{VW}}{Z_2} \\ \dot{I}_w &= \frac{\dot{U}_{WU}}{Z_2} \end{aligned} \right\}$$

相电流

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_U &= \dot{I}_u - \dot{I}_w \\ \dot{I}_V &= \dot{I}_v - \dot{I}_u \\ \dot{I}_W &= \dot{I}_w - \dot{I}_v \end{aligned} \right\}$$

$$I_l = \sqrt{3}I_p$$

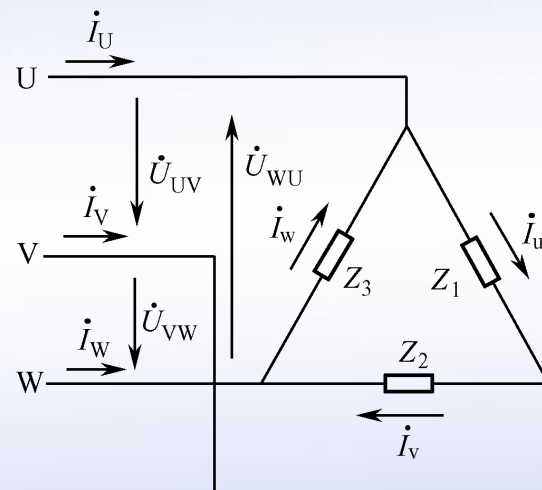


图 三相负载的三角形连接电路

3. 三相交流电路的功率

在三相交流电路中，电路的总有功功率为各相负载有功功率之和，即

$$P = P_U + P_V + P_W = I_u U_u \cos \varphi_u + I_v U_v \cos \varphi_v + I_w U_w \cos \varphi_w$$

当三相负载对称时，由于每相电压相等，电流也相等，所以各相电路的功率也相等。这时，三相电路的有功功率是一相有功功率的3倍。即

$$P = 3P_p = 3I_p U_p \cos \varphi_p$$

根据三相负载不同连接时，电路的相电压与线电压及相电流与线电流之间的关系，不难证明：

$$P = \sqrt{3} I_l U_l \cos \varphi_p$$

式中，为三相电路的线电压和线电流。

项目四 安全用电

一、有关人体触电的知识

(一) 触电的种类和方式

1. 人体触电的种类

(1) 电击

是指电流通过人体时所造成的内伤。它可使肌肉抽搐、内部组织损伤，造成发热、发麻、神经麻痹等。严重时将引起昏迷、窒息甚至心脏停止跳动、血液循环中止而死亡。通常说的触电，多是指电击。触电死亡中绝大部分系电击造成。

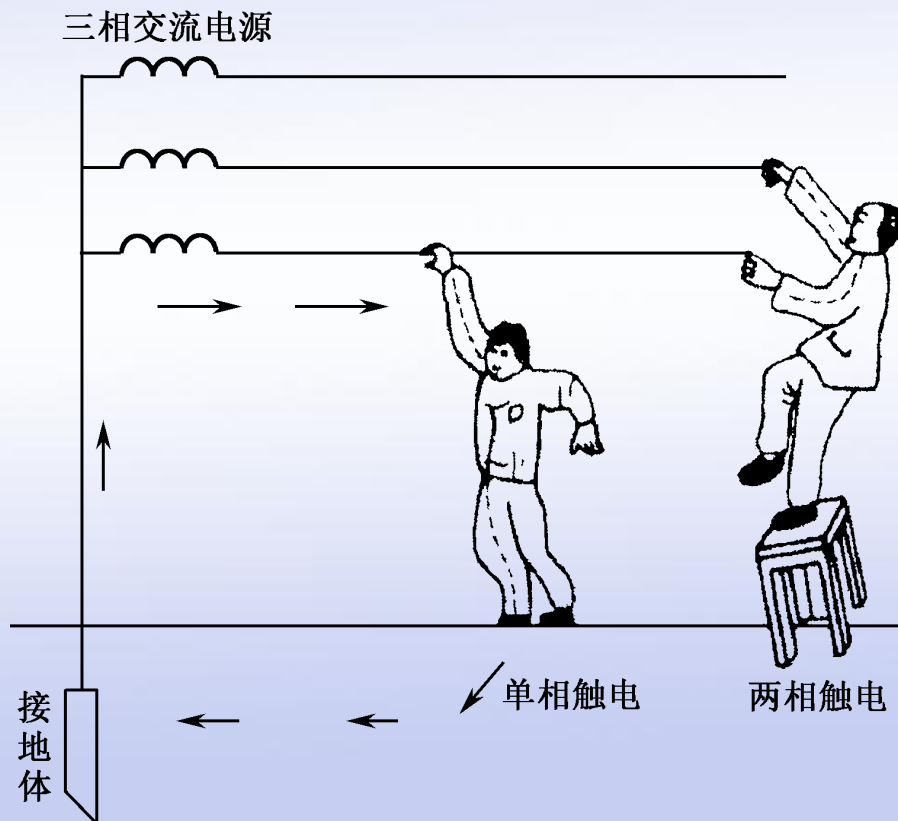
(2) 电伤

是在电流的热效应、化学效应、机械效应以及电流本身作用下造成的人体外伤。常见的有灼伤、烙伤和皮肤金属化等现象。

2. 人体触电的方式

(1) 单相触电。这是常见的触电方式。人体的一部分接触带电体的同时，另一部分又与大地或零线（中性线）相接，电流从带电体流经人体到大地（或零线）形成回路，这种触电称为单相触电，如图所示。

(2) 两相触电。人体的不同部位同时接触两相电源带电体而引起的触电称为两相触电，如图所示。



二、电流伤害人体的相关因素

1. 电流的大小

触电时，流过人体的电流是造成损伤的直接因素。

2. 电压的高低

人体接触的电压越高，流过人体的电流就越大，对人体的伤害也就越严重。

3. 时间的长短

触电电流越大，触电时间越长，对人体的伤害越严重。

4. 电流通过的路径

电流通过人体心脏、头部、脊髓等重要器官，将会造成严重后果，甚至死亡。

5. 人体电阻的大小

人体电阻越大，受电流伤害越轻。通常人体电阻可按1~2k Ω 考虑，这个数值主要由皮肤表面的电阻值决定。

二、安全电压

我国有关标准规定，12V、24V和36V三个电压等级为安全电压级别，不同场所选用的安全电压等级也不同。安全电压的规定是从总体上考虑的，对于某些特殊情况或某些人也不一定绝对安全。是否安全与人的当时状况，主要是人体电阻、触电时间长短、工作环境、人与带电体的接触面积和接触压力等都有关系。

三、 触电原因及保护措施

1. 触电的常见原因

(1) 线路架设不合格

(2) 电气操作制度不严格、不健全

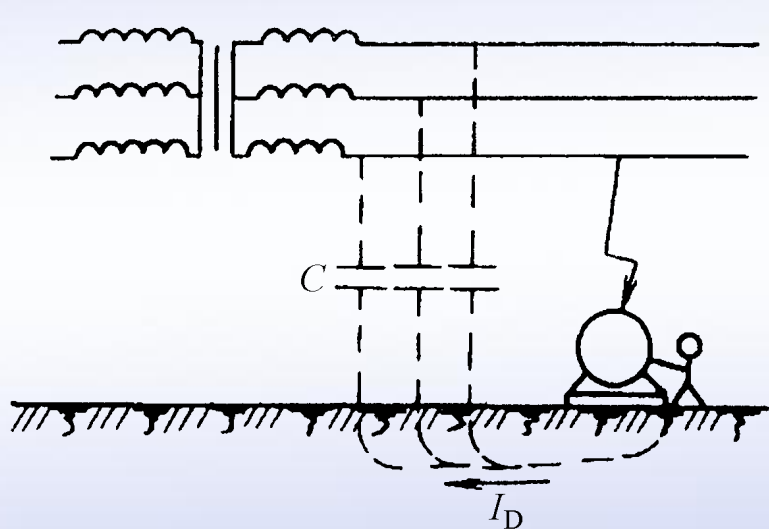
(3) 用电设备不合要求

(4) 用电不谨慎

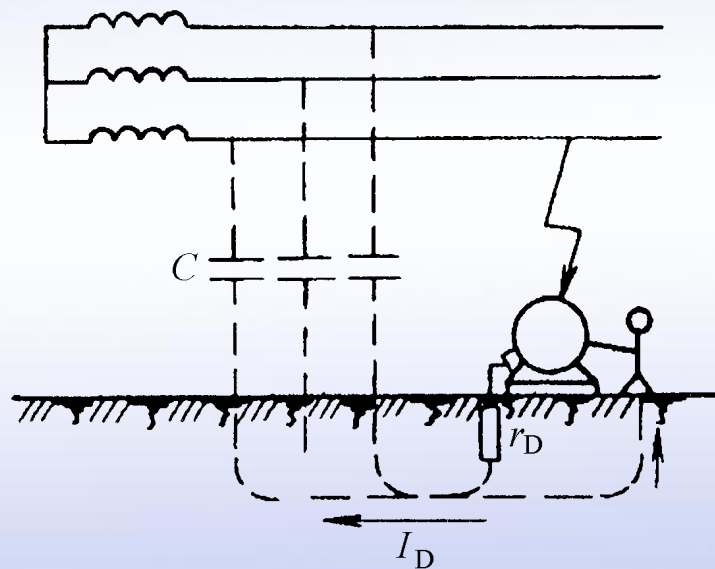
2. 接地与接零保护措施

(1) 保护接地

为防止触电事故而装设的接地称为保护接地。电气设备不带电的金属外壳、支架及与其相连的金属部分的接地就是保护接地。设备接地后将会起到保护作用。如图所示。



(a) 未保护接地

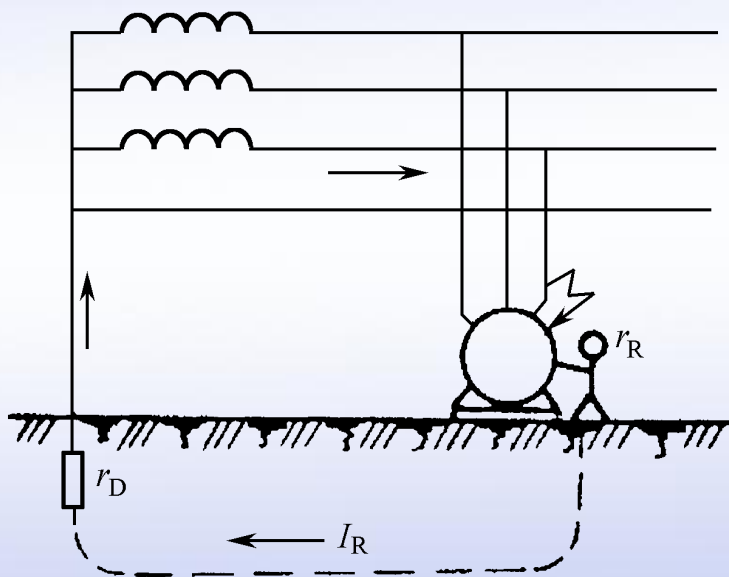


(b) 有保护接地

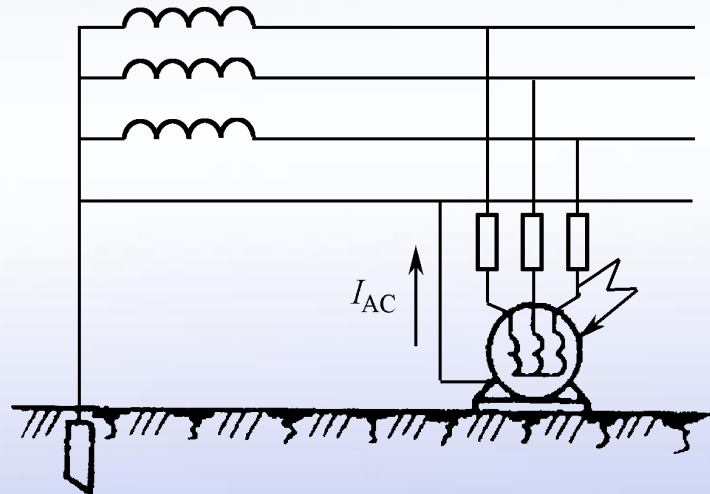
图 保护接地原理图

(2) 保护接零

在中性点直接接地的三相四线制电网中，电气设备应采用保护接零。将电气设备正常运行时，不带电的金属外壳与电网的零线连接起来。当一相发生漏电或碰壳时，由于金属外壳与零线相连，形成单相短路；当电流很大时，能使电路保护装置迅速动作，切断电源。这时外壳不带电，保护了人身安全和电网其他部分的正常运行，如图所示。



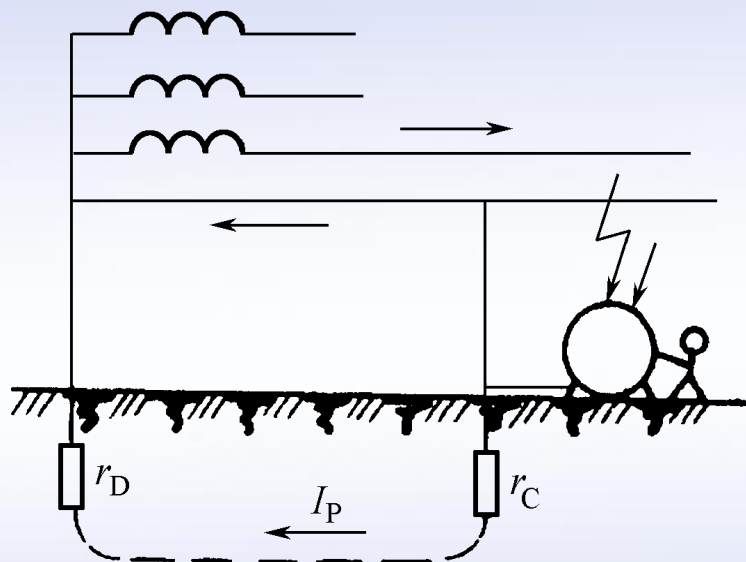
(a) 未保护接地



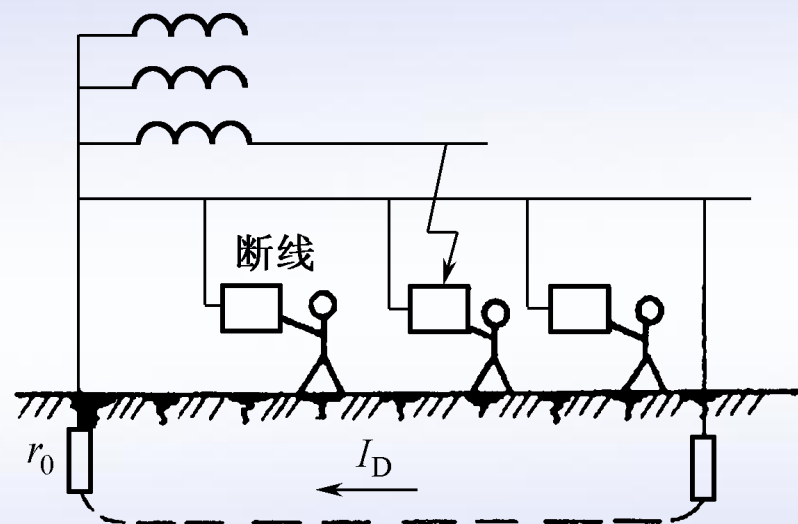
(b) 有保护接地

图 保护接零原理图

在采用接零保护时，电源中线不允许断开，如果中线断开，则保护失效。所以，在电源中线上不允许安装开关和熔断器。实际应用中，在用户端常将电源中线再重复接地，以防止中线断线，如图所示。重复接地电阻一般不小于 10Ω 。



(a) 设备零处加重复接地



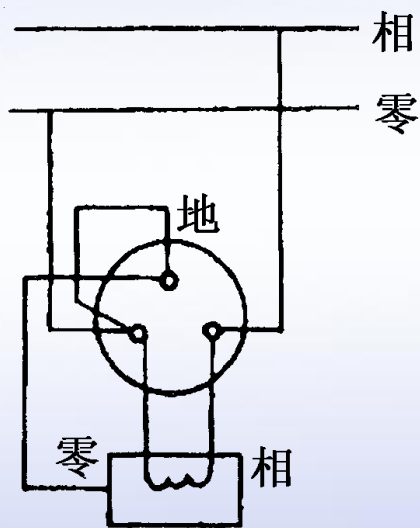
(b) 有重复接地时零线断线示意图

图 重复接地

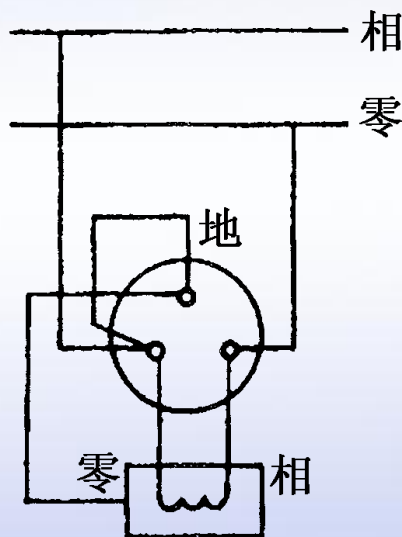
(3) 家用电器的接零与接地

如果居民区供电变压器低压输出的三相四线电源中性点不接地，家用电器须采用保护接地作为保安措施。

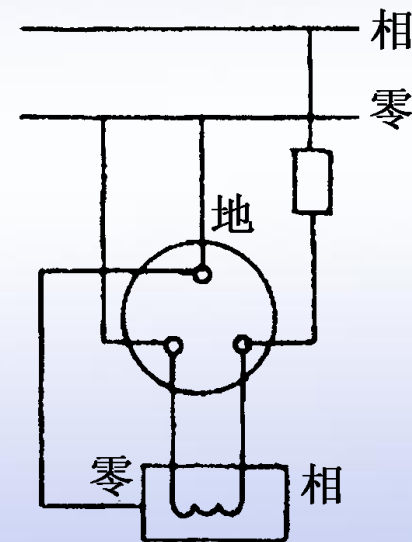
如三相四线电源中点接地，应采用接零保护。居民住宅一般是单相供电，即一根相线，一根零线。家用电器多采用三脚插头和三眼插座。如图所示。



(a) 中性线与接地线串接图



(b) 零线与相线接反时串接图



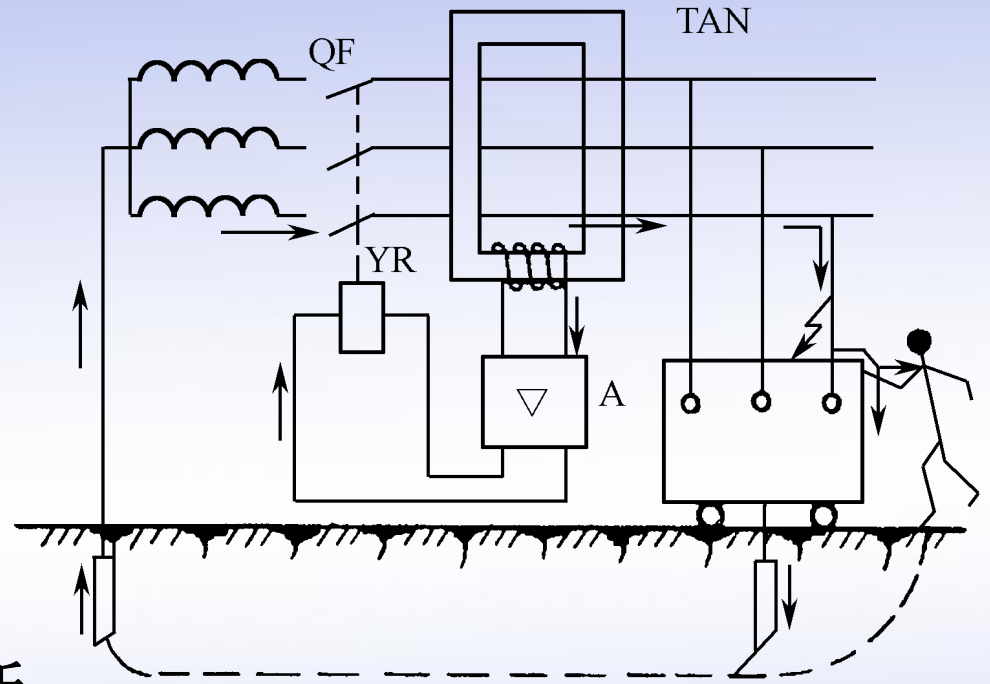
(c) 正确接法

图 三眼插座的接法

3.漏电保护装置

漏电保护开关的特点是在检测与判断到触电或漏电故障时，能自动切断故障电路。如图所示。

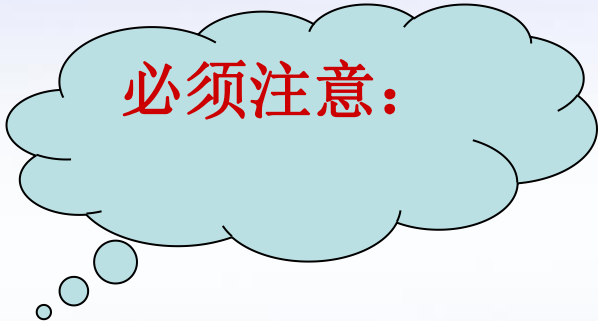
工作原理：设备正常运行时，主电路电流的相量和为零，零序互感器的铁心无磁通，其二次侧无电压输出。如设备发生漏电或单相接地故障时，由于主电路电流的相量和不再为零，零序互感器的铁心有零序磁通，其二次侧有电压输出，经放大器A判断、放大后，输入脱扣器YR，令断路器QF跳闸，从而切除故障电路，避免人员发生触电事故。



TAN—零序互感器；A—放大器；YR—脱扣器；QF—低压断路器

四、触电急救

发生触电事故时，首先要做的就是使**触电者迅速脱离电源**。最好立即切断电源开关。若开关不在附近，可用有绝缘柄的斧、钳等工具切断电源线，或用绝缘物挑开接触人体的电线、用绝缘物把人拉开使他脱离电源等。



必须注意：

不要直接接触触电者身体，以免使救护者触电；要观察周围环境，防止事故扩大再误伤他人。

五、汽车安全用电

1.汽车实训室操作规程及安全用电的规定

- (1) 按指导教师要求，正确使用各种电工工具。在使用工具前，要仔细检查工具绝缘部分是否损坏，以免触电伤人。
- (2) 学生在实习过程中，要严格执行安全操作技术规程，听从指导教师指挥，未经指导教师许可，不得擅自合闸送电。
- (3) 在检查和排除电路故障前，要用测量工具检查电路是否带电，严禁用手触摸。
- (4) 排查故障，切断电源后，方可进行维修。
- (5) 特殊情况下带电操作或登高作业，旁边必须安排专人监护。
- (6) 实习中工具箱摆在安全区域，工具用后要及时放入工具箱，不要随手乱放，更不允许放置在高处。
- (7) 注意实习中导线线头、螺钉或其他配件放在专门区域，不要随意丢弃。
- (8) 实习操作过程中，保持双手干燥。
- (9) 下课前应做到：切断电源，整理工具、材料等，打扫环境卫生。

2. 汽车电器使用和检测中需要注意的问题

- (1) 各种信号线与电源搭铁线一定要分开，不要通过搭铁传递信号，否则容易出现干扰信号而发生故障。
- (2) 汽车运行时，蓄电池的正、负两极的任意一根电线都不能随意断开。
- (3) 不要带电插拔各类控制板和插头。
- (4) 慎重使用电子检测设备和仪器，
- (5) 检测微机时，要有静电防护措施。

3. 电气灭火常识

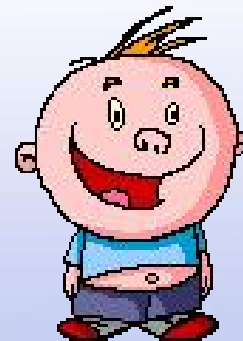
发生火灾，不管是否是电气方面引起的，首先要想办法迅速切断火灾范围内的电源。同时还应拨打119火警电话。

扑灭电气火灾时要用绝缘性能较好的气体灭火器、干粉灭火器或使用盖土、盖沙的方法，严禁带电用水或用泡沫灭火器灭火，因泡沫灭火剂是导电的。贵重电器失火，即使切断电源，也不能使用水剂灭火器。

项目三 电磁感应及电磁器件 在汽车中的应用

任务一 磁路和电磁铁

任务二 电磁感应现象及自感和互感



项目三 电磁感应及电磁器件 在汽车中的应用

知识目标:

1. 了解磁场的概念和磁感线表示法, 掌握电流的磁效应及在汽车中的应用;
2. 理解磁场的基本物理量, 会用磁路欧姆定律分析和计算无分支磁路, 掌握磁场对通电直导体的作用, 磁场对通电半导体的作用;
3. 熟悉铁磁性材料特性及其应用; 掌握电磁铁的工作特性及其在汽车中的应用;
4. 学会感应电动势方向判别, 掌握自感现象、互感现象及其在汽车点火线圈电路的应用。

能力目标:

1. 能应用磁路欧姆定律分析磁力大小的影响因素;
2. 会用万用表检测点火线圈的参数;
3. 熟悉交流电磁铁的构造、会拆解电喇叭。

任务一 磁路和电磁铁

一、 磁场的基本知识

1. 磁铁的性质

物体具有吸引铁、镍、钴等一类物质的性质叫做磁性，把具有磁性的物质叫做磁体（磁铁）。

磁体分为天然磁体（磁铁矿）和人造磁体，常见的人造磁体有条形磁铁、蹄形磁铁、磁针等，如图所示。

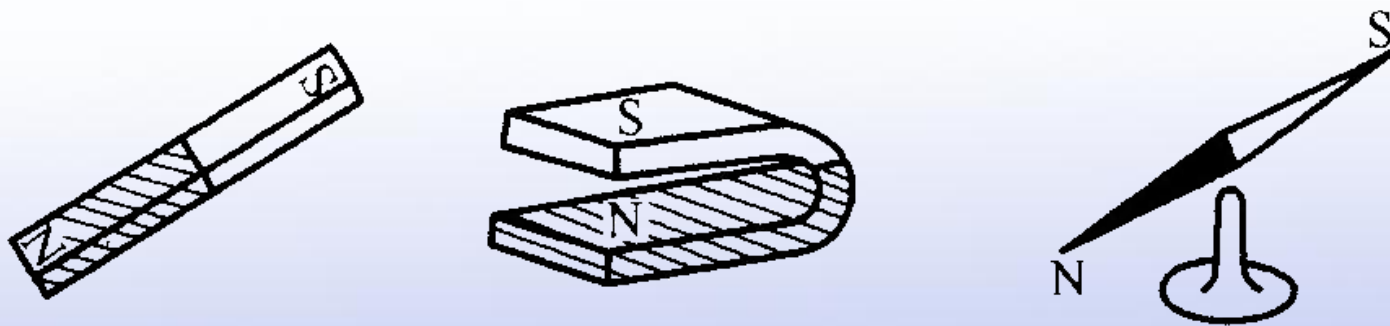
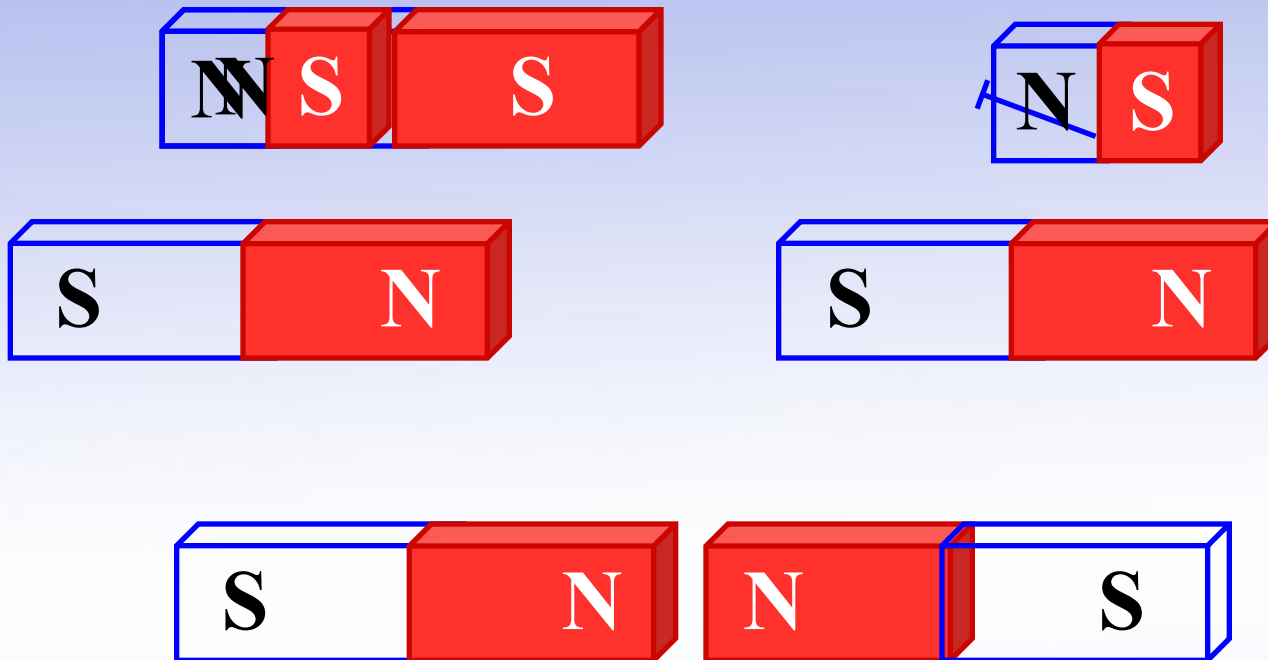


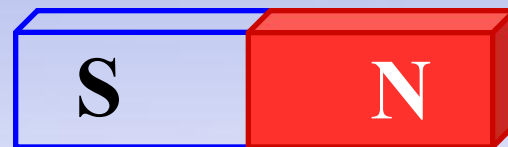
图 几种人造磁体

磁的基本现象



在磁极之间存在一种力，同种磁极相互排斥，异种磁极相互吸引，这种磁极之间的作用称为磁力。

磁的基本现象



◆ 磁铁有吸引铁等物质的能力，两端磁性最强，叫磁极。

◆ 磁极成对出现，没有单独存在的磁极。

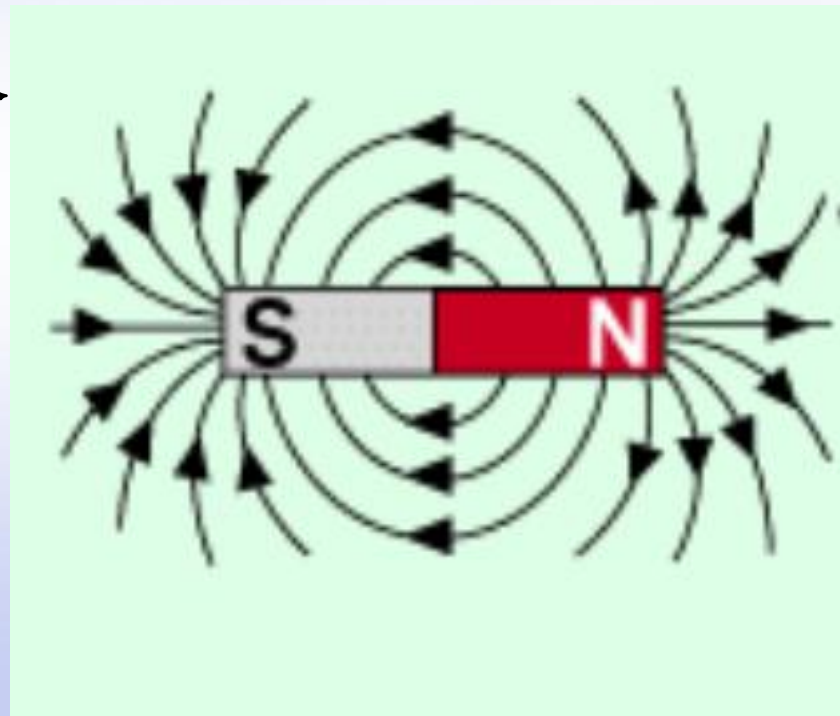
◆ 同性磁极相斥，异性磁极相吸。

2. 磁场

在磁体或电流周围存在一种特殊物质，能够传递磁体与磁体，磁体与电流，电流与电流的相互作用，这种物质叫做磁场。

磁场的性质：磁场具有力的性质和能量性质。

磁场方向：在磁场中某点放一个可自由转动的小磁针，它N极所指的方向即为该点的磁场方向。



3. 磁感线

在磁场中画一系列曲线，使曲线上每一点的切线方向都与该点的磁场方向相同，这些曲线称为**磁感线**。如图 所示。

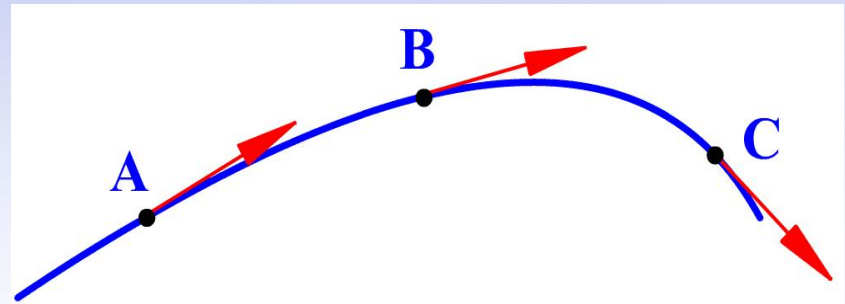


图 磁感线

特点:

- (1) 磁感线的切线方向表示磁场方向，其疏密程度表示磁场的强弱。
- (2) 磁感线是闭合曲线，在磁体外部，磁感线由 N 极出来，绕到 S 极；在磁体内部，磁感线的方向由 S 极指向 N 极。
- (3) 任意两条磁感线不相交。

说明：磁感线是为研究问题方便人为引入的假想曲线，实际上并不存在。

图 所示为条形磁铁的磁感线。

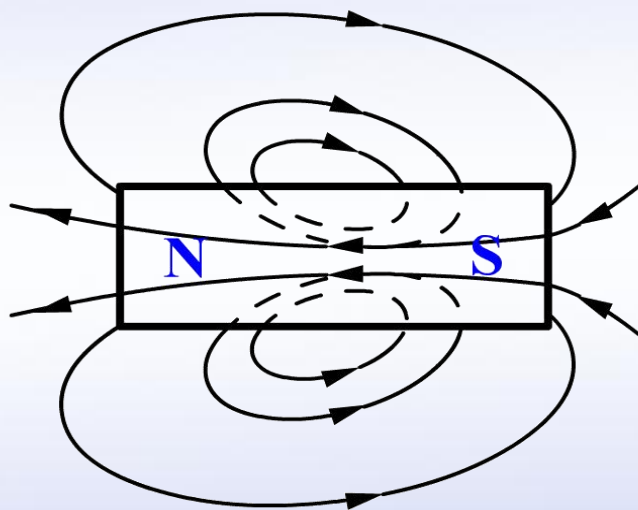


图 条形磁铁的磁感线

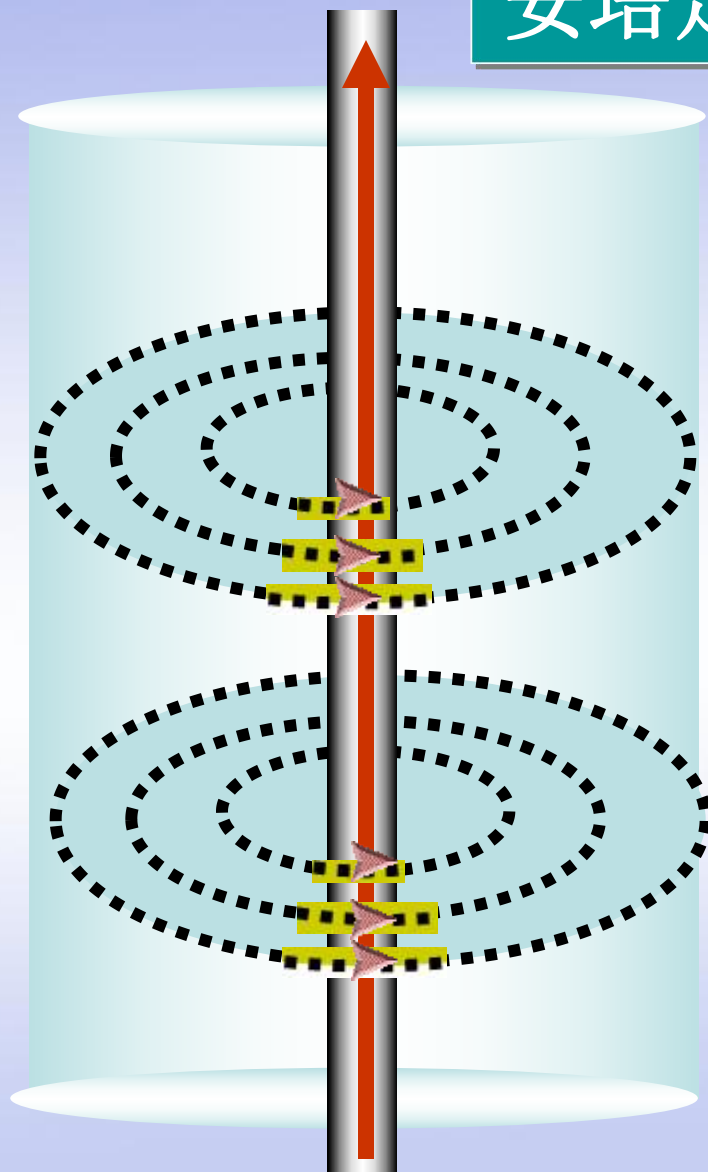
二、 电流的磁效应

由电流产生磁场的现象叫做**电流的磁效应**，对于直线电流、环形电流和通电螺线管周围的磁场（磁感线）的方向可用安培定则判定。

直线电流所产生的磁场方向可用**安培定则**来判定，方法是：用右手握住导线，让拇指指向电流方向，四指所指的方向就是磁感线的环绕方向。

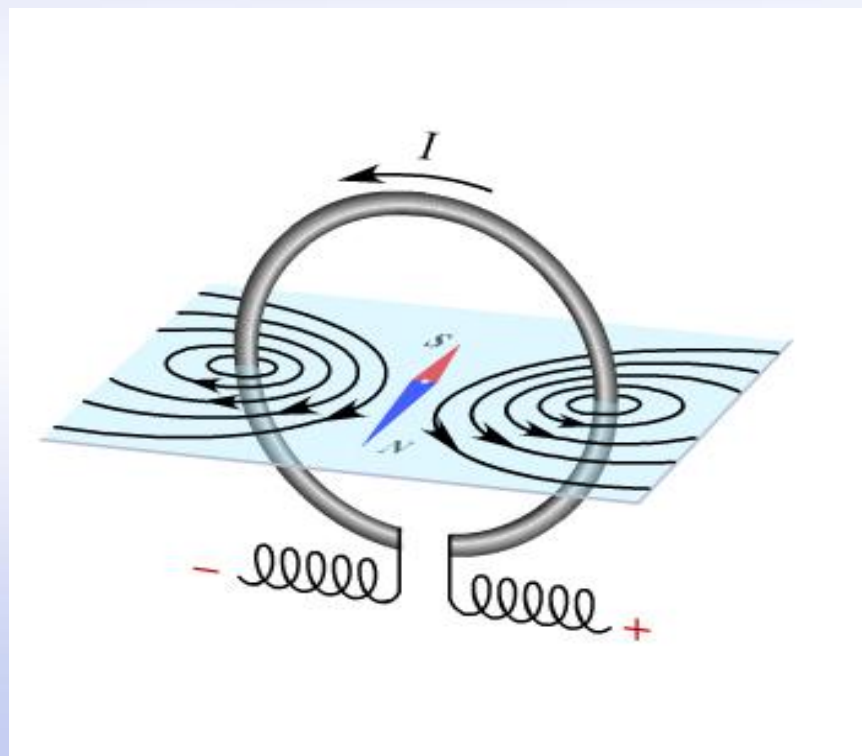
直线电流的磁场

安培定则（右手螺旋定则）



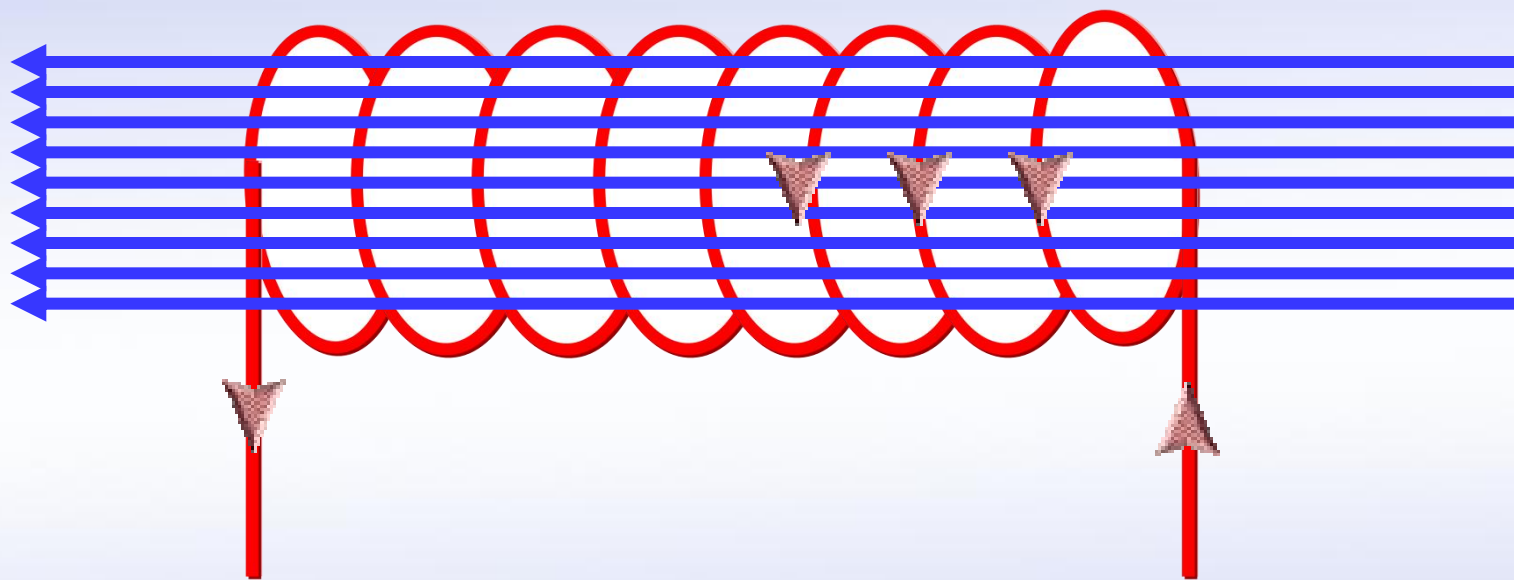
环形电流产生的磁场

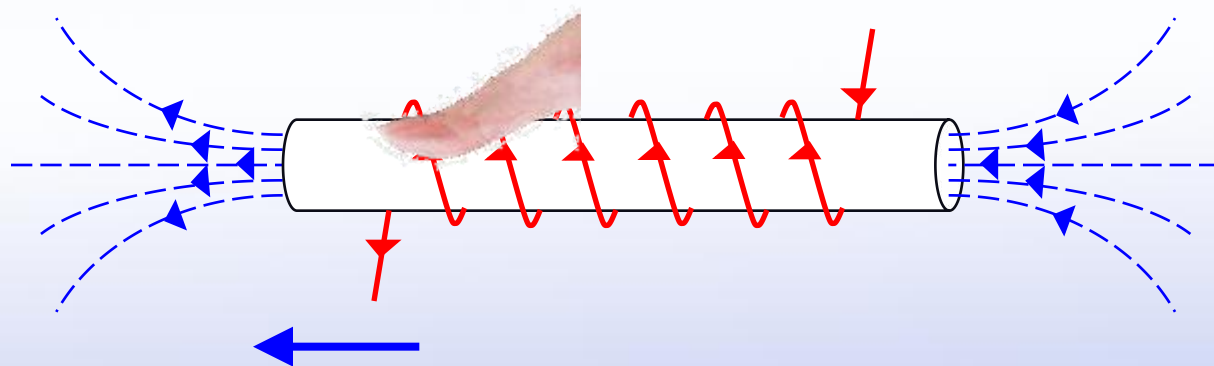
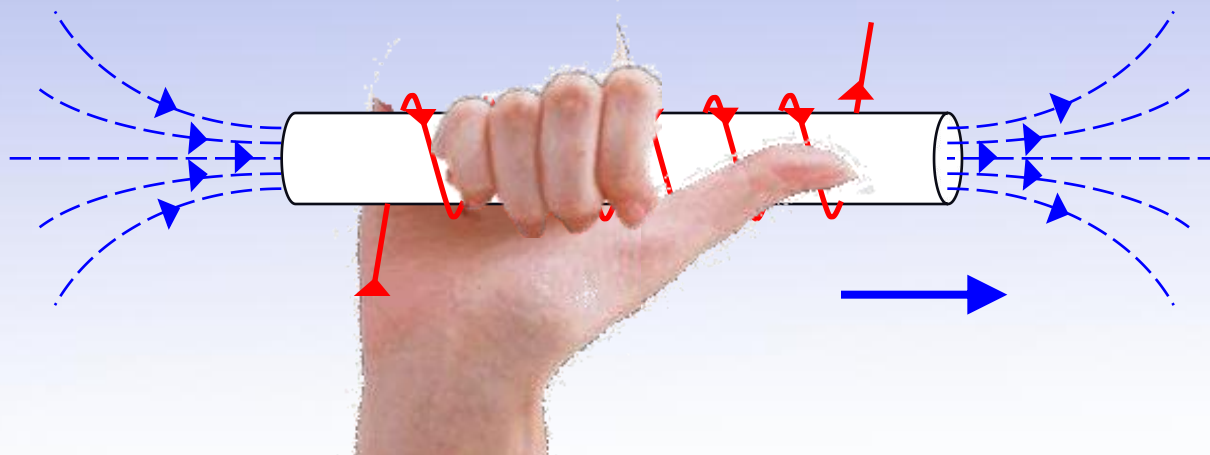
环形电流的磁场方向也可用安培定则来判定，方法是：让右手弯曲的四指和环形电流方向一致，伸直的拇指所指的方向就是导线环中心轴线上的磁感线方向。



螺线管通电产生的磁场

螺线管通电后，磁场方向仍可用安培定则来判定：用右手握住螺线管，四指指向电流的方向，拇指所指的就是螺线管内部的磁感线方向。





三 电流的磁效应在汽车中的应用

1. 电喇叭

电喇叭是安装在汽车上的一种电器，它用来警告行人和其他车辆，保证行车安全。触点式电喇叭有筒形、螺旋形和盆形三种。盆形电喇叭具有结构尺寸小、指向性好等特点。因此，被现代汽车广泛采用。

盆形电喇叭的结构如图3.6所示。

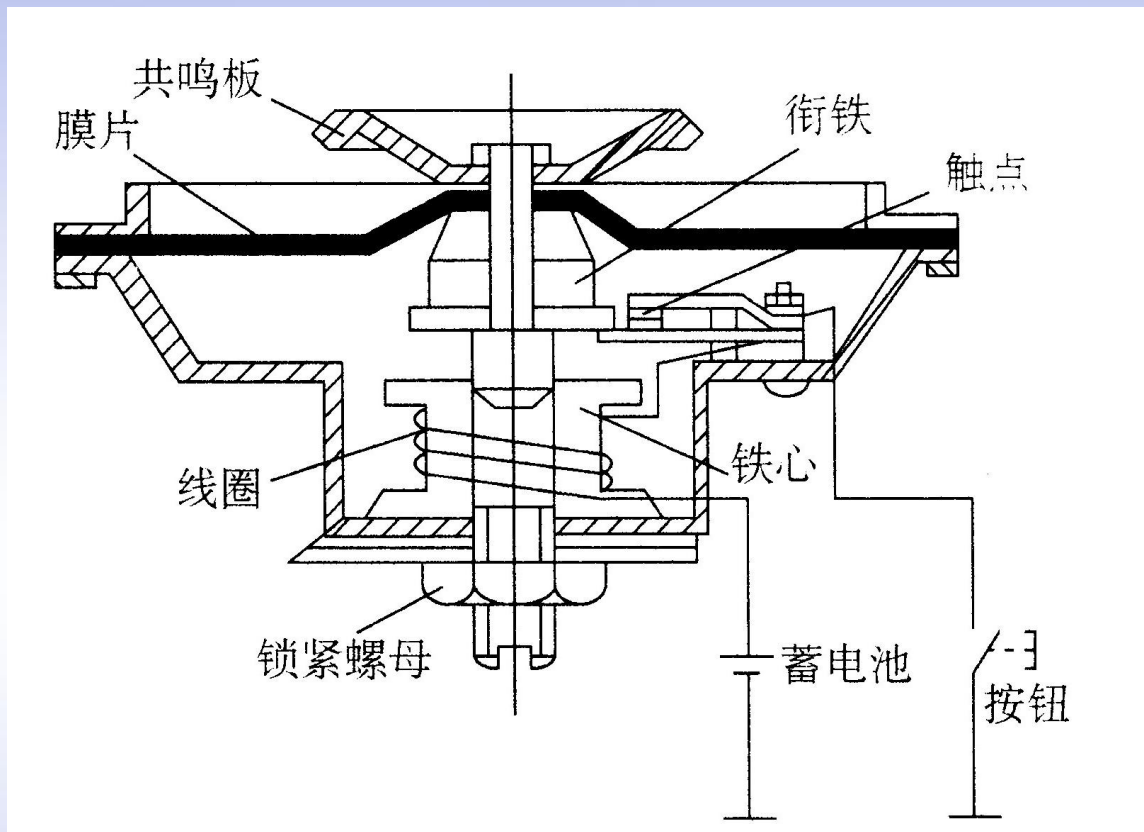


图3.6 盆形电喇叭结构图

2. 电喇叭继电器

继电器是一种利用线圈电路的小电流控制触点电路大电流的一种开关电器。电喇叭继电器是汽车上使用的一种典型继电器，其电路图如图3.7所示。

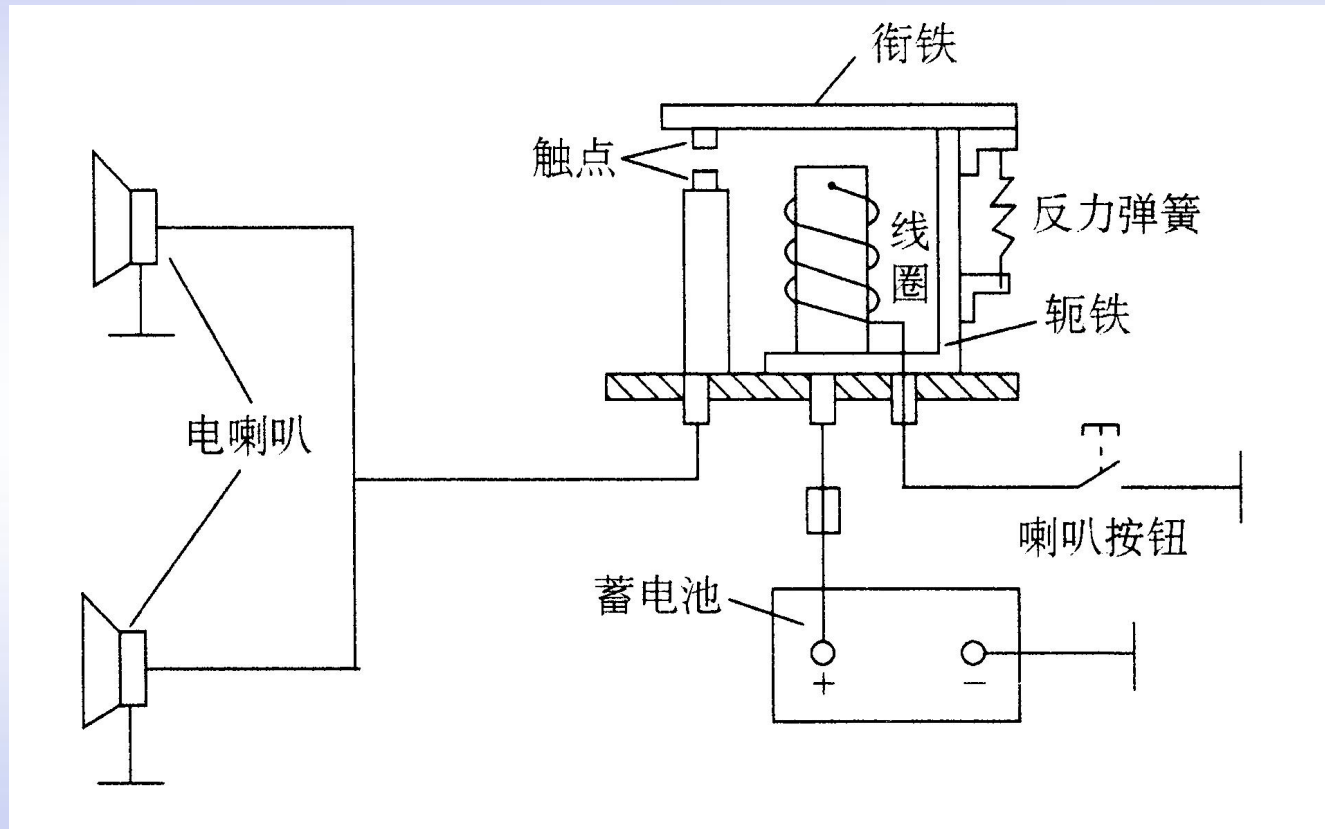


图3.7 喇叭继电器电路图

3. 电磁式燃油表电路

电磁式燃油表的电路如图3.8所示。在燃油指示器中，左右两个铁芯上分别绕有线圈3和7，中间有转子2，指针4与转子相连。传感器仍为可变电阻式，其结构与双金属式燃油表传感器完全一样，也是由电阻、滑针和浮子组成。

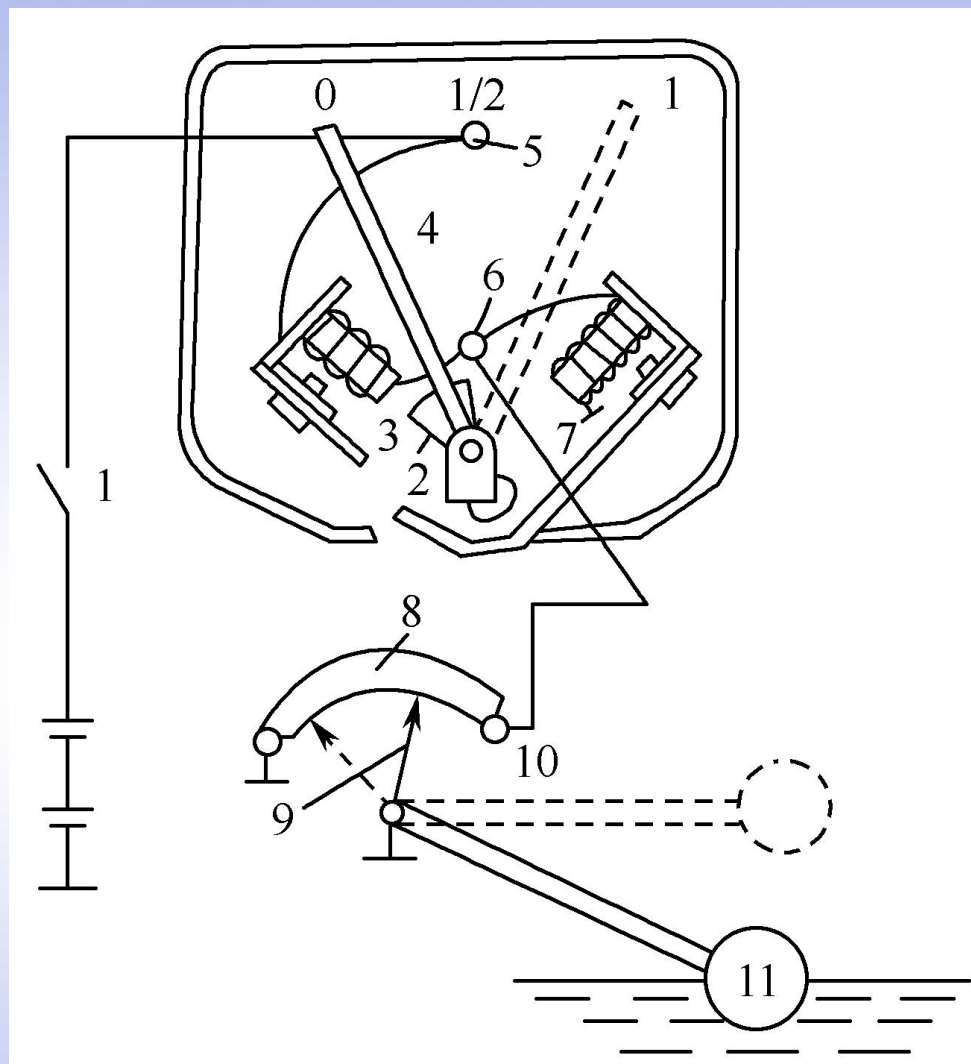


图3.8 电磁式燃油表的电路

四、磁路及其基本物理量

磁路，是指主要由铁磁材料构成而为磁通集中通过的闭合回路，磁路中的铁磁材料称为铁芯。

磁路中除铁芯外往往还有一些非铁磁性物质，如空气间隙等。由于磁感线是连续的，所以通过无分支磁路各处横截面的磁通是相等的。如图3.9所示的无分支磁路中，穿过铁芯和空气间隙的磁通相等。

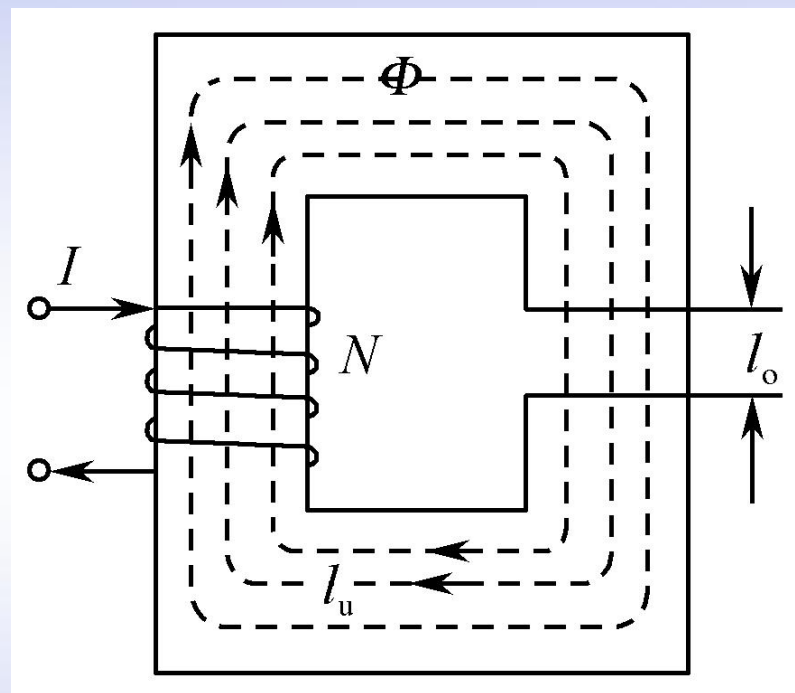
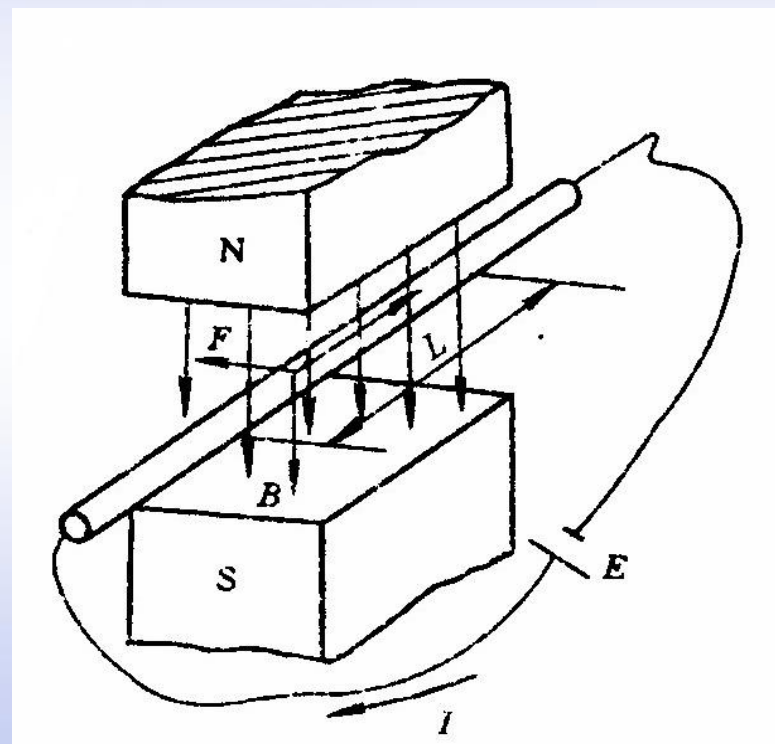


图3.9 磁路

1. 磁感应强度

磁场中垂直于磁场方向的通电直导线所受的磁场力 F 与电流 I 和导线长度 l 的乘积 Il 的比值称为通电直导线所在处的磁感应强度 B ，即

$$B = \frac{F}{Il}$$



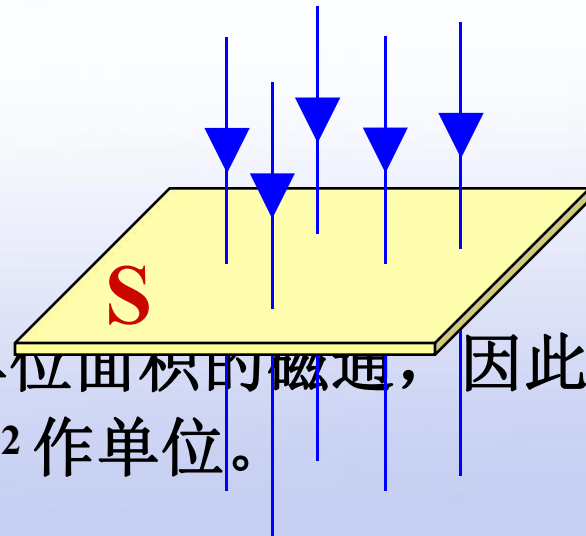
2. 磁通

在磁感应强度为 B 的匀强磁场中取一个与磁场方向垂直，面积为 S 的平面，则 B 与 S 的乘积，称为穿过这个平面的磁通量 Φ ，简称磁通。即

$$\Phi = BS$$

磁通的国际单位制单位是Wb (韦伯)。由磁通的定义式可得

$$B = \frac{\Phi}{S}$$



即磁感应强度 B 可看作是通过单位面积的磁通，因此磁感应强度 B 也常称为磁通密度，并用 Wb/m^2 作单位。

3. 磁场强度

在各向同性的介质中，某点的磁感应强度 B 与磁导率 μ 之比称为该点的**磁场强度**，记做 H 。即

$$H = \frac{B}{\mu}$$

$$B = \mu H = \mu_0 \mu_r H$$

磁场强度 H 也是矢量，其方向与磁感应强度 B 同向，国际单位制单位是A/m (安培/米)。

必须注意：磁场中各点的磁场强度 H 的大小只与产生磁场的电流 I 的大小和导体的形状有关，与磁介质的性质无关。

4. 磁导率

磁场中各点的磁感应强度 B 的大小不仅与产生磁场的电流和导体有关，还与磁场内媒介质（又称为磁介质）的导磁性质有关。在磁场中放入磁介质时，磁场的磁感应强度 B 将发生变化，磁介质对磁场的影响程度取决于它本身的导磁性能。

物质导磁性能的强弱用磁导率 μ 来表示。 μ 的单位是H/m (亨/米)。不同的物质磁导率不同。在相同的条件下， μ 值越大，磁感应强度 B 越大，磁场越强； μ 值越小，磁感应强度 B 越小，磁场越弱。

真空中的磁导率是一个常数，用 μ_0 表示

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

五、磁路的欧姆定律

若某磁路的磁通为 Φ ，磁通势为 IN ，磁阻为 R_m ，则

$$\Phi = \frac{IN}{R_m}$$

此即**磁路的欧姆定律**。

假设磁路是由均匀的铁磁材料构成，它的平均长度为 L ，横截面积为 S ，磁导率为 μ ；可以证明，该磁路的磁阻为

$$R_{m\mu} = \frac{L}{\mu S}$$

则

$$\phi = \frac{\mu NIS}{L}$$

如果磁路中有一段长为 L_0 的空气隙，其横截面积也是 S ，

那么这段空气隙的磁阻为

$$R_{m\mu 0} = \frac{L_0}{\mu_0 S}$$

无分支磁路的总磁阻为

$$R_m = \frac{L}{\mu S} + \frac{L_0}{\mu_0 S}$$

这时磁路的欧姆定律具有下列形式：

$$\Phi = \frac{IN}{(R_{m\mu} + R_{m\mu 0})}$$

式中， IN ——磁动势；

$R_{m\mu 0}$ ——空气隙的磁阻；

$R_{m\mu}$ ——磁路磁阻

六、 磁场对电流的作用

(一) 磁场对通电导线的作用力

1. 安培力的大小

磁场对放在其中的通电直导线有力的作用，这个力称为**安培力**。

(1) 当电流 I 的方向与磁感应强度 B 垂直时，导线受安培力最大，根据磁感应强度

$$B = \frac{F}{Il}$$



可得

$$F = BIl$$

(2) 当电流 I 的方向与磁感应强度 B 平行时，导线不受安培力作用。

(3) 如图 3.10 所示, 当电流 I 的方向与磁感应强度 B 之间有一定夹角时, 可将 B 分解为两个互相垂直的分量:

一个与电流 I 平行的分量, $B_1 = B\cos\theta$; 另一个与电流 I 垂直的分量, $B_2 = B\sin\theta$ 。 B_1 对电流没有力的作用, 磁场对电流的作用力是由 B_2 产生的。因此, 磁场对直线电流的作用力

$$F = B_2 Il = BIl\sin\theta$$

当 $\theta = 90^\circ$ 时, 安培力 F 最大; 当 $\theta = 0^\circ$ 时, 安培力 $F = 0$ 。

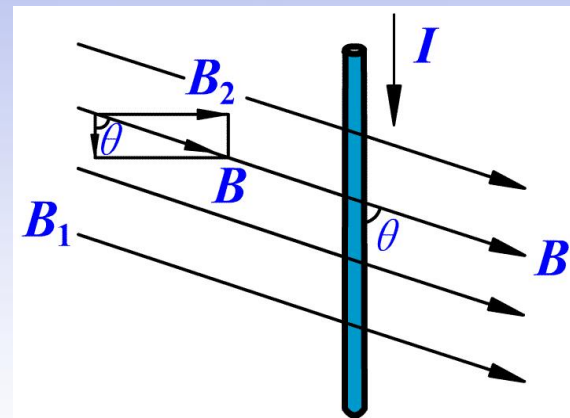


图 3.10 磁场对直线电流的作用力

2. 单位

公式中各物理量的单位均采用国际单位制：安培力 F 的单位用N (牛)；电流 I 的单位用A (安)；长度 l 的单位用m (米)；磁感应强度 B 的单位用T (特)。

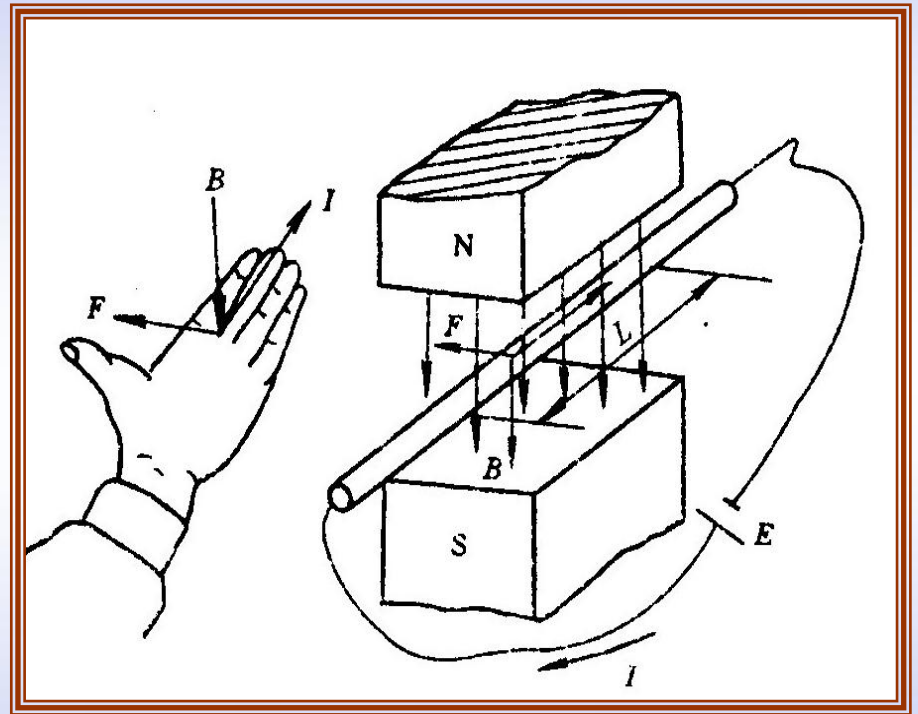
3. 左手定则

安培力 F 的方向可用左手定则判断：伸出左手，使拇指与其他四指垂直，并都与手掌在一个平面内，让磁感线穿入手心，四指指向电流方向，大拇指所指的方向即为通电直导线在磁场中所受安培力的方向。

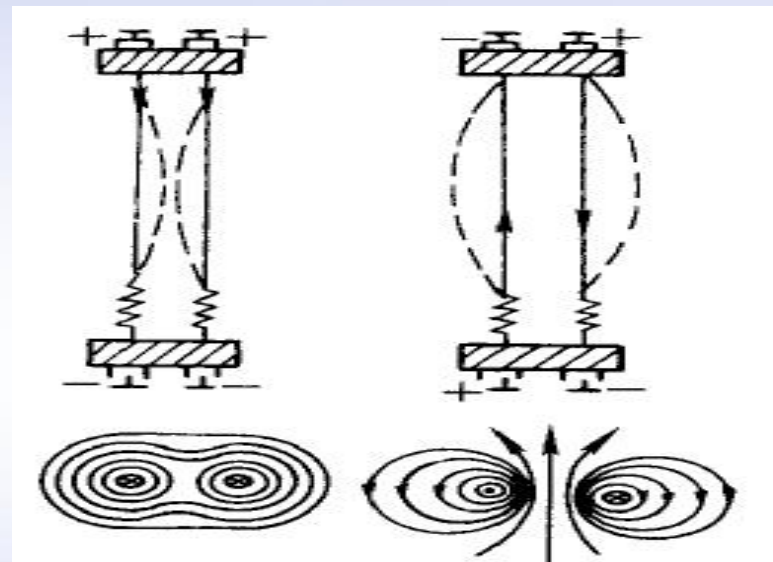
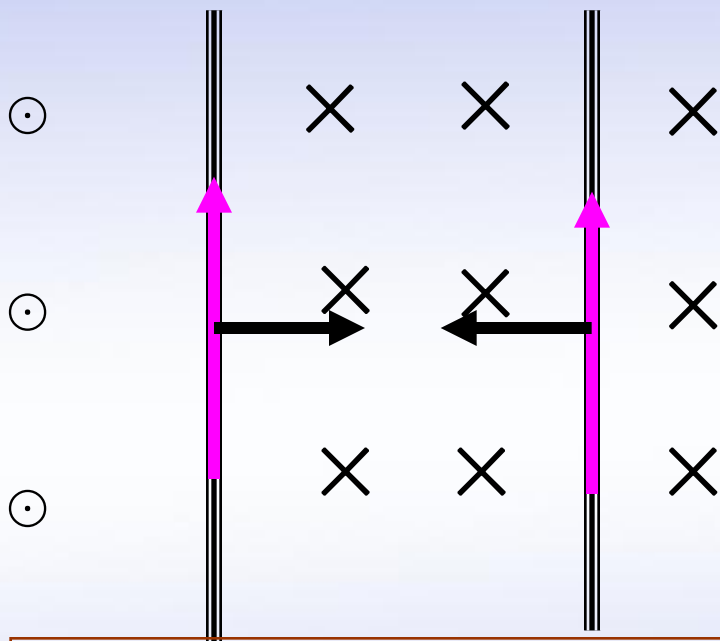
由左手定则可知： $F \perp B$ ， $F \perp I$ ，即 F 垂直于 B 、 I 所决定的平面。

内容：

伸出左手，拇指与其余四指垂直，磁力线垂直穿过掌心，四指指示电流方向，则拇指的指向就是通电导线受力的方向。



例：试用左手定则解释两根平行载流直导线间的相互作用力。



结论：如果两根载流导体电流方向相同，相互吸引，反之则排斥。

(二) 磁场对通电半导体的作用

如图3.11所示，在磁极磁场中放入一个长方形的半导体薄片，使磁力线垂直于半导体表面，当在半导体的一個側面上通入电流时，实验发现在另一个側面上将出现一定的电压。这一现象是美国物理学家霍尔于**1879**年发现的，因此命名霍尔效应。

霍尔效应产生的电压叫霍尔电压 U_H ，实验证明，它的大小与通入半导体的电流 I 以及磁场的磁感应强度 B 成正比，与半导体片的厚度 d 成反比，即

$$U_H = \frac{R_H}{d} IB$$

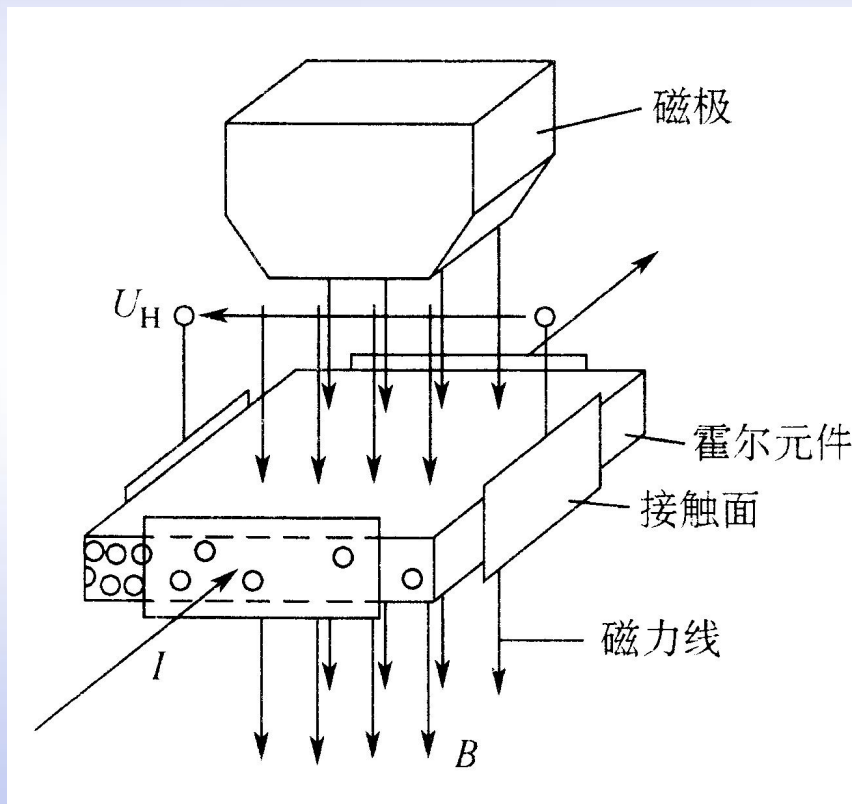


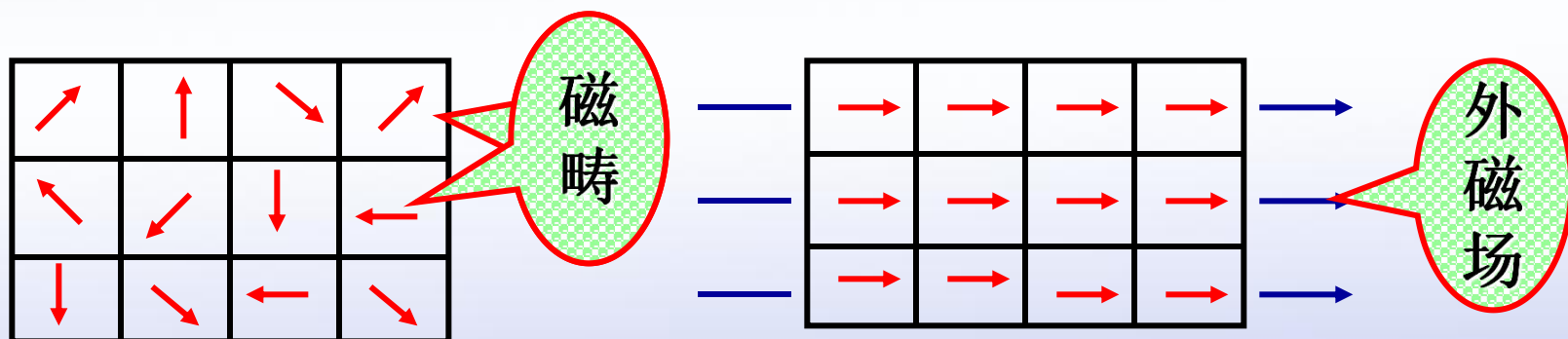
图3.11 霍尔效应

1. 铁磁材料的性质

(1) 高导磁性

磁性物质内部形成许多小区域，其分子间存在的一种特殊的作用力使每一区域内的分子磁场排列整齐，显示磁性，称这些小区域为磁畴。

在没有外磁场作用的普通磁性物质中，各个磁畴排列杂乱无章，磁场互相抵消，整体对外不显磁性。



在外磁场作用下，磁畴方向发生变化，使之与外磁场方向趋于一致，物质整体显示出磁性来，称为磁化。即**磁性物质能被磁化**。

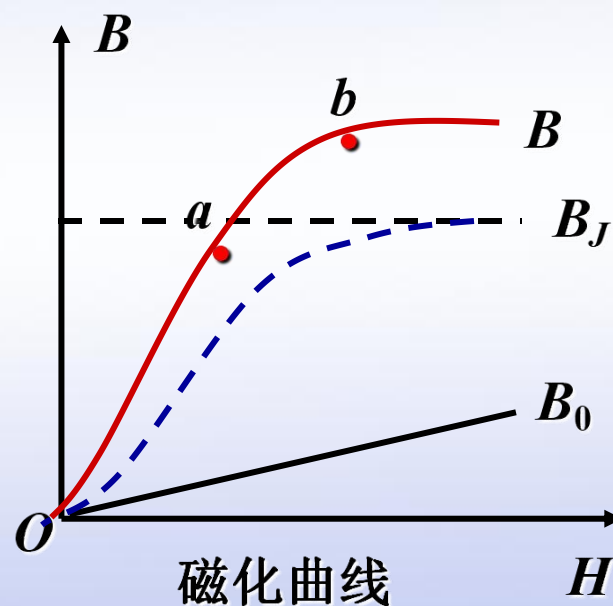
(2) 磁饱和性

磁性物质由于磁化所产生的磁化磁场不会随着外磁场的增强而无限的增强。当外磁场增大到一定程度时，磁性物质的全部磁畴的磁场方向都转向与外部磁场方向一致，磁化磁场的磁感应强度将趋向某一定值。如图。

B_J 磁场内磁性物质的磁化磁场的磁感应强度曲线；

B_0 磁场内不存在磁性物质时的磁感应强度直线；

B B_J 曲线和 B_0 直线的纵坐标相加即磁场的 $B-H$ 磁化曲线。



B - H 磁化曲线的特征:

Oa 段: B 与 H 几乎成正比地增加;

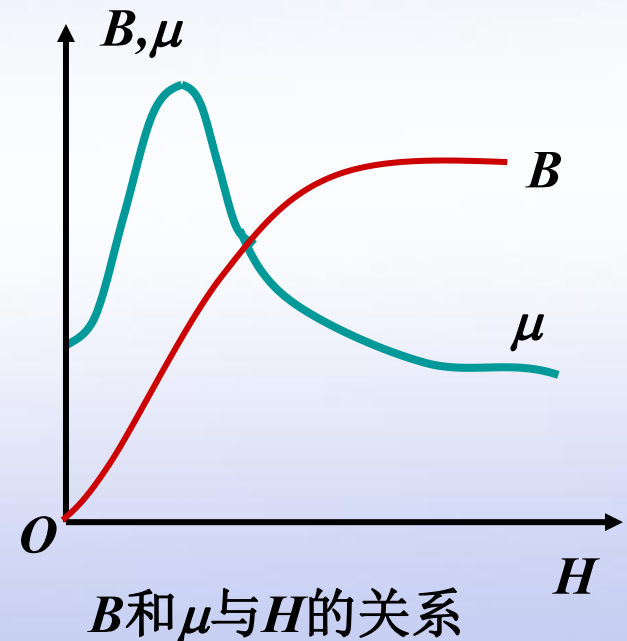
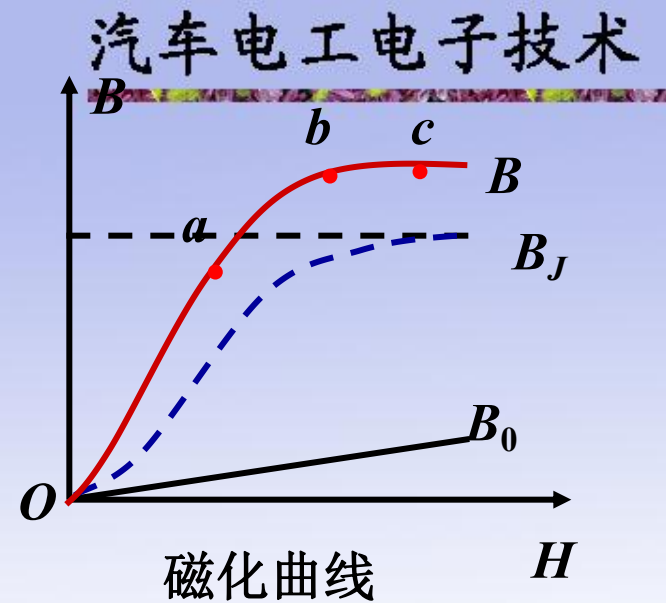
ab 段: B 的增加缓慢下来;

bc 段: H 很强, B 增加很少, 达到饱和。

有磁性物质存在时, B 与 H 不成正比,
磁性物质的磁导率 μ 不是常数, 随 H 而变。

有磁性物质存在时, Φ 与 I 不成正比。

磁性物质的磁化曲线在磁路计算上
极为重要, 其为非线性曲线, 实际中
通过实验得出。



(3) 磁滞性

磁滞性：磁性材料中磁感应强度 B 的变化总是滞后于外磁场 H 变化的性质。

磁性材料在交变磁场中反复磁化，其 B - H 关系曲线是一条回形闭合曲线，称为**磁滞回线**。

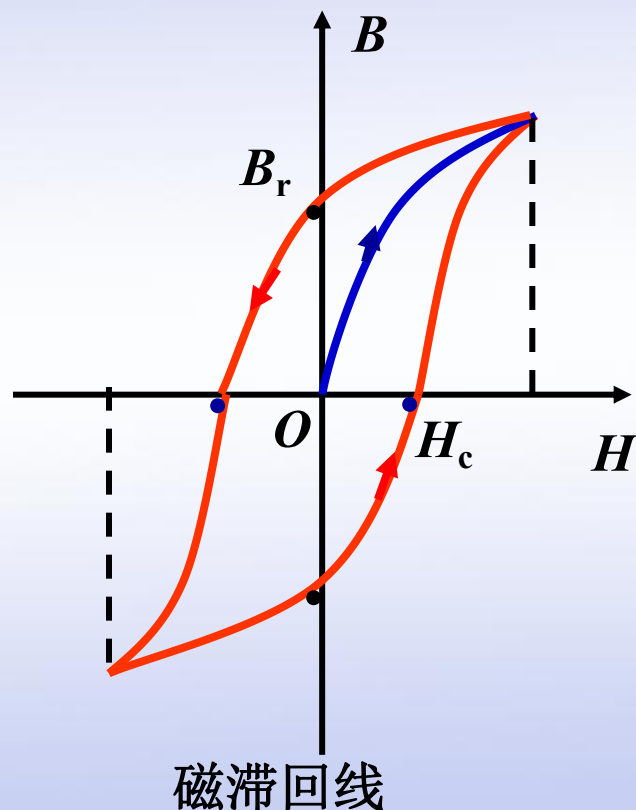
剩磁感应强度 B_r (剩磁)：

当线圈中电流减小到零($H=0$)时，铁心中的磁感应强度。

矫顽磁力 H_c ：

使 $B = 0$ 反向磁场强度。

磁性物质不同，其磁滞回线和磁化曲线也不同。



2. 铁磁材料的分类和用途

(1) 硬磁材料

硬磁材料的特点是需要较强的外磁场的作用，才能使其磁化，而且不易退磁，剩磁较强。其典型材料有钴钢、碳钢等。因其剩磁强，不易退磁，常用于制造各种形状的永久磁铁。

(2) 软磁材料

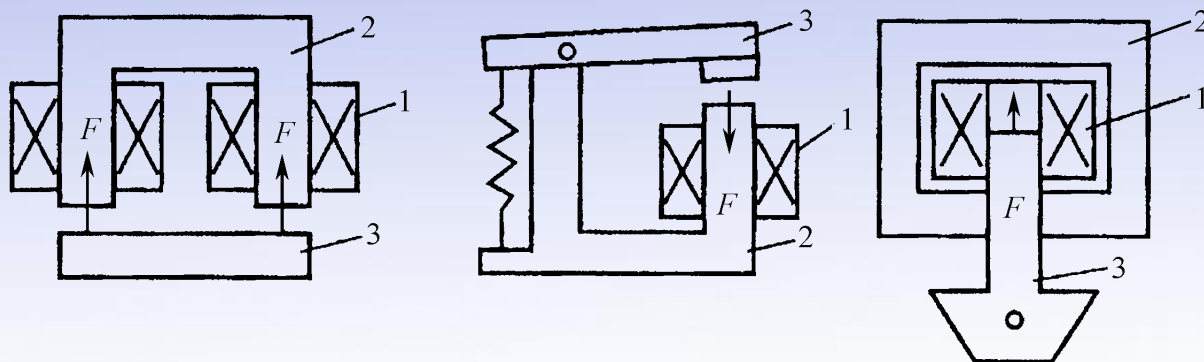
软磁材料的特点是磁导率很大，而剩磁很小，易被磁化也易去磁。典型的软磁材料有硅钢片、铸铁、坡莫合金等。一般用来制造电机、电器及变压器等的铁心。

(3) 矩磁材料

矩磁材料的特点是在很弱的外磁场作用下就能被磁化，并达到磁饱和。当撤掉外磁场后，磁性仍然保持与磁饱和状态相同。矩磁材料主要用于制造计算机中存储元件的环形磁心。

3. 直流和交流电磁铁

电磁铁由三部分组成：**线圈、铁心和衔铁**，如图所示。



1—线圈；2—铁心；3—衔铁

电磁铁的主要技术数据有：

- (1) **额定行程** δ_N ：指刚启动时衔铁和铁心之间的距离。
- (2) **额定吸引力** F_N ：指衔铁处在额定行程时衔铁受到的吸力。
- (3) **额定电压** U_N ：指电磁铁线圈上规定应施加的电压值。

(1) 直流电磁铁

电磁铁的吸力 F 与空气隙的 δ 关系，即

$$F = g(\delta)$$

电磁铁的励磁电流 I 与空气隙的关系，即

$$I = g(\delta)$$

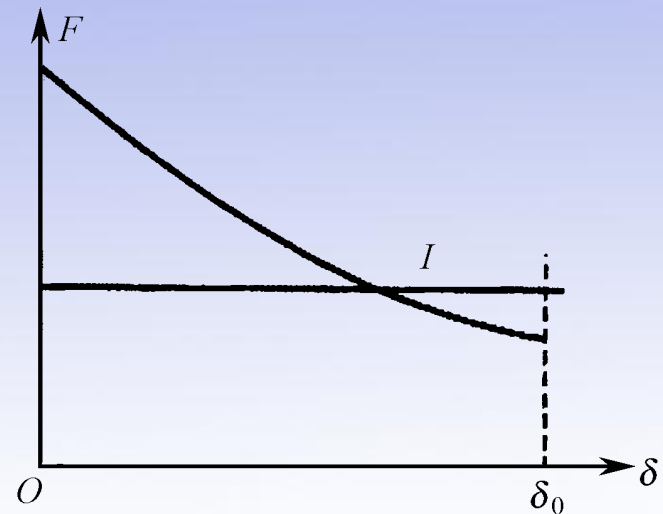


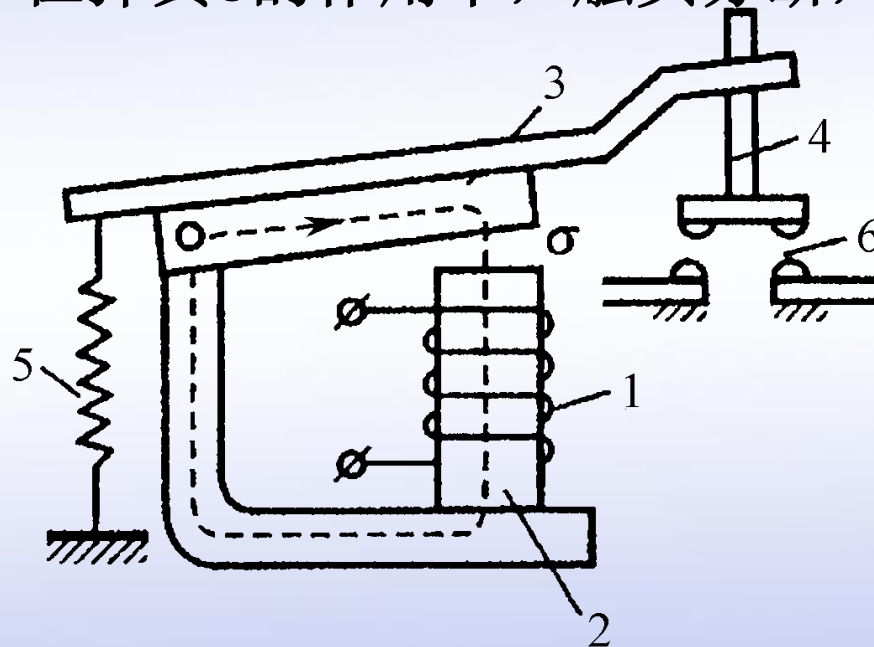
图2.19 直流电磁铁的工作特性

称为电磁铁的工作特性，它可由实验得出，如图所示。

由图可知，直流电磁铁线圈励磁电流 I 的大小与衔铁的运动过程无关，即与 δ 的大小无关。

(2) 交流电磁铁

当交流继电器的线圈1（即交流电磁铁的线圈）通过交变电流时，虽然电流的方向经常改变，但铁心2中的磁通方向以及两个磁极也随之改变，因此磁极之间始终能互相吸引。于是衔铁3被吸下，带动绝缘杆4，使触头6闭合，接通另一电路。反之，当线圈断电时，在弹簧5的作用下，触头分断，切断另一电路。



1—线圈；2—铁心；3—衔铁；
4—绝缘杆；5—弹簧；6—触头

交流电磁铁两磁极间的吸力 F 与两极间磁感应强度 B 的平方成正比。当磁感应强度等于零时，极间的吸力基本上也等于零（因为铁心选用软磁材料，剩磁很小），当磁感应强度为最大值时，吸力也为最大。由此可见，吸力在零和最大值之间脉动，如图所示。

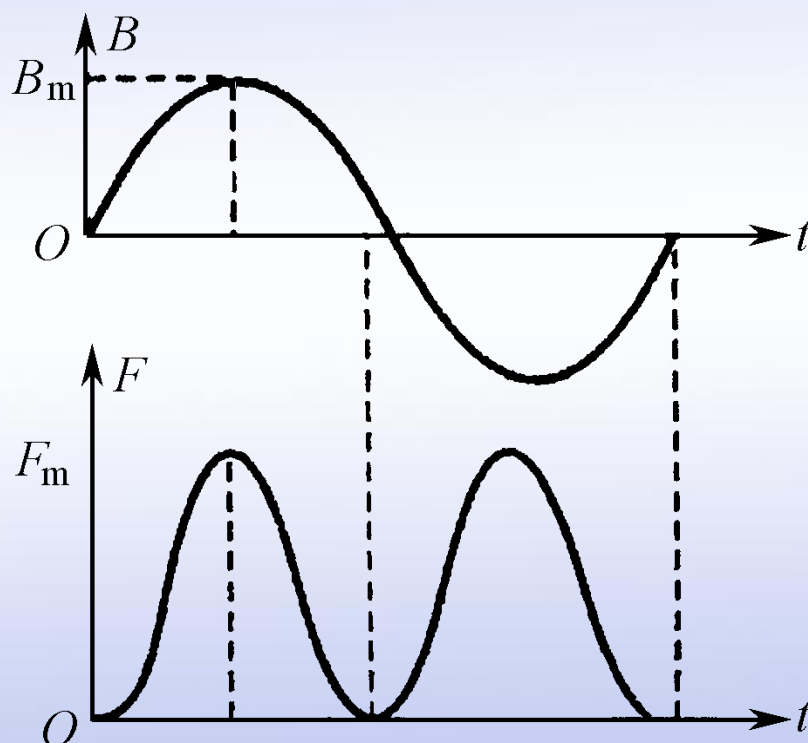
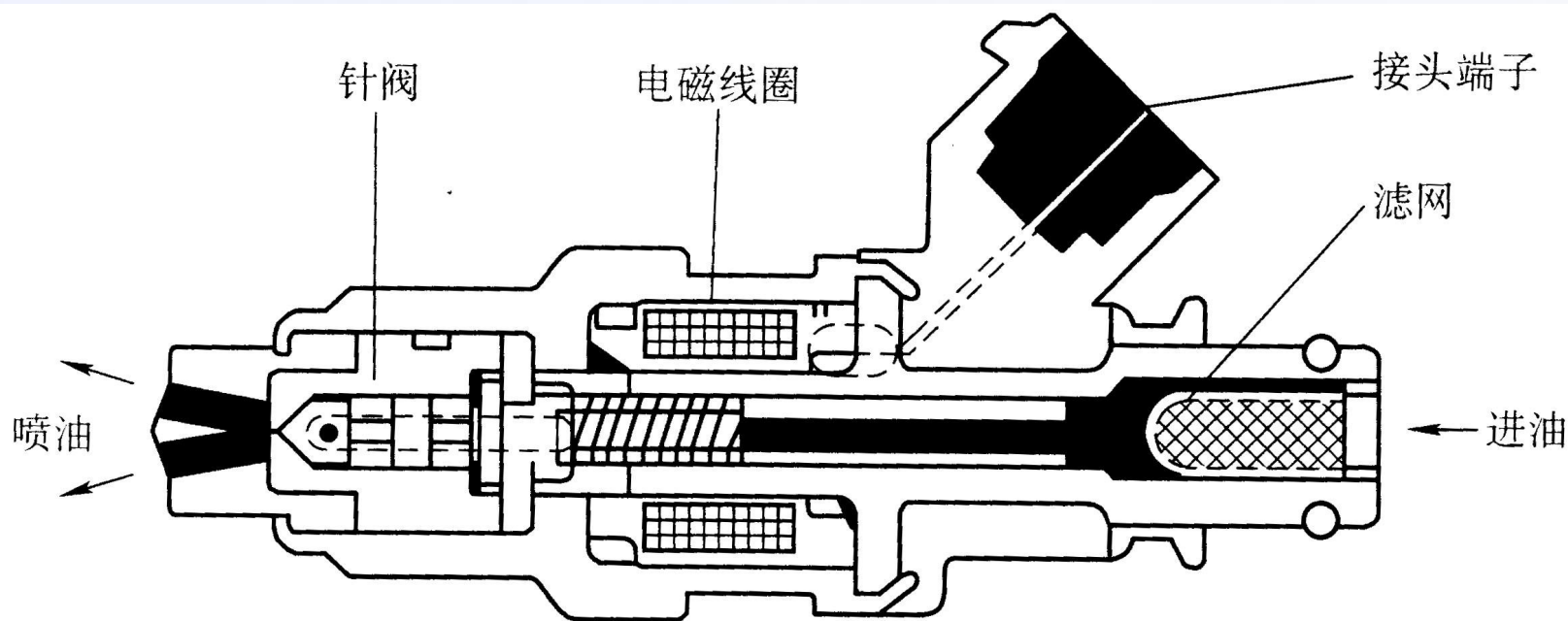


图2.21 交流电磁铁的吸力

4. 电磁铁在汽车中的应用

图3.24所示为汽车电控燃油喷射系统中的喷油器。当发动机ECU发出喷油信号，电磁线圈通电后产生电磁吸力，吸引衔铁沿着轴向向右移动，并带动针阀克服弹簧弹力离开阀座，燃油即开始喷射。当发动机ECU发出停止喷油指令时，喷油器电磁线圈的搭铁回路被切断，电磁吸力消失。在弹簧弹力作用下针阀关闭，喷射停止。



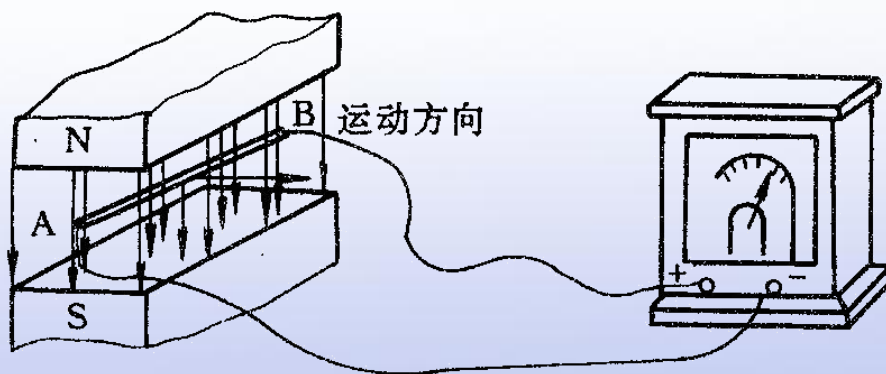
任务二 电磁感应现象及自感和互感 汽车电工电子技术

一、磁场中运动导体的电磁感应

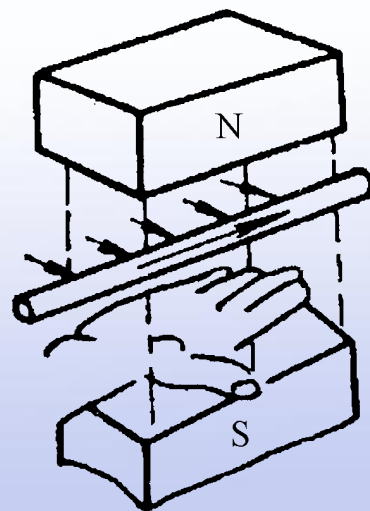
如图（a）所示，设磁感应强度为 B ，当长度为 l 的直导体以大小为 v 的线速度切割磁感线时， l 中产生的感应电动势公式为

$$E = Blv \sin \theta$$

感应电动势的方向由负极指向正极。 E 、 B 和 v 的关系可用图（b）所示右手定则确定，即伸平右手，拇指与其余四指垂直，让磁线穿过掌心，大拇指指向运动的方向，则四指的指向即为导体内感应电动势方向。



(a)



(b)

二、线圈中磁场变化时的电磁感应 汽车电工电子技术

法拉第通过实验发现线圈中感应电动势的大小与下列因素有关：

(1) 在一定的时间内，与线圈交链的磁通的变化量越大，感应电动势越大；

(2) 在磁通变化量一定的条件下，这种变化所经历的时间越短感应电动势越大；

(3) 在其它条件不变的情况下，线圈的匝数越多感应电动势越大。

感应电动势公式为
$$e = N \left| \frac{d\phi}{dt} \right|$$

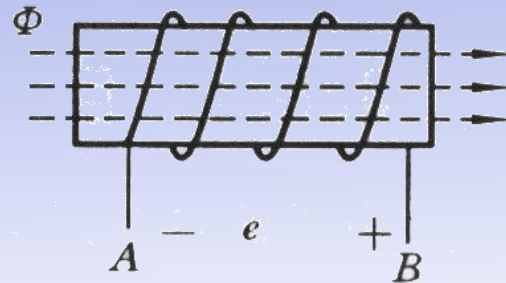
式中， ϕ — 磁通，单位：韦伯 (**Wb**)

e — 电动势，单位：伏 (**V**)

t — 时间，单位：秒 (**S**)

电动势的方向

(1) 磁通方向和线圈绕向如图所示，当磁通 ϕ 增加时， $\frac{d\phi}{dt} > 0$ 电动势方向由 **A** 指向 **B**。



(2) 磁通方向和线圈绕向方向不变，当磁通 ϕ 增加时， $\frac{d\phi}{dt} > 0$ 电动势方向相反，由 **B** 指向 **A**。

因此，感应电动势公式为

$$e = -N \frac{d\phi}{dt}$$

式中的负号说明 e 的方向是阻碍磁通变化的，称为楞次定律。

三、自感

由于线圈本身电流的变化而产生的电磁感应叫做“自感应”，简称“自感”。由自感现象产生的电动势叫做“自感电动势”，用 e_L 表示。

对空心线圈而言，其磁通链和电流之比是一常数，即

$$L = \frac{\Psi}{i}$$

式中， L — 电感，单位：亨利，简称亨（ H ）

Ψ — 磁通链，单位：韦伯（ Wb ）

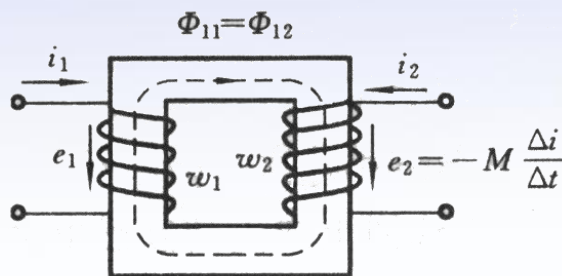
i — 电流，单位：安培（ A ）

自感电动势公式为

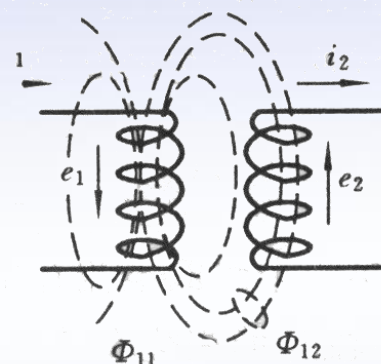
$$e = -N \frac{d\phi}{dt} = -d(Li) / dt = -L di / dt$$

四、互感

如图所示，两个靠得很近的线圈，当线圈 N_1 有电流 i_1 通过时，它在线圈中产生的磁通为 Φ_{11} ，与此相对应的磁通链 $\psi_{11} = N_1 \Phi_{11}$ ；由于两线圈靠得很近 Φ_{11} 中有一部分同时与 N_2 相交链，用 Φ_{12} 表示，称为互感磁通；对应的磁通链为 $\psi_{12} = N_2 \Phi_{12}$



(a) 有铁心



(b) 空心

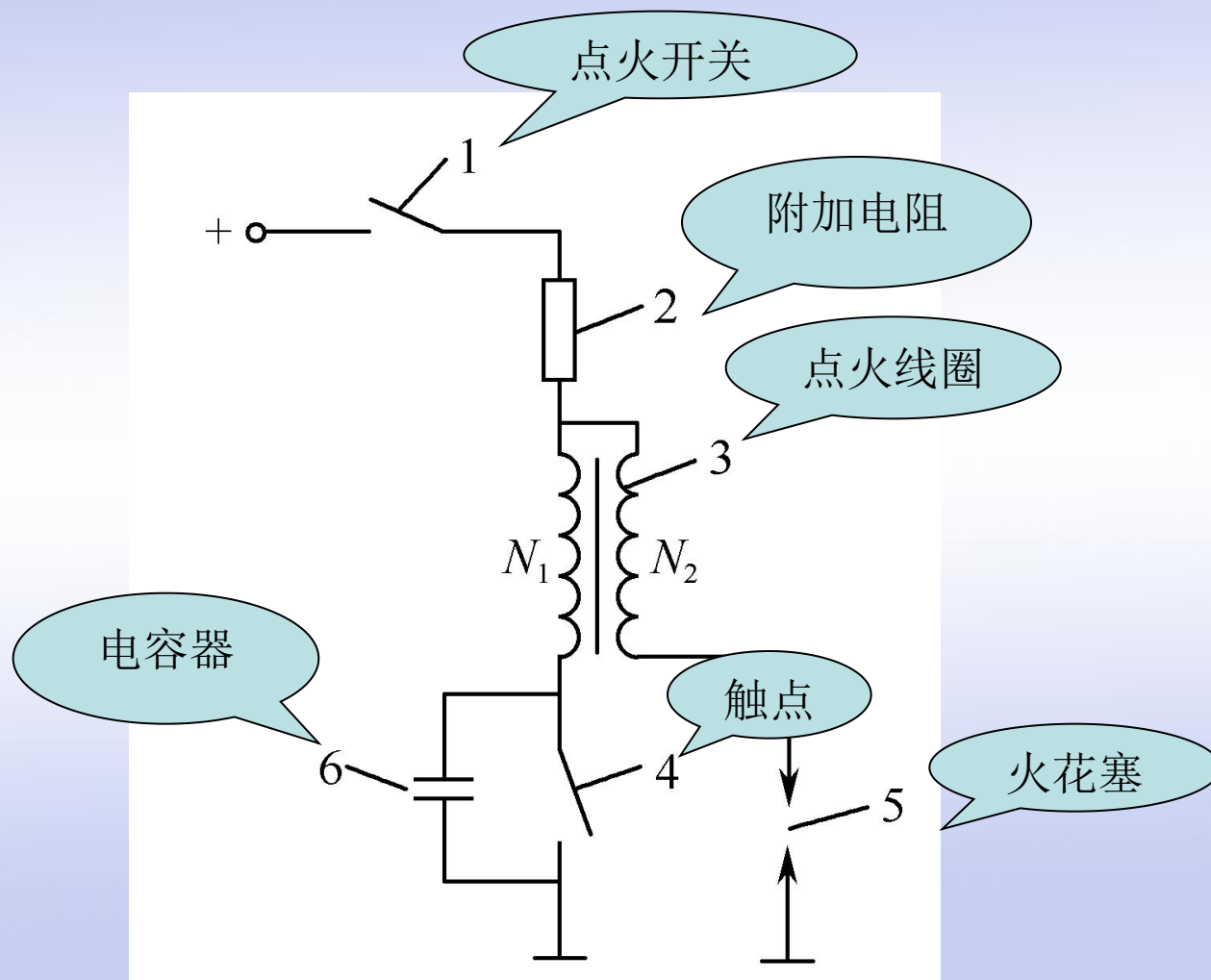
在两个有磁交链（耦合）的线圈中，互感磁链与产生此磁链的电流的比值，叫做这两个线圈的**互感系数**，简称**互感**，用符号 M 表示，单位为（H）。

$$M = \frac{\psi_{11}}{i_1} = \frac{\psi_{12}}{i_2}$$

五、互感现象在汽车中的应用

汽车中的点火线圈就是利用互感原理制成的。

如图2.29所示为一传统点火线圈原理图。



工作过程如下：

（1）触点闭合。铁芯中形成磁路：当点火开关1闭合，发动机工作，驱动断电器小轴旋转，小轴上端的断电器凸轮不断地使触点4闭合与断开，当触点闭合时，点火线圈3一次侧绕组中电流流过，电流由蓄电池“+”极→点火开关附加电阻→点火线圈一次侧绕组N1→断电器触点4→搭铁蓄电池“-”极，则铁芯中有磁通通过，形成磁路。

（2）触点断开。二次侧绕组产生高压：当断电凸轮将触点4打开时，这时点火线圈一次侧绕组N1电路被切断，一次侧电流及电芯中的磁通迅速消失，根据电磁感应原理，在点火线圈二次侧绕组N2感应出高压感应电动势时，该电动势为15000～20000V。

(3) 火花塞放电。高压二次侧绕组电磁感应电动势将火花塞电极间隙击穿，形成火花，点燃混合气。此时高压电流由点火线圈二次侧绕组***N2***→高压导线→火花塞→搭铁→蓄电池→点火开关**1**→附加电阻**2**→二次侧绕组***N2***。

当触点**4**断开，磁场消失时，在点火线圈一次侧绕组中根据自感应原理，将感应产生自感电动势，为**200~300V**。它将在触点处形成火花，使触点烧坏。为了减少这一影响，在触点**4**两端并联一个电容**6**。

项目四 电动机和交流发电机

任务一 直流电动机

任务二 三相交流发电机



项目四 电动机和交流发电机

知识目标:

1. 熟悉直流电动机和三相异步电动机的工作原理和结构;
2. 掌握串励直流电动机的机械特性和运行、反转、制动、调速的方法;
3. 了解汽车用起动机和永磁电动机在汽车上的应用;
4. 掌握三相交流发电机的励磁方式和工作原理及特性。

能力目标:

1. 学会起动电动机的拆装与检测;
2. 会拆解、组装交流发电机。

任务一 直流电动机

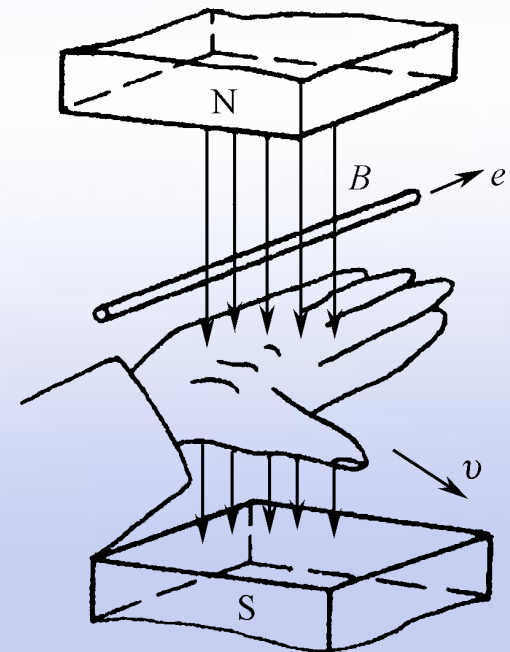
一、直流电机的工作原理

1. 电磁感应与右手定则

在一个均匀磁场 B 中，当放置一根有效长度为 l 的导体，作垂直切割磁力线运动时，则在导体 l 上产生感应电动势。这种由于导体切割磁力线而在导体上感应电动势的现象称为电磁感应。

$$e = Blv$$

电动势 e 的方向按**右手定则**确定，即将右手掌伸开，让磁力线垂直指向掌心，大拇指指向导体运动方向，则与大拇指成 90° 的其余四指所指方向便是导体中感应电动势的方向，如图所示。



如果一匝对称线圈abcd，置于按正弦规律变化磁场 $B_x = B_m \sin x$ 中，线圈两端a和d分别与线圈一起转动的两个铜环焊接，再在两个铜环上分别压着固定不动的两个电刷A和B，如图4.2所示。当线圈以 v 速度作逆时针旋转时，则在A，B两刷间产生的感应电动势为

$$e_{AB} = e_{ad} = e_{cd} + e_{ab} = 2B_m l_{ab} v \sin x$$

由此可见，导体等速运动切割磁力线时，导体上的感应电动势在时间上也按正弦规律变化，即同 B_x 的规律变化，而不是直流电动势。显然，如果磁场波形是半个正弦波的话，则导体中感应电动势在时间上也是半个正弦波。

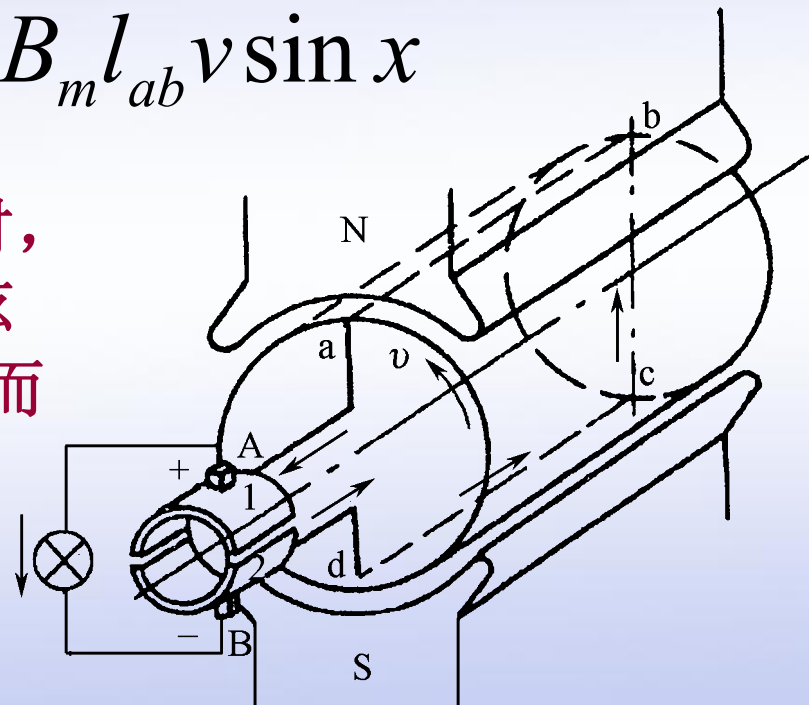


图4.2 交流发电机原理模型

2. 直流发电机工作原理

如果将图4.2中的两个铜环去掉一个，而将留下的一个剖成互相绝缘的两个半圆环，线圈两个端点分别接在两个半圆环上，将A, B两电刷也分别压在两个半圆环上，且固定不动，其位置分别与磁极N, S对正，电机线圈仍以逆时针方向旋转，如图4.3所示，那么在图示瞬间，导线ab处于N极下，与A电刷连接，电动势 e_{ab} 由b指向a，则A电刷为“+”（正板）；当线圈转过 180° 时，导体cd处于N极下，且与A电刷连接，电动势 e_{cd} 由c指向d，则A电刷仍为“+”。

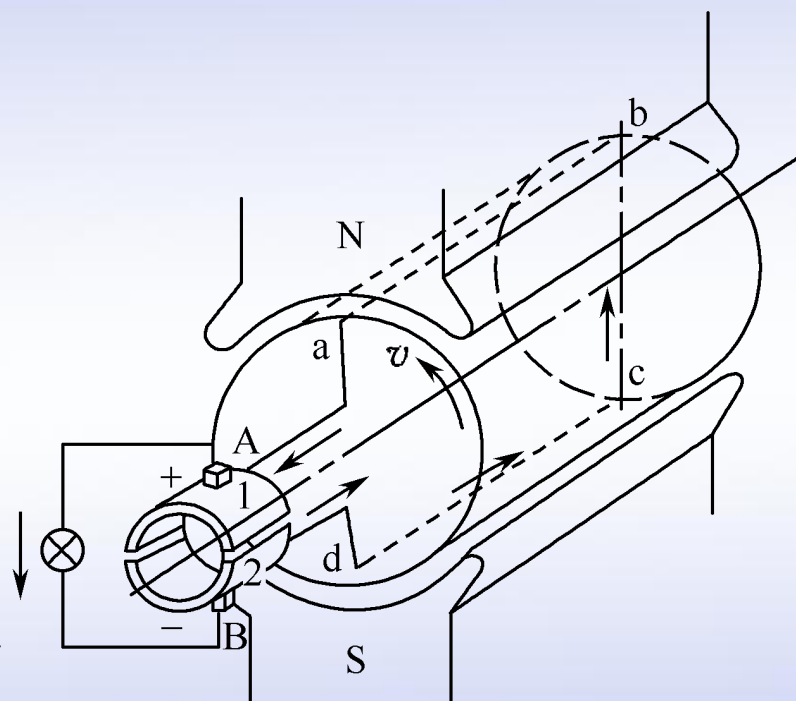


图4.3 利用换向器获得直流电动势

图4.4为一个线圈交流电动势经两个半圆铜环与电刷两端引出的电动势波形，它显然是半波整流状态，有明显脉动。如果把一个圆铜环剖为互相绝缘的四等份，分别与两个线圈连接，则脉动将减半。

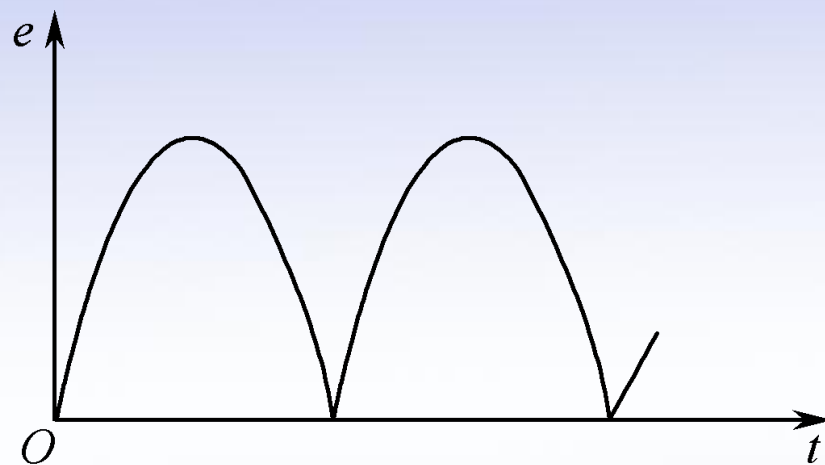


图4.4 一个线圈电刷两端电动势的波形

综上所述

- 直流发电机中线圈的感应电动势是交流的，借助于换向器和电刷配合作用，才把交流电动势“换向”成为直流电动势。由于这个原因，则把上述这种发电机称为换向器式直流发电机。

3. 直流电动机的工作原理

直流电动机的工作原理是基于电磁力定律，若磁场 B_x 与导体 l 互相垂直，且导体 l 中通以电流 i ，则作用于载流导体 l 上的电磁力为

$$f_x = B_x il$$

f_x —— 电磁力的大小，单位N；

B_x —— 每极磁通下的瞬时值，单位 Wb / m^2

i —— 导体中流过的电流，单位为A；

l —— 导体的有效长度，单位为m。

力的方向按左手定则来确定。

直流电动机工作原理：

如图所示，电刷A、B两端恒加直流电压 U ，在此瞬间位置，导体 lab 处于N极下，电流从a到b，导体 lab 受到电磁力作用而向左运动，导体 lcd 处于S极下，电流是从c到d，所受到电磁力作用方向向右，从而形成一转矩，使线圈逆时针方向旋转；当转过 90° 时，电刷不与换向片接触，而与换向片间绝缘接触，此时线圈无电流，转矩消失，但由于惯性作用，

转子仍向前转，这时导体 lab 与 lcd 交换位置，即 lcd 处于N极下，与A刷连接， lab 处于S极下，与B电刷连接，电流从d进从a出，导体 lcd 受电磁力作用，电磁力方向向左，导体 lab 受到向右的电磁力，保持原来转矩方向不变，从而使电动机继续沿着逆时针方向旋转。

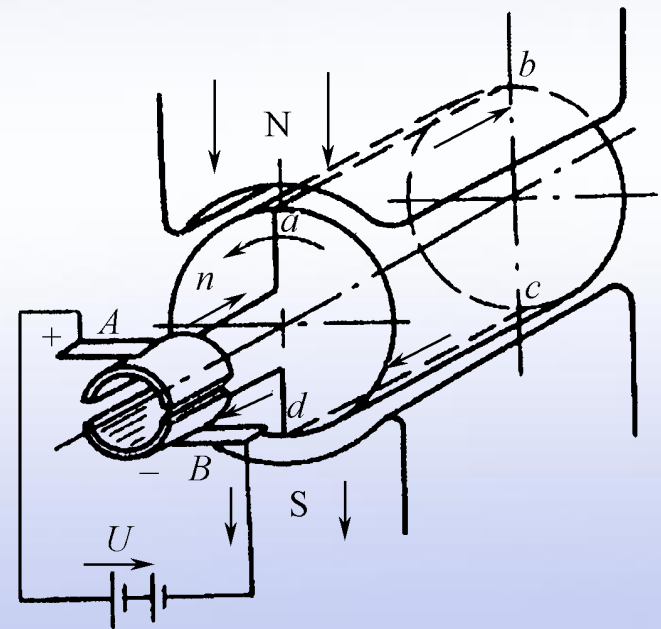
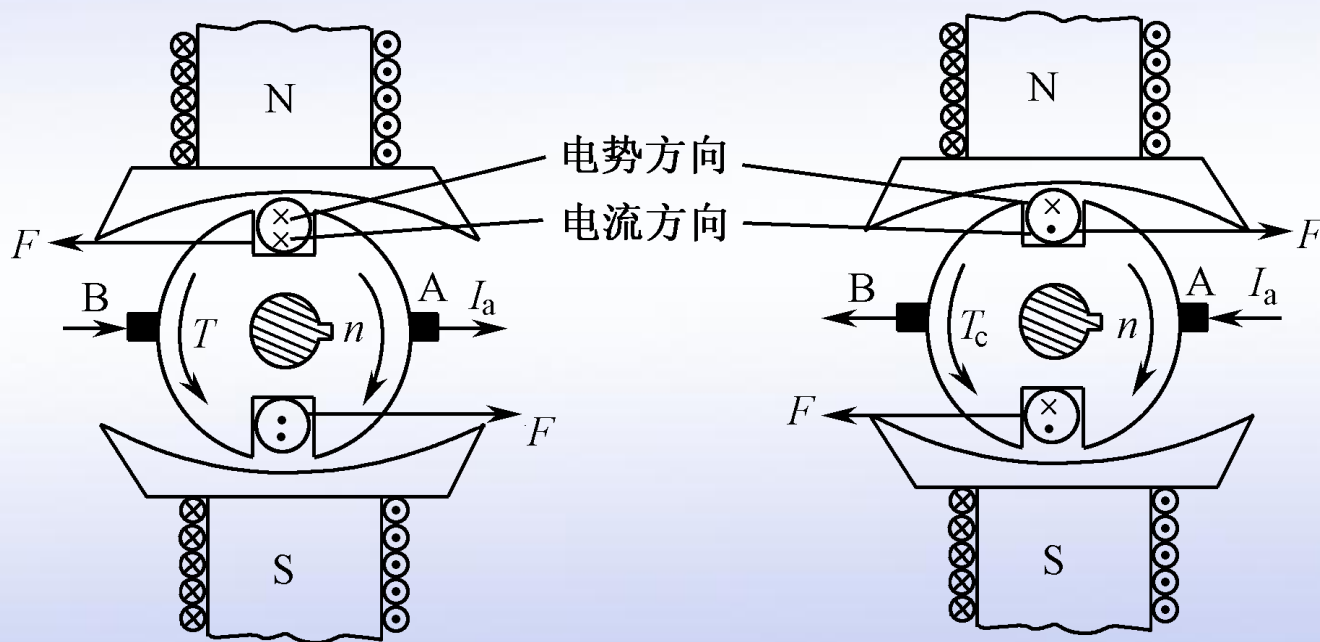


图4.5 直流电动机工作原理示意图

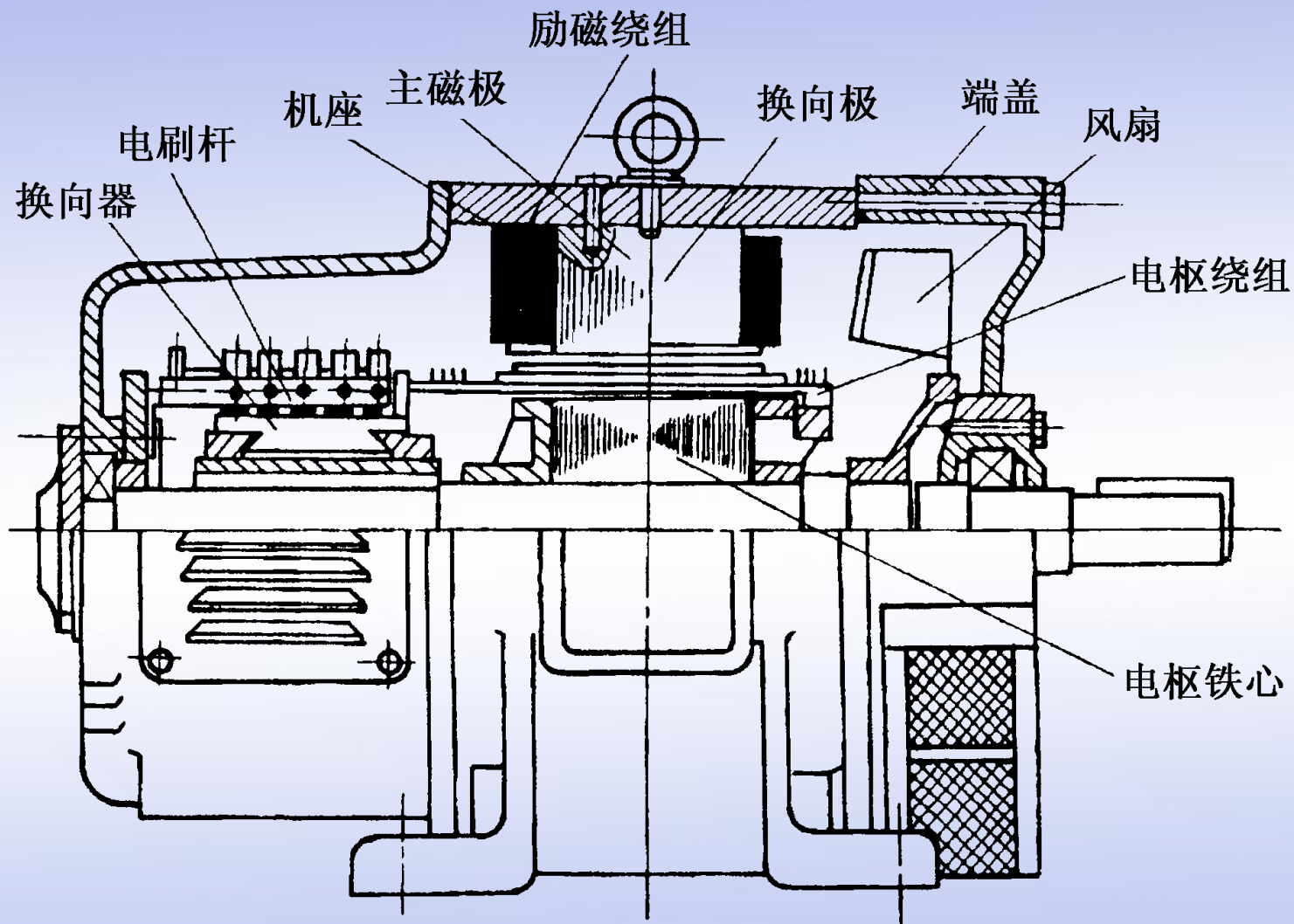
不论电机作为发电机或作为电动机运行，电枢电势都是存在的，不过发电机的电枢电势是电源电势，在电势的作用下产生电流，电势与电流的方向一致，如图（a）所示，此时发电机输出电功率；而电动机的电枢电势是反电势，它与外加电压（电流）的方向相反，如图（b）所示，此时电动机消耗电功率。



(a) 发电机

(b) 电动机

二、直流电动机结构



1. 定子部分

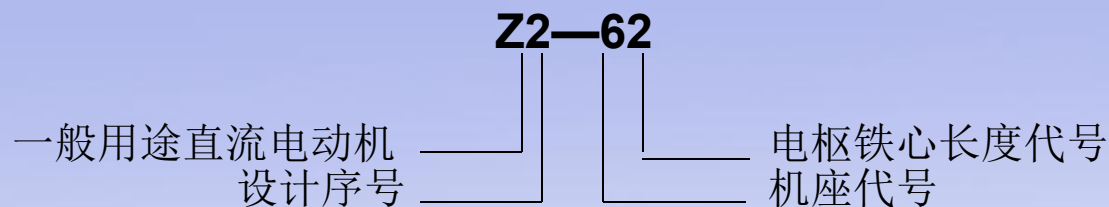
定子主要由主磁极、机座、换向磁极、电刷装置和端盖组成。

2. 转子部分

直流电机的转子是电机的转动部分，由电枢铁心、电枢绕组、换向器、电机转轴和轴承等部分组成。

3. 铭牌数据及主要系列

铭牌数据主要包括：电机型号、电机额定功率、额定电压、额定电流、额定转速和励磁电流及励磁方式等，此外还有电动机的出厂数据、出厂编号、出厂日期等。



额定功率：是指额定条件下电机所能供给的功率。

额定电压：是指在额定工况条件下，电机出线端的平均电压。

额定电流：是指电机在额定电压情况下，运行于额定功率，此时的电 流值为电机的额定电流。

额定转速：是指对应于额定电压、额定电流，电机运行于额定功率时所对应的转速。

额定励磁电流：是指对应于额定电压、额定电流、额定转速及额定功率时的励磁电流。

直流电动机的铭牌数据

型号	Z2-62	励磁方式	并励
功率	22kW	励磁电压	220V
电压	220V	励磁电流	2.06A
电流	116A	定额	连续
转速	1600r/min	温升	80℃
出品号数	××××	出厂日期	××××年× 月
×××× 电机厂			

三、直流电机的电枢电势与电磁转矩

直流电机的电枢，就是指电刷间的电势，可用下式表示：

$$E = C_e \Phi n$$

式中， E ——电枢电势（V）；

C_e ——电势常数，取决于电机结构；

Φ ——每个磁极的磁通（Wb）；

n ——电枢转速（r/min）。

在直流电机中当电枢绕组内有电流通过时，此电流将与磁场相互作用，使电枢上每根导体受到电磁力 F 的作用，此电磁力 F 在电机转轴上产生电磁转矩。

直流电机的电磁转矩可用下式表示：

$$T = C_T \Phi I_a$$

式中， T ——电磁转矩（ $N \cdot m$ ）；

Φ ——每个磁极的磁通（ Wb ）；

I_a ——电枢电流（ A ）；

C_T ——转矩常数，取决于电机结构。

四、串励直流电动机的运行

串励直流电动机的接线图如图4.15所示，其特点是励磁绕组与电枢绕组串联，励磁电流 I_f 等于电枢电流 I_a ，主磁通是电枢电流 I_a 的函数。则有

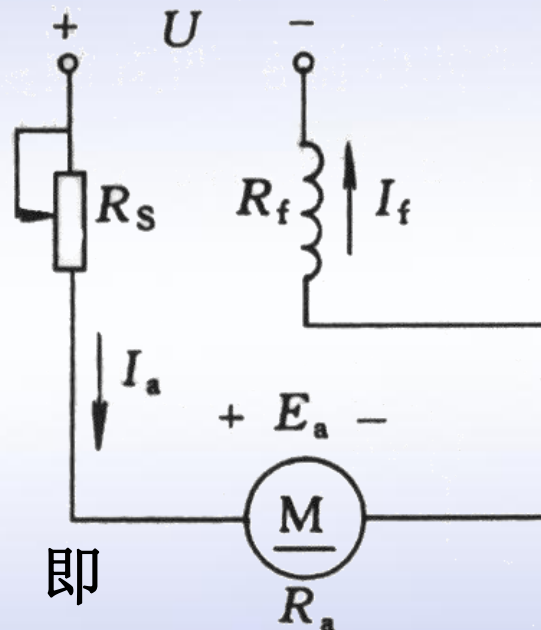
$$I_f = I_a$$

$$U = E + I_a R$$

$$R = R_a + R_f + R_{st}$$

当 I_a 较小时，磁路未饱和时， Φ 与 I_a 成正比，即

$$\Phi = kI_a$$



1、串励直流电动机的机械特性

直流电动机机械特性一般表达式为

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R}{C_e C_T \Phi^2} T$$

在磁路不饱和时串励电动机的机械特性为

$$n = \frac{\sqrt{C_T k}}{C_e k} \frac{U}{\sqrt{T}} - \frac{R}{C_e K}$$

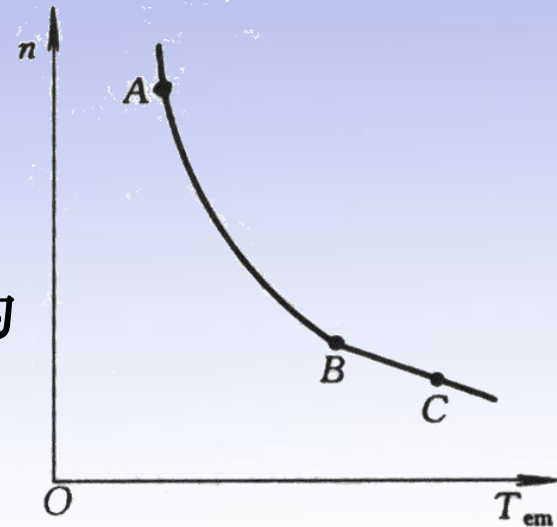


图 串励电动机的固有特性

当磁路不饱和时，串励电动机的转速 n 与 $\sqrt{T}$ 成反比，其机械特性为

非线性软特性，如图中曲线 AB 段。

当 I_a 较大，磁路饱和时， Φ 基本保持不变，这时串励电动机的机械特性

与他励电动机的机械特性相似，变为较硬的直线特性，如图中曲线 BC 段。

(1) 电枢串电阻时的人为特性

串入电阻后，转速降增大，所以电枢串电阻的人为特性位于固有特性的下方，且特性变得更软。从电路上分析，在 T （ I_a ）相同时，串入电阻后，电阻压降增大，因为电源电压不变，所以电枢反电动势减小，转速必然减小。

(2) 降低电压时的人为特性

降低电压时，理想空载转速降低，其人为特性向下平移。从电路上分析，电压下降后，电枢反电动势随之减小，转速也必然减小，所以降压的人为特性于固有特性的下方。

(3) 改变磁通时的人为特性

串励电动机改变磁通的方法之一是在励磁绕组上并联一个分流电阻 R_{pf} 。

2、串励电动机的起动、反转与调速

(1) 起动与反转

采用电枢串电阻起动和降低电源电压起动。

改变电枢或励磁绕组的接线极性可使其反转，反转时机械特性与正转时相同，但位于第三象限。

(2) 调速

①电枢电阻调速

②降压调速

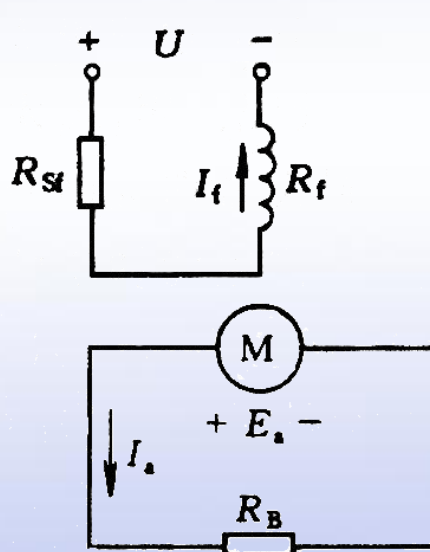
③弱磁调速

3、串励电动机的制动

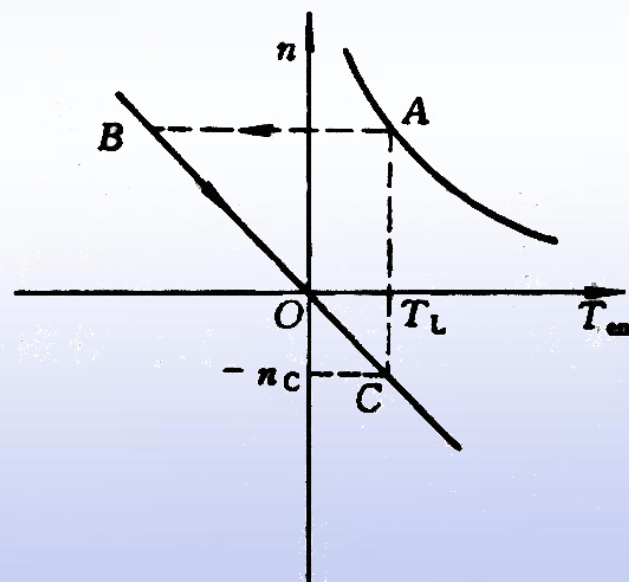
(1) 能耗制动

串励电动机的能耗制动分为他励式和自励式两种。

他励式能耗制动时，是把励磁绕组由串励形式改接成他励形式，即把励磁绕组单独接到电源上，电枢绕组外接制动电阻 R_B 后形成闭路，如图所示。

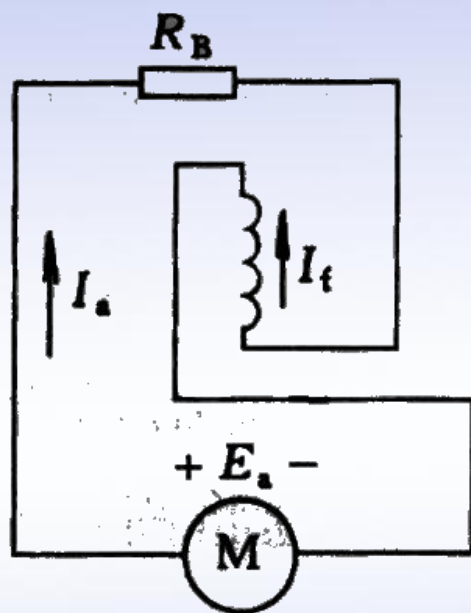


(a) 接线图

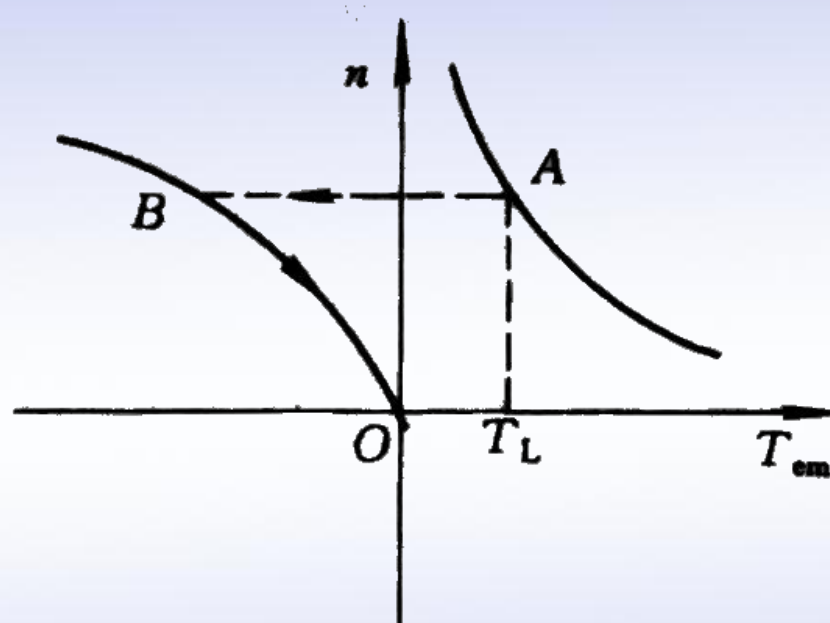


(b) 机械特性

自励式能耗制动时，电枢回路脱离电源后，通过制动电阻形成闭路，但为了实现制动，必须同时改接串励绕组，以保证励磁电流的方向不变，如图所示。



(a) 接线图



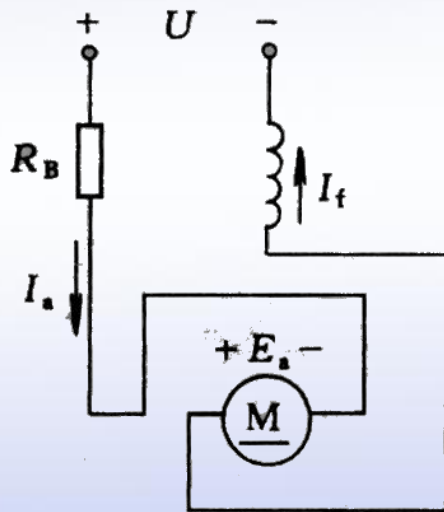
(b) 机械特性

由于这种制动方式不需要电源，因此主要用于事故停车。

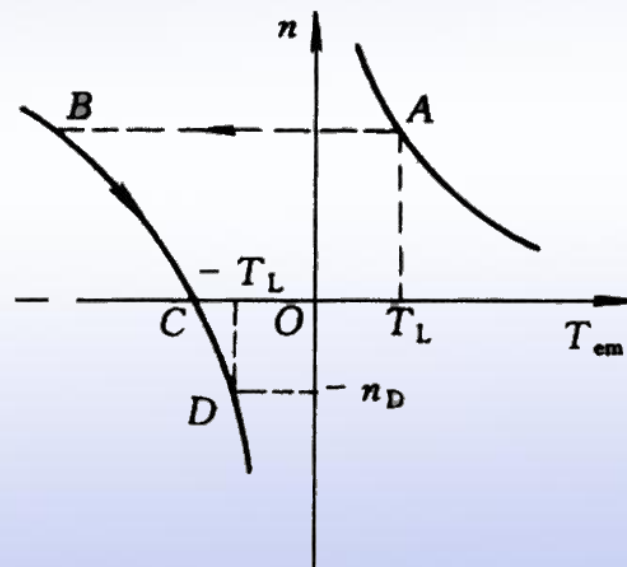
(2) 反接制动

串励电动机的反接制动也有电压反接制动和倒拉反接制动两种。

串励电动机进行电压反接制动时，并不是将电源反接，因为这样将会造成 I_a 和 I_f 同时改变方向，电磁转矩方向不变，起不到制动作用。因此，只能将电枢两端反接，而励磁绕组的接法不变，如图(a)所示。其机械特性如图(b)中曲线BC所示。

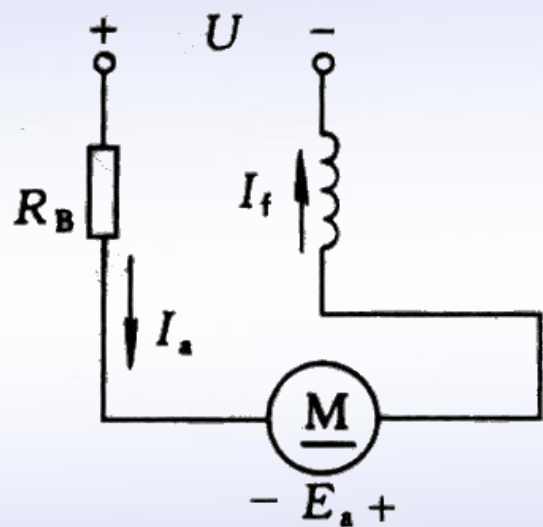


(a) 接线图

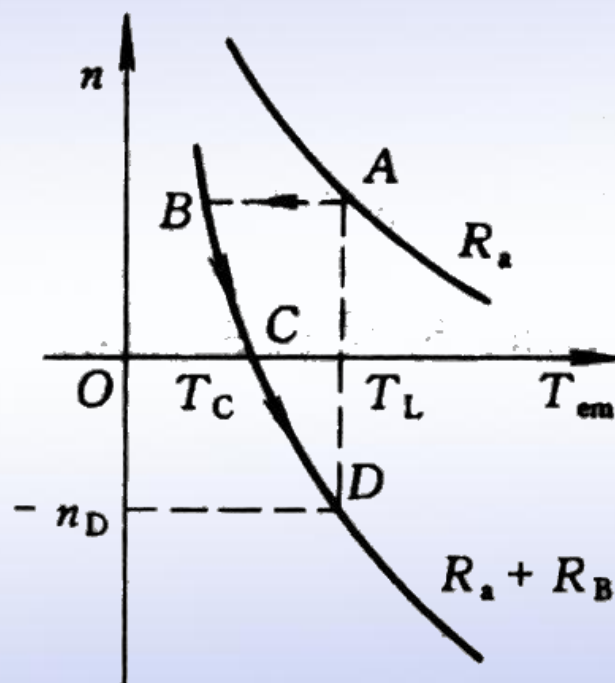


(b) 机械特性

串励电动机倒拉反转反接制动只适用于位能性负载。方法是保持电压极性不变，电枢回路串入一个较大的电阻 R_B ，使电动机倒拉反转，其接线图和机械特性如图所示。



(a) 接线图

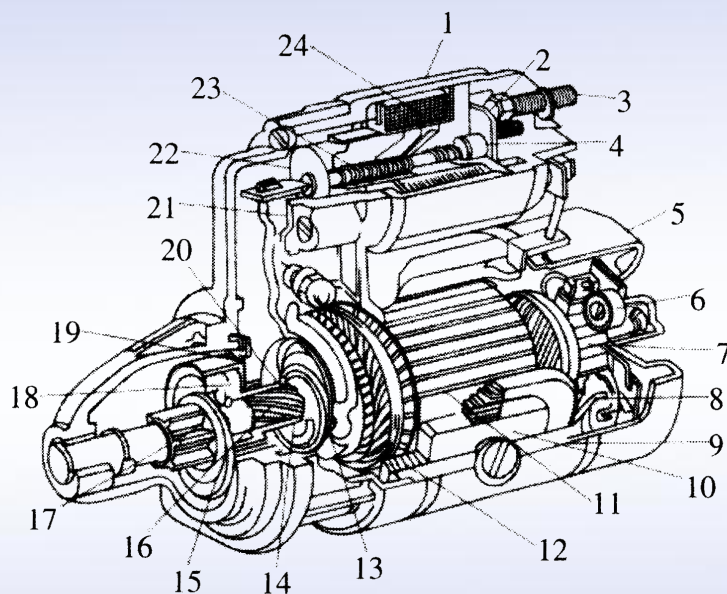


(b) 机械特性

五、汽车用起动机

1.基本结构

汽车用起动机一般由直流电动机、单向传动机构和电磁操纵机构三大部分组成。起动机的总成如图4.24所示。



- 1—电磁开关；2—触点；3—蓄电池接线柱；4—动触点；5—前端盖；6—电刷弹簧；7—换向器；
8—电刷；9—机壳；10—磁极；11—电枢；12—磁场绕组；13—导向环；14—止推环；
15—单向离合器；16—电枢轴；17—驱动齿轮；18—传动机构；19—制动盘；20—啮合弹簧；
21—拨叉；22—活动铁芯；23—复位弹簧；24—电磁开关

(1) 直流电动机

直流电动机的作用是将蓄电池输入的电能转换为机械能，产生电磁转矩。依据磁场绕组和电枢绕组连接方式的不同，起动用直流电动机可分为并励、串励、复励三种形式。

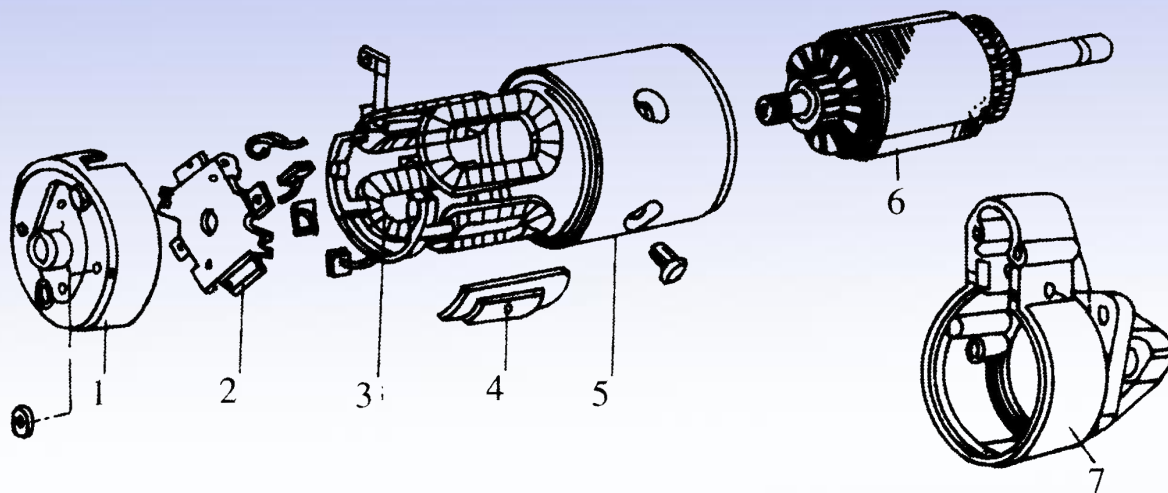
(2) 单向传动机构

单向传动机构的作用是在发动机起动时，使起动机的驱动齿轮与飞轮齿圈啮合，将电动机的转矩传给发动机飞轮；在发动机起动后，使起动机与飞轮自动脱离。

(3) 操纵机构

操纵机构的作用是接通或切断起动机与蓄电池之间的主电路。

汽车用起动机直流电动机的结构如图4.25所示，主要由机壳、磁极、电枢、换向器和电刷组件等部件组成。

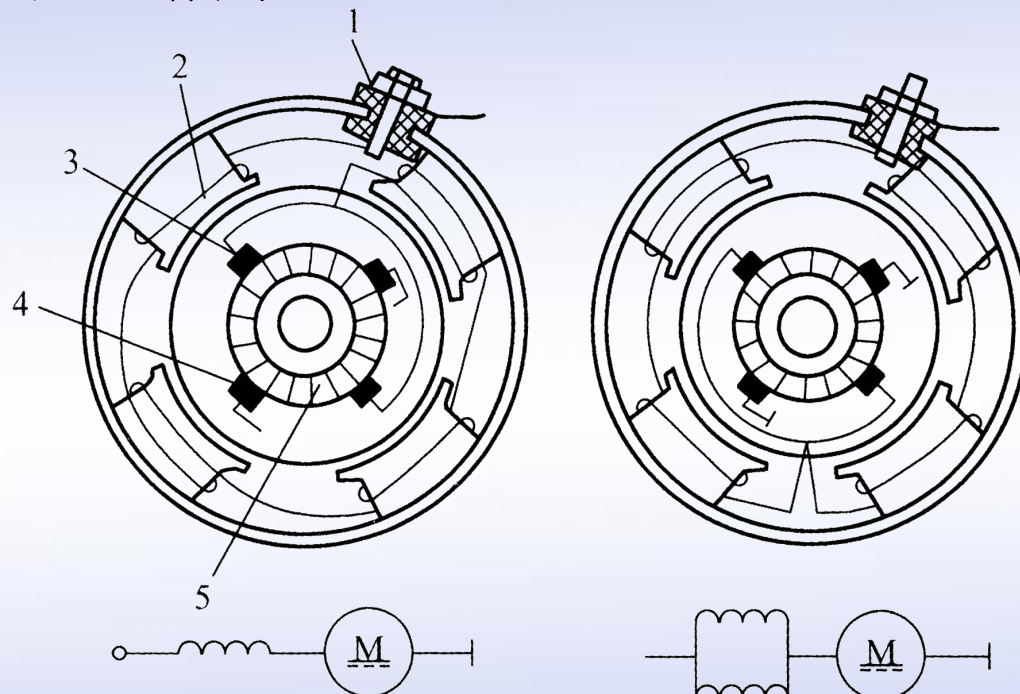


1—前端盖；2—电刷和电刷架；3—磁场绕组；4—磁极铁芯；5—机壳；6—电枢；7—后端盖

图4.25 直流电动机的结构

2. 励磁绕组连接

一般汽车用起动机电动机有4个励磁绕组。励磁绕组有两种连接方式：一种是四个绕组与电枢绕组串联，另一种是两个绕组先串联后再并联复式接法，然后与电枢绕组串联。连接方式如图4.26所示。



1—绝缘接线柱 2—磁场绕组 3—正电刷 4—负电刷 5—换向器

(a) 四个绕组相互串联 (b) 两个绕组先串联后并联

图4.26 励磁绕组的接法

复式接法可以在绕组导体截面相同的情况下增大起动电流，从而提高起动转矩。励磁绕组一端接在外壳的绝缘接线柱上，另一端与两个非搭铁电刷相连，如图4.27所示。

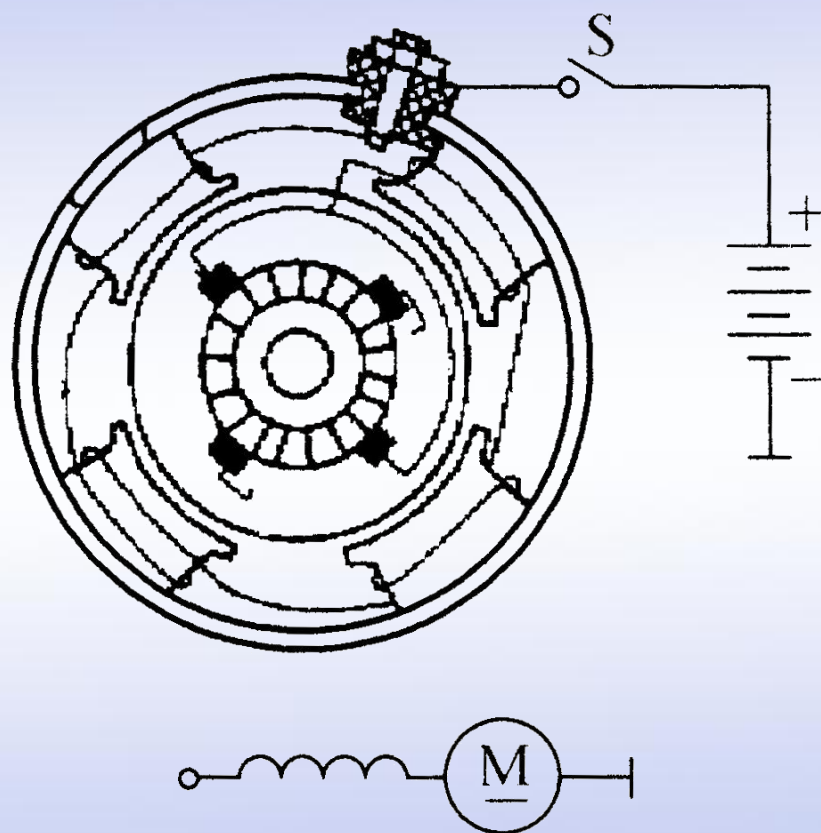


图4.27 外壳的绝缘接线柱

3.起动机分类

(1) 按控制方法的不同可分为机械控制式和电磁控制式。

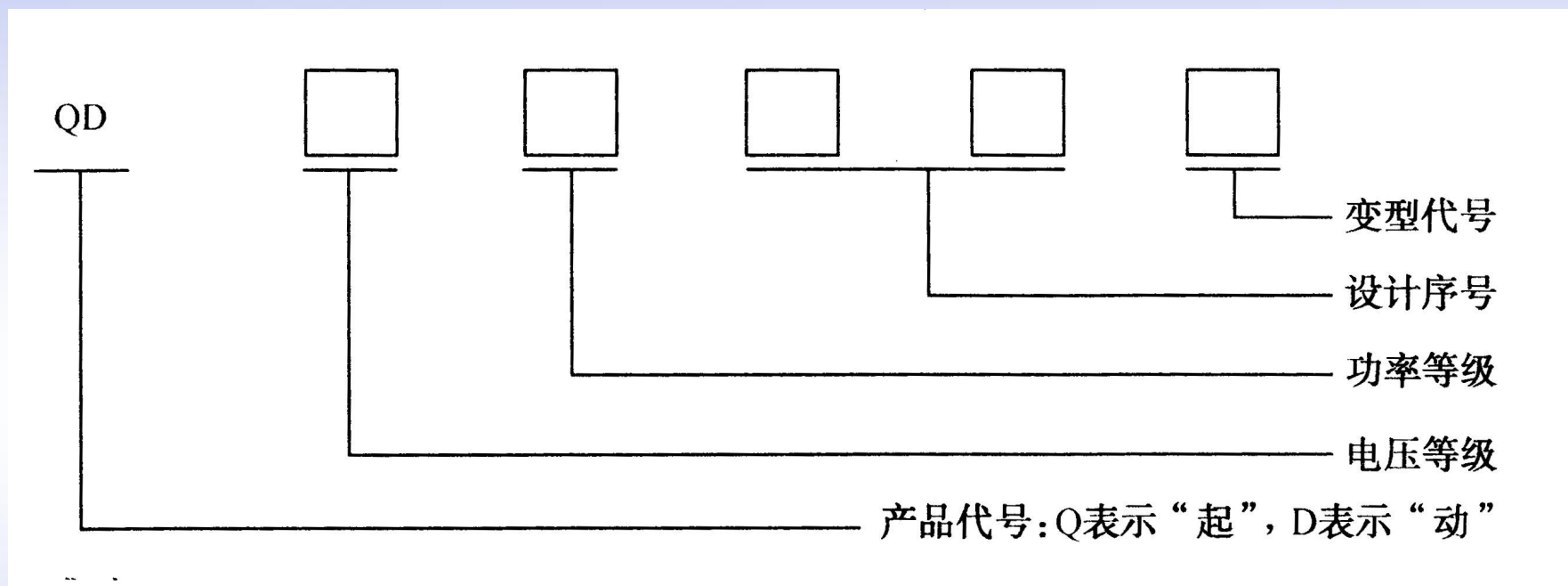
现代汽车大多采用电磁控制式这种方式，借按钮或钥匙控制电磁铁，再由电磁铁控制主电路开关，以接通或切断主电路。由于装有电磁铁，可进行远距离控制，操作省力。

(2) 按传动机构啮入方式的不同可分为惯性啮合式；强制啮合式；电枢移动式；齿轮移动式；同轴式起动机。

除上述以外，还有磁极为永久磁铁的永磁式起动机及内装减速齿轮的减速起动机等。

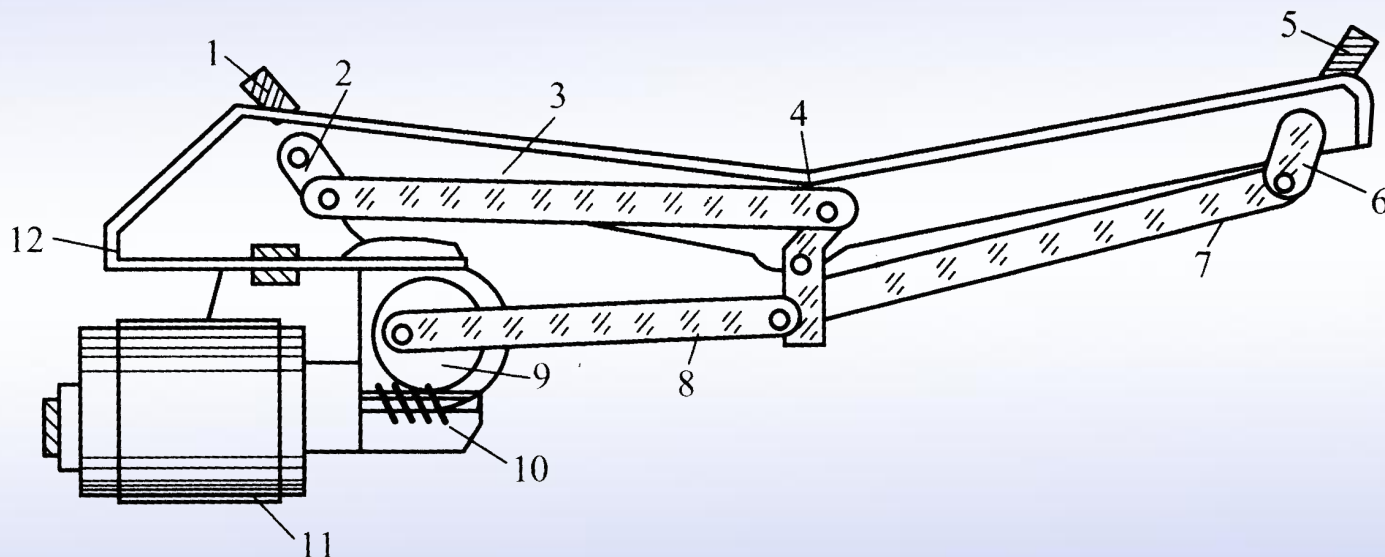
4. 起动机的型号

根据QC/T 73—93《汽车电气设备产品型号编制方法》的规定，起动机的型号如下：



六、永磁电动机在汽车中的应用

刮水器是专门用来清除汽车风窗玻璃上的雨水、雪或灰尘的部件。根据其驱动方式的不分为电动式、真空式和气动式三种。目前使用最广泛的是电动刮水器。电动刮水器主要由直流电动机、减速机构、自动停位器、刮水器开关和联动机构及刮片组成，如图4.28所示。



1、5—刷架 2、4、6—摆杆 3、7、8—拉杆 9—蜗轮 10—蜗杆 11—电动机 12—底板

图4.28 电动刮水器

1. 永磁式电动刮水器电路

由于永磁电动机的磁极是铁氧体永久磁铁，其磁场强弱是不能改变的，为了得到两种转速，汽车上常采用三刷式（即三个电刷）电动机。永磁电动机双速刮水器工作原理如图4.30所示，图中 B_3 为高、低速公用电刷， B_1 为低速电刷， B_2 为高速电刷， B_1 与 B_2 相差 60° ，用以改变两电刷间的导体数。

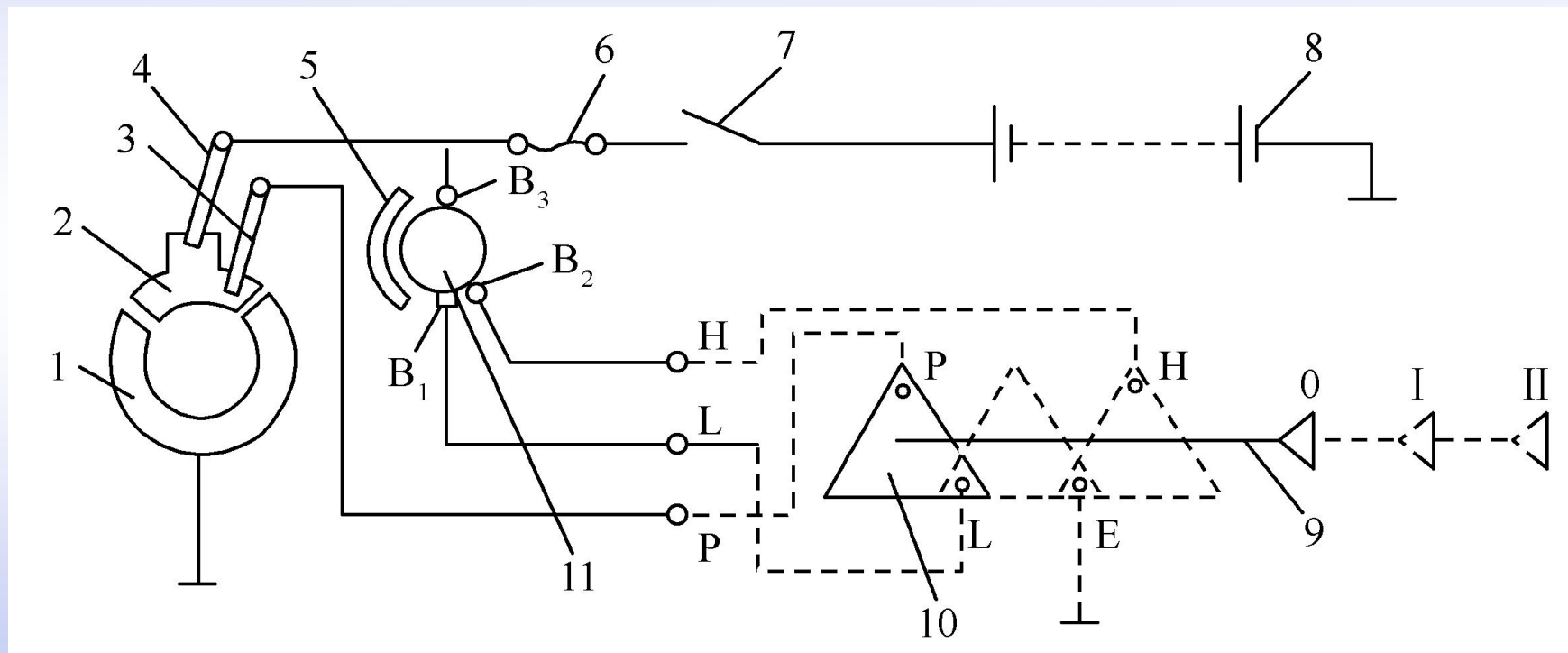
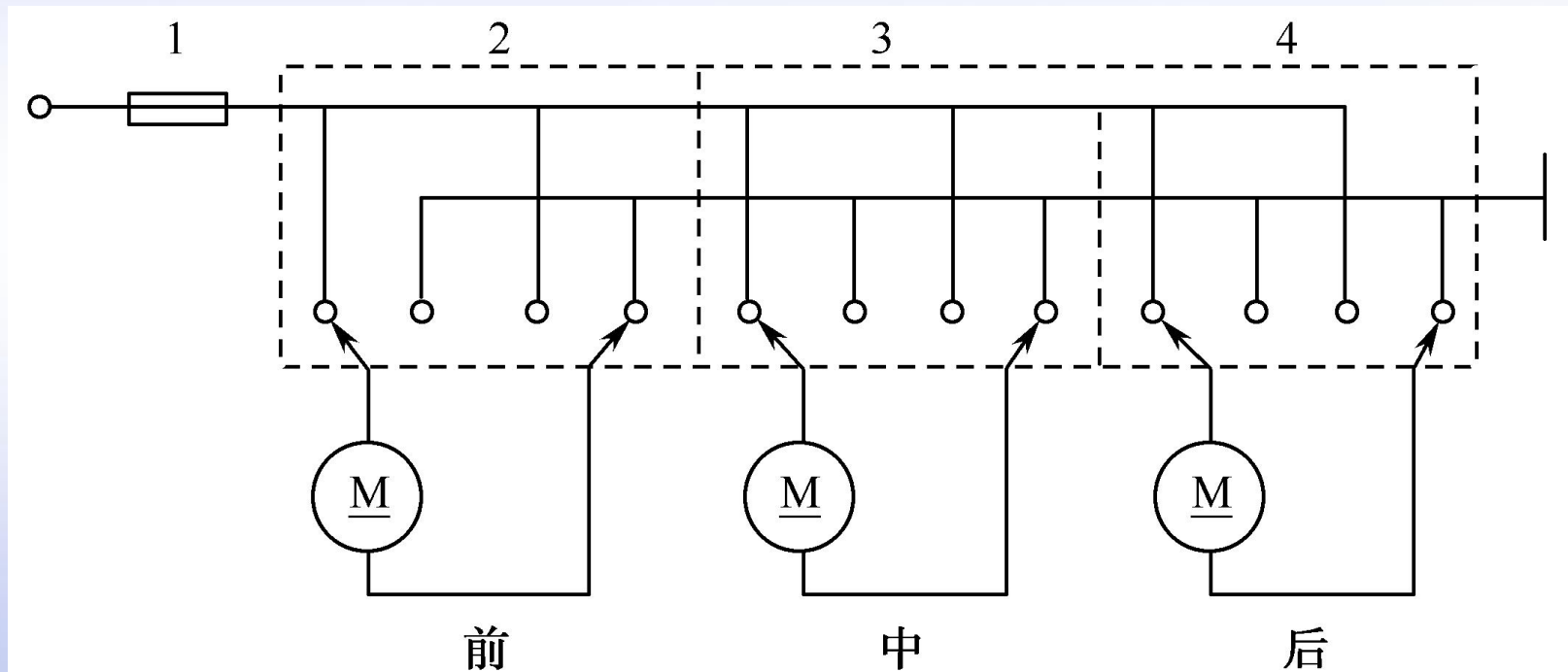


图4.30 永磁电动机双速刮水器工作原理

2. 电动座椅电路

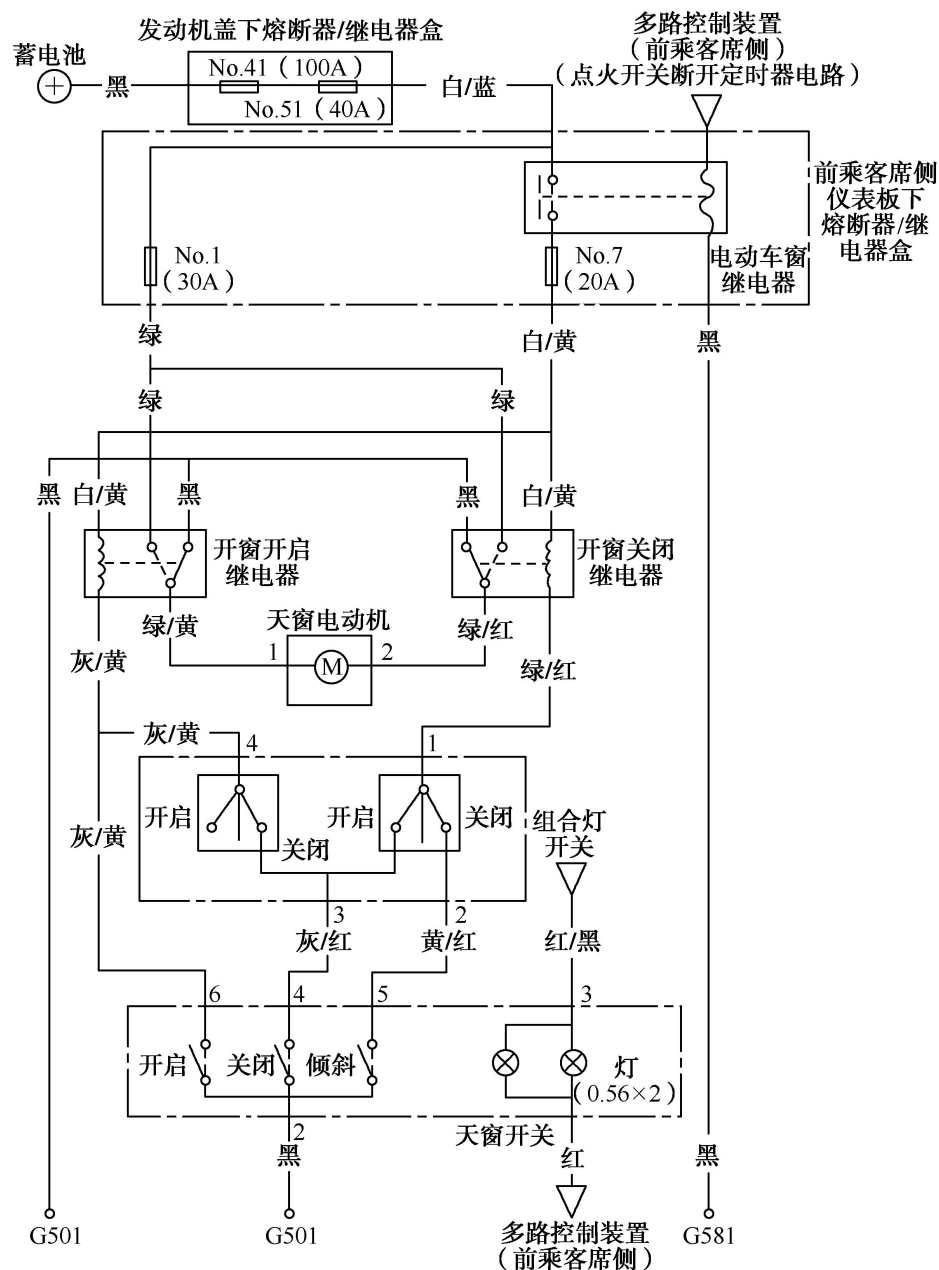
电动座椅由双向电动机、传动装置和座椅调节器等组成。传动装置包括变速器、联轴装置和电磁阀等。座椅调节器的主要部件是螺旋千斤顶和齿轮传动机构。传动装置与座椅调节器之间用软轴联接。

大多数电动座椅使用永磁式电动机，通过开关控制电流流向，可使电动机按不同方向旋转，如图4.31所示。



3. 电动天窗电路

在没有打开任何车门的情况下，将点火开关从打开位置旋至关闭位置时，电动天窗仍能工作**10min**，电动天窗电路如图4.32所示。



4. 电动门锁电动机

电动门锁是一个电气系统，具有锁门和开门功能，当钥匙开关转到锁止位置时，所有车门同时锁住，当钥匙开关转到开锁位置时，所有车门同时打开。因为一把钥匙可以控制全车的车门，因此也称为中央控制门锁系统。电动门锁系统的电动机一般采用双向永磁电动机，如图所示，利用门锁开关控制电动机的电流方向，使其连接杆做推拉动作，控制车门的锁止或打开。

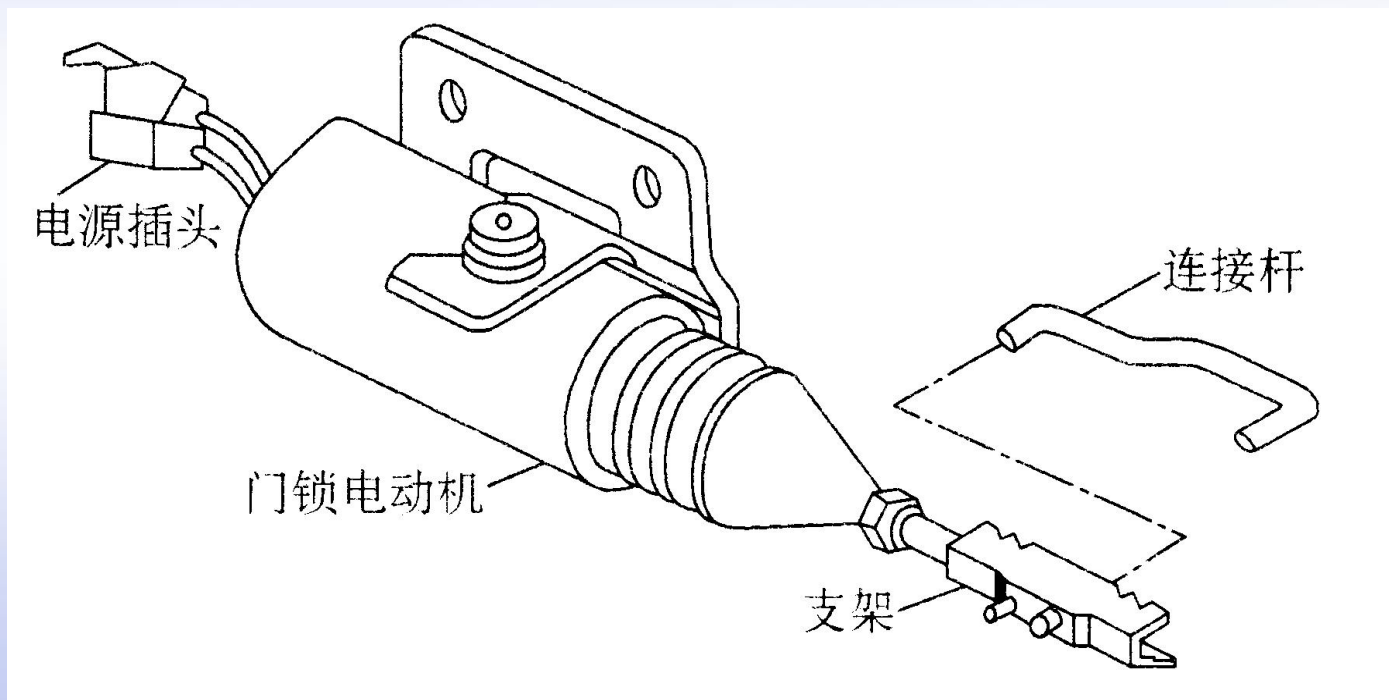
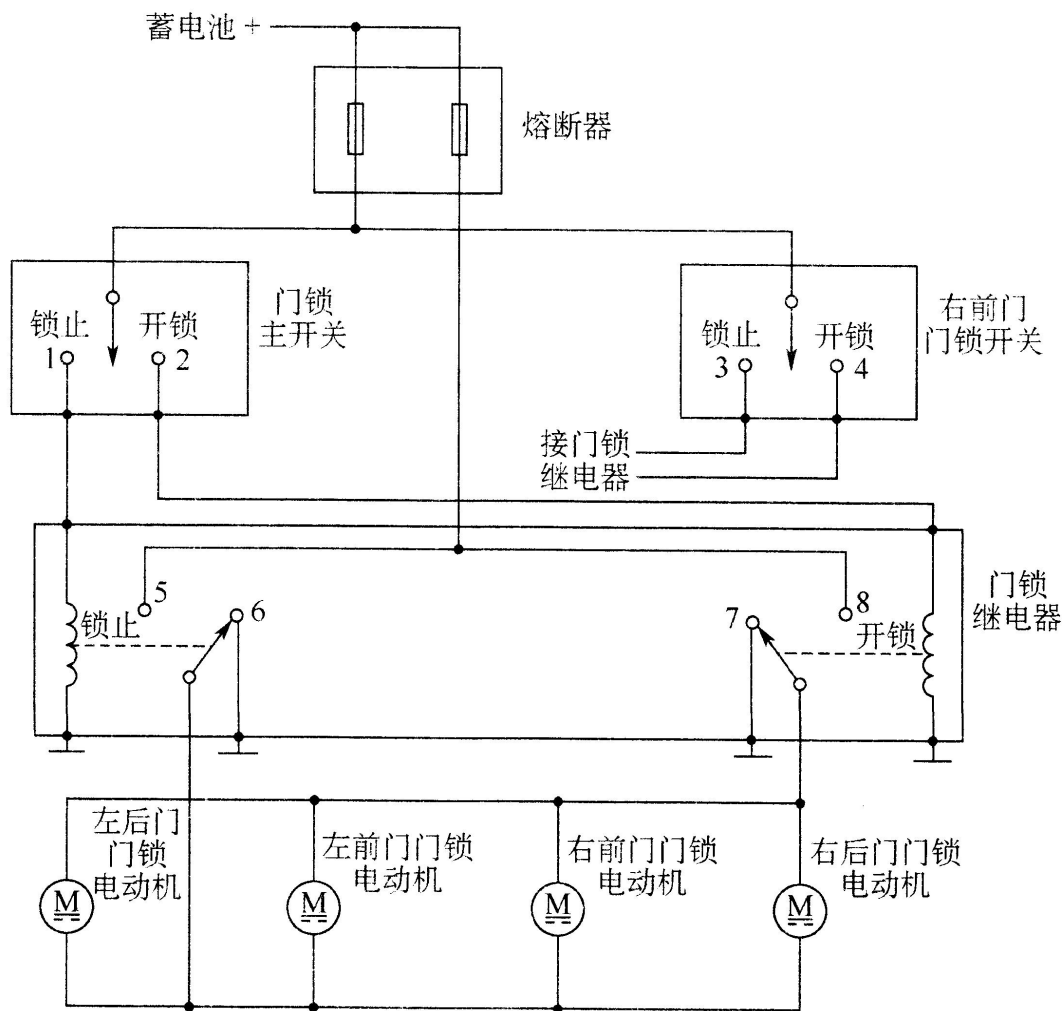


图4.34所示为美国福特公司采用的门锁控制电路，由门锁开关、继电器和永磁电动机等组成。

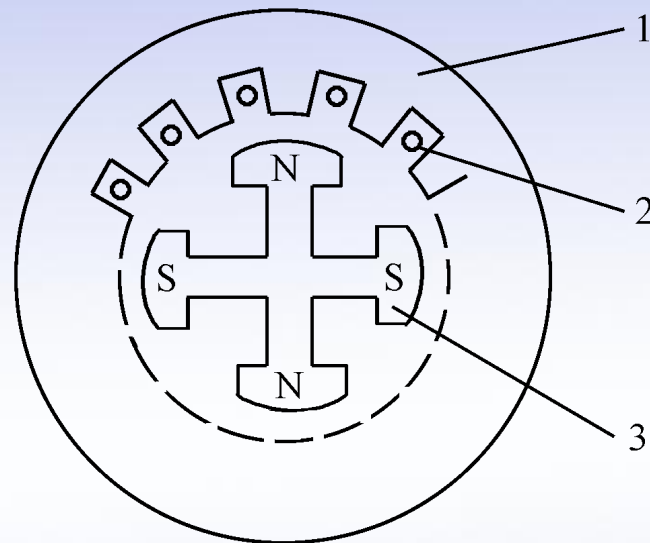


任务二 三相交流发电机

一、三相交流同步发电机的工作原理

同步发电机的工作原理：

定子结构与一般异步电机相似，铁心叠片开槽，并装上定子三相绕组。电机转子上装了磁极，每个磁极上均套上一个励磁线圈，并把它按一定规律连接起来，称为励磁绕组。励磁绕组通入直流电，产生磁场，当原动机拖动电机转子旋转时，磁场与定子绕组有相对运动，会在定子绕组中感应出交流电势，即定子三相绕组会产生三相交流电势。定子绕组里交流电势的频率 f 决定于电机的极对数 p 和转子速度 n ，即

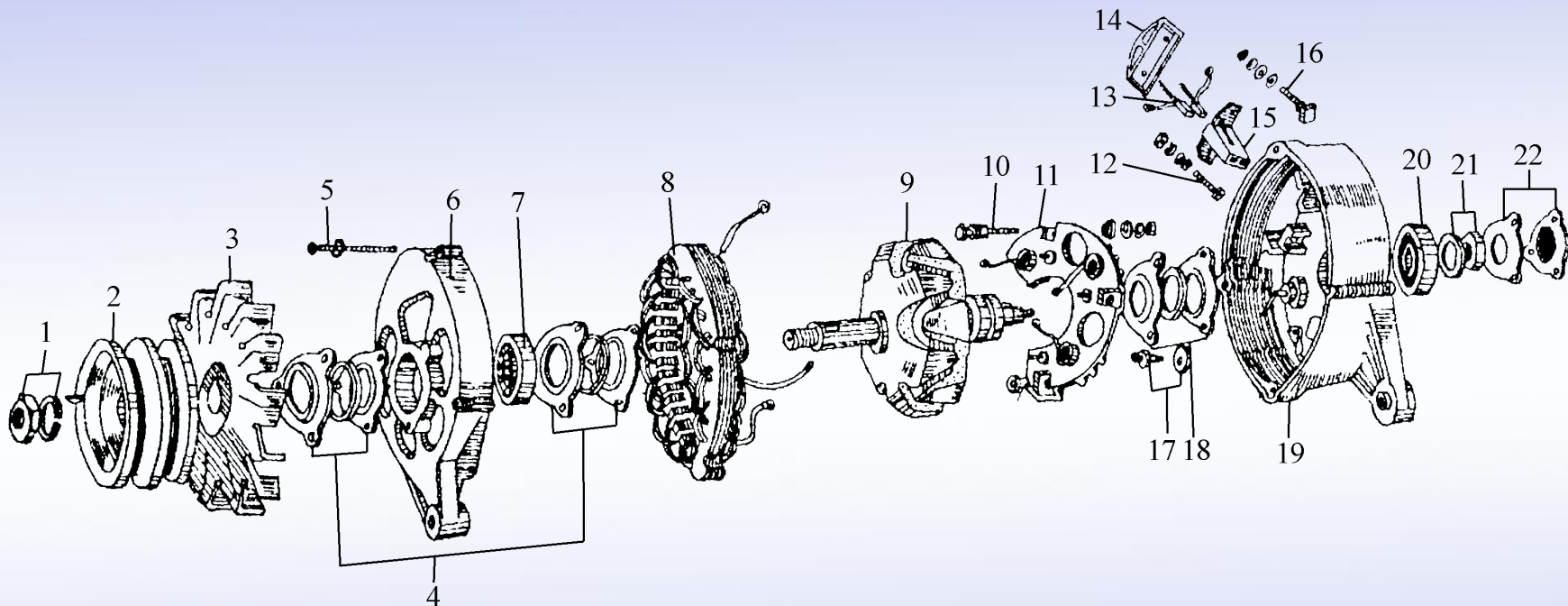


1—定子铁心；2—定子绕组；3—磁极

$$f = \frac{pn}{60}$$

二、三相交流同步发电机的结构

汽车用交流发电机是由一个三相同步交流发电机及硅二极管组成的整流器所组成，图所示为国产JF型系列硅整流发电机的结构图。

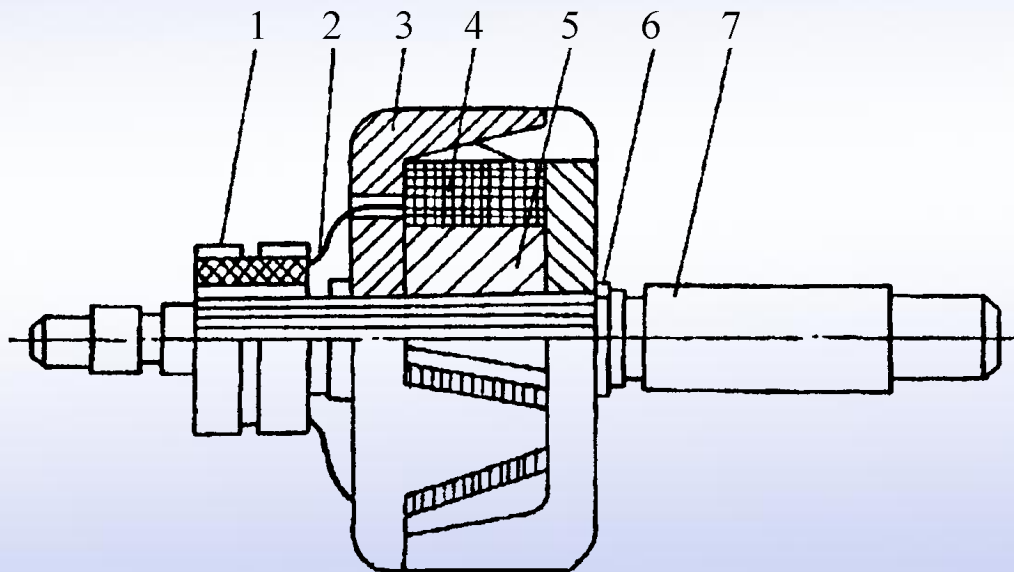


- 1—紧固螺母及弹簧垫圈；2—传动带轮；3—风扇；4—前功尽弃轴承油封及护圈；5—组装螺栓；6—前端盖；7—前轴承；
 8—定子；9—转子；10—“+”（电枢）接线柱；11—组件板；12—“-”（搭铁）接线柱；13—电刷及压簧；
 14—电刷盒外盖；15—电刷盒；16—“F”（磁场）接线柱；17—组件板固定螺栓；18—后端盖轴承油封及护圈；
 19—后端盖；20—后轴承；21—转轴固定螺母及弹簧垫圈；22—后轴承纸垫及护盖

1. 三相同步交流发电机

(1) 转子

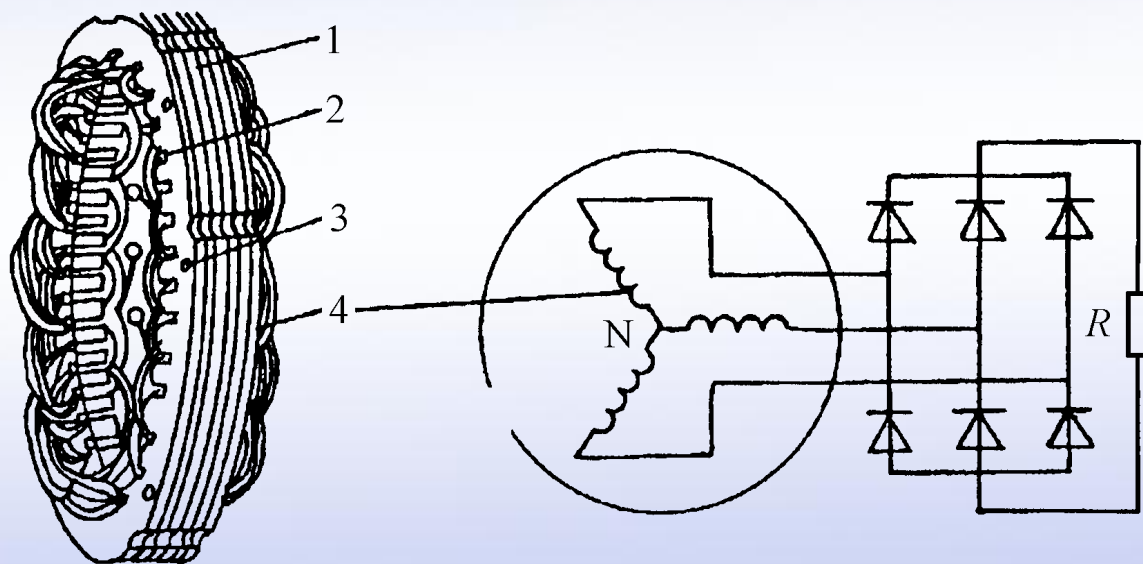
转子由转子轴、励磁绕组、两块爪形磁极、集电环等组成，如图所示，由低碳钢制成的两块六爪磁极压装在转子轴上，其空腔内装有励磁绕组，励磁绕组的二根引出线分别焊在与轴绝缘的两个压装在轴上的集电环上。



1—集电环；2—引线；3—爪形磁极；4—励磁绕组；
5—磁轭；6—定位圈；7—转子轴

(2) 定子

定子由定子铁心和定子绕组组成，定子铁心由相互绝缘的内圆带嵌线槽的圆环状硅钢片叠成，嵌线槽内嵌入三相对称的定子绕组。绕组的接法有星形、三角形两种方式，一般采用星形连接，即每相绕组的首端分别与整流器的硅二极管相接，每相绕组的尾端接在一起，形成中性点（N），图所示为定子绕组结构和星形连接图。



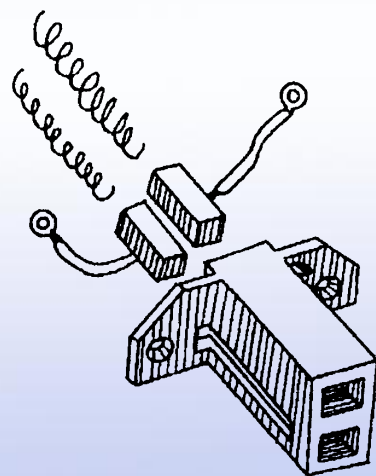
1—定子铁心；2—定子槽；3—铆钉；4—定子绕组；N—中性点

(3) 前后端盖

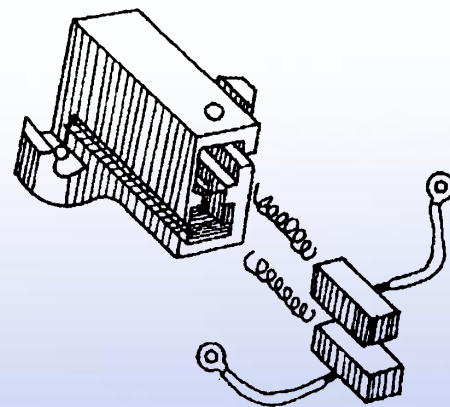
前后端盖用非导磁性材料铝合金制成，漏磁少，并具有轻便、散热性好等优点。在后端盖内装有电刷架和电刷。汽车上使用的交流发电机的前后端盖上通常设有通风口。

(4) 电刷与电刷架

两只电刷装在电刷架的方孔内，利用弹簧的压力使其与集电环保持良好的接触。电刷与电刷架的结构有外装式和内装式两种，其构造如图所示。



(a) 外装式



(b) 内装式

(5) 风扇

一般用**1.6mm**厚的钢板冲制或用铝合金压铸而成，并用半圆键装在前端盖外侧的转轴上。

(6) 传动带轮

通常用铸铁或铝合金制成，分单槽和双槽两种，利用风扇的半圆键装在风扇外侧的转轴上，再用弹簧垫片和螺母紧固。

2. 整流器

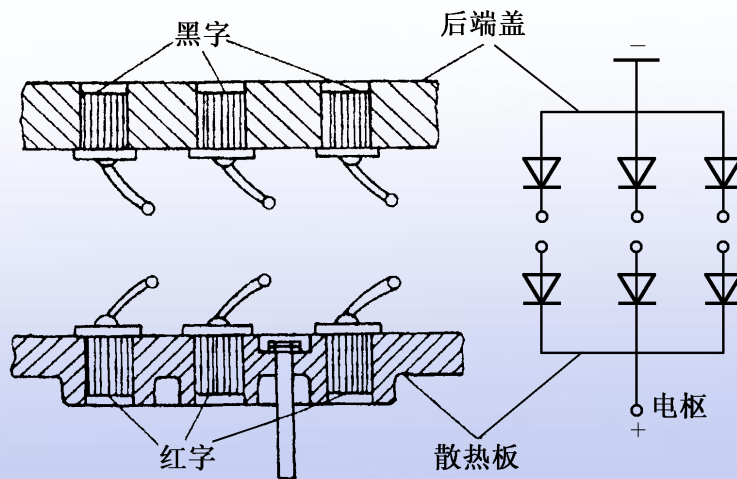
整流器的作用是把三相同步交流发电机产生的三相交流电变成直流电输出，它一般用**6**个硅二极管接成三相桥式全波整流电路。

(1) 正极管

正极管的中心引线为二极管的正极，外壳为负极，在管壳底上一般标有红色标记。

(2) 负极管

负极管的中心引线为二极管的负极，外壳为正极，管壳底部一般有黑色标记。



三、交流发电机的工作原理及特性

1.交流发电机的工作原理

(1) 三相交流电动势的产生

当外加直流电压作用在励磁绕组两端点的接线柱之间时，励磁绕组中便有电流通过，产生轴向磁场，两块爪形磁极被磁化，形成了6对相间排列的磁极。磁极的磁力线经过转子与定子之间的间隙、定子铁心形成闭合磁路。转子旋转时，励磁绕组所产生的磁场也随之转动，形成旋转磁场。固定不动的三相定子绕组在旋转磁场的作用下，产生三个频率相同、幅值相等、相位互差 120° 电角度的正弦电动势为：

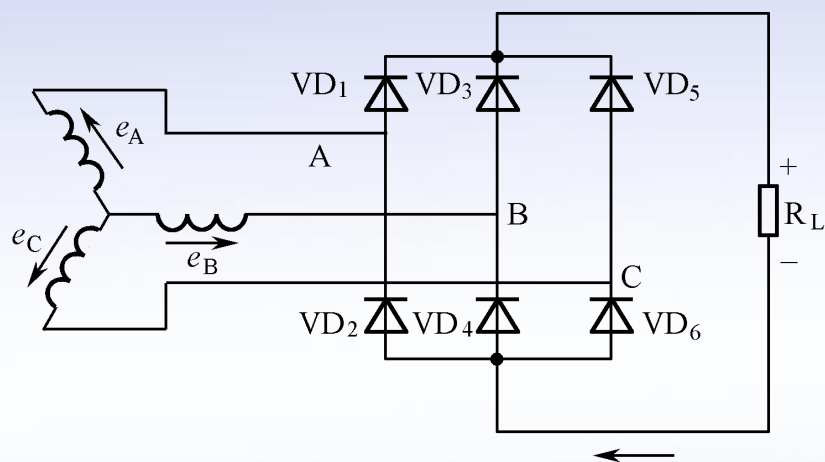
$$e_A = \sqrt{2}E_\Phi \sin \omega t$$

$$e_B = \sqrt{2}E_\Phi \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_C = \sqrt{2}E_\Phi \sin(\omega t - 240^\circ)$$

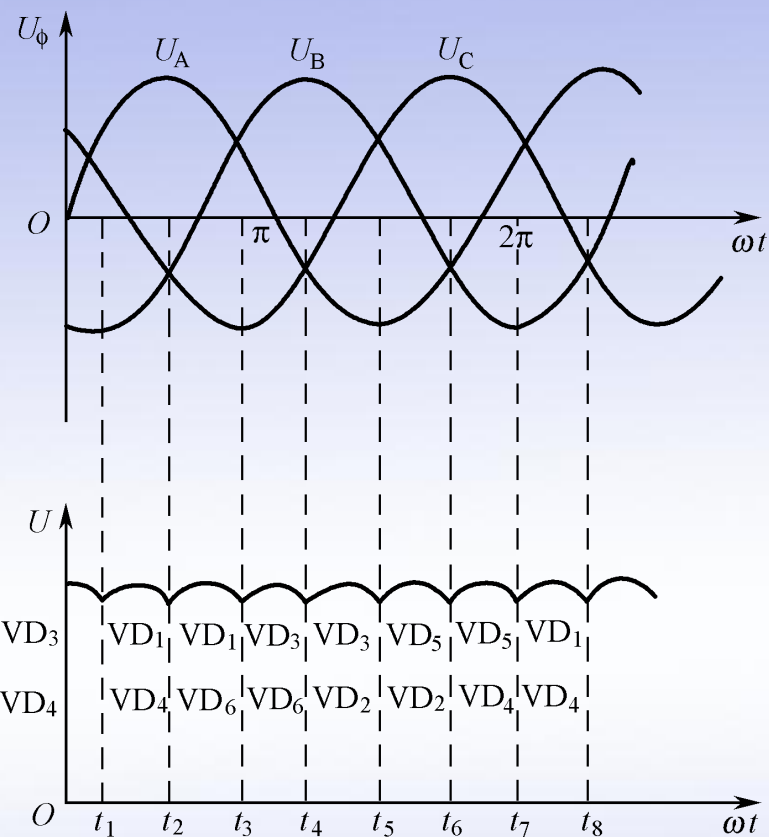
(2) 整流原理和过程

在交流发电机中，整流器是利用硅二极管的单相导电性能进行整流的。在图中所示的三相桥式全波整流电路中，**3**个正二极管的正极引出线分别同**3**相绕组的首端相连，在某一瞬间，只有与电位最高的一相绕组相连的正二极管导通。同样，**3**个负二极管的引出线也同三相绕组的首端相连，在同一瞬间，只有与电位最低的一相绕组相连的负二极管导通。这样反复循环，**6**只二极管轮流导通，在负载两端便得到一个较平稳的脉动的直流电压。



(a) 整流电路

(b) 三相交流电动势



(c) 整流后直流输出电压波形

图4.54 整流电路和电压波形图

(3) 交流发电机的励磁方式

交流发电机发电时，需由蓄电池供给励磁电流，此时为他励。当发电机电压达到蓄电池电压时，即由发电机自己供给励磁电流，也就是由他励转变为自励。

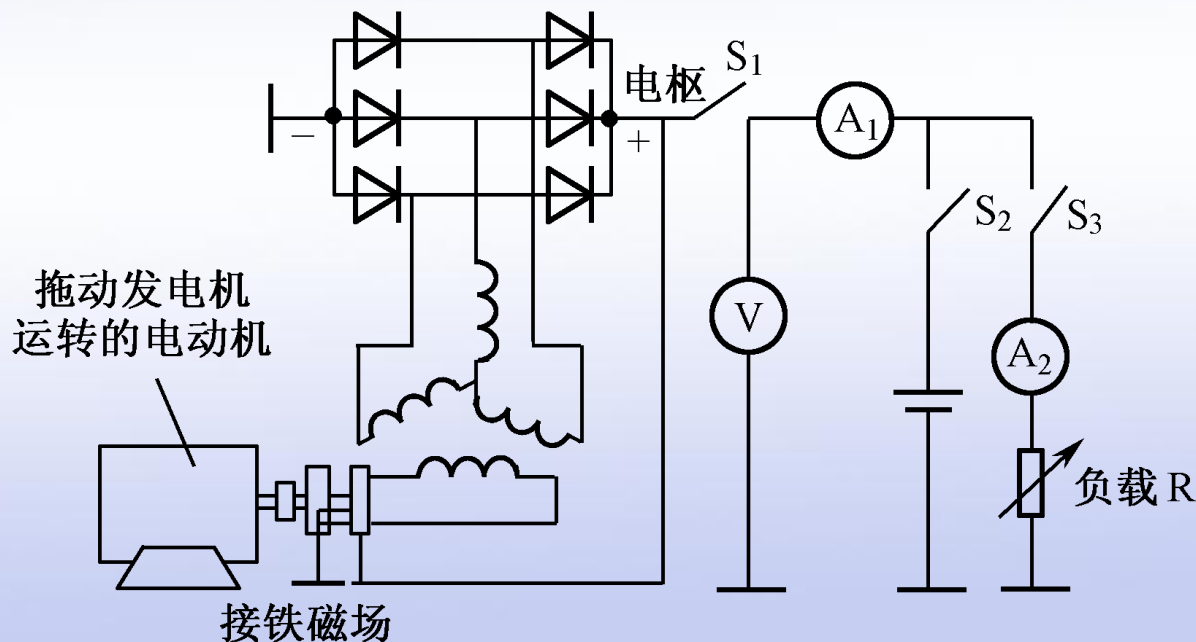
由于交流发电机转子的爪极剩磁较弱，所以发电机在低速运转时，加在硅二极管上的正向电阻较大，较弱的剩磁产生的很小的电动势很难克服二极管的正向电阻，致使发电机正向电压不能迅速建立起来，这样，发电机低速充电的要求就不能满足。因此，汽车上发电机必须与蓄电池并联，开始由蓄电池向励磁绕组供电，使发电机电压很快建立起来并转变为自励状态，蓄电池被充电的机会就多一些，有利于蓄电池的使用和维护。

2.交流发电机的工作特性

(1) 输出特性

交流发电机的输出特性又称负载特性或输出电流特性，是指发电机输出电压一定时（对于12V电系，规定为14V；对于24V电系，规定为28V），发电机的输出电流与转速之间的关系，即输出电压 U 为常数时的 I - n 曲线。

图所示的试验电路可用来测得交流发电机的输出特性。



交流发电机输出特性曲线 $I = f(n)$ 表明:

(1) 当发电机转速很低时, 发电机端电压低于额定电压, 发电机不能向外供电。当转速到达空载转速 n_1 时, 电压达到额定值; 当转速高于空载转速 n_1 时, 发电机才有能力在额定电压下向外供电。

(2) 转速超过 n_1 时, 发电机的输出电流 I 随着转速的升高, 随着电阻 R 的减小而升高。转速等于 n_2 时, 发电机输出额定功率。额定功率为额定电压与额定电流之积。

(3) 发电机转速达到一定值时, 其输出电流不再随转速的升高而升高, 也不再随负载电阻的减小而升高, 这时的电流值称为发电机的最大输出电流或限流值。

(2) 交流发电机自动限制电流的机理

① 定子绕组具有一定阻抗 Z ，对通过绕组的电流起阻碍作用。阻抗 Z 是由绕组的电阻 R 和感抗 X_L 组成的：

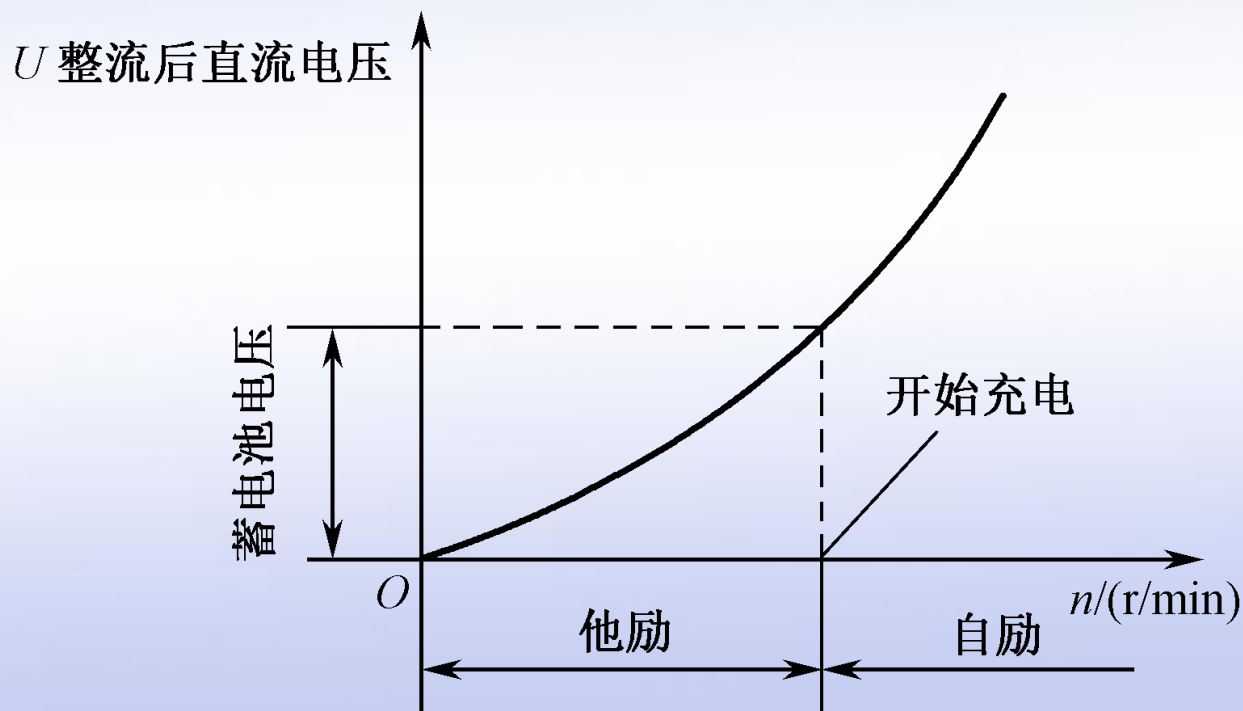
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

② 定子电流增加时，电枢反应也增强，感应电动势也会下降。发电机内部有两个磁场，磁极磁场和电枢磁场。电枢磁场对磁极磁场的影响称为电枢反应。在交流发电机中，爪极转子是旋转的磁极磁场。定子中的电流产生电枢磁场。

(3) 空载特性

发电机空载时，发电机端电压与转速的关系称为空载特性。即

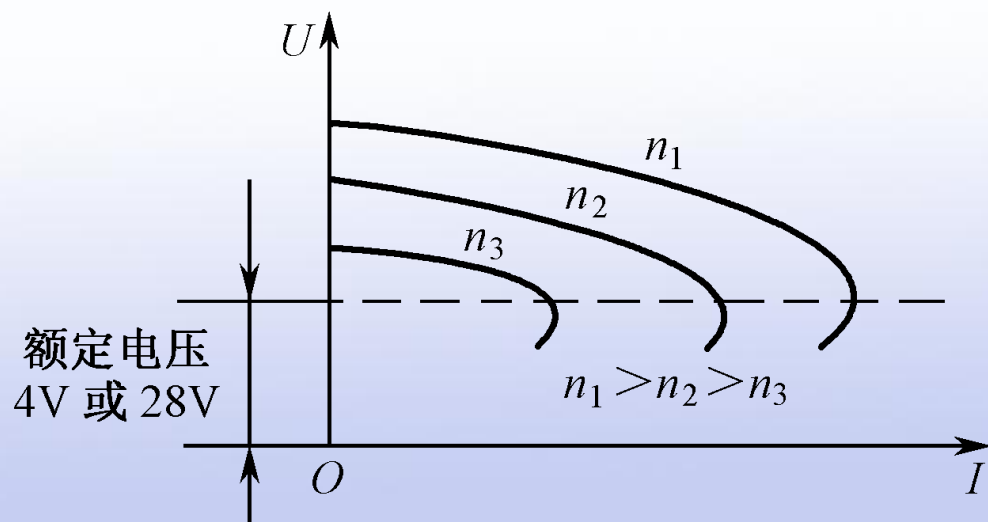
$I = 0$ 时， $U = f(n)$ 的函数关系，如图4.57所示。从曲线可以看出，随着转速的升高，端电压上升较快，由他励转入自励时，即能向蓄电池进行补充充电，进一步证实了低速充电性能好的优点。空载特性是判断硅整流发电机性能是否良好的重要依据。



(4) 外特性

转速一定时，发电机端电压与输出电流的关系称为外特性。

即 n 为常数时， $U = f(I)$ 的函数关系。经不同的恒定转速试验后，可得一组相似的外特性曲线族，如图4.58所示。从图中可看出发电机转速越高，端电压也越高，输出电流也越大。当保持任一转速时，端电压均随输出电流的增大而下降。由于端电压受转速和负载变化的影响，交流发电机必须配用电压调节器才能保持电压的恒定。否则，当发电机高速运转时，若突然失去负载，其电压会突然升高，可能击穿电子组件和烧毁用电设备。



四、交流发电机的型号

根据我国汽车行业推荐标准QC/T 73—1993《汽车电气设备产品型号编制方法》的规定，汽车交流发电机的型号由五部分组成：

- (1) 产品代号。由字母表示，有JF、JFZ、JFB、JEW 4种，分别表示普通交流发电机、整体式交流发电机、带泵交流发电机和无刷交流发电机。
- (2) 电压等级代号。用一位阿拉伯数字表示，1-12 V、2-24V、6-6V。
- (3) 电流等级代号。用一位阿拉伯数字表示。
- (4) 设计序号。用1~2位阿拉伯数字表示产品的顺序。
- (5) 变型代号。用字母表示，交流发电机是以调整臂位置作为变形代号，从驱动端看，Y—右边、Z—左边，无字母则表示在中间位置。

项目五 半导体器件在汽车中的应用

任务一 二极管应用电路

任务二 三极管放大电路及其应用

任务三 集成运算放大电路及其应用

任务四 正弦波振荡电路



项目五 半导体器件在汽车中的应用

学习目标：

- 1.掌握二极管各种应用电路；
- 2.熟悉晶体管三极管基本放大电路的组成、工作原理、性能指标的意义，掌握各类放大电路的特点及在汽车中的应用；
- 3.掌握集成运放工作在线性区及非线性区的特点，学会分析其线性和非线性应用电路，了解其在汽车电子电路中的应用；
- 4.知道正弦波振荡电路的振荡条件及电路组成，了解正弦波振荡器的应用。

能力目标：

- 1.能熟练对各元器件进行检测；
- 2.能识别并正确使用常见集成电路；
- 3.会分析常见模拟电子电路图；
- 4.能正确使用常用仪器仪表并进行测试。振荡器的应用。

一、二极管的结构

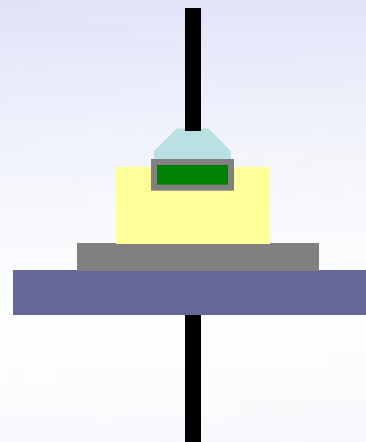
(a) 点接触型

结面积小、结电容小、正向电流小。用于检波和变频等高频电路。



(b) 面接触型

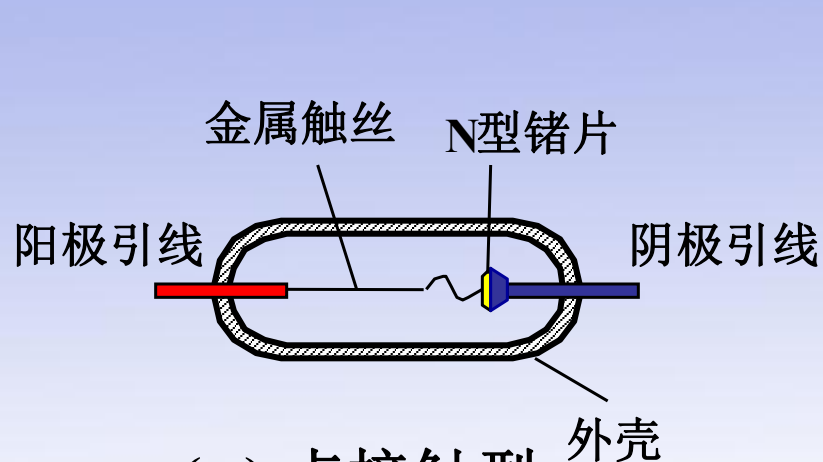
结面积大、正向电流大、结电容大，用于工频大电流整流电路。



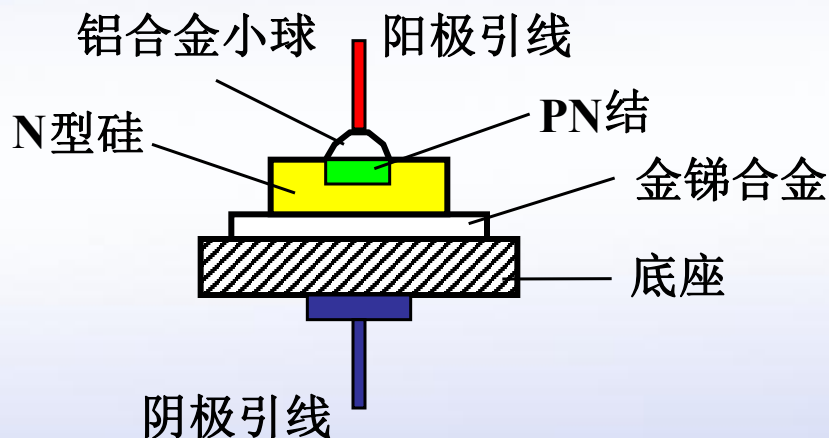
(c) 平面型

用于集成电路制作工艺中。PN结结面积可大可小，用于高频整流和开关电路中。

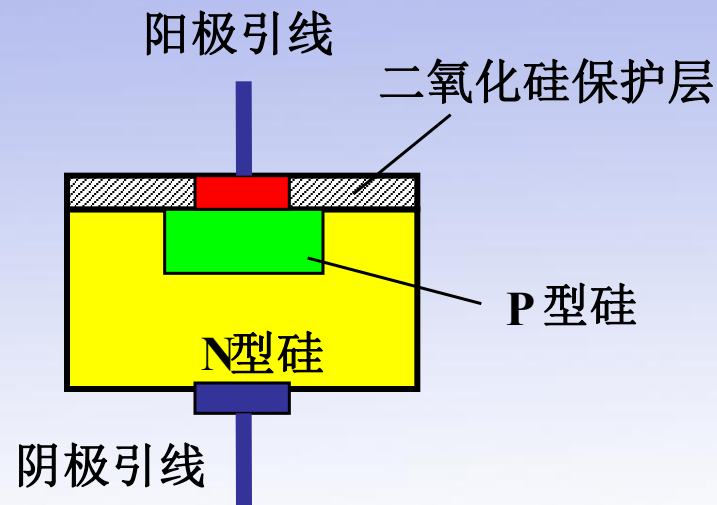
二极管的结构示意图



(a) 点接触型



(b) 面接触型



(c) 平面型

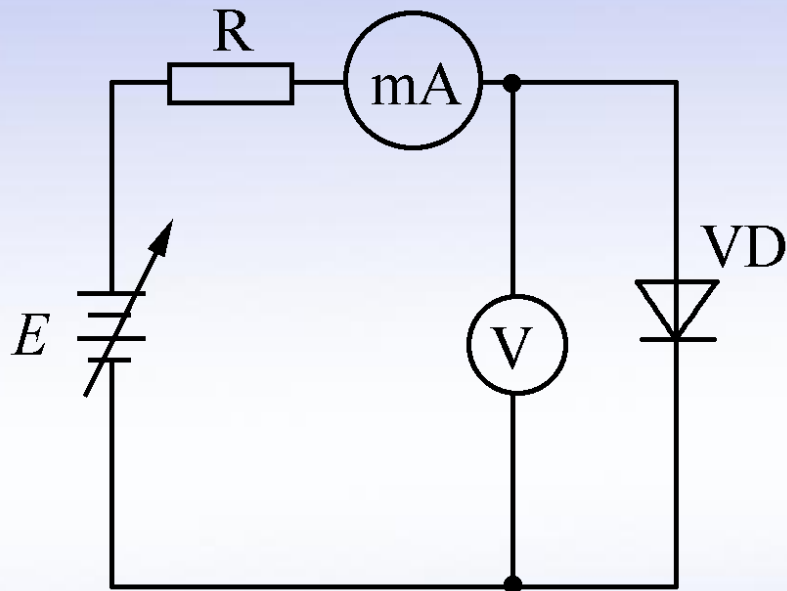


(d) 符号

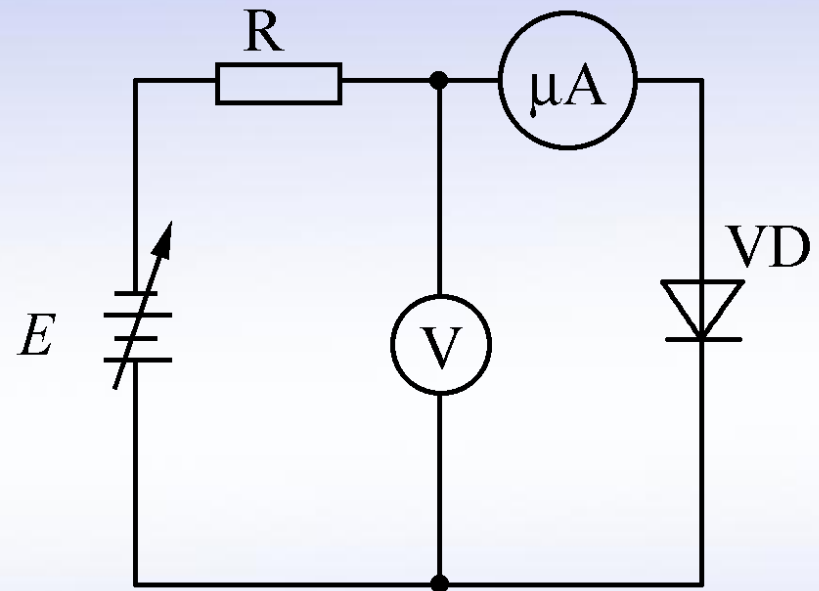
图 半导体二极管的结构和符号

2. 二极管的伏安特性

流过二极管的电流 I 与其端电压 U 的关系称为二极管的伏安特性曲线。测量伏安特性曲线的实验电路如图所示。



(a) 测正向电压

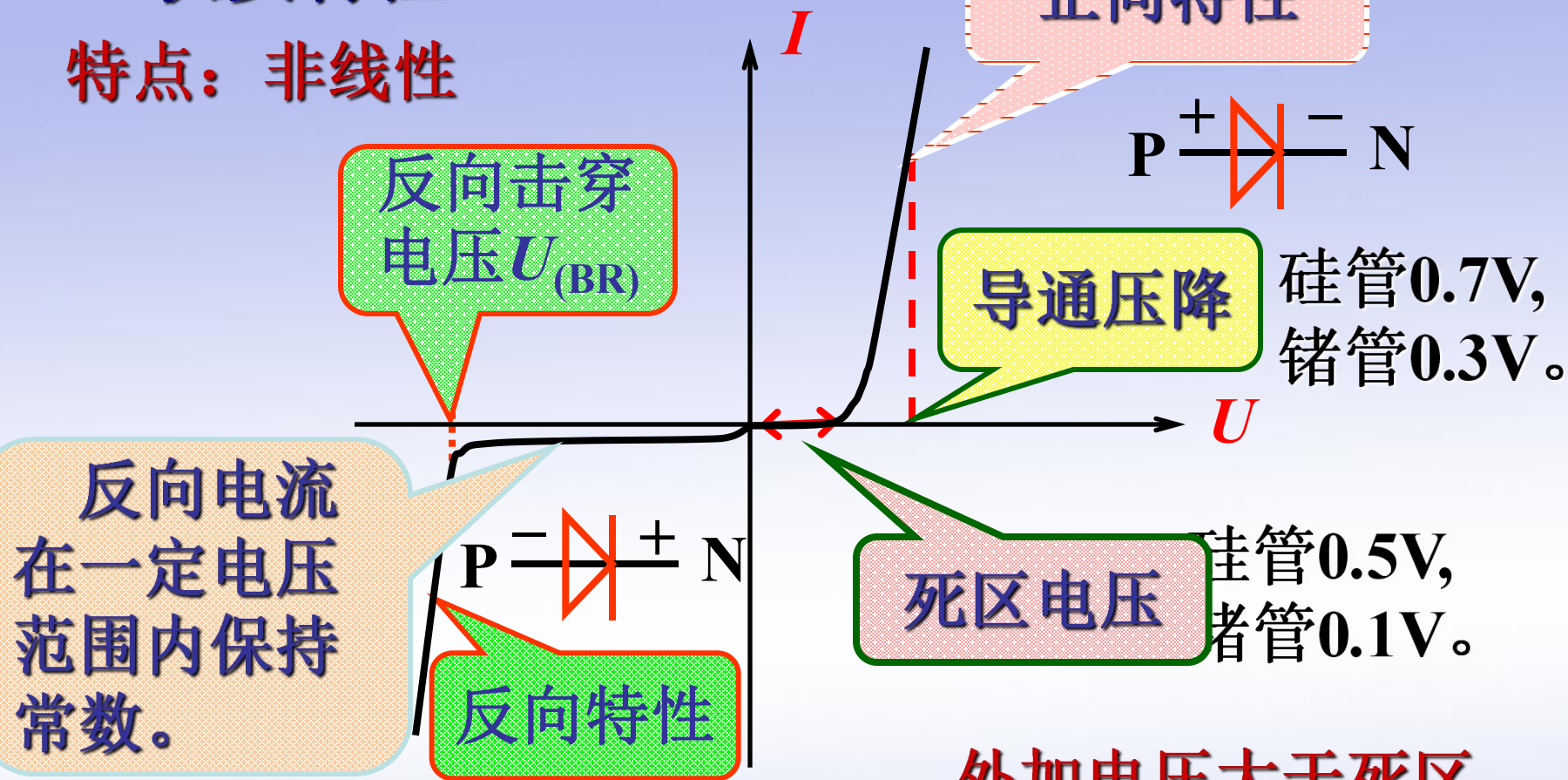


(b) 测反向电压

图 实验电路

2. 伏安特性

特点：非线性

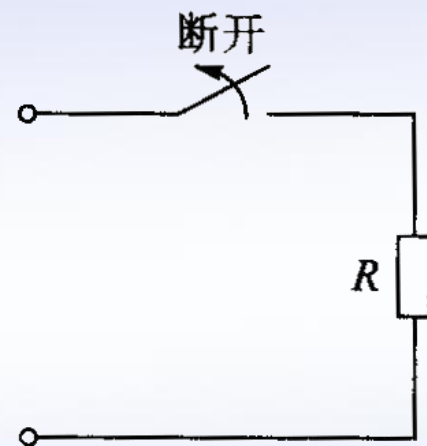
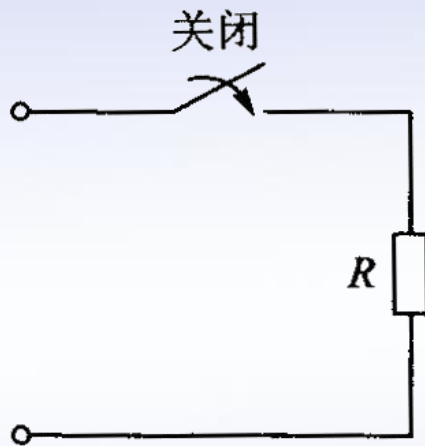
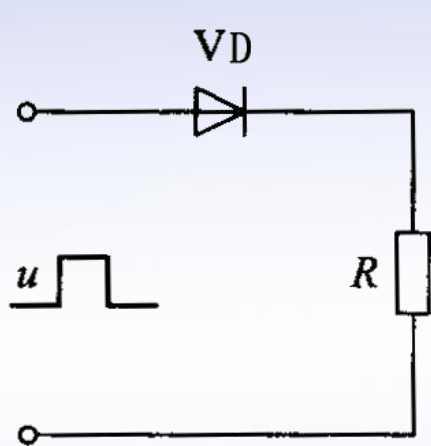


外加电压大于反向击穿电压二极管被击穿，失去单向导电性。

外加电压大于死区电压二极管才能导通。

3.二极管开关特性

图5.5 (a) 给出了二极管组成的开关电路图，图 (b) 为二极管导通状态下 ($U > 0$ 时) 的等效电路，图 (c) 为二极管在截止状态下 ($U < 0$ 时) 的等效电路，图中忽略了二极管的正向压降。



电路图

(b) 二极管导通时的等效电路

(c) 二极管截止时的等效电路

图5.5 二极管组成的开关电路图及其等效电路

4.二极管的主要参数

(1)最大整流电流 I_{DM}

指二极管长期运行时允许通过的最大正向平均电流。 I_{DM} 的数值由PN结的面积和散热条件决定，使用时二极管的平均电流不得超过此值，否则二极管会因过热而损坏。

(2)最高反向工作电压 U_{RM}

工作时加在二极管两端的反向电压不得超过此值，否则二极管可能会被击穿。为确保二极管正常工作，通常最高反向工作电压为反向击穿电压的一半。

(3)最大反向电流 I_{RM}

指最高反向工作电压下流过二极管的反向电流。通常希望 I_{RM} 值愈小愈好，因为反向电流愈小，说明二极管的单向导电性愈好。由于 I_{RM} 由少数载流子形成，因此 I_{RM} 受温度的影响很大。

(4)最高工作频率 f_M

该值主要决定于PN结结电容（二极管的电容效应）的大小。结电容的存在限制了二极管的工作频率，结电容愈大，则二极管允许的最高工作频率愈低。

5. 二极管的类型和命名

表5.1 二极管型号名称

第一部分 (数字)		第二部分 (汉语拼音字母)		第三部分 (汉语拼音字母)		第四部分 (数字)
电极数		材料和特性		二极管类型		同类二极管 序号
符号	含义	符号	含义	符号	含义	
2	二极 管	A	N型锗	P	普通管	性能参数有 差别
		B	P型锗	Z	整流管	
		C	N型硅	K	开关管	
		D	P型硅	W	稳压管	

二极管的单向导电性

1. 二极管加正向电压（正向偏置，阳极接正、阴极接负）时，二极管处于正向导通状态，二极管正向电阻较小，正向电流较大。

2. 二极管加反向电压（反向偏置，阳极接负、阴极接正）时，二极管处于反向截止状态，二极管反向电阻较大，反向电流很小。

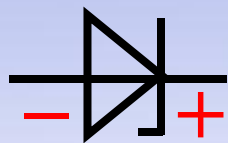
3. 外加电压大于反向击穿电压二极管被击穿，失去单向导电性。

4. 二极管的反向电流受温度的影响，温度愈高反向电流愈大。

6. 特殊二极管

(1) 稳压二极管

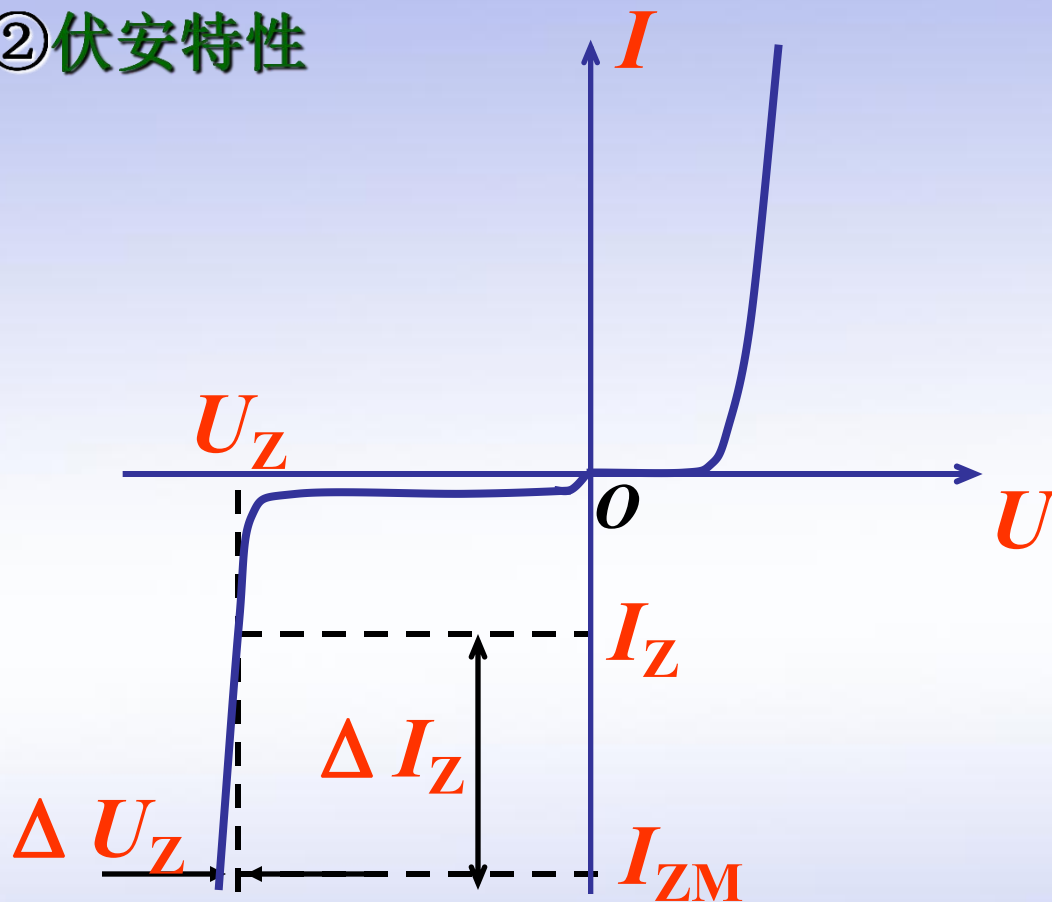
① 符号



稳压管正常工作时加反向电压

稳压管反向击穿后，电流变化很大，但其两端电压变化很小，利用此特性，稳压管在电路中可起稳压作用。

② 伏安特性



使用时要加限流电阻

主要参数

(1) 稳定电压 U_Z

稳压管正常工作(反向击穿)时管子两端的电压。

(2) 电压温度系数 α_u

环境温度每变化 1°C 引起稳压值变化的百分数。

(3) 动态电阻 $r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$

r_Z 愈小，曲线愈陡，稳压性能愈好。

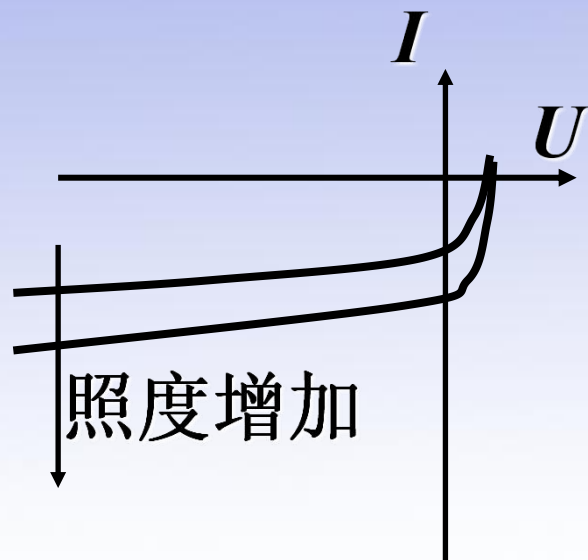
(4) 稳定电流 I_Z 、最大稳定电流 I_{ZM}

(5) 最大允许耗散功率 $P_{ZM} = U_Z I_{ZM}$

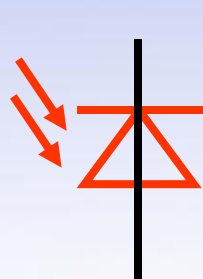


(2) 光电二极管

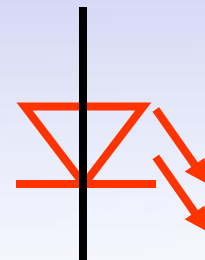
反向电流随光照强度的增加而上升。



符号



光电二极管



发光二极管



(3) 发光二极管

有正向电流流过时，发出一定波长范围的光，目前的发光管可以发出从红外到可见波段的光，它的电特性与一般二极管类似，正向电压较一般二极管高，电流为几~几十mA.

二、 二极管整流电路

1. 单相半波整流电路

图所示为单相半波整流电路。图中电压 u 为所需整流的交流电压，整流二极管VD与负载电阻 R_L 构成回路。

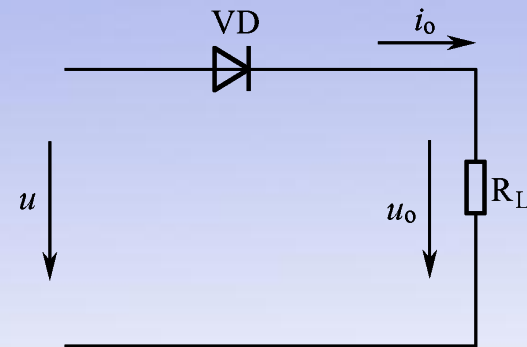


图 单相半波整流电路

当 $u > 0$ 时，二极管VD导通，负载电阻 R_L 上有电流 i_o 流过，
当 $u < 0$ 时，二极管VD截止，负载电阻 R_L 上没有电流 i_o 流过。

输出电压的平均值 U_o

$$U_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_o d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}U \sin \omega t d(\omega t) = 0.45U$$

流过负载电阻 R_L 上的平均电流 I_o

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = 0.45 \frac{U}{R_L}$$

2. 单相桥式整流电路

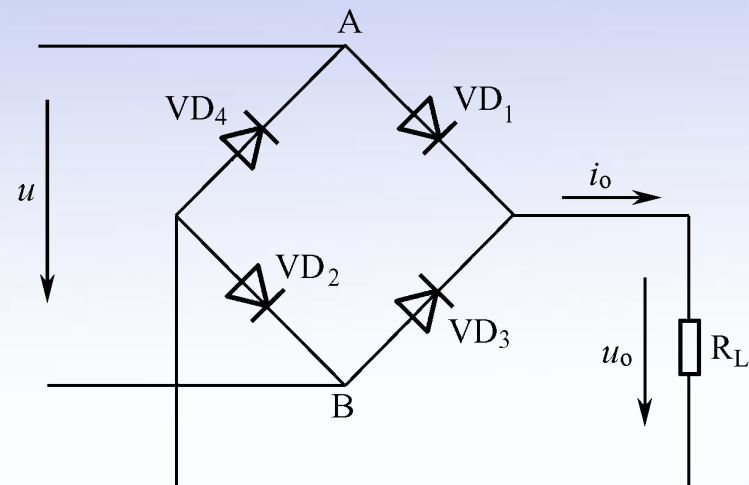
单相桥式整流电路如图所示。所谓桥式整流就是将四个整流二极管连接成一个电桥对交流电进行整流。

当 $u > 0$ 时，二极管 VD_1 和 VD_2 处于正向偏置导通，而 VD_3 和 VD_4 处于反向偏置截止，此时，电路通过的电流 i_o 经由

$$A \rightarrow VD_1 \rightarrow R_L \rightarrow VD_2 \rightarrow B$$

当 $u < 0$ 时，二极管 VD_3 和 VD_4 处于正向偏置导通，而 VD_1 和 VD_2 处于反向偏置截止，此时，电路通过的电流 i_o 经由

$$A \rightarrow VD_3 \rightarrow R_L \rightarrow VD_4 \rightarrow B$$



如图所示为单相桥式整流电路中各电量的波形图。

输出电压的平均值 U_o

$$U_o = 0.9U$$

流过负载电阻 R_L 上的平均电流 I_o

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = 0.9 \frac{U}{R_L}$$

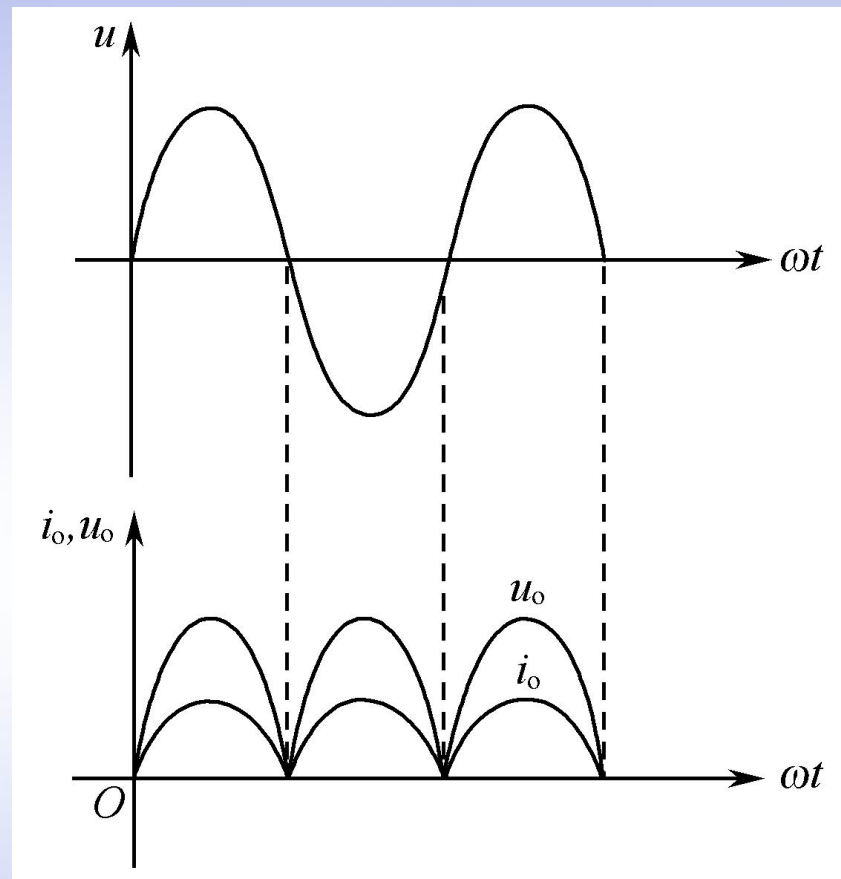
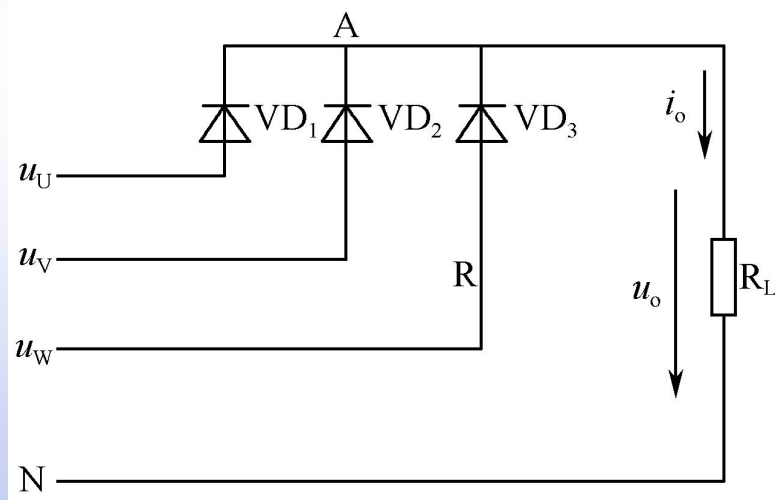


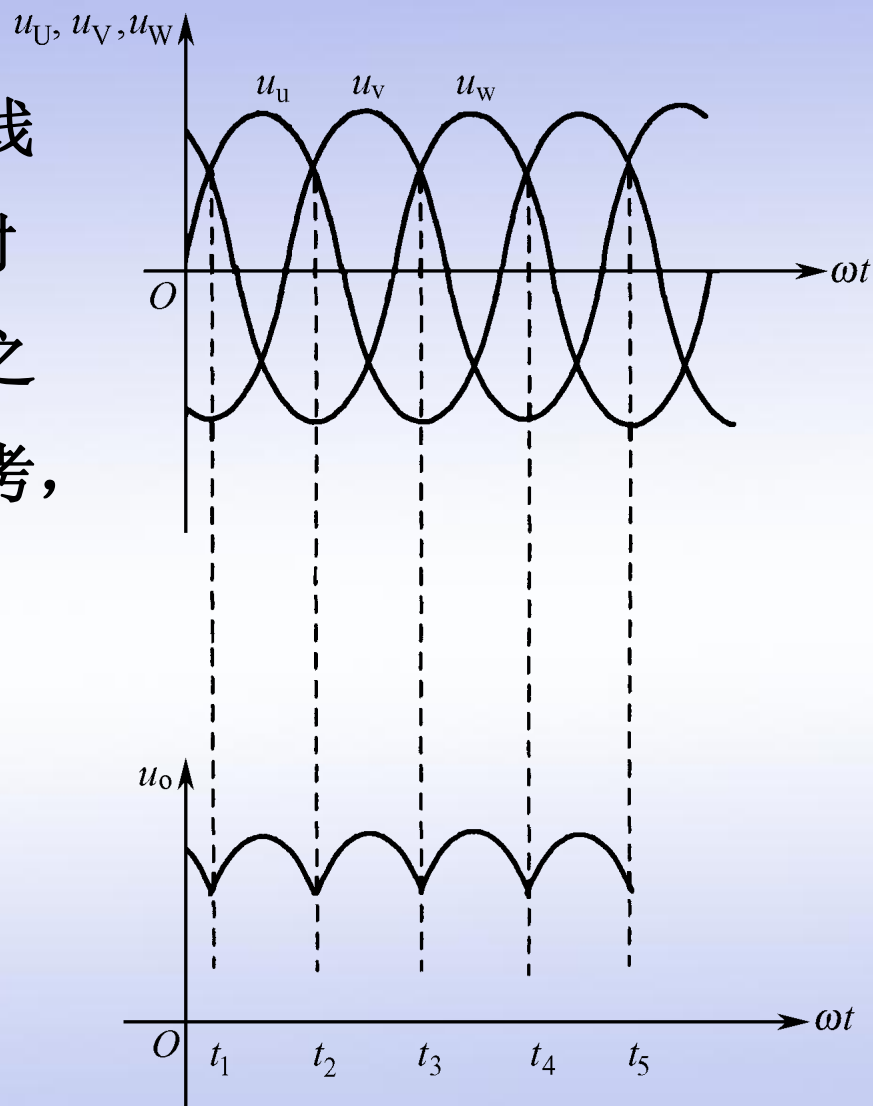
图 单相桥式整流电路各电量波形图

3. 三相半波整流电路

三相半波整流电路如图 (a) 所示，三相交流电源一般作星形连接，中线 N 直接与负载的一端相连接。对于对称的三相电源，其中三个电压彼此之间有 120° 的相位差，若以 u_U 为参考，则它们的波形如图(b)所示。



(a)



(b)

3. 三相半波整流电路

在 $0 \sim t_1$ 期间，二极管VD₃最先导通，VD₁和VD₂处于截止状态。电流流经的路径为

$$u_W \rightarrow \text{VD}_3 \rightarrow R_L \rightarrow N$$

在 $t_1 \sim t_2$ 期间，二极管VD₁最先导通，VD₂和VD₃处于截止状态。电流流经的路径为

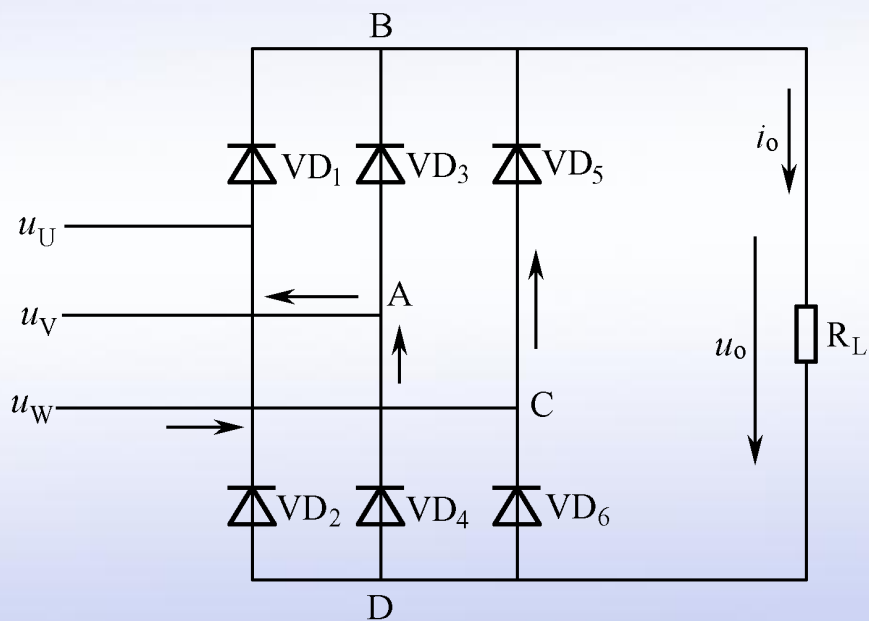
$$u_U \rightarrow \text{VD}_1 \rightarrow R_L \rightarrow N$$

输出平均电压为 $U_o = 1.17U_p$

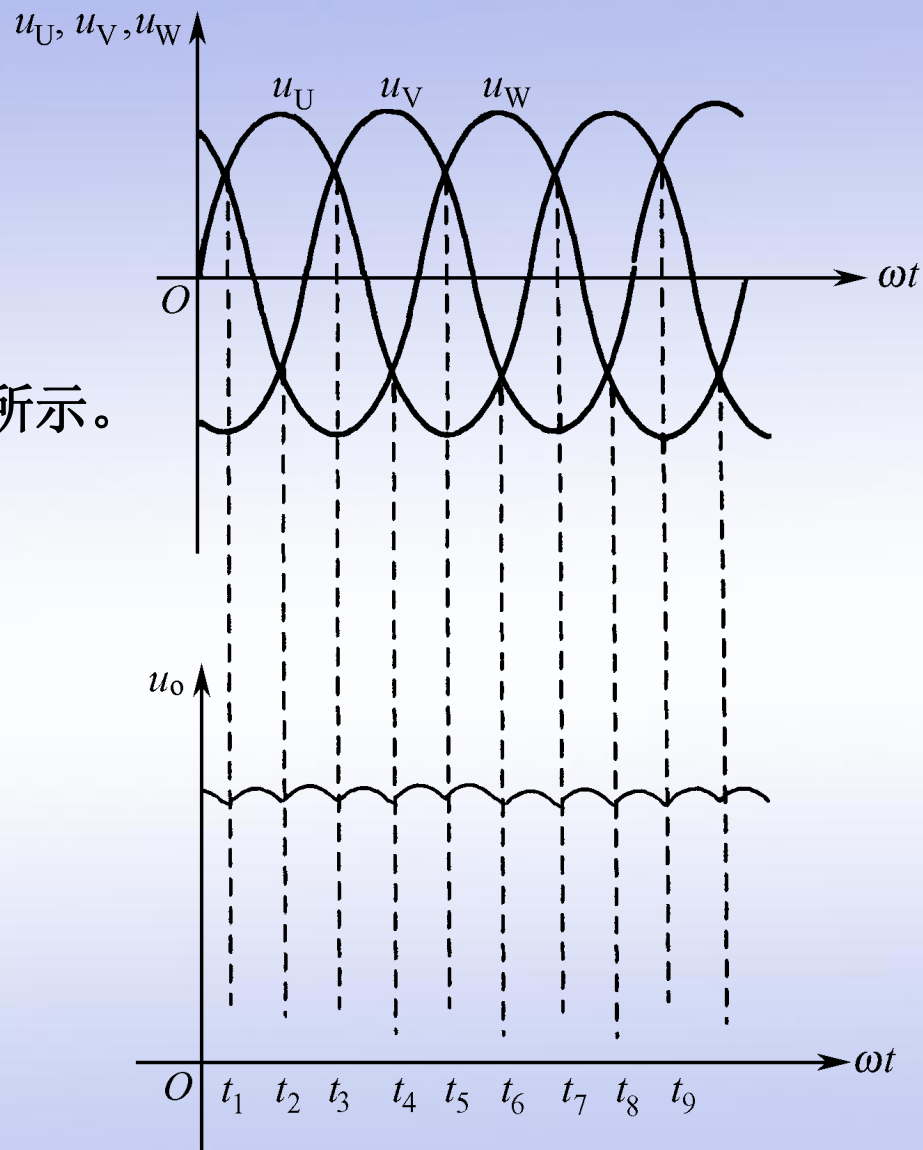
负载的平均电流为 $I_o = \frac{U_o}{R_L} = 1.17 \frac{U_p}{R_L}$

4. 三相桥式整流电路

三相桥式整流电路如图(a)所示，其三相交流电源由交流发电机或通过三相变压器变压获得，三相电源的三个电压彼此之间有 120° 的相位差，设 u_U 初相角为零，则它们的波形如图(b)所示。



(a)



(b)

4. 三相桥式整流电路

在 $0 \sim t_1$ 期间，二极管 VD_4 、 VD_5 最先导通， VD_1 、 VD_2 、 VD_3 和 VD_6 处于截止状态。电流流经的路径为

$$C \rightarrow VD_5 \rightarrow R_L \rightarrow VD_4 \rightarrow A$$

负载两端电压近似等于

$$u_W - u_U = u_{WU}$$

输出电压的平均值为

$$U_o = 2.34U_p$$

负载的平均电流为

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = 2.34 \frac{U_p}{R_L}$$

三、二极管限幅电路

图5.18 (a) 所示为一单向限幅电路图中，图中， u_i 为正弦信号，其幅值大于直流电源电压 E 。当 $u_i > E$ 时，二极管 VD 截止，输出电压 $u_o = E$ ；当 $u_i < E$ 时， VD 正向导通， $u_o = u_i$ 。

u_o 的波形如图3.66 (b) 所示。由图可见，只有 u_o 的正半周的幅度受到了限制，而负半周的幅度没有受到限制，故该电路称为单向限幅电路。

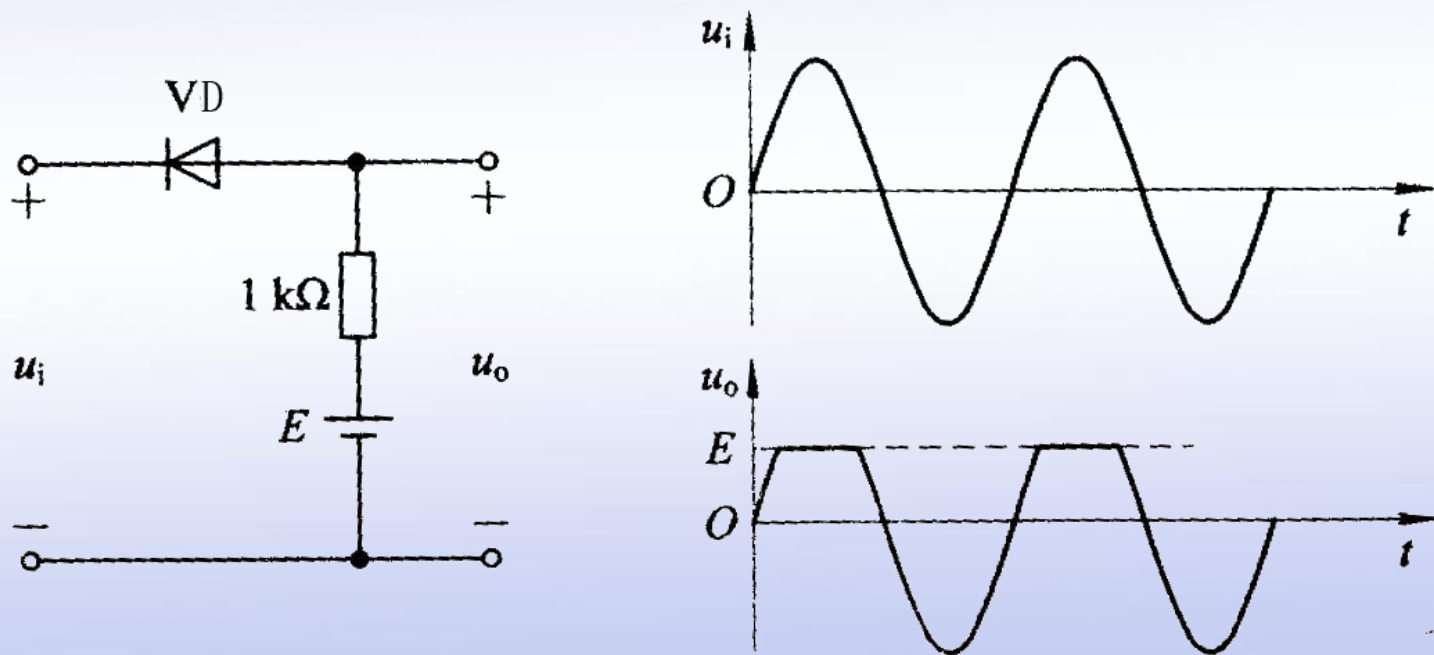


图5.18 二极管单向限幅电路

四、二极管稳压电路

由稳压管组成的稳压电路是一种最简单的直流稳压电路。在图3.68中，稳压电路由限流电阻 R 和稳压管 VD_Z 构成。当电源电压出现波动或者负载电阻（电流）变化时，该稳压电路能自动维持负载电压 U_O 基本稳定。

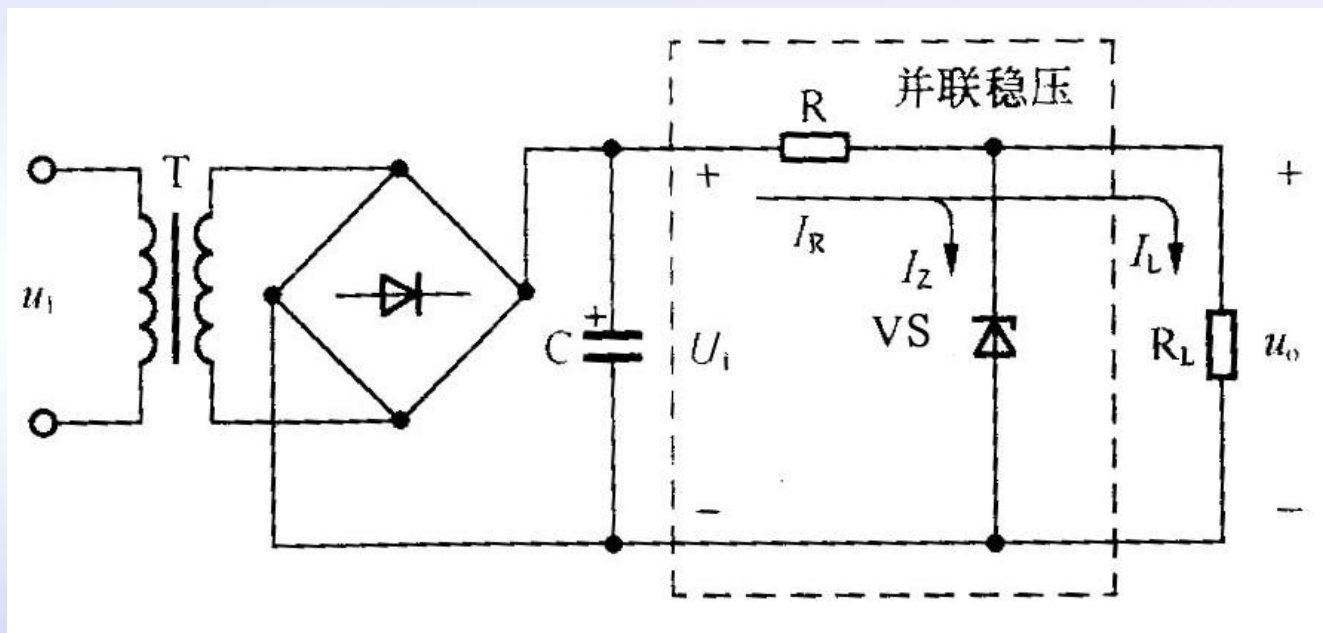


图3.68 稳压管稳压电路

四、二极管稳压电路

图是汽车仪表的稳压电路，由于受各种因素的影响，蓄电池的电压会出现波动，而汽车仪表要求稳定的电压，于是在仪表两端并联一只稳压管，为仪表提供一个稳定的电压。

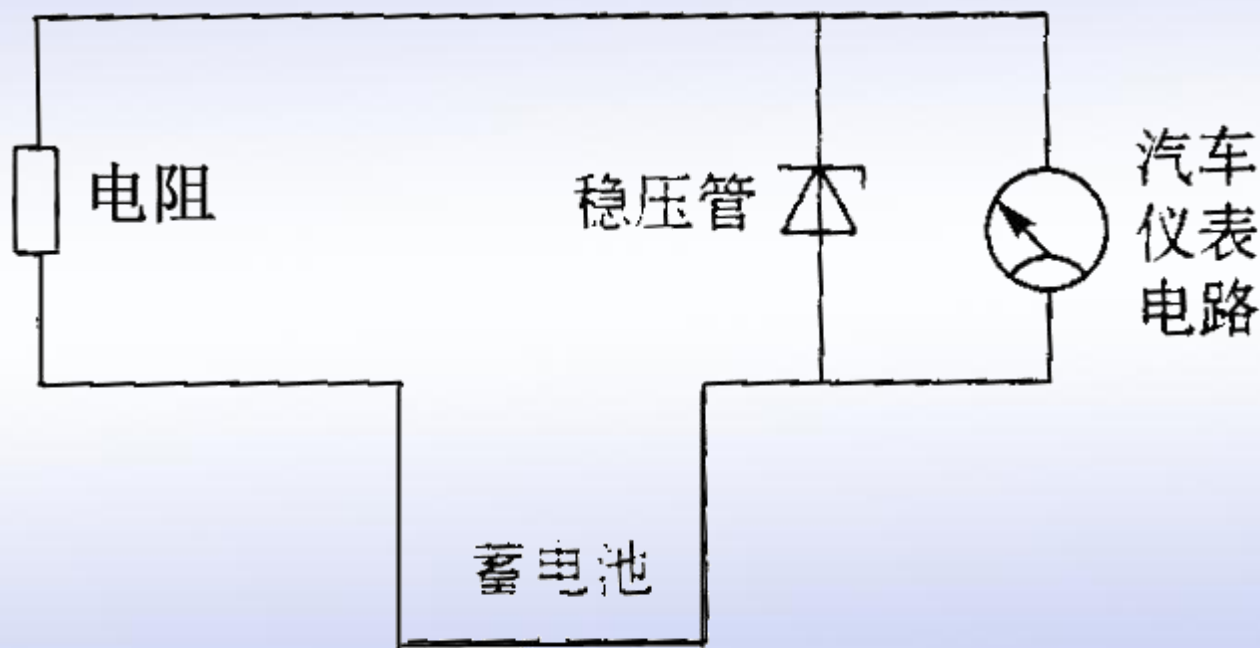
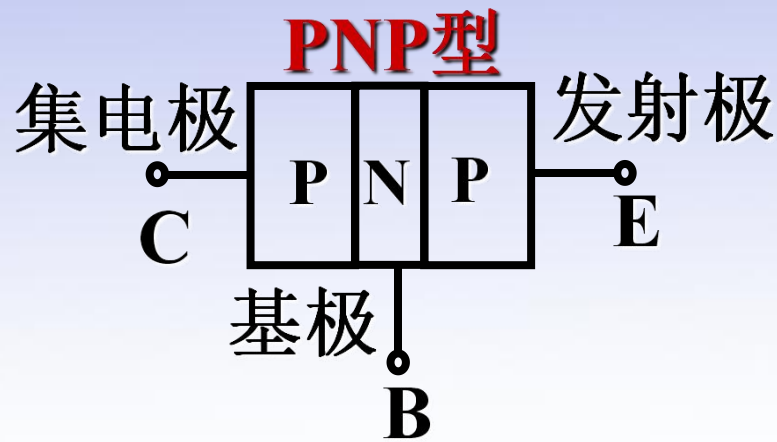
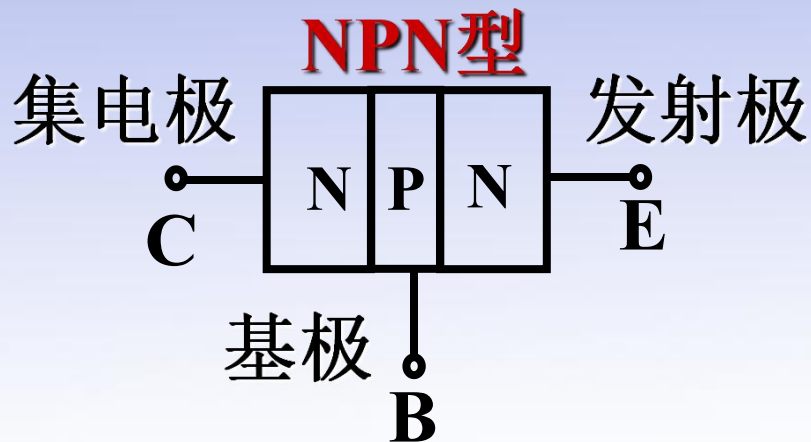


图 汽车仪表的稳压电路

任务二 三极管放大电路及其应用

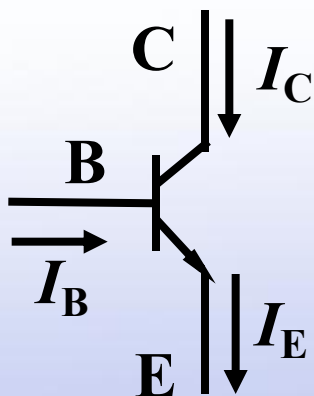
一. 三极管

1. 三极管的结构

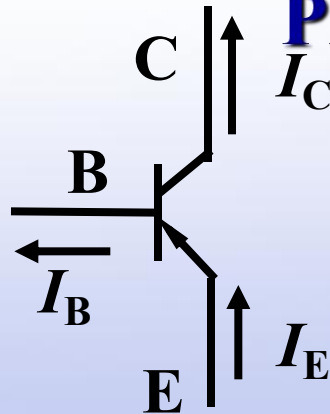


符号:

NPN型三极管



PNP型三极管



2. 电流分配和放大原理

(1) 三极管放大的外部条件

发射结正偏、集电结反偏

从电位的角度看：

NPN

发射结正偏

$$U_B > U_E$$

集电结反偏

$$U_C > U_B$$

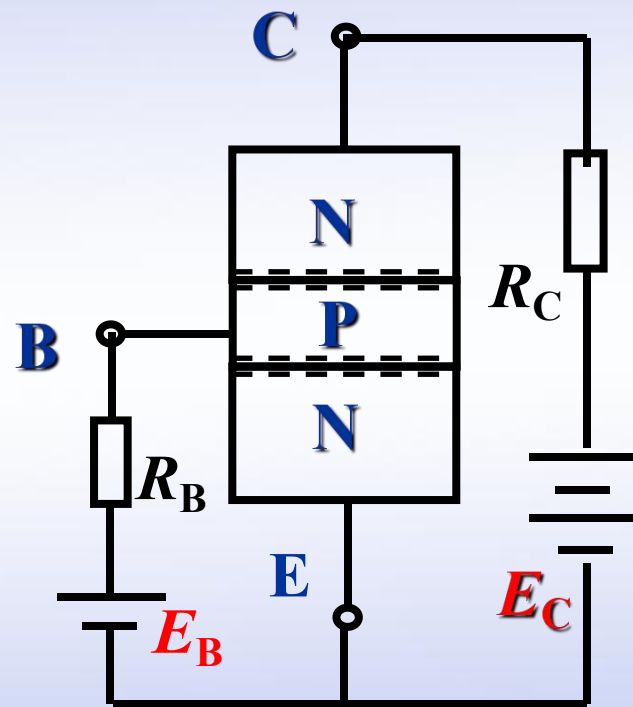
PNP

发射结正偏

$$U_B < U_E$$

集电结反偏

$$U_C < U_B$$



(2) 各电极电流关系及电流放大作用

$I_B(\text{mA})$	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
$I_C(\text{mA})$	<0.001	0.70	1.40	2.10	2.80	2.91
$I_E(\text{mA})$	<0.001	0.72	1.44	2.16	2.88	3.02

结论:

1) 三电极电流关系 $I_E = I_B + I_C$

2) $I_C \gg I_B$, $I_C \approx I_E$

3) $\Delta I_C \gg \Delta I_B$

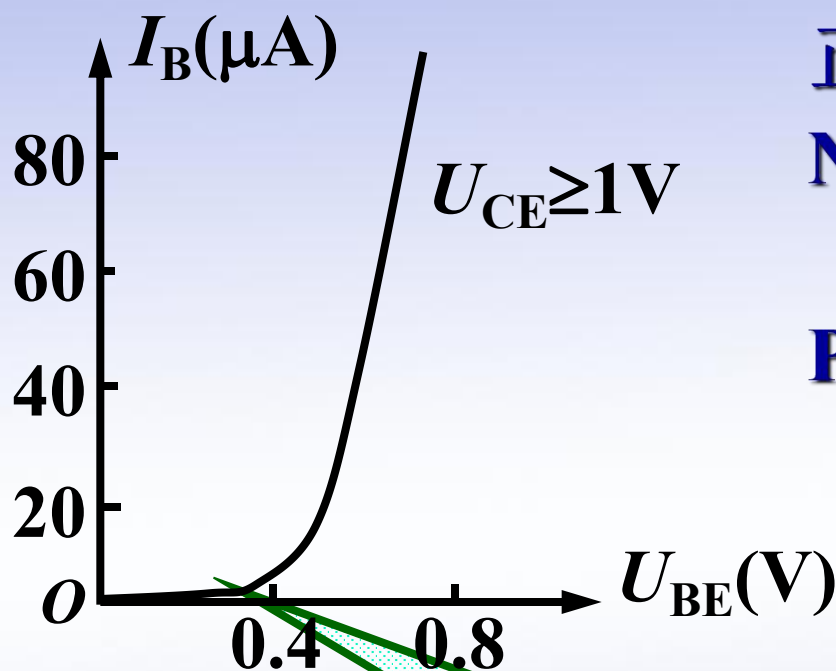
把基极电流的微小变化能够引起集电极电流较大变化的特性称为晶体管的电流放大作用。

实质:用一个微小电流的变化去控制一个较大电流的变化,是CCCS器件。

3. 三极管的特性曲线

(1) 输入特性

特点: 非线性



正常工作时发射结电压:
NPN型硅管

$$U_{BE} \approx 0.6 \sim 0.7V$$

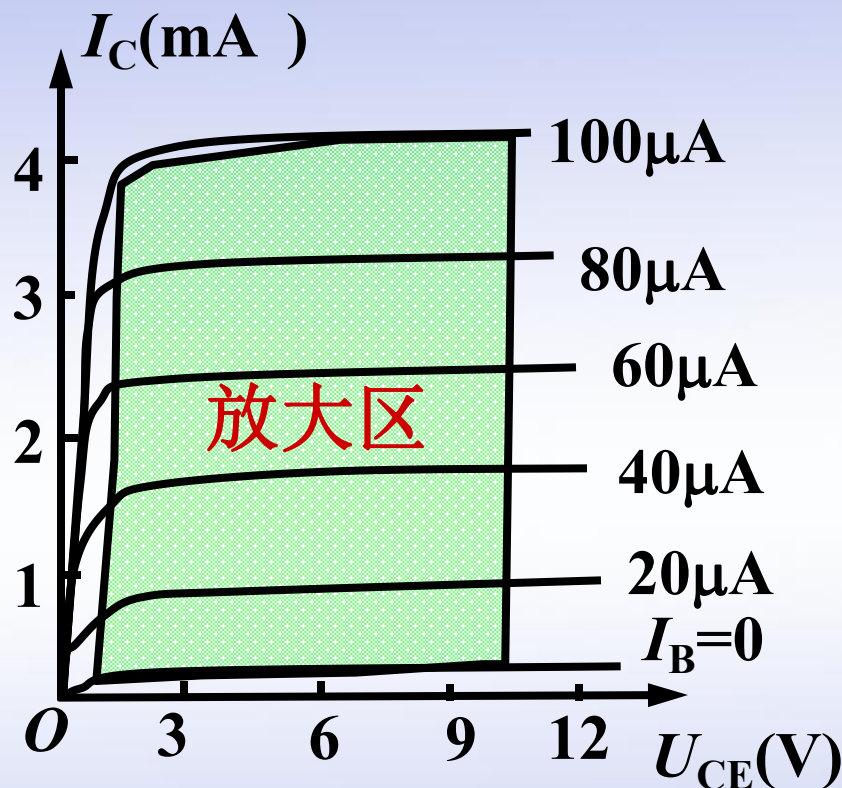
PNP型锗管

$$U_{BE} \approx -0.2 \sim -0.3V$$

死区电压:
硅管0.5V,
锗管0.1V。

(2) 输出特性

输出特性曲线通常分三个工作区：



1) 放大区

在放大区有 $I_C = \beta I_B$ ，也称为线性区，具有恒流特性。

在放大区，发射结处于正向偏置、集电结处于反向偏置，晶体管工作于放大状态。

2) 截止区

$I_B < 0$ 以下区域为截止区，有 $I_C \approx 0$ 。

在截止区发射结处于反向偏置，集电结处于反向偏置，晶体管工作于截止状态。

3) 饱和区

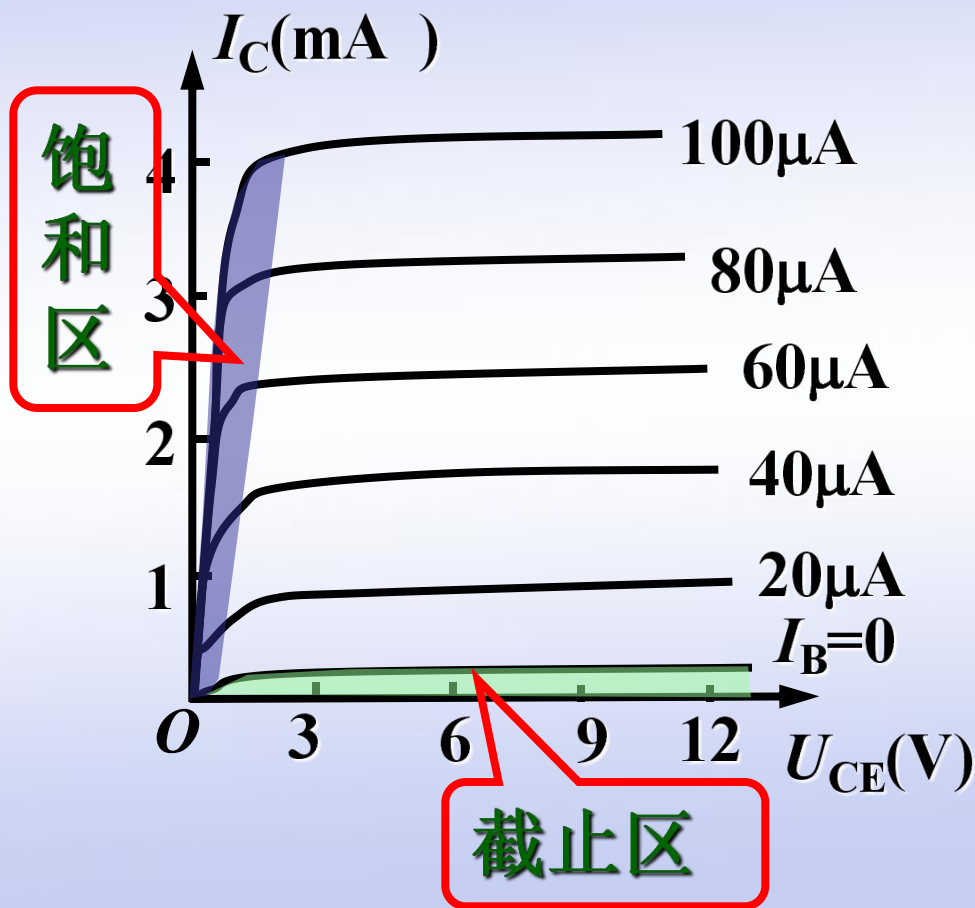
当 $U_{CE} \leq U_{BE}$ 时，晶体管工作于饱和状态。

在饱和区， $\beta I_B \geq I_C$ ，发射结处于正向偏置，集电结也处于正偏。

深度饱和时，

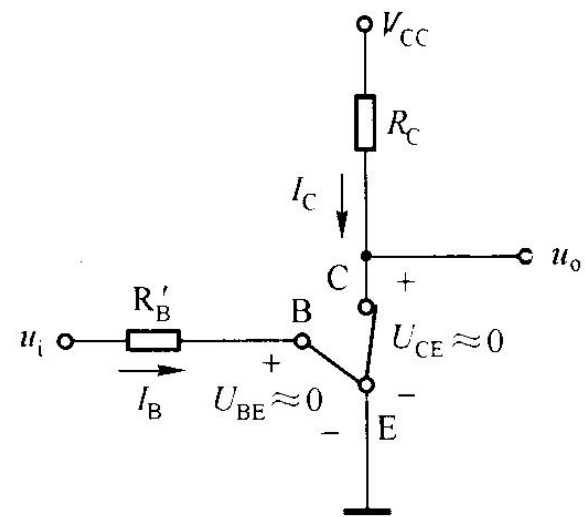
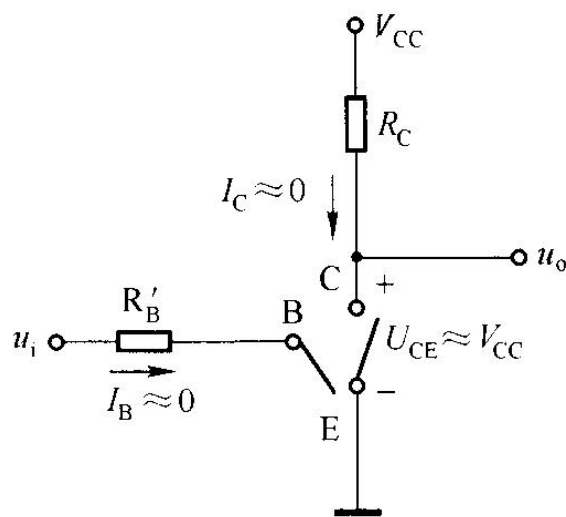
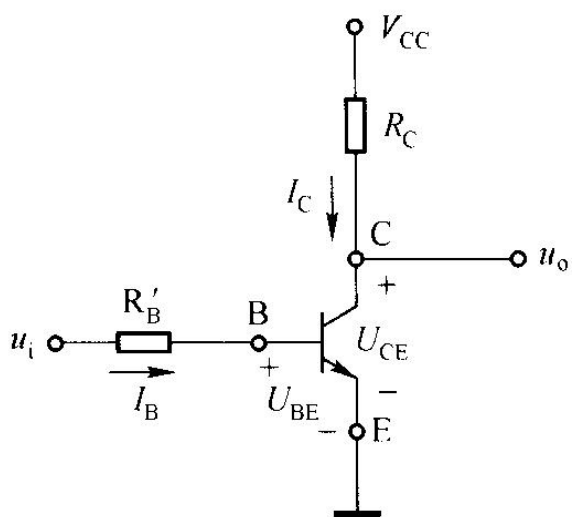
硅管 $U_{CES} \approx 0.3V$ ，

锗管 $U_{CES} \approx 0.1V$ 。



4. 三极管开关特性

三极管在模拟电路中主要工作在放大状态，而在脉冲数字电路中，三极管作为最基本的开关元件，它应工作在截止和饱和状态。三极管工作状态的转化如图所示。



共射极放大电路

(b) 截止状态等效电路

(c) 饱和状态等

图 三极管工作状态转换

5 . 主要参数

表示晶体管特性的数据称为晶体管的参数，晶体管的参数也是设计电路、选用晶体管的依据。

(1) 共射极电流放大系数 β

当晶体管接成发射极电路时，

直流电流放大系数

交流电流放大系数

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

注意：

$\bar{\beta}$ 和 β 的含义不同，但在特性曲线近于平行等距并且 I_{CE0} 较小的情况下，两者数值接近。

常用晶体管的 β 值在20~200之间。

(2) 共射极电流放大系数 α

当晶体管接成基极电路时，

直流电流放大系数

交流电流放大系数

$$\beta = \frac{I_C}{I_E}$$

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$$

$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = \frac{\beta \Delta I_B}{(1 + \beta) \Delta I_B} = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

(4) 集电极最大允许电流 I_{CM}

集电极电流 I_C 上升会导致三极管的 β 值的下降，当 β 值下降到正常值的三分之二时的集电极电流即为 I_{CM} 。

(5) 集-射极反向击穿电压 $U_{(BR)CEO}$

当集—射极之间的电压 U_{CE} 超过一定的数值时，三极管就会被击穿。手册上给出的数值是 25°C 、基极开路时的击穿电压 $U_{(BR)CEO}$ 。

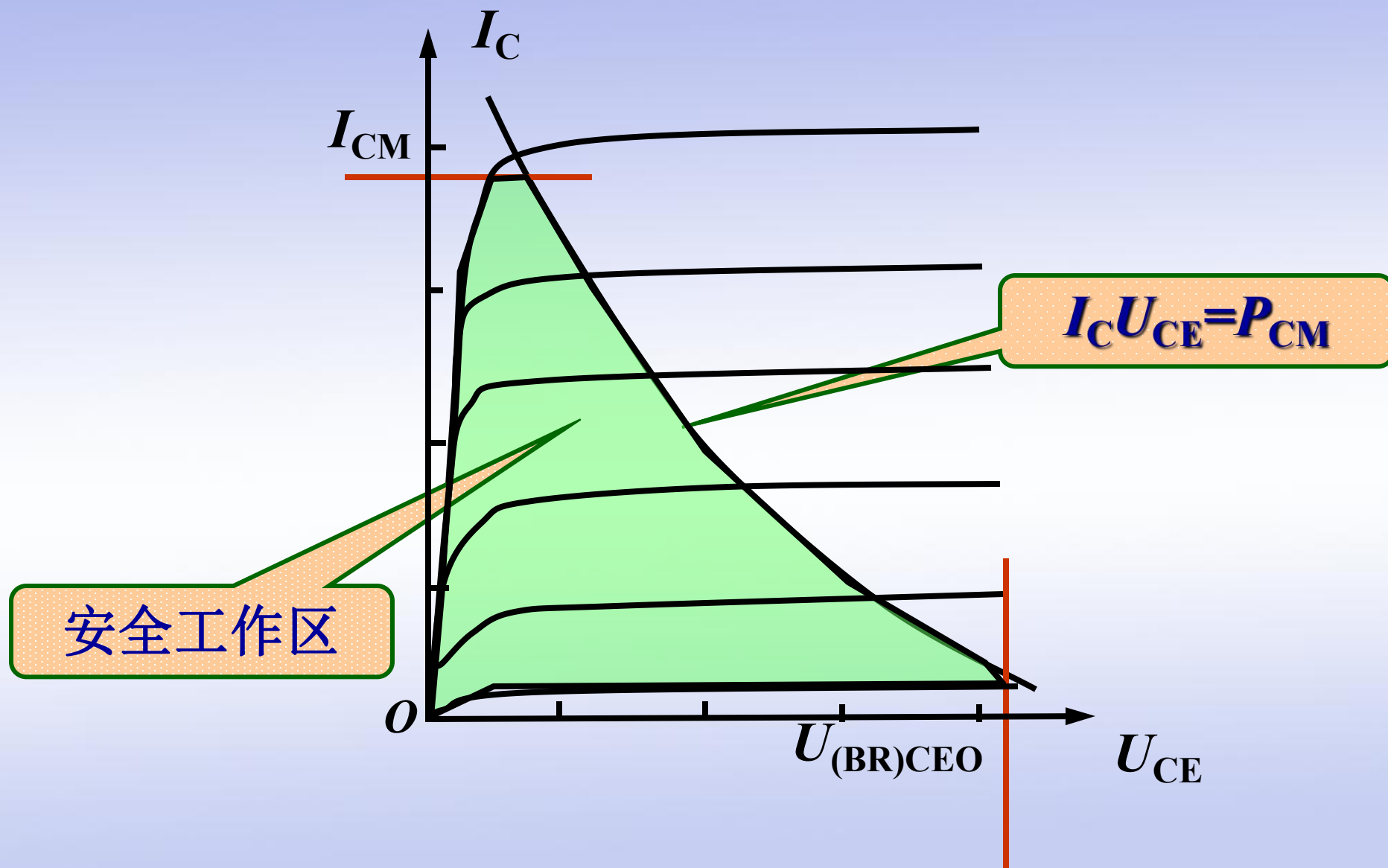
(6) 集电极最大允许耗散功耗 P_{CM}

P_{CM} 取决于三极管允许的温升，消耗功率过大，温升过高会烧坏三极管。

$$P_C \leq P_{CM} = I_C U_{CE}$$

硅管允许结温约为 150°C ，锗管约为 $70\sim 90^\circ\text{C}$ 。

由三个极限参数可画出三极管的安全工作区



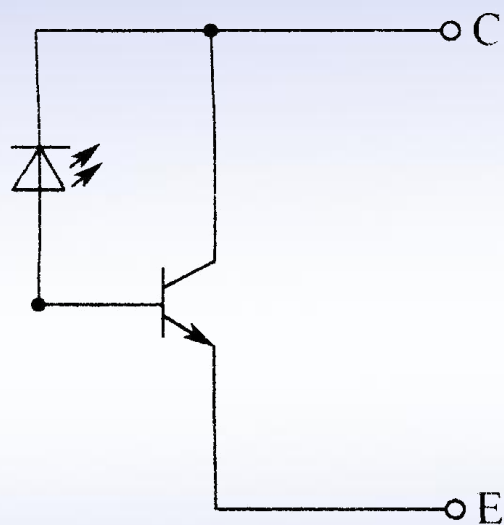
晶体管参数与温度的关系

- 1、温度每增加 10°C ， I_{CBO} 增大一倍。硅管优于锗管。
- 2、温度每升高 1°C ， U_{BE} 将减小 $(2\sim 2.5)\text{mV}$ ，即晶体管具有负温度系数。
- 3、温度每升高 1°C ， β 增加 $0.5\%\sim 1.0\%$ 。

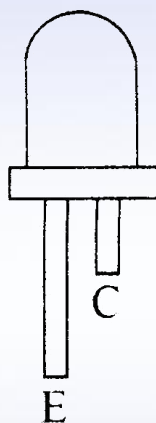


二、光敏晶体管

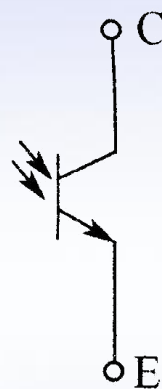
光敏晶体管与普通晶体管相同也有两个PN结和三个电极，但其集电结采用光敏二极管结构。它的等效电路、外形和符号如图1.39 (a)、(b)、(c)所示。



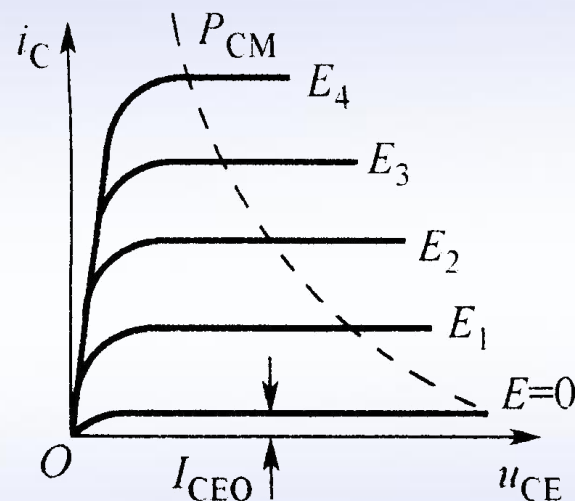
(a) 等效电路



(b) 符号



(c) 外形



(d) 输出特性曲线

图1.39 光敏晶体管

光敏晶体管的应用是实现光电转换，其基本应用电路如图所示，光敏晶体管在受到光照时，将光信号转变为集电极电流，电流流过电阻生成电压，使输出端A的电位随外界光线的照射而发生变化，实现了光电转换。

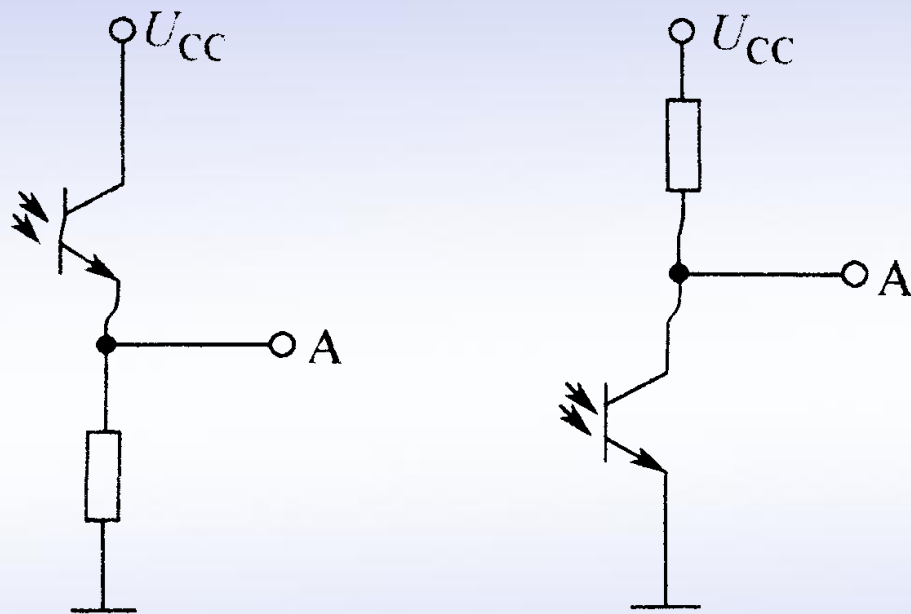


图 光敏晶体管基本应用

光敏晶体管在汽车上主要应用于多种传感器中，实现空气流量检测、转向角度检测、车速测量、位置测量等功能。

三、 共射极电压放大电路

1. 电路组成及各元件的作用

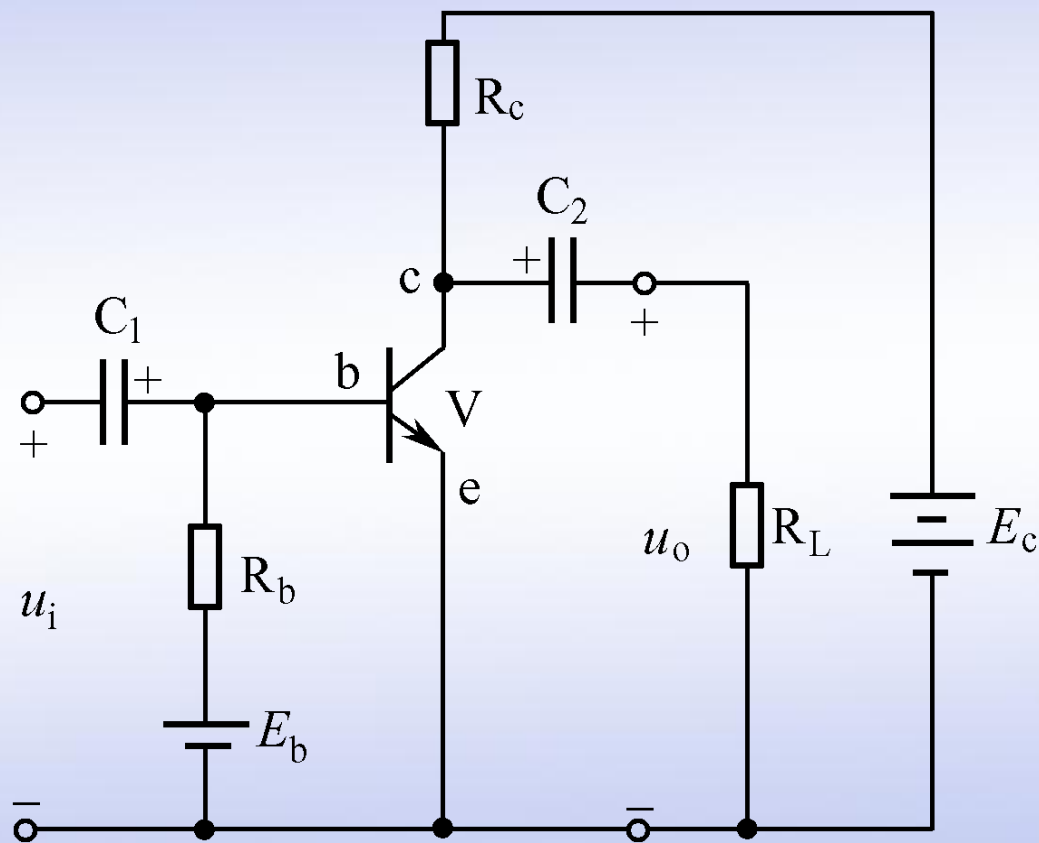


图3.70 NPN单级电压放大器

(1) 电路中各元件的作用

三极管V: 为放大器的核心，起电流放大作用。

集电极电阻 R_c : 作用是将集电极电流的变化量变换成集电极电压的变化量，以实现电压放大。

直流电源 E_c, E_b : 三极管的发射结正偏，集电结反偏，使三极管工作在放大状态。

基极偏置电阻 R_b : 供给三极管合适的基极偏置电流 I_b 。

耦合电容 C_1, C_2 : 作用是隔直流通交流。

(2) 电路中电压、电流的符号及正方向的规定

	直 流	交流瞬时值	交流有效值	交直流叠加
电 流	$I_B \quad I_C \quad I_E$	$i_b \quad i_c \quad i_e$	$I_b \quad I_c \quad I_e$	$i_B \quad i_C \quad i_E$
电 压	$U_{BE} \quad U_{CE} \quad U_E$	$u_{be} \quad u_{ce} \quad u_e$	$U_{be} \quad U_{ce} \quad U_e$	$u_B \quad u_C \quad u_E$
输入信号		u_i	U_i	
输出信号		u_o	U_o	

2. 共射极放大器的静态分析

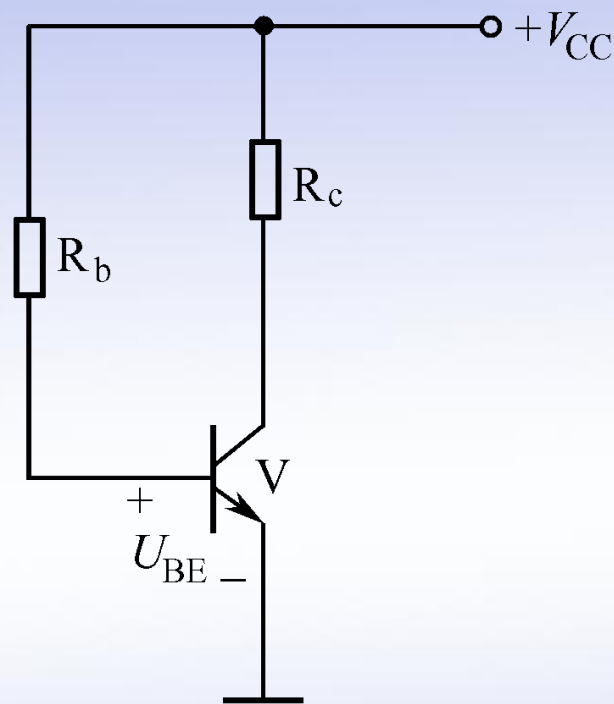
当放大器无输入信号时（ $u_i=0$ ），电路中的电压、电流都不变（直流），称为静止状态，简称静态。

（1）估算法求静态工作点

$$I_B = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_b} \approx \frac{V_{CC}}{R_b}$$

$$I_C = \beta I_B + I_{CEO} \approx \beta I_B$$

$$U_{CE} = V_{CC} - I_C R_c$$



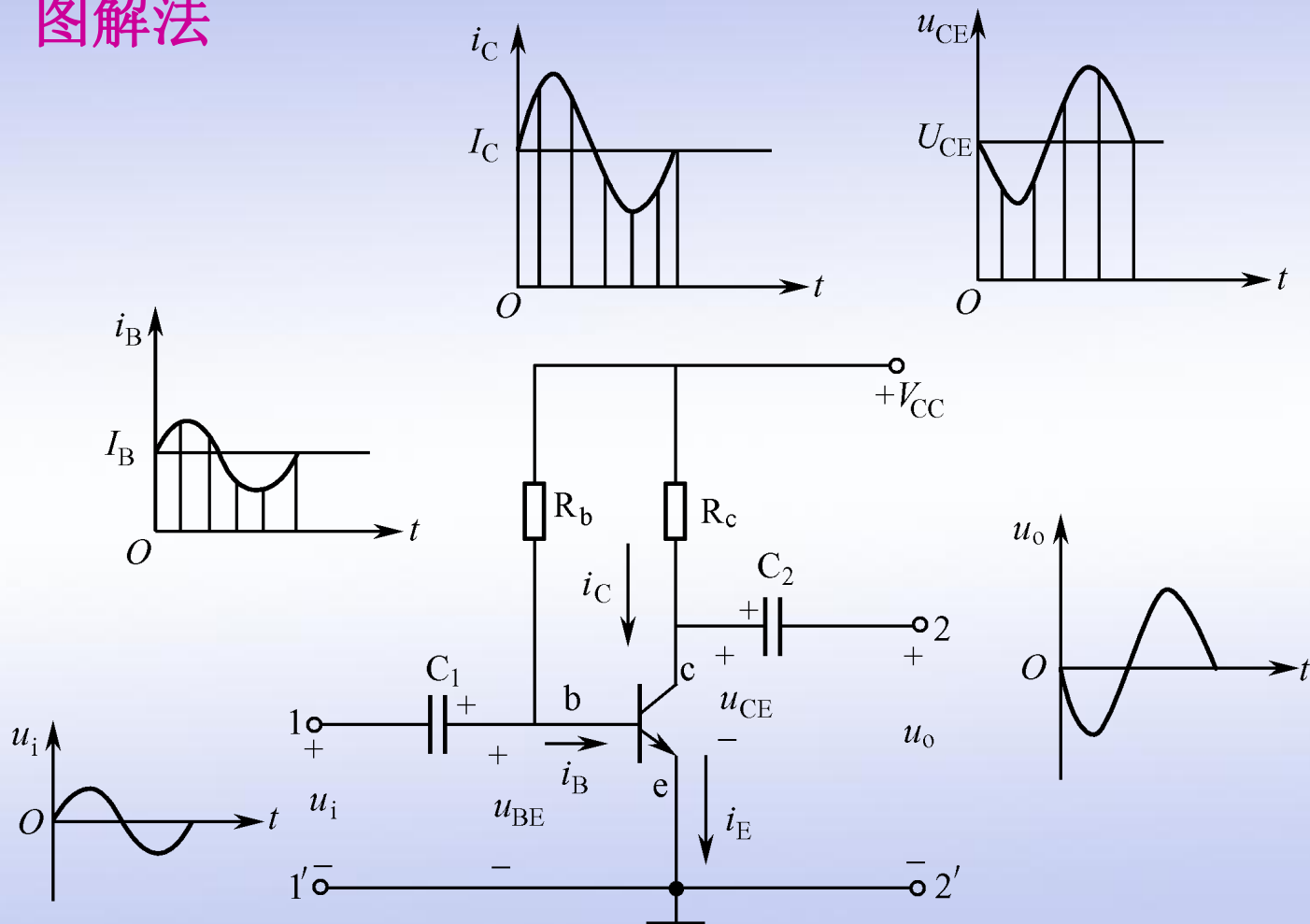
（2）图解法求静态工作点

图解法就是利用晶体管的特性曲线，用作图的方法分析放大电路的电压、电流之间的关系。

3. 共射极放大器的动态分析

当放大电路有输入信号，即 $u_i \neq 0$ 时的工作状态称为动态。

(1) 图解法



共射极放大器的动态分析

当输入端加交流电压信号 $u_i = U_m \sin \omega t$ ，由于耦合电容 C_1 、 C_2 容量较大，其容抗很小，所以对交流信号可视为短路。

$$u_{BE} = U_{BE} + u_i$$

$$i_B = I_B + i_b$$

$$u_{CE} = V_{CC} - i_C R_c$$

当输入 u_i 增大时， u_{BE} 增大， i_B 和 i_C 也随之增大， u_{CE} 减小，即 u_{CE} 的变化与 i_C 的变化相反，所以经过耦合电容 C_2 传送到输出端的输出电压 u_o 与 u_i 反相。

(2) 静态工作点与非线性失真

静态工作点设置的太高或太低都会产生非线性失真。

1)截止失真

输入信号为正弦电压，由于静态工作点的位置太低，在输入信号的负半周，三极管进入截止区，输出波形产生了严重的失真，这种失真这是由于晶体管的截止而引起的，故称为截止失真。

2) 饱和失真

静态工作点设置的太高，这种情况下，在输入正弦信号的正半周三极管进入了饱和区工作，输出波形产生了严重的失真，这种失真这是由于晶体管进入饱和区工作而引起，故称为饱和失真。

(3) 估算法

1) 估算电压放大倍数。首先作出放大电路的交流通路。对交流信号而言，三极管的发射结可等效成一个电阻 r_{be} ，称为三极管的输入电阻，可以通过经验公式估算：

$$r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26(\text{mV})}{I_E(\text{mA})} (\Omega)$$

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{-\beta i_b R_L'}{i_b r_{be}} = -\beta \frac{R_L'}{r_{be}}$$

2) 输入电阻 r_i 。

$$r_i = \frac{u_i}{i_i} = R_b // r_{be} \approx r_{be}$$

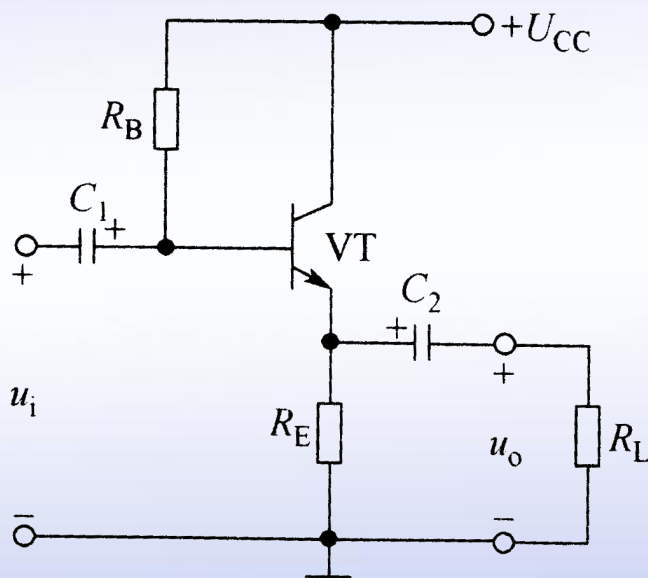
3) 输出电阻 r_o 。

$$r_o \approx R_c$$

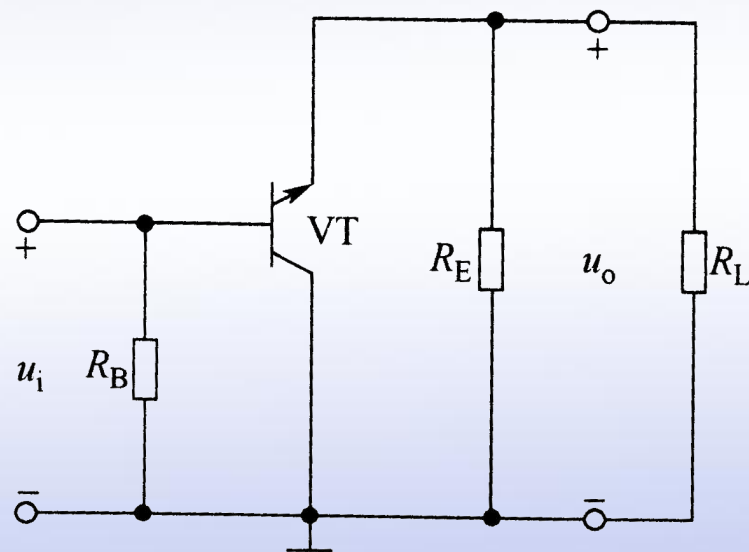
四、共集极放大电路

1. 结构特点

共集放大电路如图3.81 (a) 所示, 图3.81 (b) 是它的交流通路。由交流通路可知, 信号的输入回路和输出回路都以集电极为公共端, 故称为共集电极放大电路, 简称共集电路。因输出信号由发射极对地输出, 又称为射极输出器。



(a) 共集放大电路



(b) 交流通路

图3.81 共集放大电路及其交流通路

2.性能特点

射极输出器的输出与输入的关系：

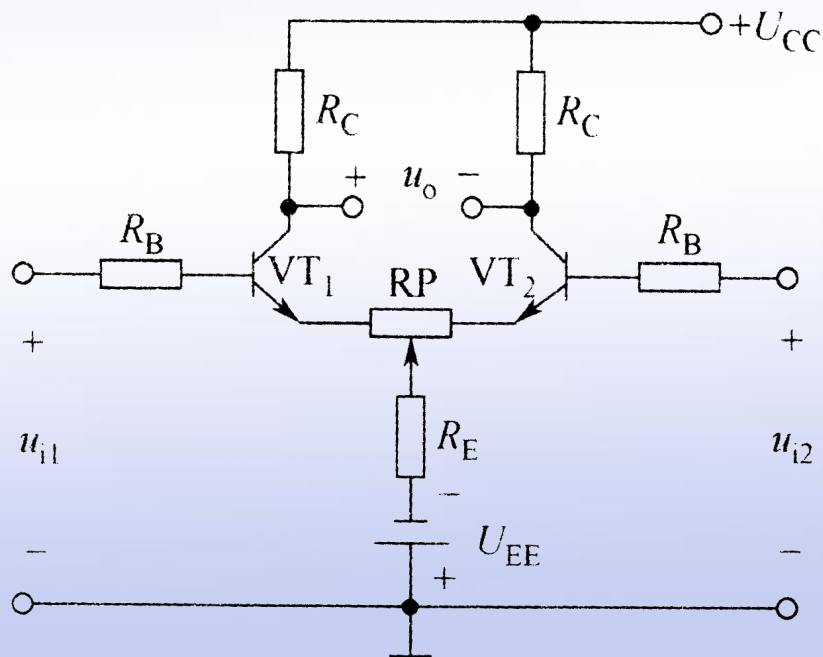
$$u_o = u_i - u_{be} \approx u_i$$

所以其输出电压跟随输入电压变化，电压跟随性能好。此外，它还有输入电阻很高，而输出电阻很低的优点，因此在实际中获得了广泛应用，如多级放大电路的输入级、中间级和输出级等都使用了射极输出器。

四、 差动放大电路

1. 结构特点

差动放大电路通常用于直流放大电路（放大直流信号）的输入级，如图3.82所示。其结构特点是；①电路对称，即要求左右两边的元器件特性及参数尽量一致；②双端输入，可以分别在两个输入端与地之间输入信号 u_{i1} ， u_{i2} ；③双电源，即除了集电极电源 U_{CC} 外，还有一个发射极电源 U_{EE} ，一般取 $|U_{CC}|=|U_{EE}|$ 。



2. 性能特点

差动放大电路对共模信号有很强的抑制作用，理想情况下的共模放大倍数

$$A_c = \frac{u_{oc}}{u_{ic}} = 0$$

对差模信号有很好的放大作用，差模放大倍数 $A_d = \frac{u_{od}}{u_{id}}$ 较大。

共模抑制比 K_{CMR} 定义为差模放大倍数 A_d 与共模放大倍数 A_c 之比，即

$$K_{CMR} = \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$$

在理想情况下，差动放大电路 $K_{CMR} \rightarrow \infty$ 。

六、互补对称功率放大电路

1. 结构特点

图3.83是互补对称功率放大电路的原理图，图中，一对晶体管类型不同（一个是NPN管，另一个是PNP管），但特性参数完全相同，称为对称管。

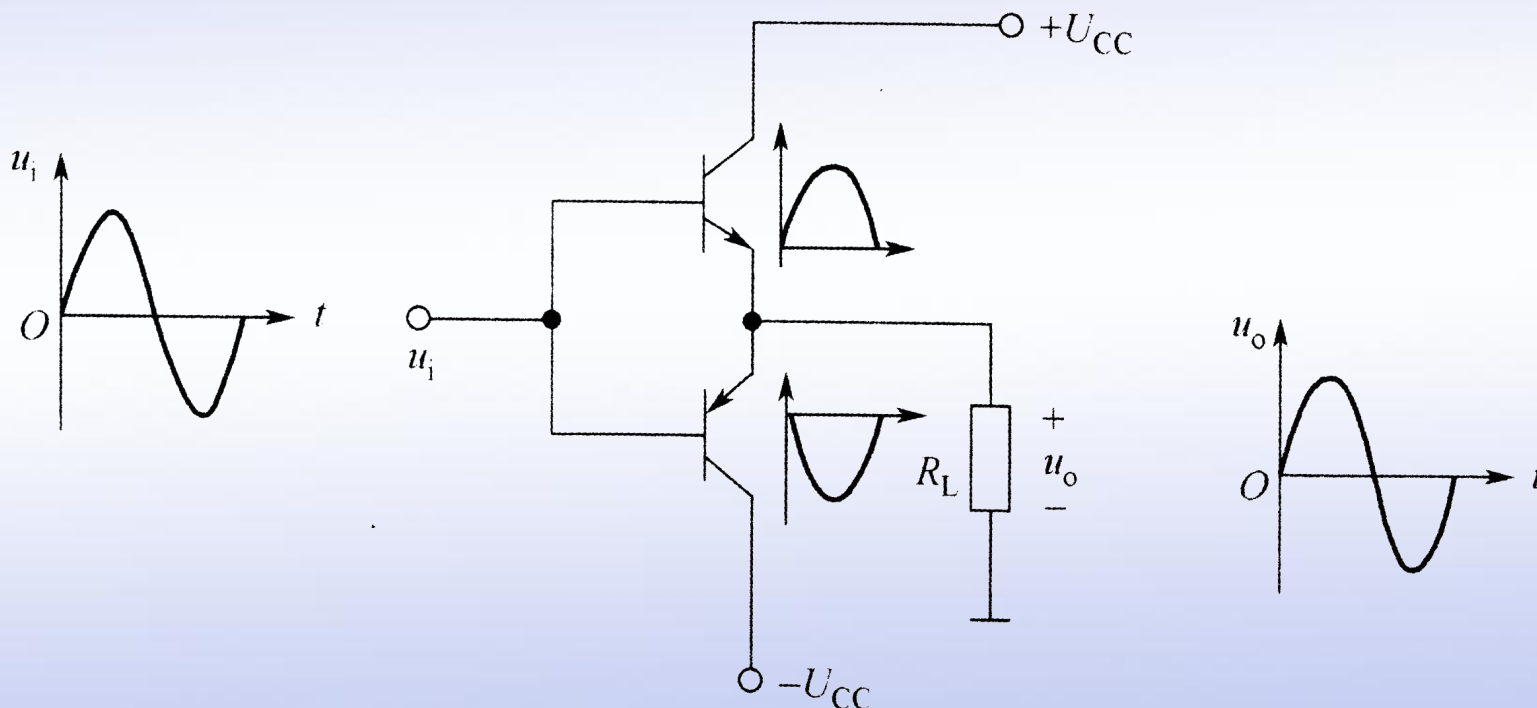


图3.83 互补对称功率放大电路

对称管都从发射极输出信号，是两个射极输出器，因此功放电路由两个射级输出器组成。当有信号输入时，在信号的正半周，NPN管导通，PNP管截止，负载上的输出波形为正半周。信号处于负半周时，PNP管导通，NPN管截止，负载上的输出波形为负半周。由于两管对称，工作时，轮流工作，互相补充，故称为互补对称电路。

2. 性能特点

因为互补对称电路在无信号输入时， $I_B=0$ ， $I_c \approx 0$ ，管子本身的损耗很小，所以电路的效率高；有信号输入时，两管交替工作，并且管子往往在接近极限运用状态下工作，输出功率大；两管都是射极输出，所以输出电阻低也是它的主要特点。

七、三极管在汽车中的应用

1.汽油机用电子转速表电路

汽油机用电子转速表的转速信号一般取自点火系统的分电器触点（如为电子点火系统，则取自点火线圈“-”接线柱）。图3.84是利用电容器充放电的脉冲式电子转速表的原理图。

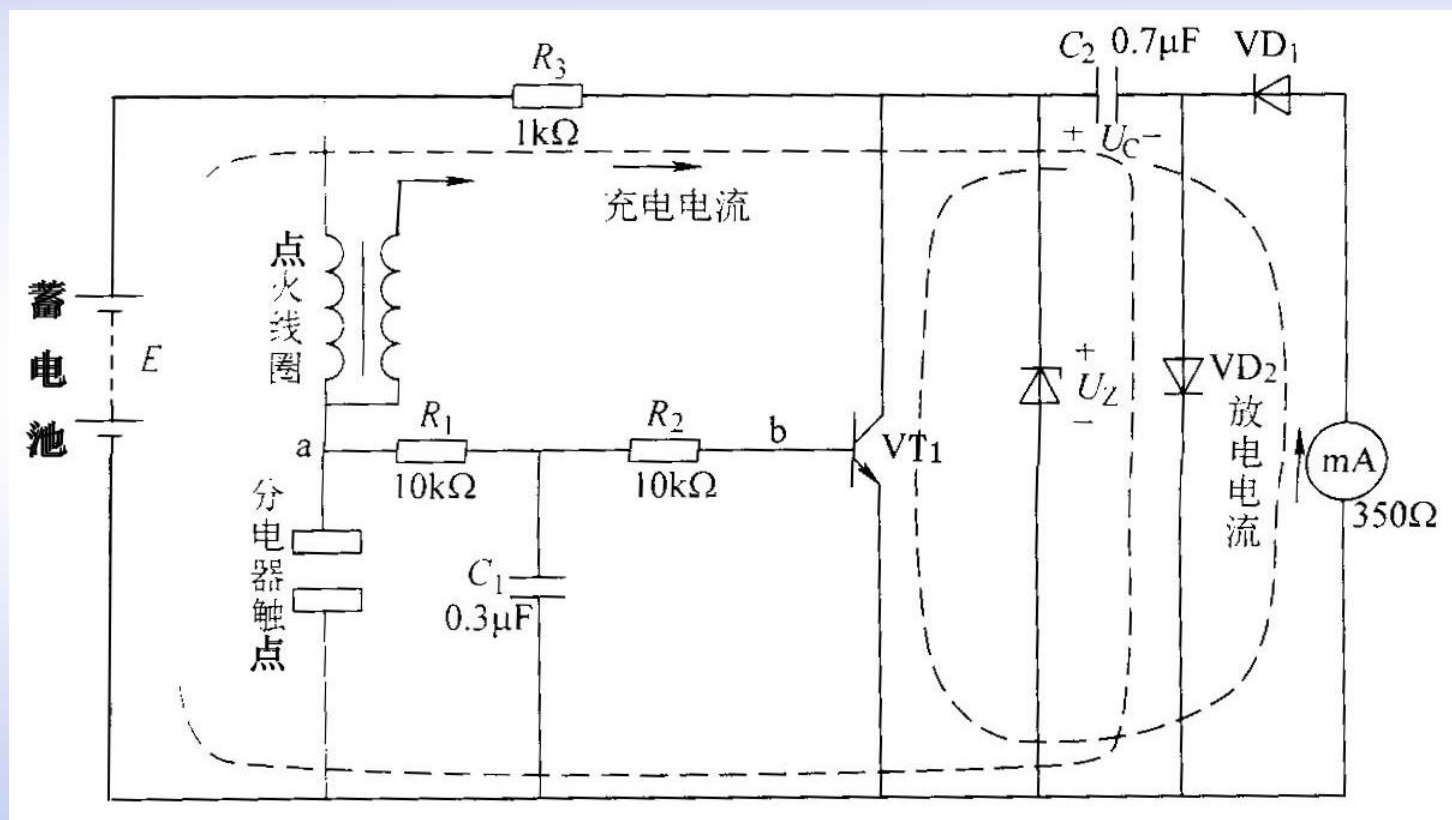


图3.84 汽油机用电子转速表

当触点闭合时，三极管VT1无偏压而处于截止状态，电容器C2被充电，其充电电路为：蓄电池正极→电阻R3→电容器C2→二极管VD2→蓄电池负极，构成回路。

当触点分开时，三极管VT1的基极电位接近电源正极，VT1由截止转为导通。此时电容器C2所充满的电荷经毫安表放电。其放电电路为：电容器C2正极→三极管VT1→毫安表mA→二极管VD1，再回到电容器C2负极，触点反复开闭，重复以上过程。二极管VD2为电容器C2提供充电电路，二极管VD1为电容器C2提供放电回路，C2的放电电流通过毫安表。

因为电容器C2每次充、放电电量 Q 和其容量 C 以及电容器两端的电压 U 成正比，即 $Q=CU$ ，所以每个周期（ T ）内平均放电电流为

$$I = \frac{Q}{T} = \frac{CU}{T} CUf$$

2. 国产BD-71F型有触点电感储能式电子点火系电路

国产BD-71F型有触点电感储能式电子点火系电路如图3.85所示。图中 R_1 ， R_2 组成分压器，用来控制大功率三极管 VT_1 的基极电流， R_2 不仅是 VT_1 的偏流电阻，还是 VT_3 的负载电阻。 R_3 为 VT_3 的偏流电阻， C 用来保护三极管 VT_1 ，二极管 VD_2 的作用是保证前级（ VT_3 ）饱和时，后级（ VT_1 ）能可靠截止。

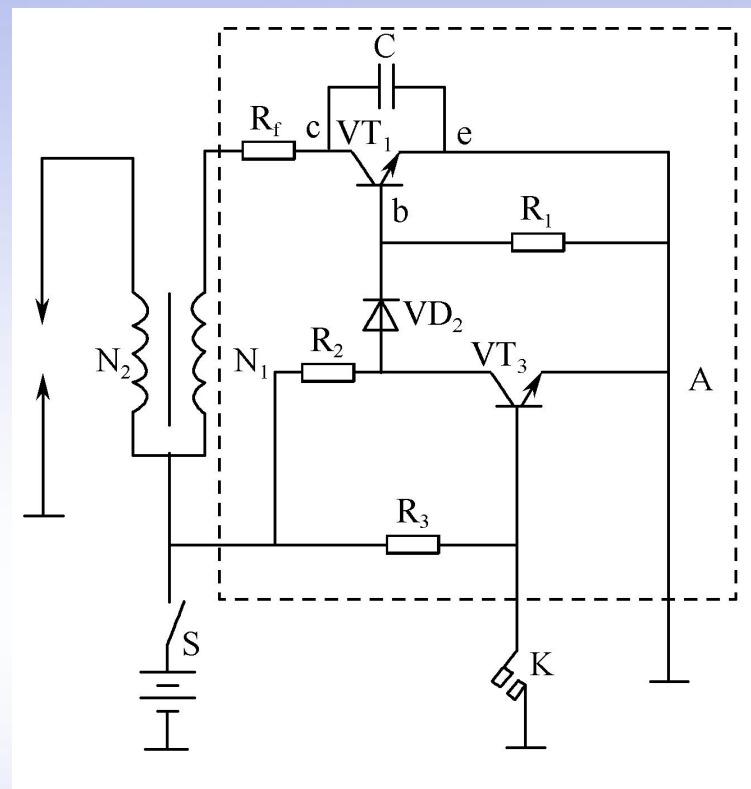


图3.85 国产BD-71F型电子点火系电路

3.JKF667型电子点火控制器

JKF667型电子点火控制器电路如图3.87所示。电路分析如下：

合上点火开关**S**，蓄电池经**R3**向**VT1**提供基极电流使其导通。于是，**VT2**的基极电位接近零，使**VT2**和**VT3**截止。这样，即使点火开关接通，只要发动机不运转，点火线初级绕组内无电流通过，可以防止点火开关未切断而使点火线圈过热及蓄电池长期放电的现象发生。

当发动机运转时，分电器轴带动转子转动，传感线圈便产生交变信号电压。当输出电压为负时，使**VT1**的基极电位下降至负值，**VT1**截止。于是蓄电池通过**R4**向**VT2**提供偏置电流，使**VT2**和**VT3**导通，点火线圈初级绕组中有电流通过。当输出电压为正时，使**VT1**的基极电位升高，**VT1**导通，**VT2**和**VT6**截止，初级电流被切断，次级绕组中感应高压电动势。

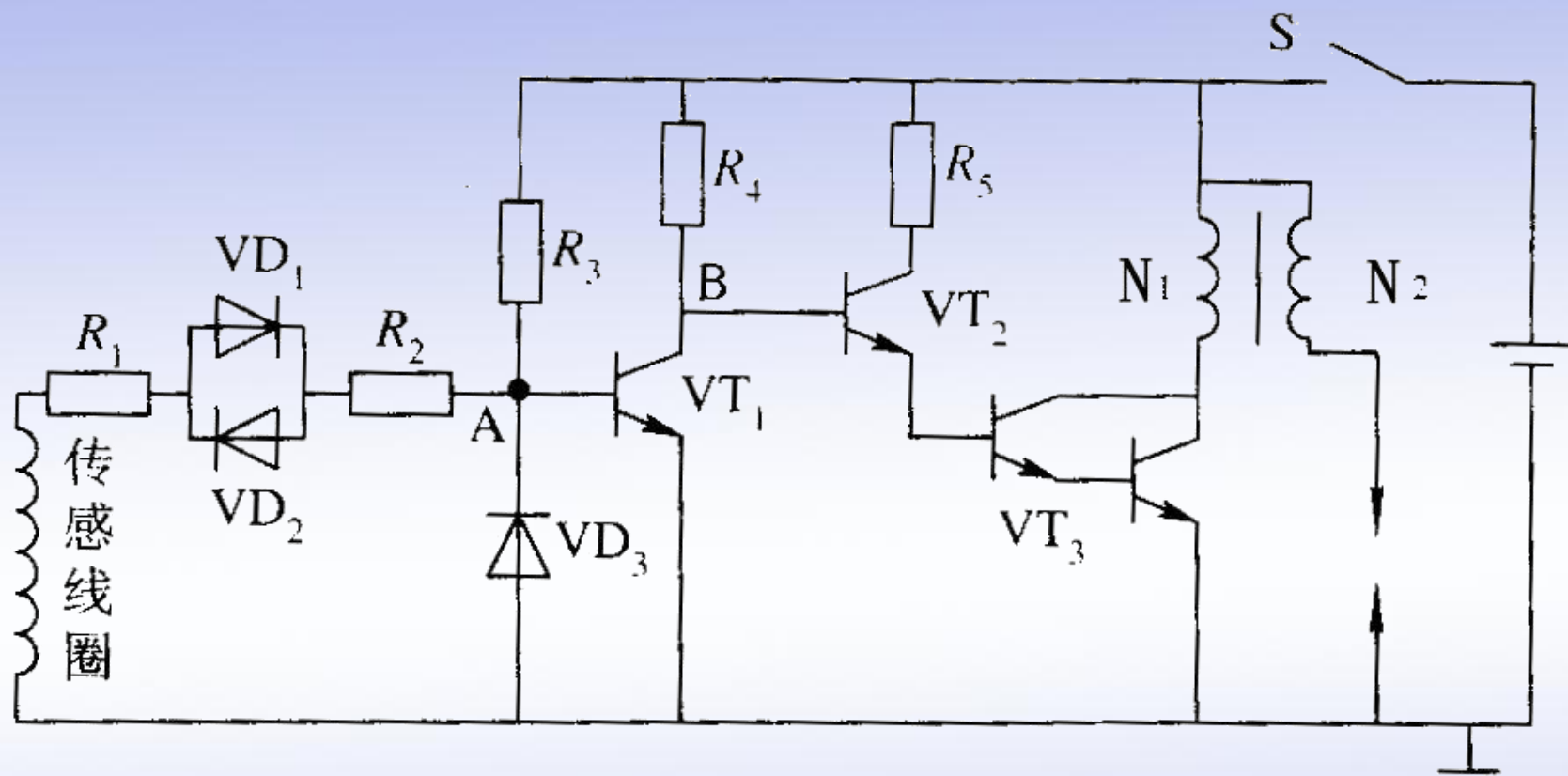


图3.87 JKF667型电子点火控制器电路

4. 汽车空调中电子式温度控制器电路

热敏电阻式温度控制器主要由热敏电阻温度传感器、可调电阻、电子放大器和执行继电器等元件组成，其电路如图3.88所示。

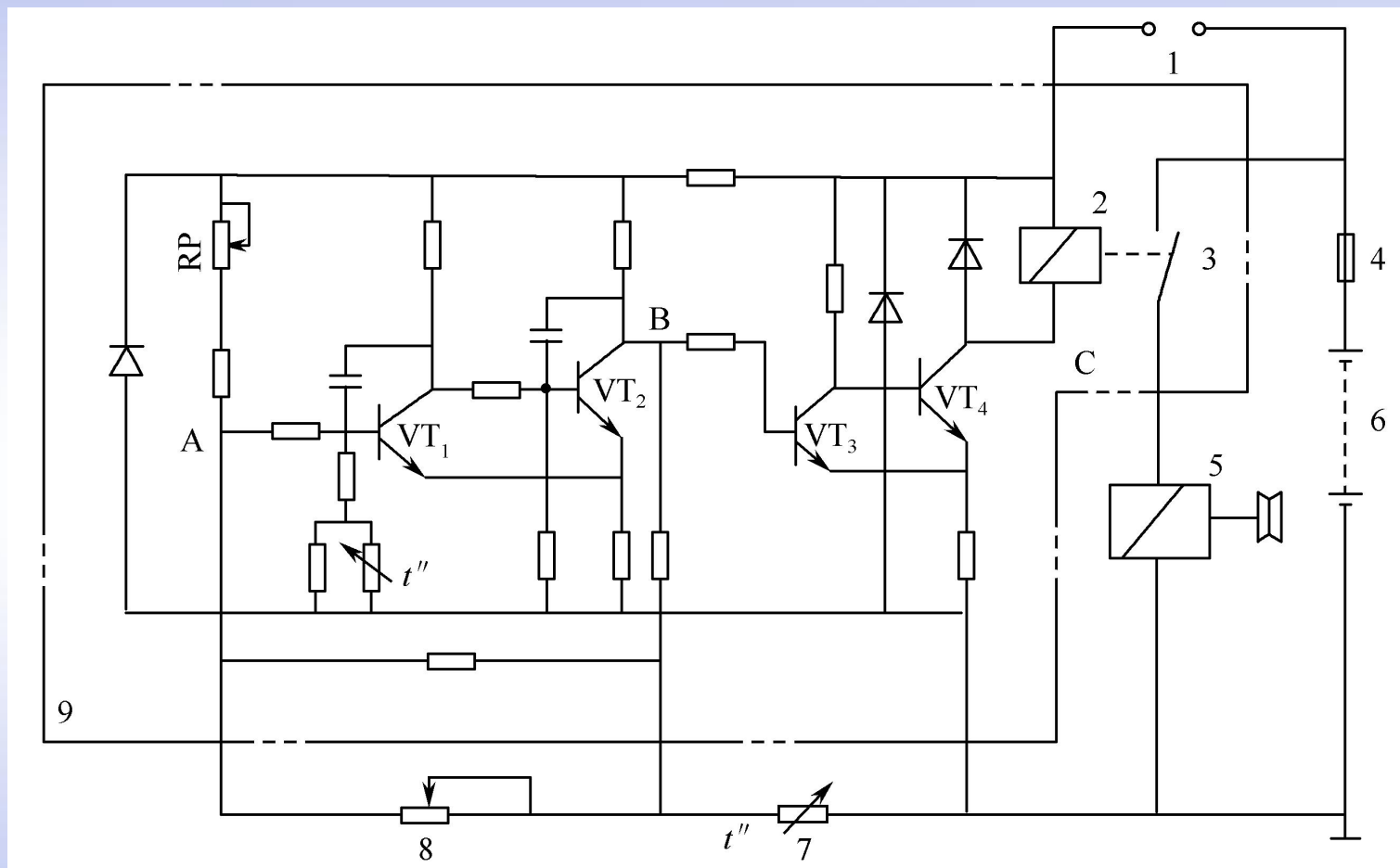
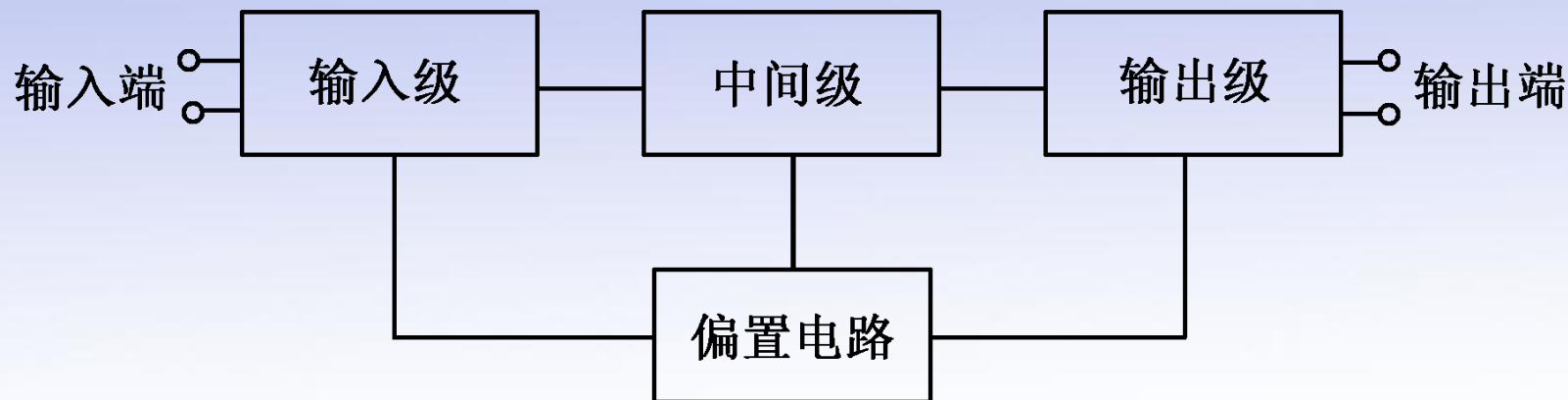


图3.88 热敏电阻式温度控制器电路

1. 集成运算放大器的基本组成



输入级：采用具有恒流源的双输入端的差分放大电路，其目的就是减小放大电路的零点漂移，提高输入阻抗。

中间放大级：作用是电压放大，使整个集成运算放大器有足够高的电压放大倍数。

输出级：采用射极输出器构成的电路，其目的是实现与负载的匹配，使电路有较大的功率输出和较强的带负载能力。

偏置电路：作用是为上述各级电路提供稳定合适的偏置电流，稳定各级的静态工作点，一般由各种恒流源电路构成。

2. 集成运算放大器的特点

特点：高增益、高可靠性、低成本、小尺寸。

A_{uo} 高：80dB~140dB

r_{id} 高： $10^5 \sim 10^{11}\Omega$

r_o 低：几十 Ω ~几百 Ω

K_{CMR} 高：70dB~130dB

3. 集成运算放大器的基本分析方法

理想运算放大器：

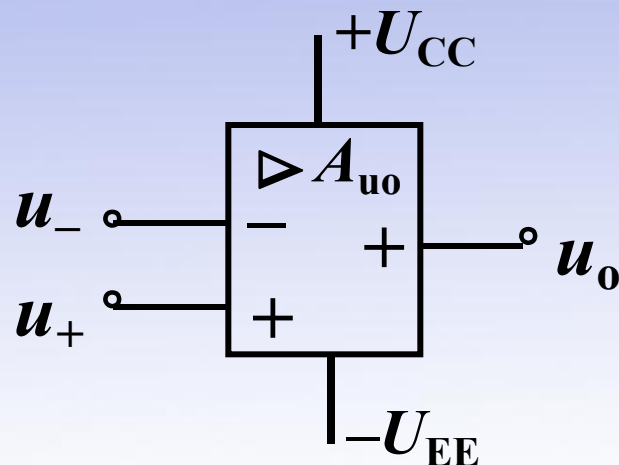
开环电压放大倍数 $A_u = \infty$ ；

输入电阻 $r_i = \infty$ ；

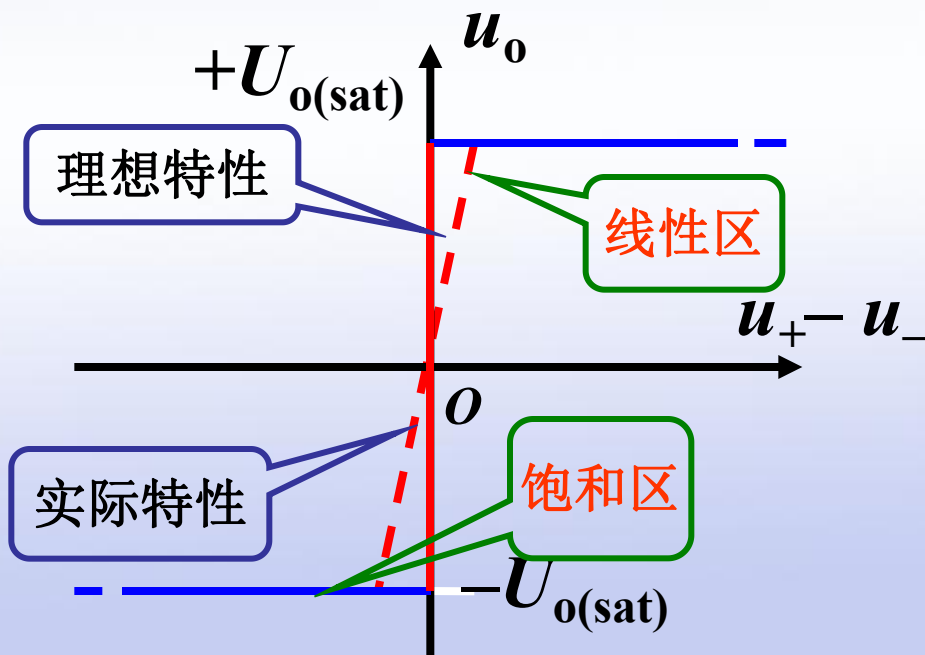
输出电阻 $r_o = 0$ ；

共模抑制比 $K_{CMRR} = \infty$ 。

集成运放的符号：



电压传输特性 $u_o = f(u_i)$



线性区：

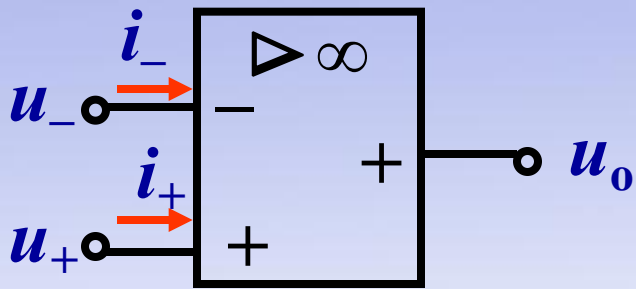
$$u_o = A_{u0} (u_+ - u_-)$$

非线性区：

$$u_+ > u_- \text{ 时, } u_o = +U_{o(sat)}$$

$$u_+ < u_- \text{ 时, } u_o = -U_{o(sat)}$$

理想运放工作在线性区的特点

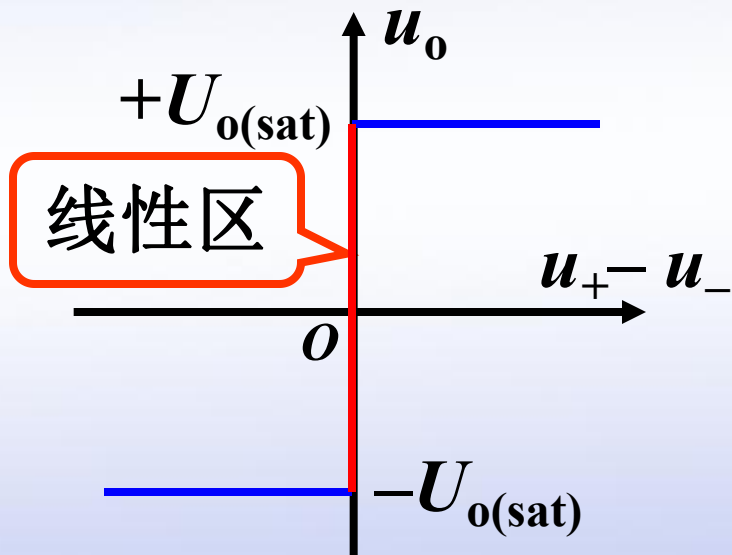


因为 $u_o = A_{uo}(u_+ - u_-)$

所以(1) 差模输入电压约等于 0

即 $u_+ = u_-$, 称“虚短”

电压传输特性



(2) 输入电流约等于 0

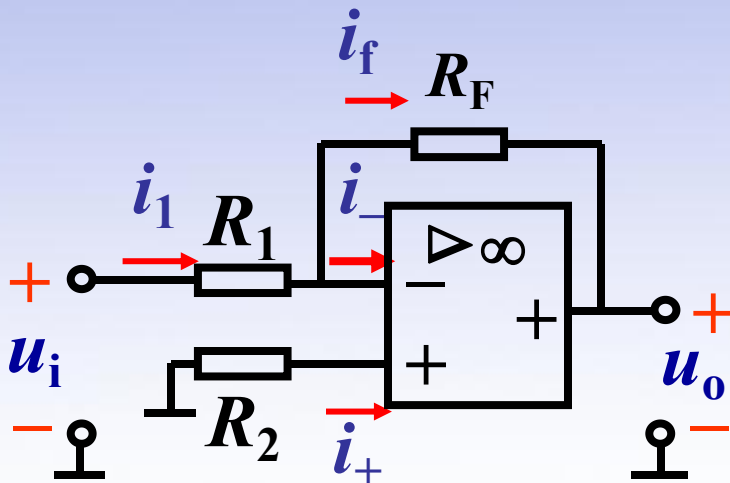
即 $i_+ = i_- \approx 0$, 称“虚断”

A_{uo} 越大, 运放的线性范围越小, 必须加负反馈才能使其工作于线性区。

4. 运算放大器组成的基本运算电路

(1) 反相比例运算电路

① 电路组成



以后如不加说明，输入、输出的另一端均为地(⊥)。

因要求静态时 u_+ 、 u_- 对地电阻相同，

所以平衡电阻 $R_2 = R_1 // R_F$

② 电压放大倍数

因虚断， $i_+ = i_- = 0$ ，

所以 $i_1 \approx i_f$

$$i_1 = \frac{u_i - u_-}{R_1} \quad i_f = \frac{u_- - u_o}{R_F}$$

因虚短，所以 $u_- = u_+ = 0$ ，

称反相输入端“虚地”——反相输入的重要特点

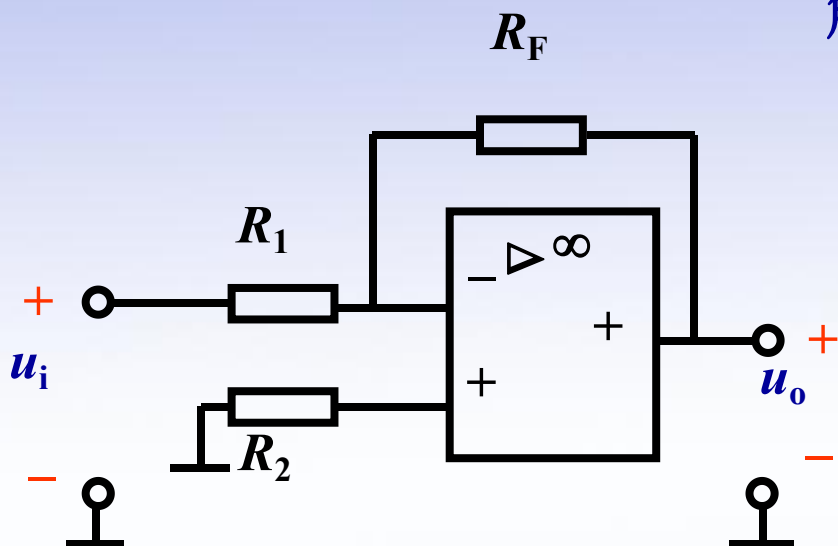
$$u_o = - \frac{R_F}{R_1} u_i$$

$$A_{uif} = \frac{u_o}{u_i} = - \frac{R_F}{R_1}$$

例：电路如下图所示，已知 $R_1 = 10\text{ k}\Omega$ ， $R_F = 100\text{ k}\Omega$ 。

求： A_{uf} 、 R_2 ；

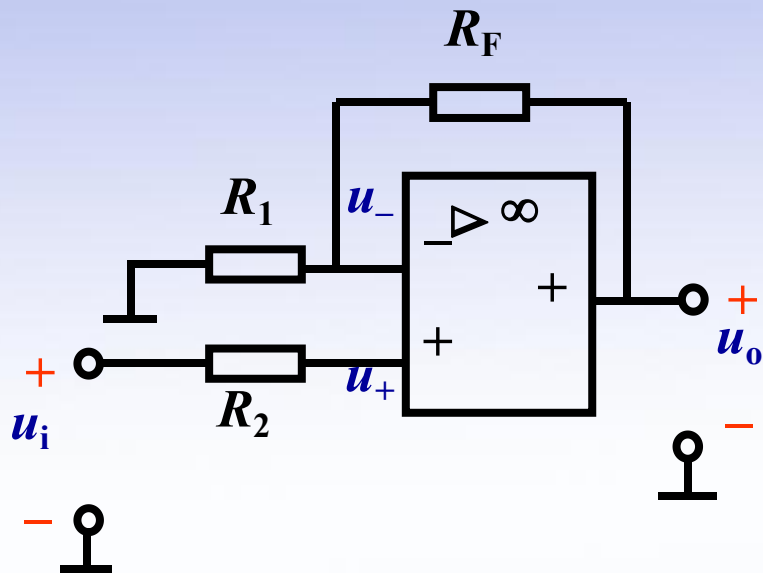
解： $A_{uf} = -R_F / R_1$
 $= -100 / 10 = -10$



$$\begin{aligned} R_2 &= R_1 // R_F \\ &= 10 \times 100 / (10 + 100) \\ &= 9.1\text{ k}\Omega \end{aligned}$$

(2) 同相比例运算

① 电路组成



因要求静态时 u_+ 、 u_- 对地电阻相同，

所以平衡电阻 $R_2 = R_1 // R_F$

② 电压放大倍数

因虚断，所以 $u_+ = u_i$

$$u_- = \frac{R_1}{R_1 + R_F} u_o$$

因虚短，所以 $u_- = u_i$ ，反相输入端不“虚地”

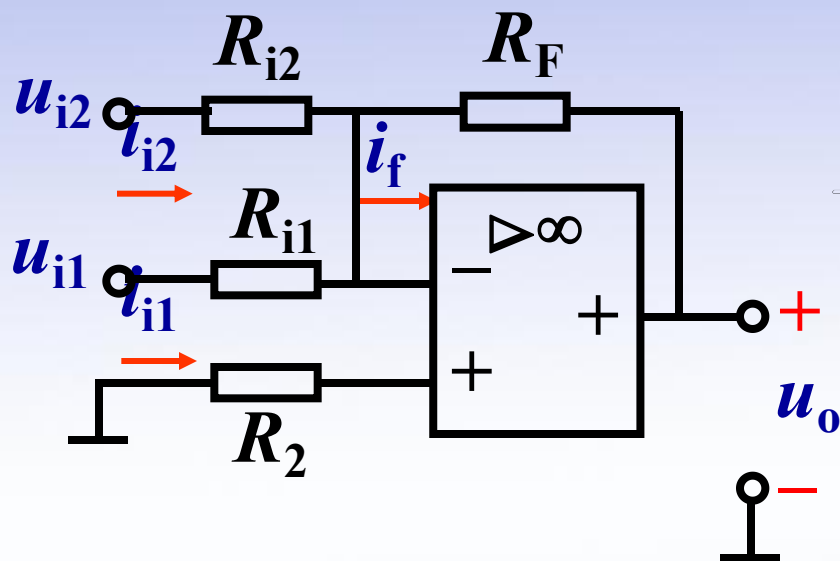
$$u_o = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) u_i$$

$$A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$$

(3) 反相加法运算电路

因虚断, $i_- = 0$

所以 $i_{i1} + i_{i2} = i_f$



$$\frac{u_{i1} - u_-}{R_{i1}} + \frac{u_{i2} - u_-}{R_{i2}} = \frac{u_- - u_o}{R_F}$$

因虚短, $u_- = u_+ = 0$

故得
$$\frac{u_{i1}}{R_{i1}} + \frac{u_{i2}}{R_{i2}} = -\frac{u_o}{R_F}$$

平衡电阻:

$$R_2 = R_{i1} // R_{i2} // R_F$$

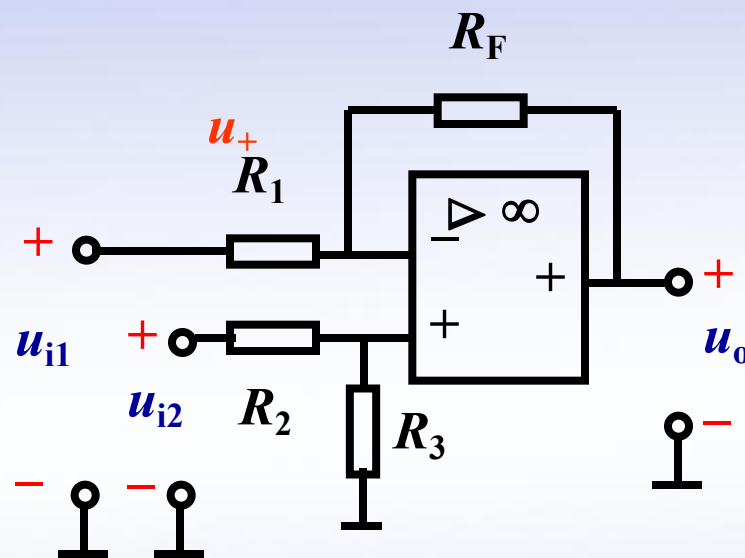
$$u_o = -\left(\frac{R_F}{R_{i1}} u_{i1} + \frac{R_F}{R_{i2}} u_{i2}\right)$$

(4) 减法运算电路

利用叠加原理

减法运算电路可看作是反相比例运算电路与同相比例运算电路的叠加。

$$\begin{aligned}
 u_{\oplus}' &= -\frac{R_F}{R_1} u_{i1} \\
 u_{\oplus}'' &= \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) u_+ \\
 &= \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_{i2} \\
 u_{\oplus} &= u_{\oplus}' + u_{\oplus}''
 \end{aligned}$$



$$= \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_{i2} - \frac{R_F}{R_1} u_{i1}$$

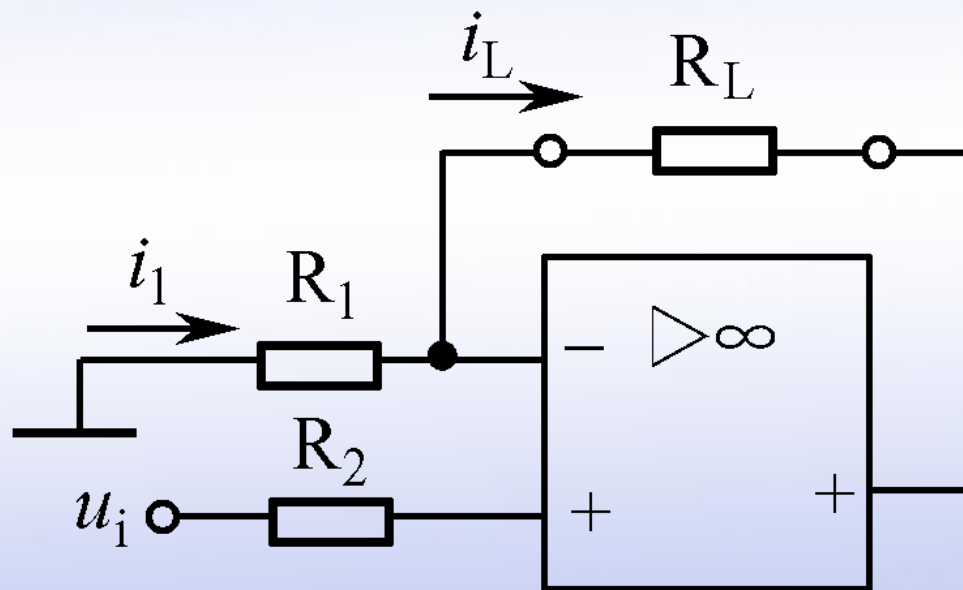
如 $R_1 = R_2$, $R_3 = R_F$

$$\text{则: } u_{\oplus} = \frac{R_F}{R_1} (u_{i2} - u_{i1})$$

5. 基本运算电路的应用举例

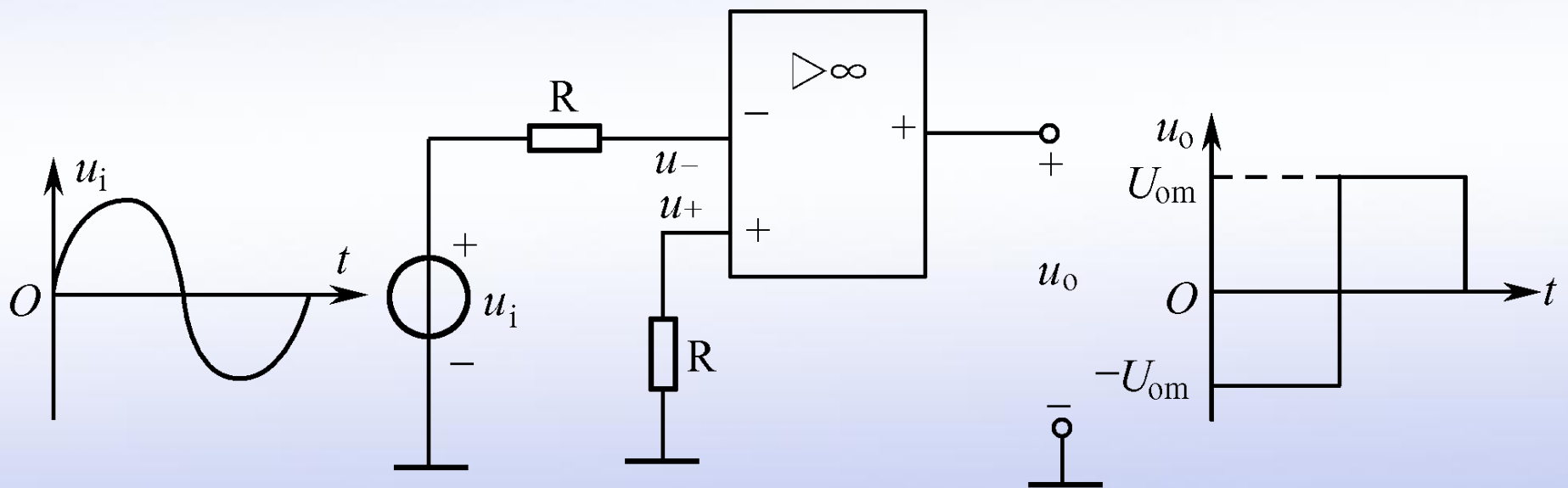
(1) 电压电流变换器

$$i_L = i_1 = -\frac{u_i}{R_1}$$



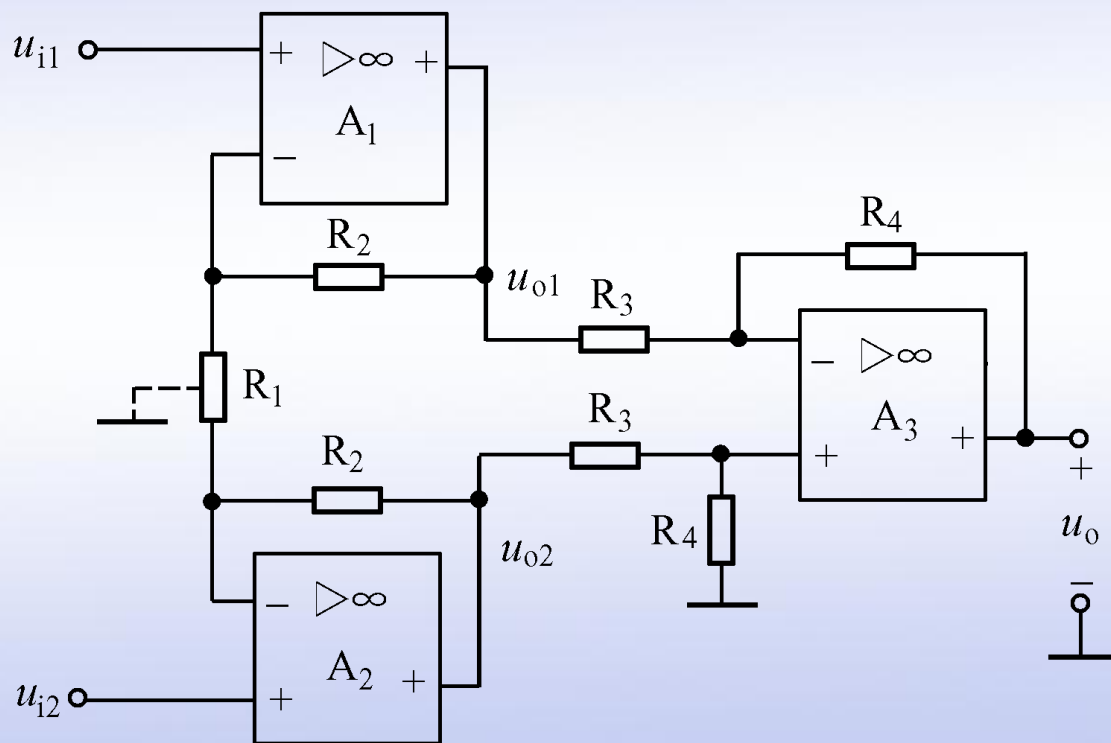
(2) 电压过零比较器

输入的正弦模拟电压信号 u_i 接在反相输入端，与同相输入端的零电位进行比较，当 u_i 为正时，由于净输入电压 $u_+ < u_-$ ，则输出电压 $u_o = -U_{om}$ ；当 u_i 为负时，由于 $u_+ > u_-$ ，输出电压 $u_o = +U_{om}$ 。



(3)测量放大器

电路如图所示，**A1**、**A2**组成第一级运放，**A3**组成第二级差分运放。该电路均采用同相输入，所以输入电阻较高；电路结构对称，能很好地抑制零点漂移。由于电路结构上下对称，可以确定电阻**R1**的中间电位为地电位。



A1的输出电压为

$$u_{o1} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1 / 2}\right) u_{i1} = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) u_{i1}$$

A2的输出电压为

$$u_{o2} = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) u_{i2}$$

第二级构成减法运算电路，**uo1**、**uo2**分别为**A3**的反相端和同相端输入信号。则**A2**的输出电压为

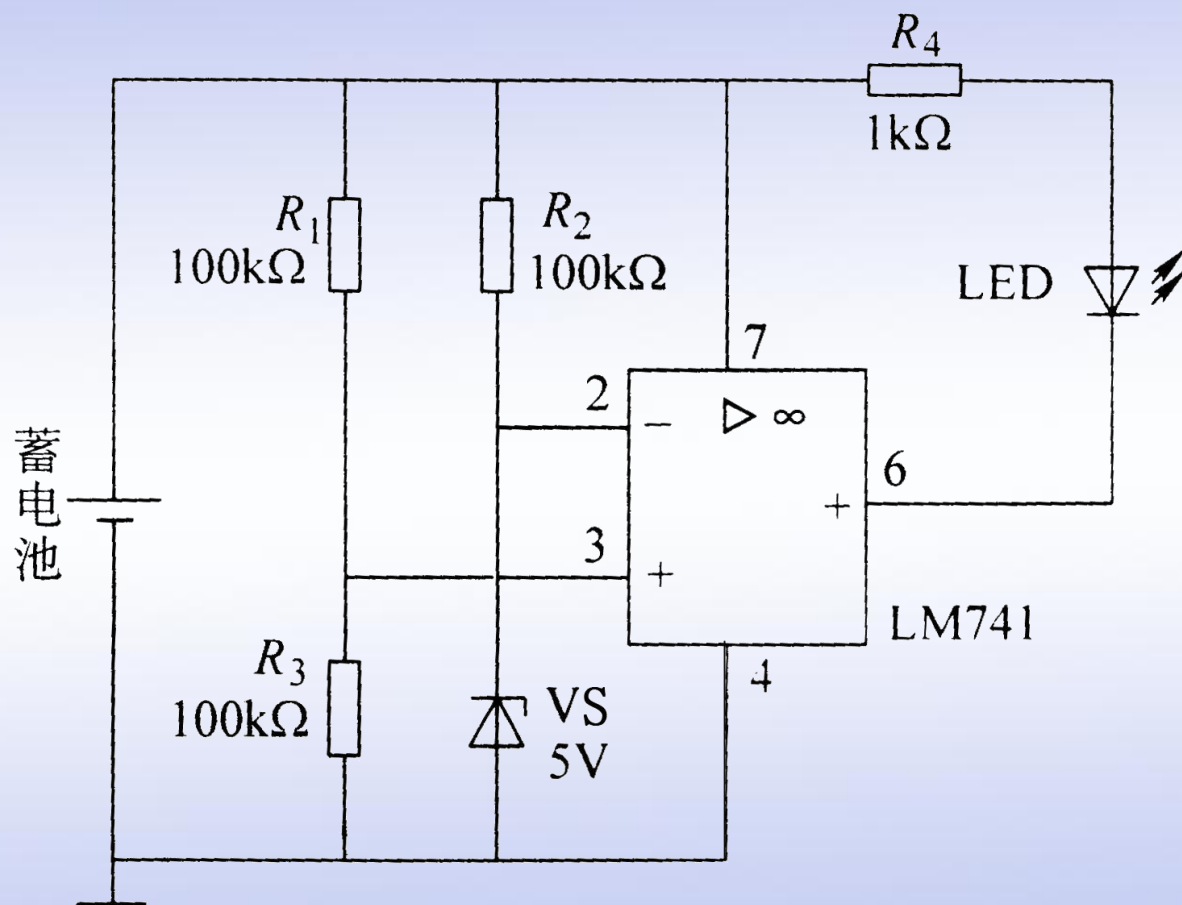
$$u_o = \frac{R_4}{R_3} (u_{o2} - u_{o1})$$

电路总的电压放大倍数为

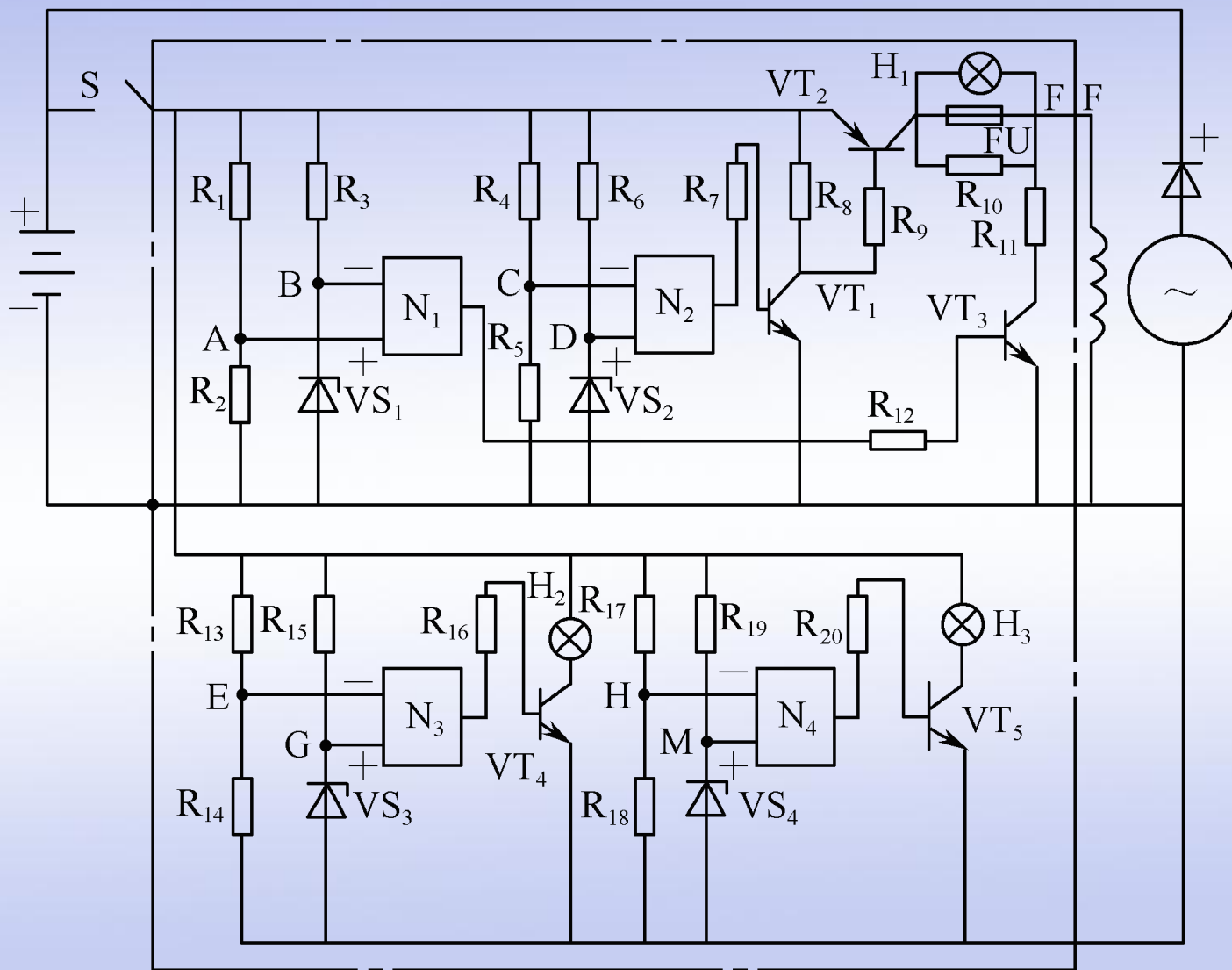
$$A_{uf} = \frac{u_o}{u_{i1} - u_{i2}} = -\frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)$$

六、运算放大器在汽车中的应用

1. 蓄电池电压过低报警电路



2. 由运算放大器组成的多功能集成电路调节器电路



任务四、正弦波振荡电路

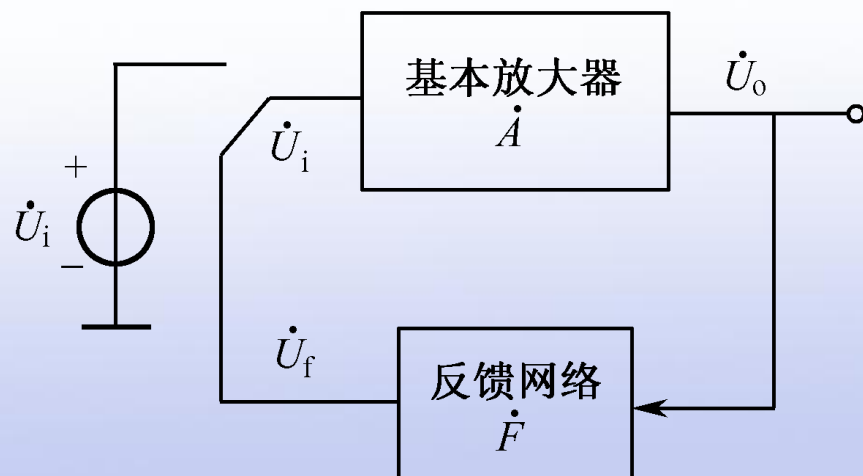
振荡器是一种信号产生电路，用以产生一定频率和幅度的信号，振荡器也是一种能量转换装置，无需外加信号就能自动地把直流电能转换成具有一定频率、一定振幅、一定波形的交流信号。所以振荡器又称为自激振荡器或波形发生器。

1. 正弦波振荡器的振荡条件及基本组成

正弦波振荡器由放大器和反馈网络组成，如图所示。

(1) 振荡的平衡条件

$$\dot{A}_u \dot{F}_u = \left| \dot{A}_u \dot{F}_u \right| / \underline{\varphi_a + \varphi_f} = 1$$



振幅平衡条件：

$$\left| \dot{A}_u \dot{F}_u \right| = 1$$

相位平衡条件：

$$\varphi_a + \varphi_f = 2n\pi \quad (n = 0, 1, 2, \cdots)$$

(2) 振荡的起振条件

起振的相位条件：

$$\left| \dot{A}_u \dot{F}_u \right| > 1$$

起振的振幅条件：

$$\varphi_a + \varphi_f = 2n\pi \quad (n = 0, 1, 2, \cdots)$$

(3) 正弦波振荡器的基本组成

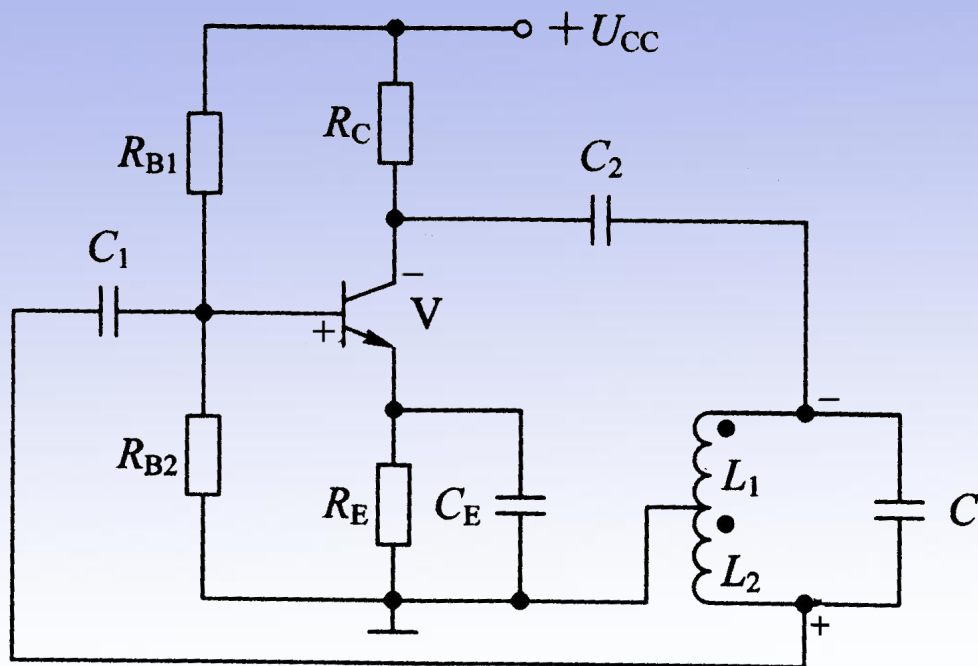
正弦波振荡器由放大电路和反馈网络组成。

正弦波振荡器的选频网络根据组成元件的不同可分为不同的正弦波振荡电路。选频网络由**R**，**C**元件组成的称为**RC**正弦波振荡电路；由**L**，**C**元件组成的称为**LC**振荡电路。

2. 电感三点式LC正弦波振荡电路

电感三点式振荡电路如图3.104所示。L线圈由L₁及L₂组成，线圈的两端及中心抽头组成电感三点式。该电路中放大环节为晶体管分压式反相放大器，反馈环节由LC串并联电路实现，反馈类型可分析为并联、电压、交流及正反馈，选频环节为LC并联谐振选频电路，其振荡频率为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L'C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_1 + L_2 + 2M)C}}$$



调节L或C的参数值即可调节电路的振荡频率。在电感三点式中，通过改变电感线圈的抽头匝数，一方面可改变谐振频率，另一方面可改变反馈系数，以确保 $|\dot{A}_u \dot{F}_u| \geq 1$ ，使振荡能顺利产生并稳定。

3. 电容三点式振荡电路

电容三点式振荡电路如图3.105所示。图中，电容C₁、C₂的两端及中心抽头组成电容三点式。该电路中，放大环节同样为晶体管分压式反相放大器，反馈环节的类型同样可分析为并联、电压、交流及正反馈，选频环节也是LC并联谐振电路，其振荡频率为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC'}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}}}$$

式中，C'是振荡电路的等效电容。

由于电容三点式振荡电路的反馈电压取自于电容，它对高次谐波的阻抗小，有滤波作用，因而反馈电压中谐波分量少，输出波形较好。

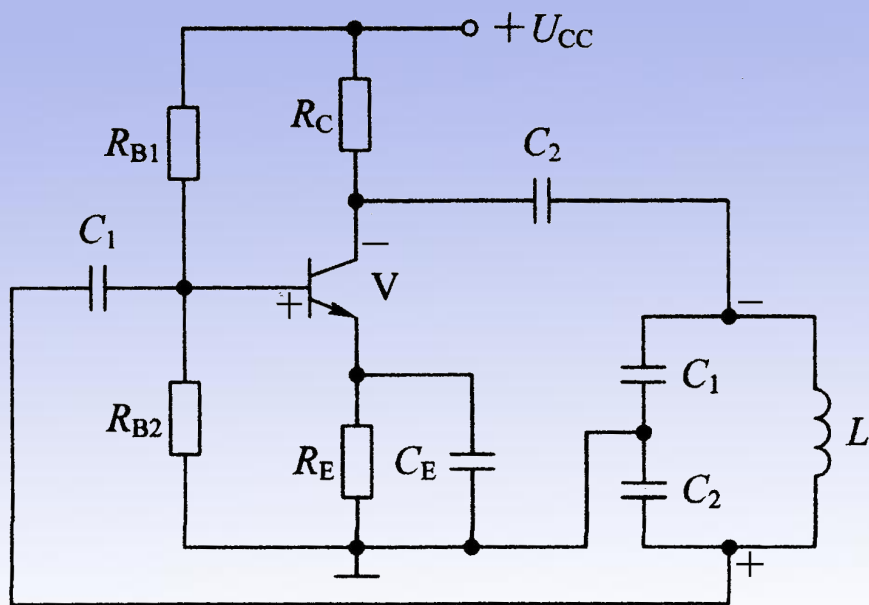


图 电容三点式振荡电路

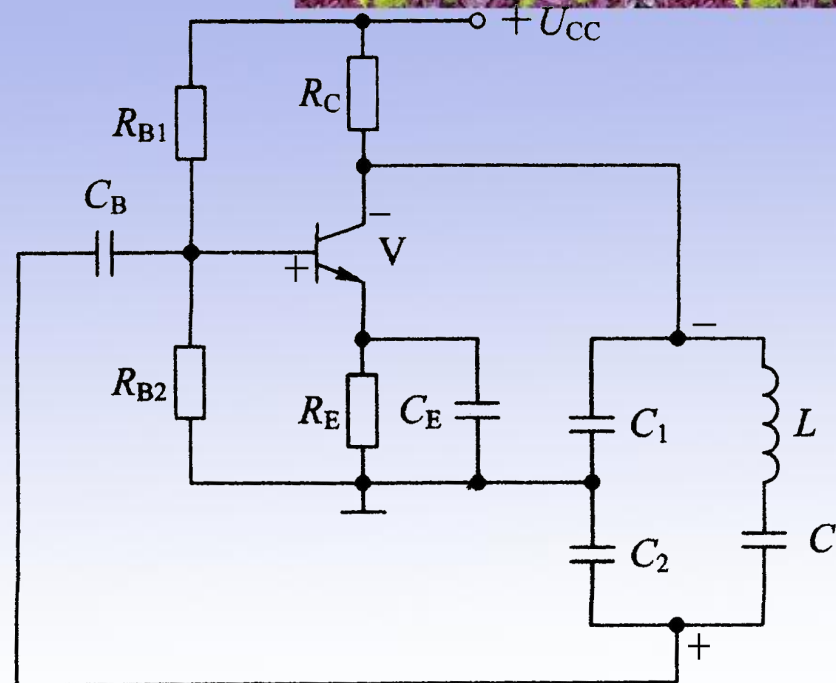


图 电容三点式改进型正弦波振荡电路

如果电路要求的振荡频率比较高，而电容 C_1 、 C_2 小到可与三极管的极间电容相比，则管子的极间电容是不容忽略的。管子的极间电容随温度等因素的变化而变化，会对振荡频率造成显著影响，使振荡频率不稳定。为了克服这一缺点，可在电感 L 支路上串接一个电容 C ，使振荡频率取决于 L 和 C ， C_1 、 C_2 只起分压作用。改进后的电路见图3.106。

二、正弦波振荡器在汽车中的应用

图为振荡式无触点电子点火控制器电路。

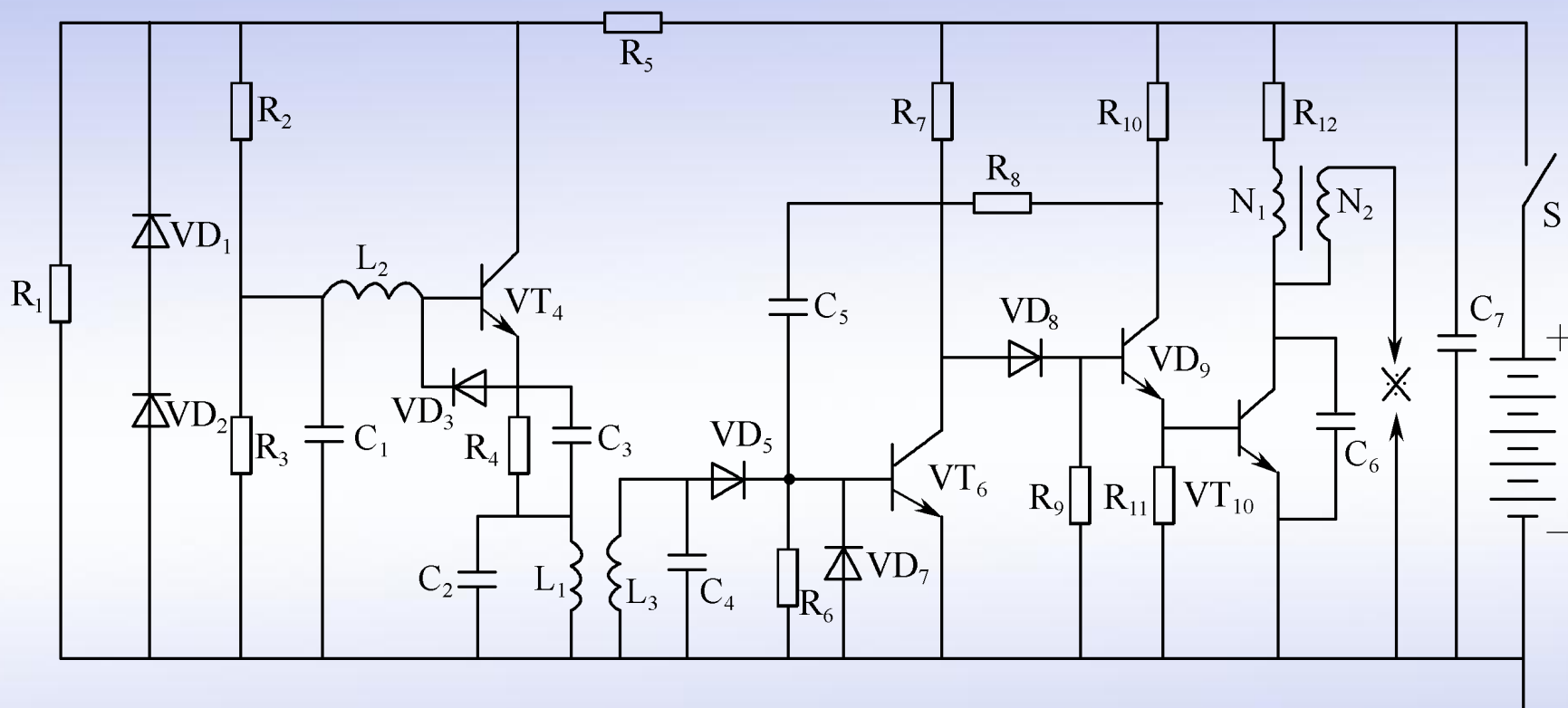


图 振荡式无触点电子点火控制电路

项目六 数字电路及其应用

任务一 数制、编码及基本逻辑门电路

任务二 触发器

任务三 时序逻辑电路

任务四 **555**定时器及其在汽车上的应用



项目六 数字电路及其应用

知识目标:

- 1.掌握逻辑门电路的结构、特点，熟悉门电路在汽车中的应用；
- 2.理解**RS**、**JK**、**D**触发器的逻辑功能、符号和触发方式；
- 3.熟悉计数器、寄存器和译码器的工作原理；
- 4.掌握**555**定时器的结构及工作原理，熟悉**555**定时器在汽车上的应用。

能力目标:

- 1.具备查阅数字电路有关资料和手册的能力；
- 2.能正确识别并检测门电路、触发器、译码器和**555**定时器等；
- 3.会使用常用的数字集成电路设计和制作简单的数字电路；
- 4.具备组装、调试和分析数字电路的基本能力。

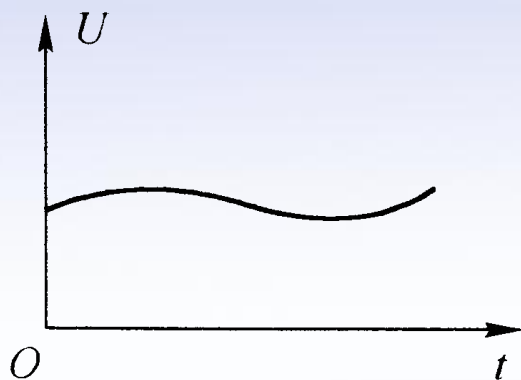
任务一 数制、编码及基本逻辑门电路

汽车电工电子技术

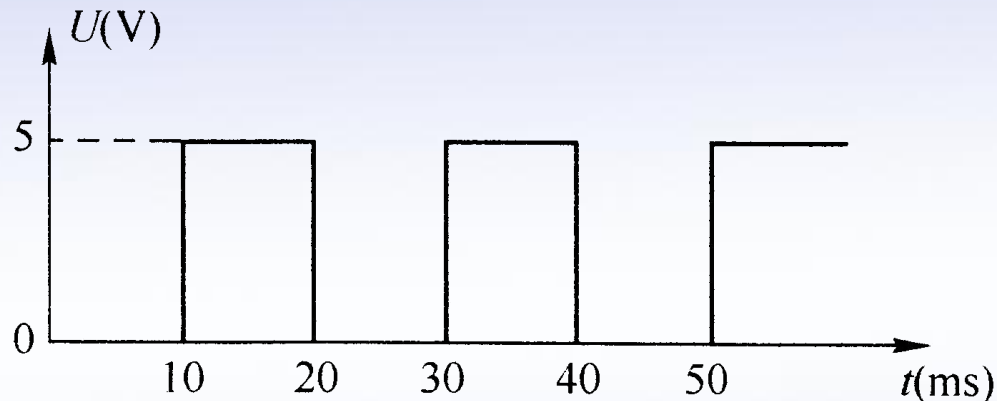
一、模拟信号和数字信号

模拟信号——时间连续、数值也连续变化的信号。

数字信号——时间上和数值上均是离散变化的信号。



(a) 模拟信号



(b) 数字信号

该信号有两个特点：

(1) 信号只有两个电压值。

(2) 信号从高电平变为低电平，或者从低电平变为高电平是一个突然变化的过程，这种信号又称为脉冲信号。

二、数制与码制

1. 数制

(1) 十进制。在表示数值大小时，允许使用的数字符号的个数称为基数。十进制在表示数值大小时允许使用0~9十个数字符号，因此其基数是10。以10为基数，进位规则是“逢十进一”的数制就称为十进制。

(2) 二进制。二进制在表示数值大小时只能使用0和1两个数字符号，因此其基数是以2为基数，进位规则是“逢二进一”的数制就称为二进制。

(3) 二一十进制数的相互转换

①二进制数转换为十进制数。方法是将二进制数按位值展开后相加，就得到等值的十进制数。

②十进制数转换为二进制数。方法是除2取余法。

2. 码制

由于数字系统是以二值数字逻辑为基础的，因此数字系统中的信息（包括数值、文字、控制命令等）都是用一定位数的二进制码表示的，这个二进制码称为代码。

表3.2 几种常用的二—十进制码

十进制数	8421 码	2421 码	5421 码	余三码
0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 1 1
1	0 0 0 1	0 0 0 1	0 0 0 1	0 1 0 0
2	0 0 1 0	0 0 1 0	0 0 1 0	0 1 0 1
3	0 0 1 1	0 0 1 1	0 0 1 1	0 1 1 0
4	0 1 0 0	0 1 0 0	0 1 0 0	0 1 1 1
5	0 1 0 1	1 0 1 1	1 0 0 0	1 0 0 0
6	0 1 1 0	1 1 0 0	1 0 0 1	1 0 0 1
7	0 1 1 1	1 1 0 1	1 0 1 0	1 0 1 0
8	1 0 0 0	1 1 1 0	1 0 1 1	1 0 1 1
9	1 0 0 1	1 1 1 1	1 1 0 0	1 1 0 0
位权	8 4 2 1 $b_3 b_2 b_1 b_0$	2 4 2 1 $b_3 b_2 b_1 b_0$	5 4 2 1 $b_3 b_2 b_1 b_0$	无权

三、逻辑代数及基本运算

1. 逻辑“与”

逻辑与是描述与逻辑关系的，又称与运算。逻辑表达式为

$$F = A \cdot B$$

其意义是仅当决定事件发生的所有条件**A**、**B**中均具备时，事件**F**才能发生。

与逻辑真值表

A	B	F	A	B	F
0	0	0	1	0	0
0	1	0	1	1	1

2. 逻辑“或”

逻辑或是描述或逻辑关系的，又称或运算。逻辑表达式为

$$F = A + B$$

其意义是当决定事件发生的各种条件**A**、**B**中，只要有一个或一个以上的条件具备，事件**F**就发生。

或逻辑真值表

A	B	F	A	B	F
0	0	0	1	0	1
0	1	1	1	1	1

3. 逻辑“非”

逻辑或是对一个逻辑变量的否定，也称非运算。逻辑表达式为

$$F = \overline{A}$$

其意义是事件发生出现的结果必然和这种条件相反。

非逻辑真值表

A	F
0	1
1	0

4. 逻辑代数基本定律

表3.6 逻辑代数的基本公式

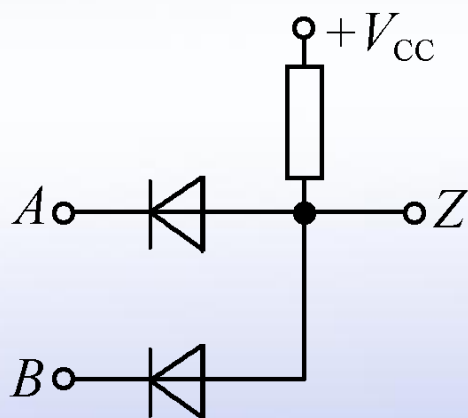
名 称	公 式 1	公 式 2
0-1 律	$A \cdot 1 = A$ $A \cdot 0 = 0$	$A + 0 = A$ $A + 1 = 1$
互补律	$A \cdot \bar{A} = 0$	$A + \bar{A} = 1$
重叠律	$A \cdot A = A$	$A + A = A$
交换律	$AB = BA$	$A + B = B + A$
结合律	$A(BC) = (AB)C$	$A + (B + C) = (A + B) + C$
分配律	$A(B + C) = AB + AC$	$A + BC = (A + B)(A + C)$
反演律	$\overline{AB} = \bar{A} + \bar{B}$	$\overline{A + B} = \bar{A}\bar{B}$
吸收律	$A(A + B) = A$ $A(\bar{A} + B) = AB$ $(A + B)(\bar{A} + C)(B + C) = (A + B)(\bar{A} + C)$	$A + AB = A$ $A + \bar{A}B = A + B$ $AB + \bar{A}C + BC = AB + \bar{A}C$
对合律	$\overline{\bar{A}} = A$	

四、基本门电路

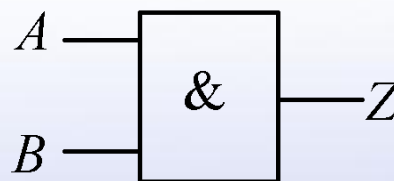
1. 基本门电路

(1) 二极管与门

二极管与门电路如图（a）所示。在输入 A 、 B 中有一个（或一个以上）为低电平，则与输入端相连的二极管必然获得正偏电压而导通，使输出端 Z 为低电平，只有输入 A 、 B 同时为高电平，输出 Z 才是高电平。由此可知输入对输出呈与逻辑关系，即 $Z=A \cdot B$ ，其逻辑符号如图（b）所示，真值表如图（c）所示。



(a) 电路图



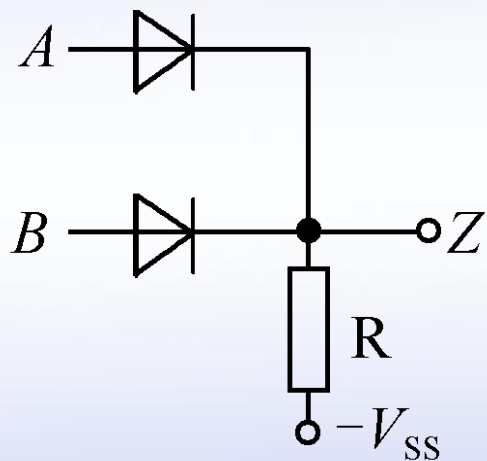
(b) 逻辑图

A	B	Z
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

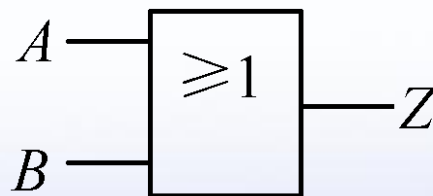
(c) 真值表

(2) 二极管或门

二极管或门电路如图 (a) 所示。由图可知, 在输入 A 、 B 中有一个 (或一个以上) 为高电平, 则与之相连的二极管必然获得正偏电压而导通, 使输出 Z 为高电平, 只有输入 A 、 B 同时为低电平时, 输出 Z 才是低电平。由此可知, 输入对输出呈或逻辑关系, 即 $Z = A + B$, 其逻辑符号如图 (b) 所示, 其真值表见图 (c)。



(a) 电路图



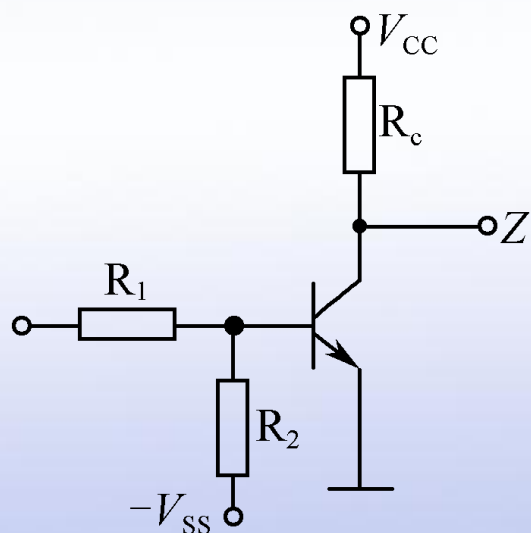
(b) 逻辑图

A	B	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

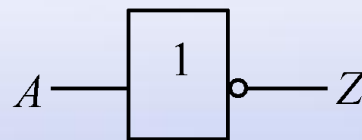
(c) 真值表

(3) 三极管非门

非门又称为反相器，是实现逻辑翻转的门电路。它对输入的逻辑电平取反，实现相反的逻辑功能输出。其电路如图（a）所示。只要电阻 R_1 、 R_2 和负电源 $-V_{ss}$ 参数配合适当，则当输入低电平信号时，三极管的基极为负电位，发射结反偏，三极管可靠截止，输出为高电平；而当输入为高电平时，三极管基极为正电位而饱和导通，输出为低电平，从而实现非运算。非运算的逻辑符号和真值表分别如图（b）、（c）所示。其逻辑式为 $Z = \overline{A}$



(a) 电路图



(b) 逻辑图

A	Z
0	1
1	0

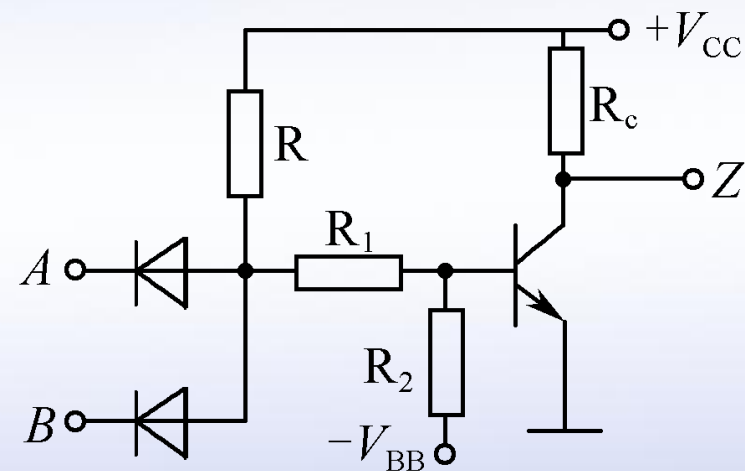
(c) 真值表

(4) 三极管与非门

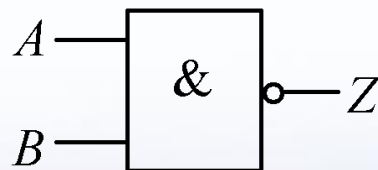
将二极管与门与三极管非门相连，即可构成与非门，如图3.112 (a) 所示。通过与门和非门的分析可得与非门的真值表，其逻辑符号及真值表分别如图3.112 (b)、图3.112 (c) 所示。

其逻辑表达式为

$$Z = \overline{A \cdot B}$$



(a) 电路图



(b) 逻辑图

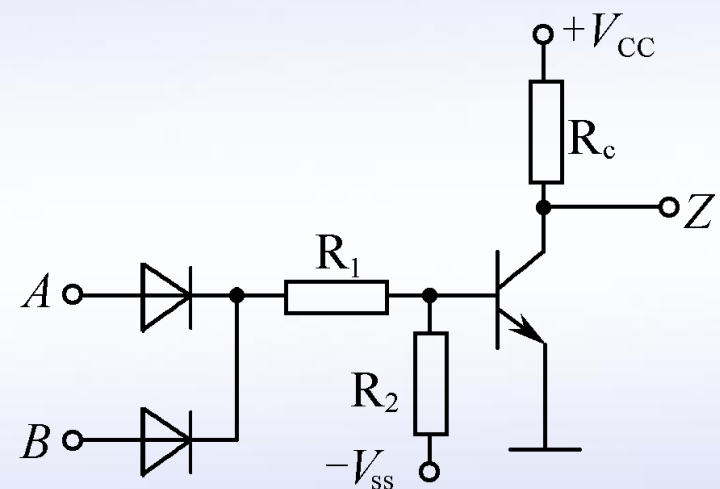
A	B	Z
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

(c) 真值表

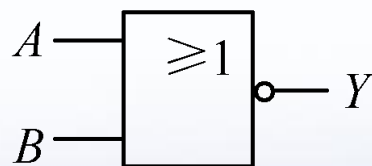
(5) 三极管或非门

将二极管或门和三极管非门相连接，即构成或非门，如图（a）所示。类似分析不难得出或非门的真值表，其逻辑符号及真值表分别如图（b）、（c）所示。

其逻辑表达式为 $Z = \overline{A + B}$



(a) 电路图



(b) 逻辑图

A	B	Z
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

(c) 真值表

2. 集成逻辑门电路

构成集成逻辑门电路包含三种数字集成电路技术，分别是CMOS, TTL和ECL。其中CMOS和TTL应用最为广泛，下面分别介绍这两种类型。

(1) TTL门电路

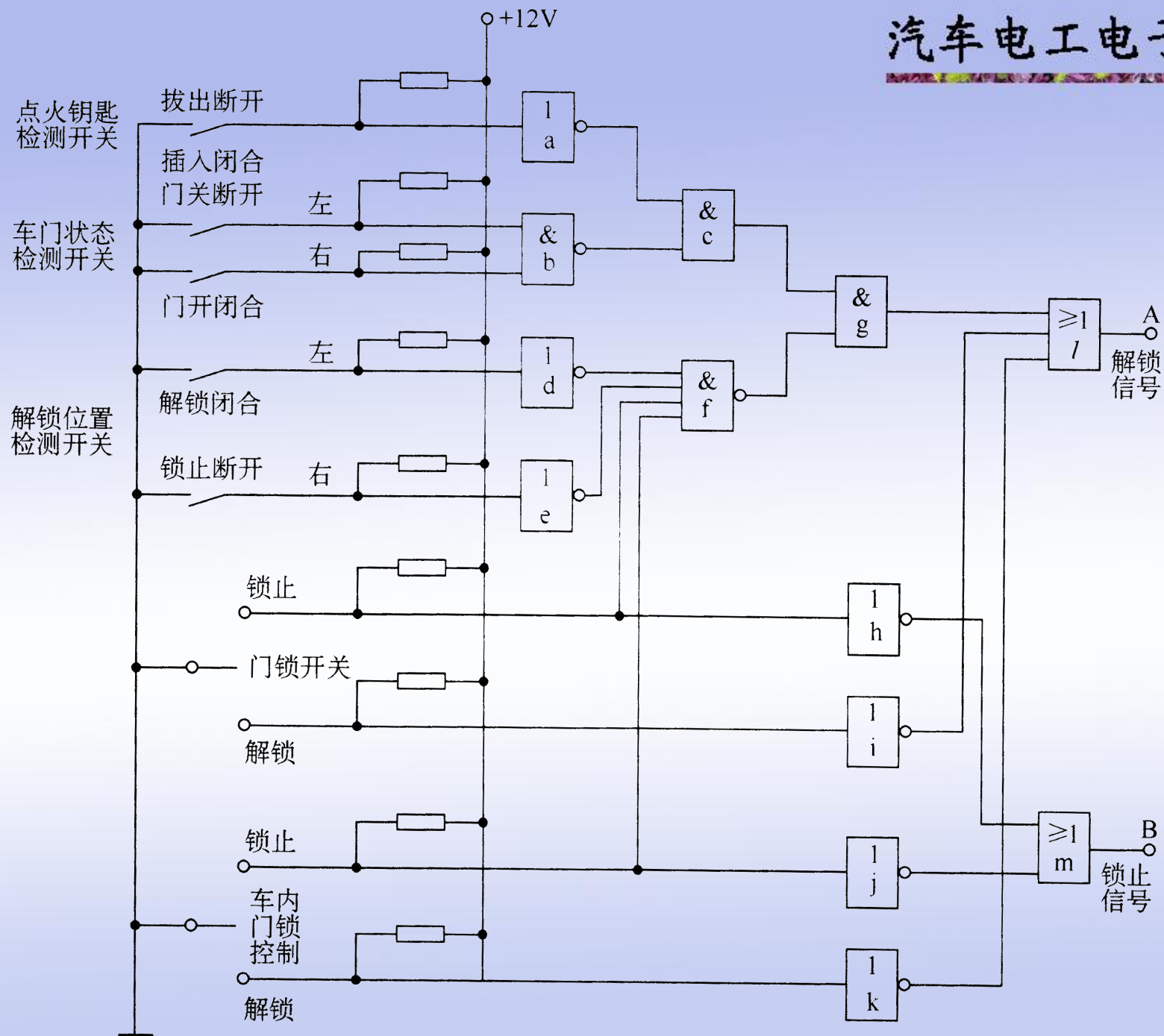
TTL代表晶体管-晶体管逻辑电路的意思。它的输入端和输出端都是由双极型晶体管组成。TTL是一种应用广泛的数字集成电路技术。TTL较之CMOS的一个优点就是对静电效应不敏感。

(2) CMOS门电路

MOS集成电路是由金属-氧化物-半导体场效应管构成的单极型集成电路。可分为三类：NMOS, PMOS和CMOS电路，其中尤其以CMOS发展最为迅速，应用最为广泛。

五、 门电路在汽车中的应用

现代轿车为了开关车门及发生异常情况时提醒驾驶员注意，专门设计了门锁控制系统。该系统由控制电路和执行机构组成，图6.8为门锁控制系统的控制电路部分，由图可见，控制电路由非门、与门、与非门和或门电路组成，输入信号由多个开关产生。以点火钥匙检测开关为例，当点火钥匙插入点火开关锁孔时，开关闭合，非门a输入接地，引入低电平信号；当点火钥匙拔出时，开关断开，非门a输入接十12 V，引入高电平信号。其他开关也都具有相似的功能，这里不再详述。解锁和锁止信号为电路的输出信号，均为高电平信号。



触发器是与门电路一样也是数字电路的基本逻辑单元，与门电路不同的是：它具有记忆功能，即保持或存储功能，因此在实际中可用于存储二进制数据和信息，它有以下特点：

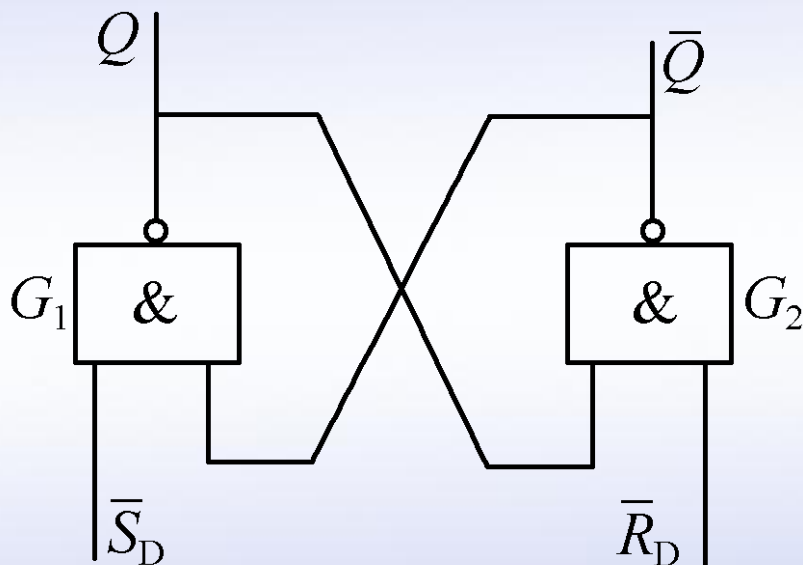
- (1) 有两个稳定状态（稳态）——**0态和1态**。
- (2) 在适当的输入信号（触发信号）作用下，可从一稳态转变到另一个稳态，并在输入信号消失后，保持更新后的状态。

触发器按有无时钟脉冲分为：基本触发器、时钟触发器。按电路结构不同分为：主从触发器、维持阻塞触发器、边沿触发器、主从型边沿触发器等。按逻辑功能不同分为：**RS**触发器、**JK**触发器、**D**触发器等。

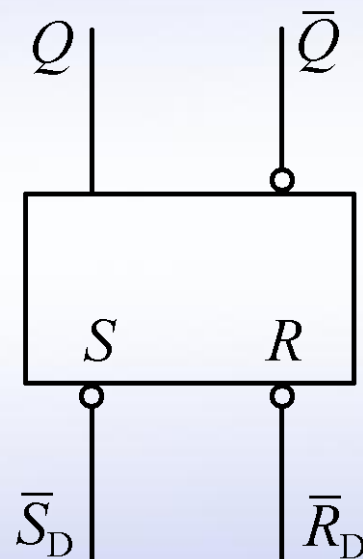
1.RS触发器

(1) 基本RS触发器

基本RS触发器由两个与非门交叉连接而成，如图（a）、（b）分别为基本RS触发器逻辑图和逻辑符号。



(a) 逻辑图



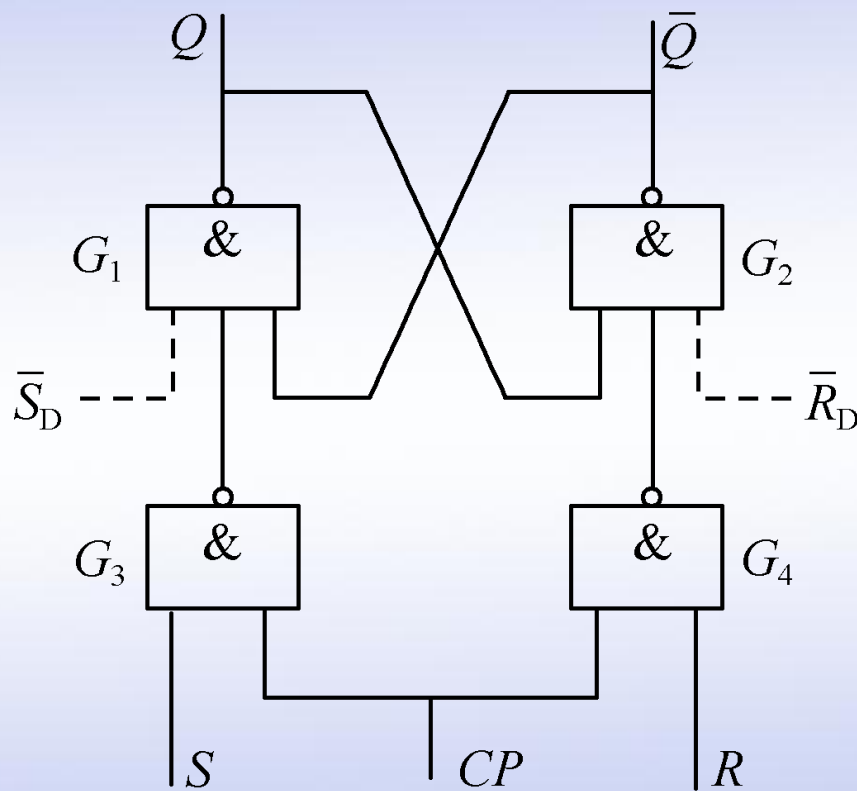
(b) 逻辑符号

表 基本RS触发器特性表

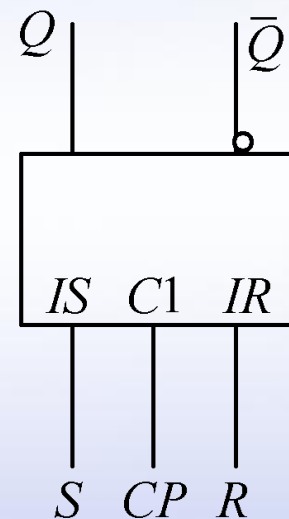
$\overline{R_D}$ 0 0	$\overline{S_D}$	现 态	次 态	说 明
0	0	1	×	触发器状态不定
0	1	1	0	触发器置0
1	0	1	1	触发器置1
1	1	1	1	触发器保持原状态不变

(2) 同步RS触发器

一般触发器还有导引线路（或称控制电路），通常由它把输入信号引导到基本RS触发器。图6.15（a）是同步RS触发器的逻辑图，图6.15（b）是它的逻辑符号。



(a) 逻辑图



(b) 逻辑符号

表3.8 同步RS触发器特性表

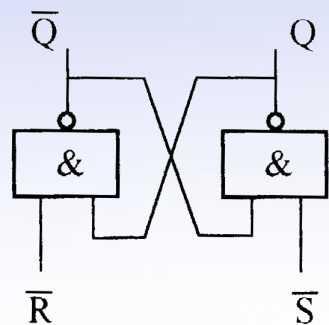
S R	Q^{n+1}
0 0	Q^n
0 1	0
1 0	1
1 1	不定

当**CP**=1时，由于经过了**G**₃、**G**₄的反相作用，相对于基本**RS**触发器输入信号为低电平有效，同步**RS**触发器的输入信号为高电平有效。

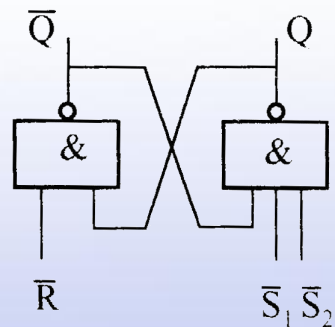
(3) 集成RS触发器

常用的TTL集成基本RS触发器74LS279的引脚排列和逻辑图如图(c)、(d)所示，芯片内部集成了4个基本RS触发器，其中的2个基本RS触发器有2个置位端，如图(b)所示，即

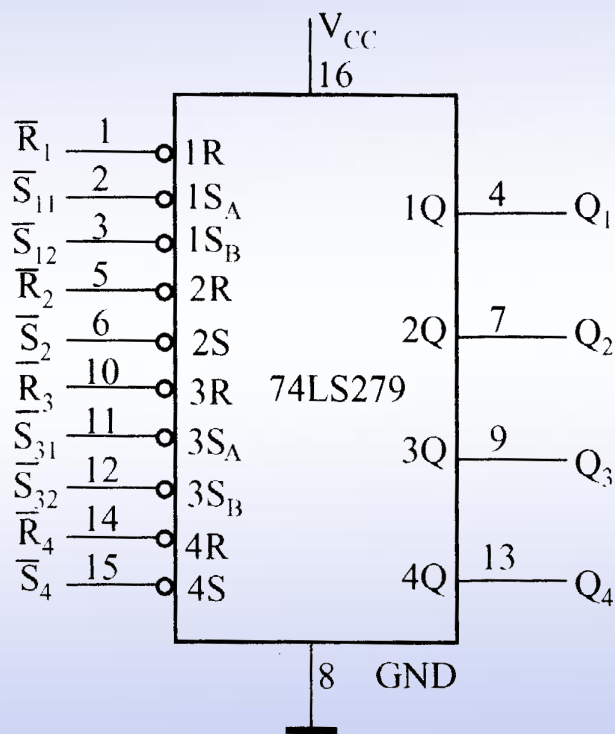
$$\bar{S} = \bar{S}_1 \cdot \bar{S}_2$$



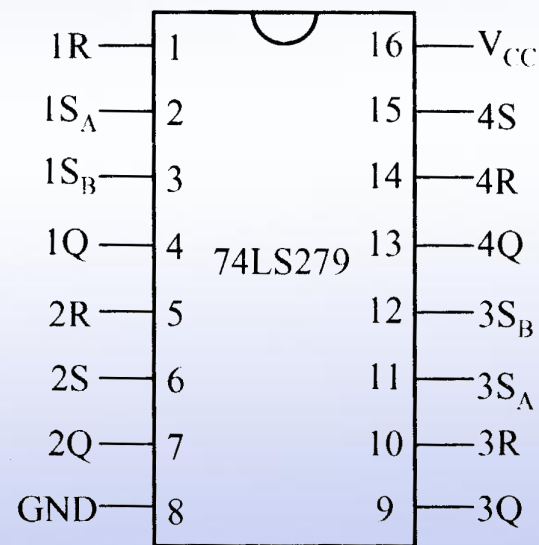
(a)



(b)



(c)



(d)

二、JK触发器

(1) 边沿JK触发器

边沿JK触发器的逻辑符号如图所示。逻辑符号中的“ $\wedge$ ”表示边沿触发方式。

JK触发器的逻辑功能如下：

- (1) $CP=0$ 或 1 时，触发器的状态不变。
- (2) CP 由 0 正跃变为 1 时，触发器的状态不变。
- (3) CP 由 1 负跃变为 0 时，触发器的状态根据 J 、 K 端的输入信号翻转。

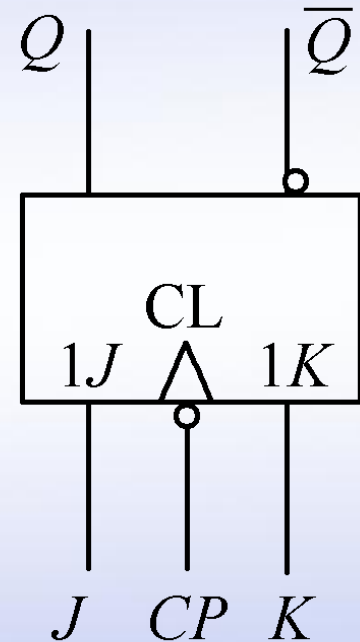


图 边沿JK触发器逻辑符号

边沿JK触发器的真值表见表。其特性方程为

$$Q^{n+1} = J \overline{Q}^n + \overline{K} Q^n \quad (\text{CP下降沿到来时有效})$$

表 边沿JK触发器特性表

J K	Q^{n+1}
0 0	Q^n
0 1	0
1 0	1
1 1	$\overline{Q}^n$

(2) 集成JK触发器

常用的集成JK触发器74LS112的引脚排列如图所示，它是双JK边沿触发器。

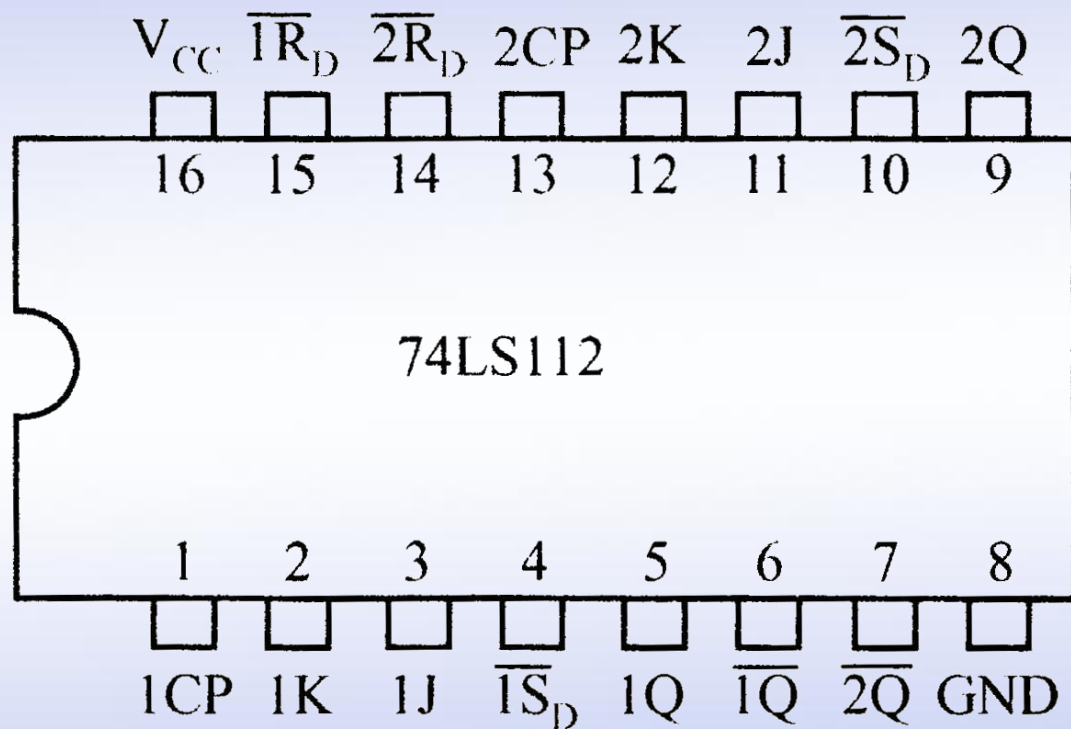


表 边沿JK触发器状态转换真值表

$\overline{R_D}$	$\overline{S_D}$	CP	J	K	Q^{n+1}	功能
0	0	x	x	x	不用	不允许
0	1	x	x	x	0	异步置0
1	0	x	x	x	1	异步置1
1	1	↓	0	0	Q^n	保持
1	1	↓	0	1	0	置0
1	1	↓	1	0	1	置1
1	1	↓	1	1	$\overline{Q^n}$	翻转

三、D触发器

(1) 维持阻塞D触发器

维持阻塞D触发器的逻辑符号如图所示。输入/输出关系的真值表见表。

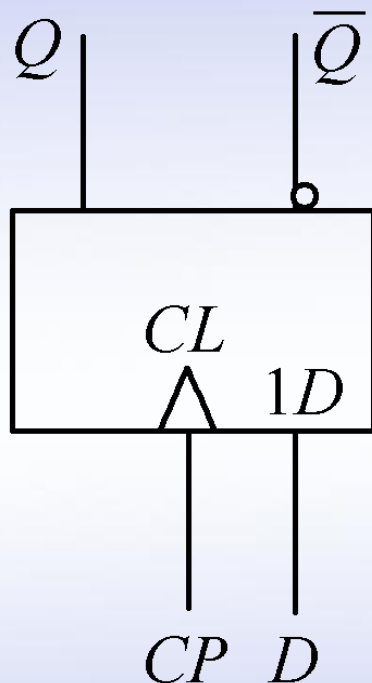


表 维持阻塞D触发器特性表

D	Q^{n+1}
0	0
1	1

图 维持阻塞D触发器逻辑符号

维持阻塞D触发器的逻辑功能是当**CP**上升沿到来时，触发器的输出状态变为与**CP**上升沿到来前**D**端的输入状态相同。即

$$Q_{n+1} = D \quad (\text{CP上升沿到来时有效})$$

只要把D触发器的D输入端与 $\bar{Q}$ 输出端连接在一起，就可构成计数器，如图所示。其输入/输出波形如图所示。

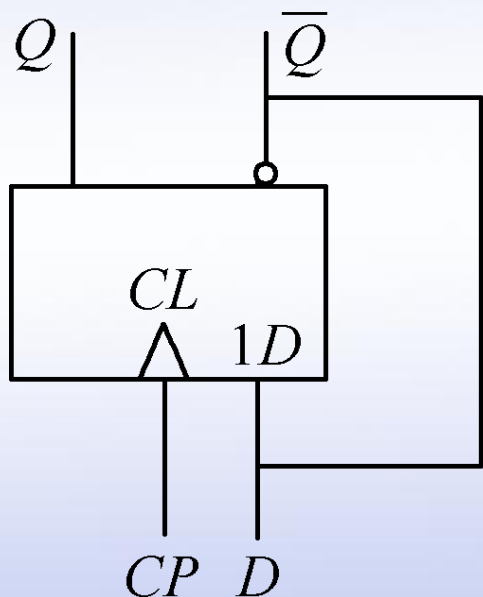


图 用D触发器构成计数器

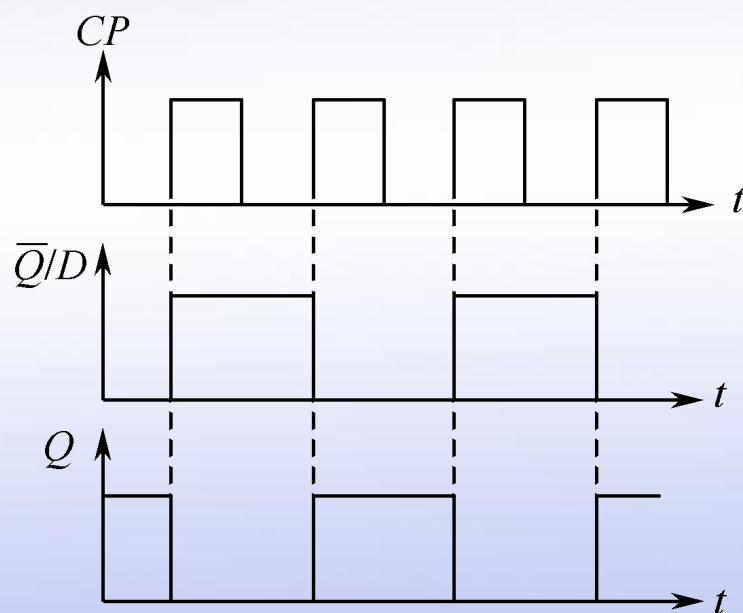


图 波形图

(2) 集成D触发器

集成D触发器74 LS74的引脚排列图如图所示。74LS74的状态转换真值表如表所示。

表 74LS74的状态转换真值表

$\overline{R_D}$	$\overline{S_D}$	CP	D	Q^{n+1}	功能说明
0	0	x	x	不用	不允许
0	1	x	x	0	异步置0
1	0	x	x	1	异步置1
1	1	↑	0	0	置0
1	1	↑	1	1	置1

图所示是利用**74LS74**构成的单按钮电子转换开关，该电路只利用一个按钮即可实现电路的接通和断开。

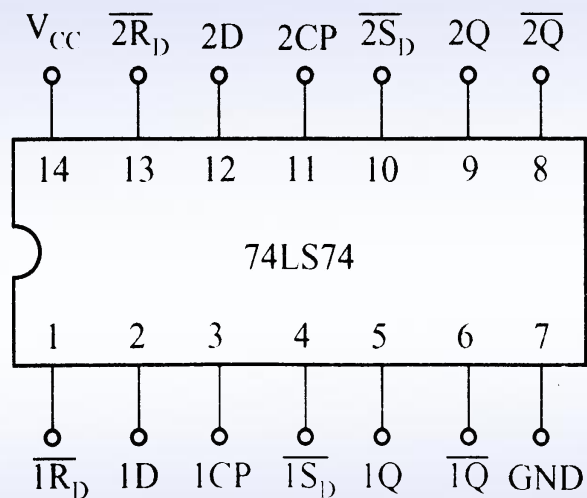


图 74LS74引脚排列图

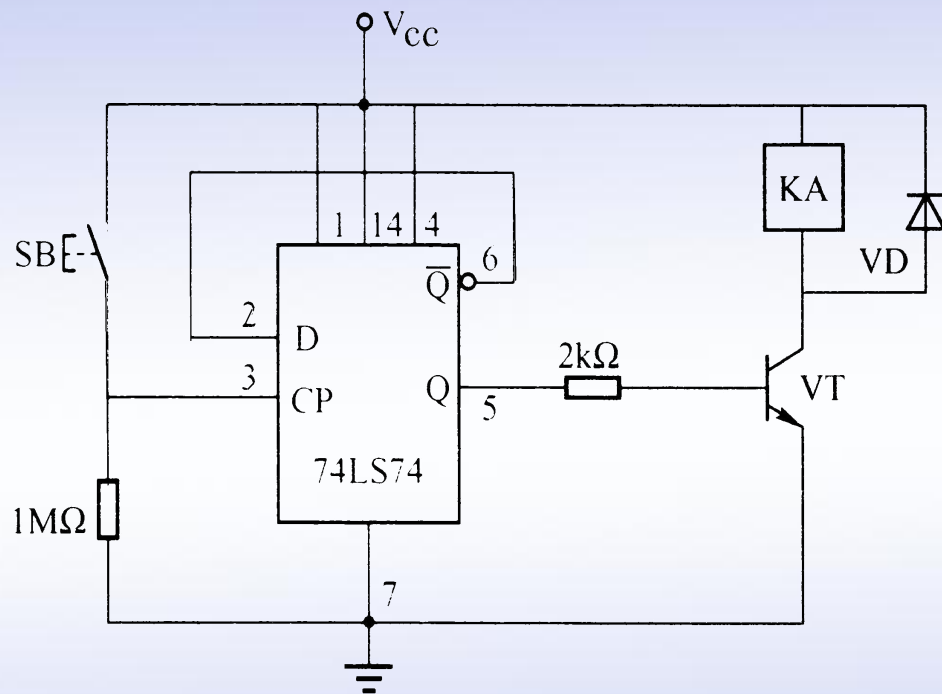


图 D触发器构成的电子开关转换器

任务三 时序逻辑电路

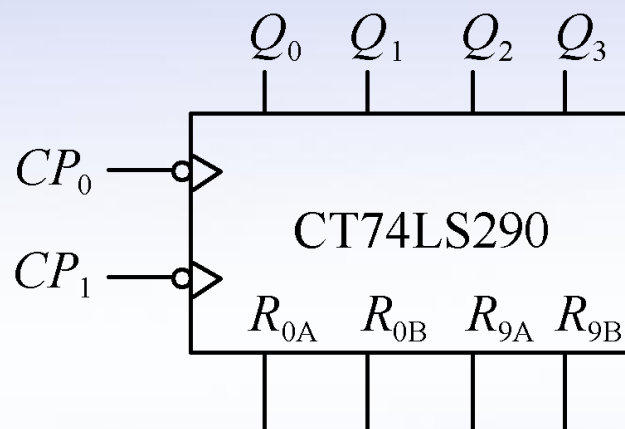
一、计数器

用来统计输入计数脉冲个数的电路称为计数器。

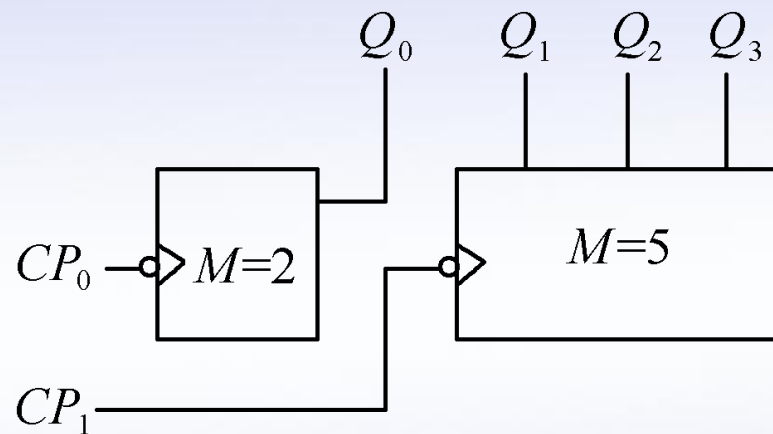
分类方法：

- (1) 按计数进制可分为二进制计数器、十进制计数器、任意进制计数器。
- (2) 按计数增减可分为加法计数器、减法计数器。
- (3) 按计数器中触发器翻转是否同步可分同步计数器、异步计数器。

异步集成二-五-十进制计数器**CT74LS290**，其电路结构框图如图**3.126**（a）所示，图**3.126**（b）为其逻辑功能示意图。表**3.13**为其逻辑功能表。



（a）结构框图



（b）逻辑功能示意图

图3.126 CT74LS290结构框图及逻辑功能示意图

表 CT74LS290的逻辑功能表

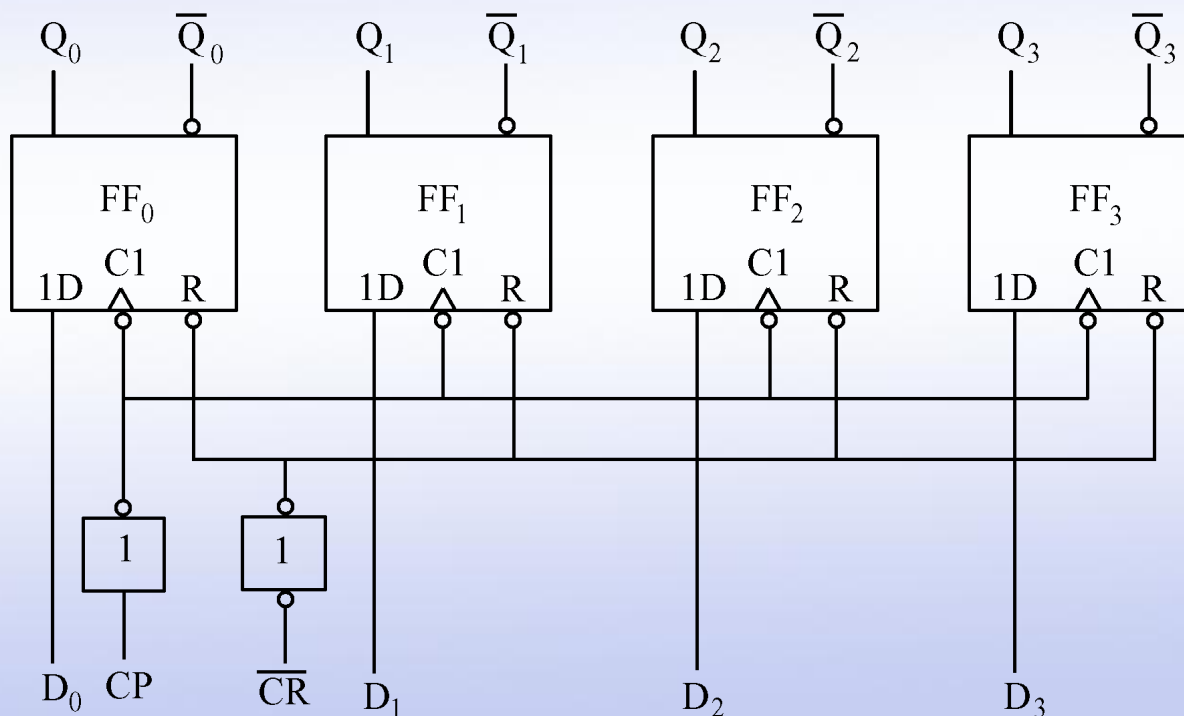
输 入			输 出				说明
$R_{0A} \cdot R_{0B}$	$S_{9A} \cdot S_{9B}$	CP	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	
1	0	×	0	0	0	0	置0
0	1	×	1	0	0	1	置9
0	0	↓	计数				

二、寄存器和移位寄存器

(1) 寄存器

以存放二进制代码的电路称为寄存器。

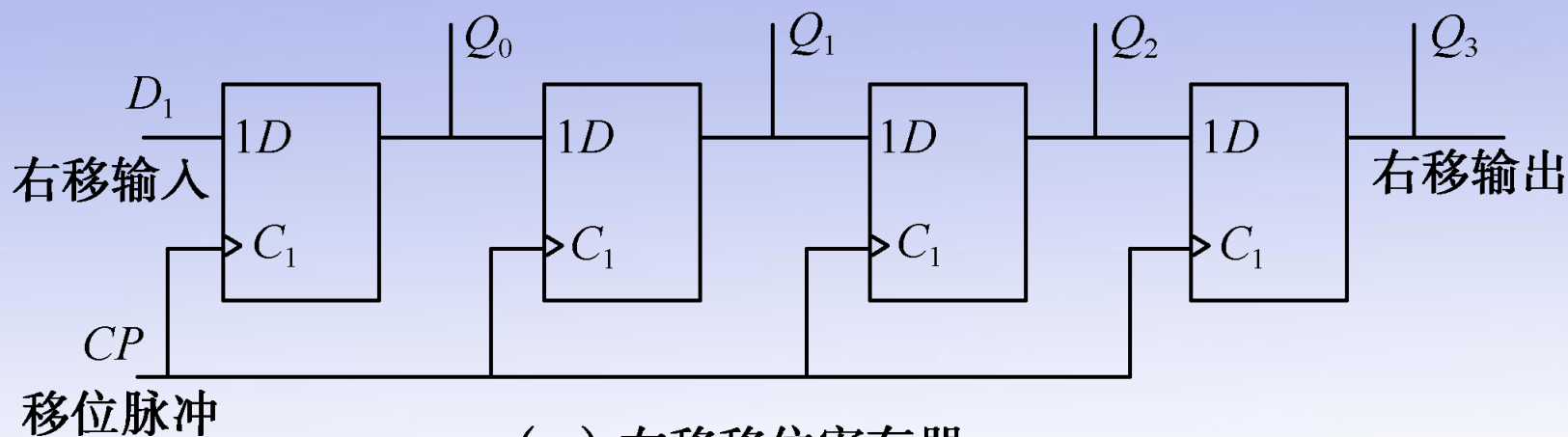
如图3.127所示为由维持阻塞D触发器组成的4位数码寄存器逻辑电路。图中 $\overline{CR}$ 是置0输入端， $D_0 \sim D_3$ 为并行数码输入端， CP 为时钟脉冲端， $Q_0 \sim Q_3$ 为并行数码输出端。



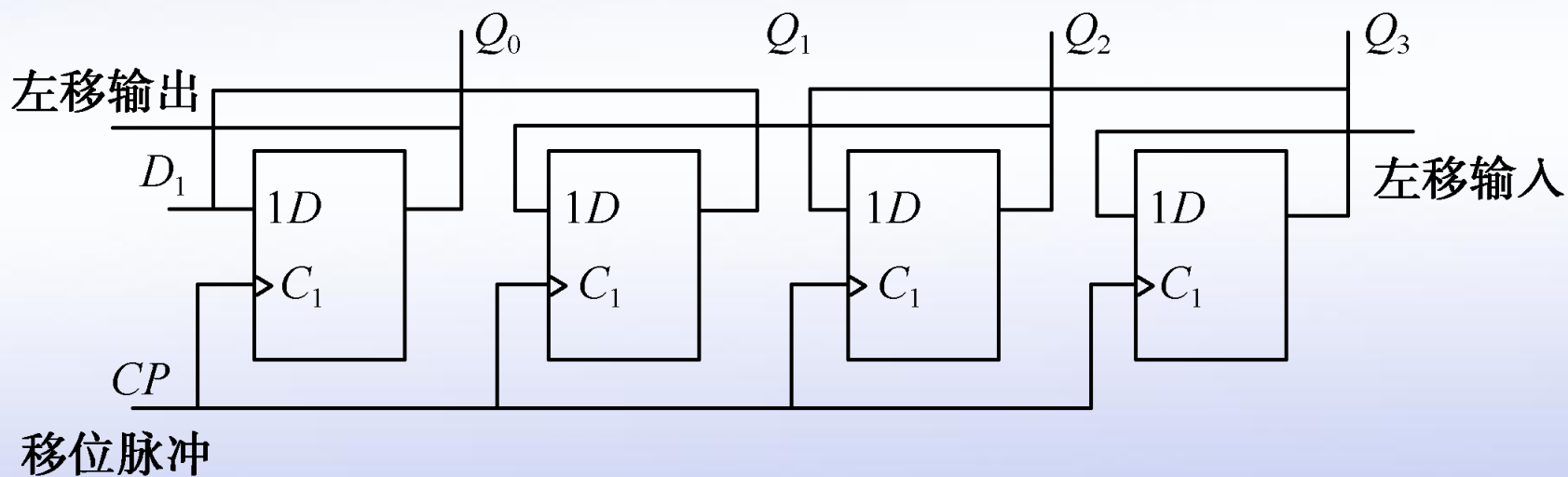
(2) 移位寄存器

具有存放数码和使数码逐位右移或左移的电路称为移位寄存器。如图3.128 (a) 所示为由4个维持阻塞D触发器组成的4位右移移位寄存器。这4个D触发器共用一个时钟脉冲信号，因此为同步时序逻辑电路。数码由FF0的D端串行输入，其工作原理如下：

设串行输入数码为1011，按高位到低位顺序传送。同时FF0 ~ FF3初始都为0状态。当输入第一位数码1时，这时D0=1、D1=Q0=0、D2=Q1=0、D3=Q2=0，则在第一个移位脉冲CP的上升沿作用下，FF0由0状态翻转到1状态，第一位数码1存入FF0中，其原来的状态Q0=0移入FF1中，数码向右移了一位，同理FF1、FF2和FF3中的数码也都依次向右移了一位，这时寄存器的状态为Q3Q2Q1Q0=0001。移位情况如表所示。



(a) 右移移位寄存器



(b) 左移移位寄存器

图3.128 D触发器组成的单向移位寄存器逻辑电路图

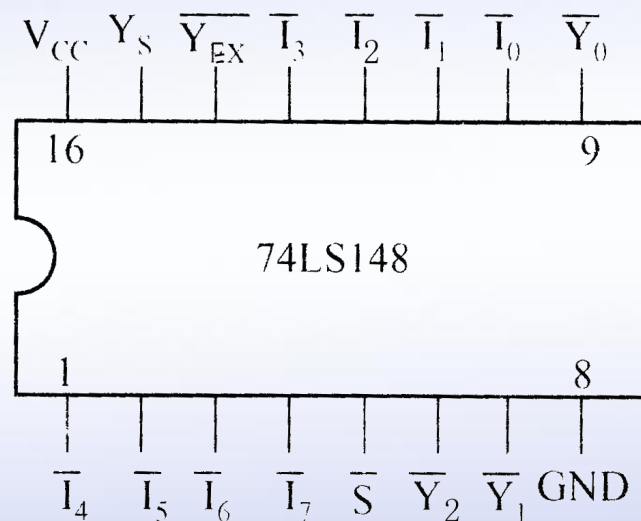
4位右移寄存器状态表

移位脉冲	输入数据	Q_0	Q_1	Q_2	Q_3
0		0	0	0	0
1	1	1	0	0	0
2	0	0	1	0	0
3	1	1	0	1	0
4	1	1	1	0	1

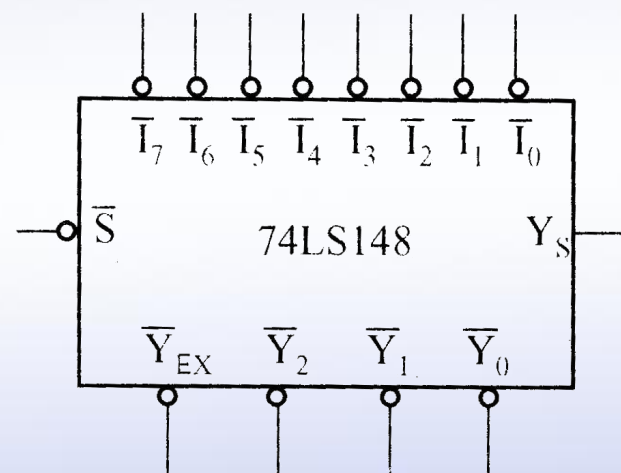
三、编码器

一般地说，用文字、符号或者数码表示特定信息的过程称为编码，能够实现编码功能的电路称为编码器。

常用的编码器有二进制编码器、二-十进制编码器、优先编码器等。下面介绍**74LS148**编码器。其外围引脚分配图及逻辑符号见图3.129所示。



(a) 外围引脚



(b) 逻辑符号

图3.129 74LS148外围引脚图及逻辑符号

四、译码器

译码是编码的反过程，是将给定的二进制代码翻译成编码时赋予的原意，完成这种功能的电路称为译码器。译码器的输入为二进制代码，输出为输入代码对应的特定信息。

(1) 七段显示译码器

74LS48外围引脚图如图3.130所示。

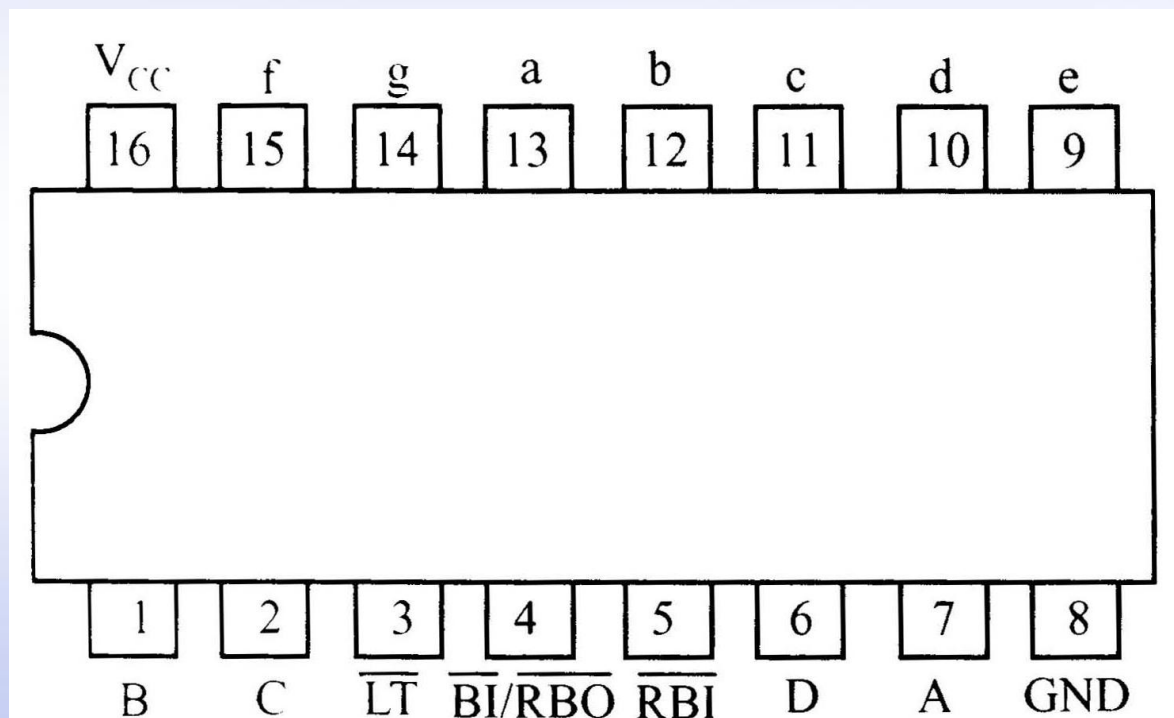


表 七段译码器74LS48功能表

十进制数或功能	输 入			$\overline{BI}/\overline{RBO}$	输 出						
	$\overline{LT}$	$\overline{RBI}$	D C B A		a	b	c	d	e	f	g
0	1	1	0 0 0 0	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	×	0 0 0 1	1	0	1	1	0	0	0	0
2	1	×	0 0 1 0	1	1	1	0	1	1	0	1
3	1	×	0 0 1 1	1	1	1	1	1	0	0	1
4	1	×	0 1 0 0	1	0	1	1	0	0	1	1
5	1	×	0 1 0 1	1	1	0	1	1	0	1	1
6	1	×	0 1 1 0	1	0	0	1	1	1	1	1
7	1	×	0 1 1 1	1	1	1	1	0	0	0	0
8	1	×	1 0 0 0	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	×	1 0 0 1	1	1	1	1	0	0	1	1
10	1	×	1 0 1 0	1	0	0	0	1	1	0	1
11	1	×	1 0 1 1	1	0	0	1	1	0	0	1
12	1	×	1 1 0 0	1	0	1	0	0	0	1	1
13	1	×	1 1 0 1	1	1	0	0	1	0	1	1
14	1	×	1 1 1 0	1	0	0	0	1	1	1	1
15	1	×	1 1 1 1	1	0	0	0	0	0	0	0
消隐	×	×	×	×	0	0	0	0	0	0	0
动态灭零	1	0	0 0 0 0	0	0	0	0	0	0	0	0
灯测试	0	×	×	×	1	1	1	1	1	1	1

(2) 七段半导体数码管

七段半导体数码管如图3.131 (a) 所示为七段发光二极管组成的数码显示器的外形结构，利用字段的不同组合可以显示出0~9十个不同的数字，如图3.131 (b) 所示。

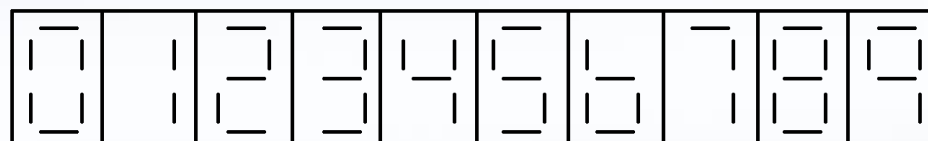
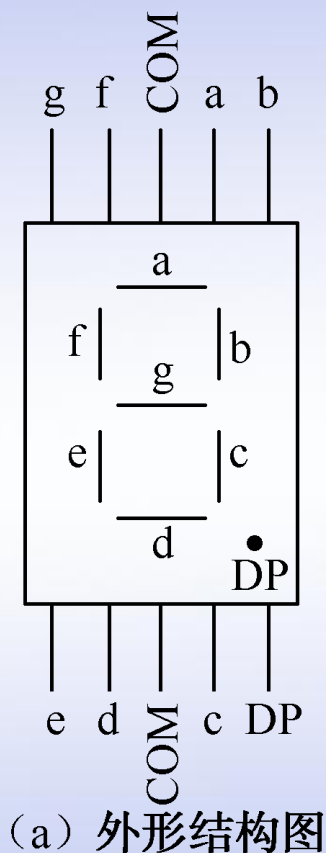
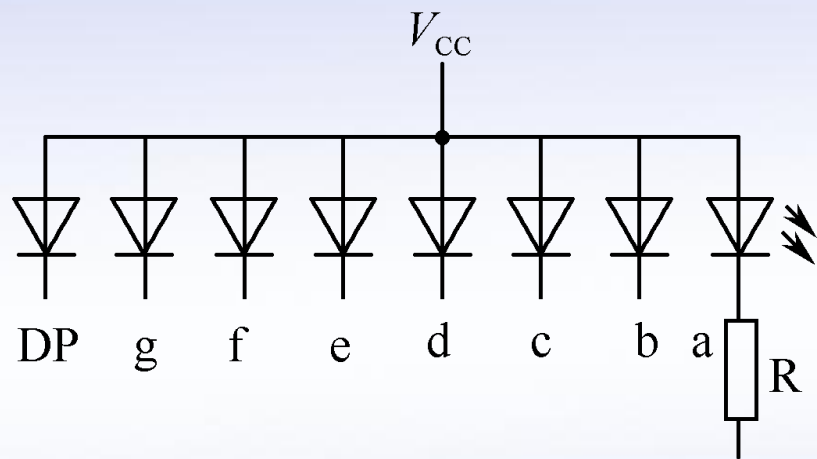
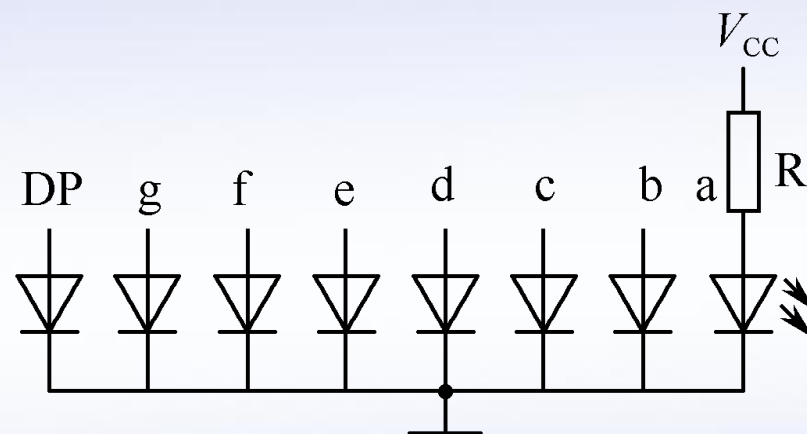


图3.131 七段数码管显示器及数字显示示意图

数码显示器内部发光二极管的接法有两种，即共阳极接法和共阴极接法，分别如图（a）、图（b）所示。当译码器输出为高电平有效时应选用共阴极数码管。若译码器输出为低电平有效时应选用共阳极数码管。



（a）共阳极接法



（b）共阴极接法

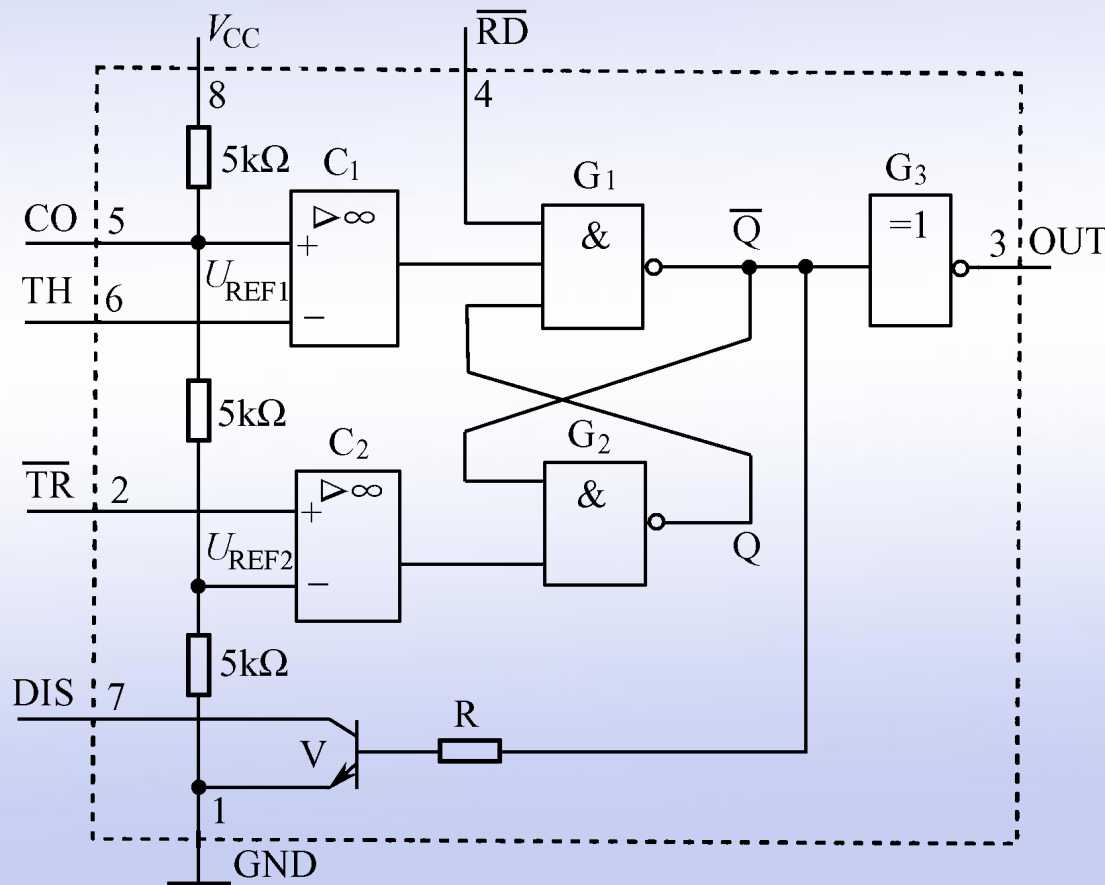
图 数码显示器内部发光二极管连接图

任务四 555定时器及其在汽车上的应用

一、555定时器的结构及工作原理

1. 555定时器的结构

双极型555定时器的内部逻辑电路如图所示。



它的内部由两个高精度的电压比较器、一个基本**RS**触发器、一个晶体三极管和几个电阻组成。内部有三个均为**5kΩ**的精密电阻串联构成基准电压分压电路，分别为两个电压比较器提供基准电压，在**5**脚悬空时比较器的基准电压分别为：

$$U_{REF1} = \frac{2}{3}V_{CC} \quad U_{REF2} = \frac{1}{3}V_{CC}$$

表 555定时器的逻辑功能表

输 入			输 出	
u_{i1}	u_{i2}	$\overline{R_D}$	u_o	VT状态
×	×	0	0	导通
$>2/3V_{CC}$	$>1/3V_{CC}$	1	0	导通
$<2/3V_{CC}$	$<1/3V_{CC}$	1	1	截止
$<2/3V_{CC}$	$<1/3V_{CC}$	1	不变	不变

2. 用555定时器构成施密特触发器

用555定时器组成施密特触发器的逻辑电路如图所示。

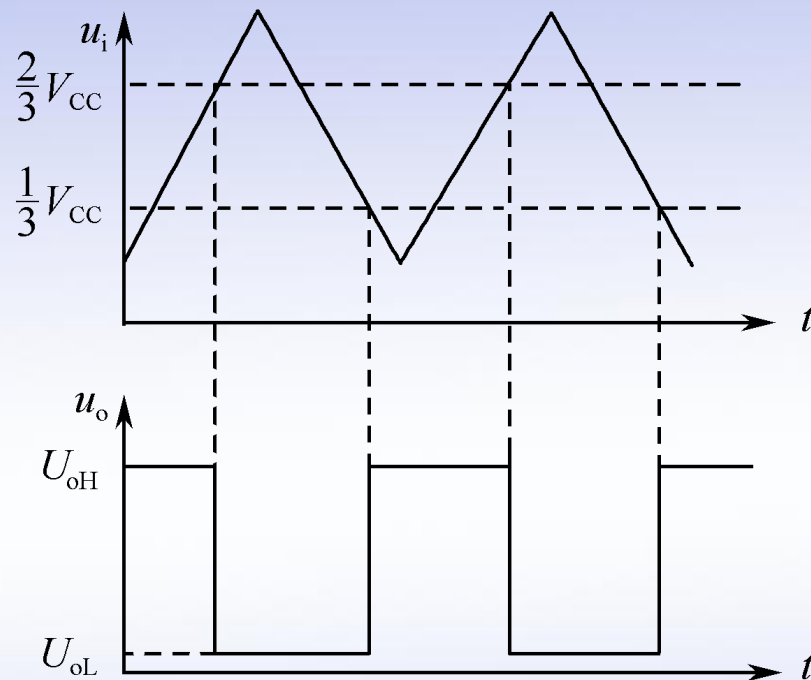
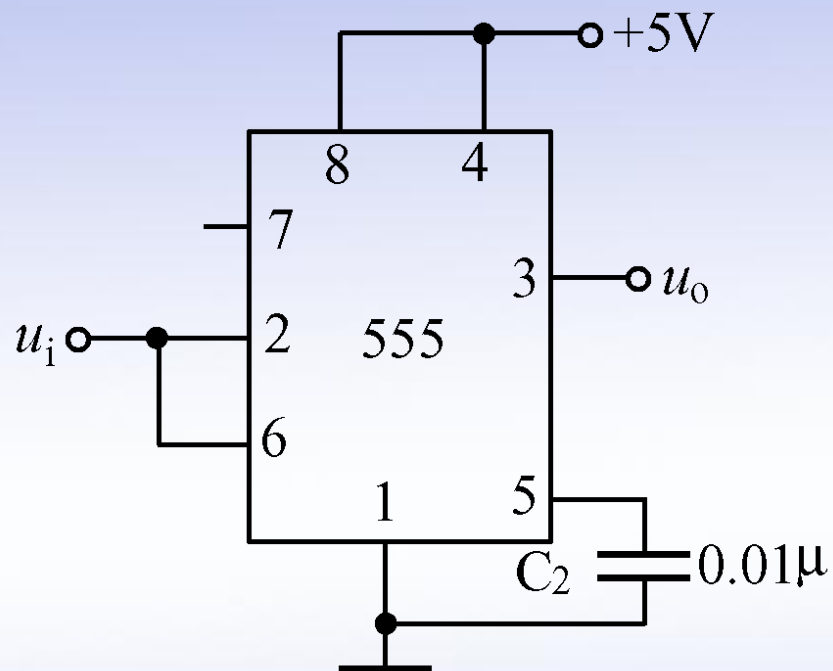


图3.134 用555定时器组成施密特触发器的逻辑电路 图3.135 施密特触发器输入输出波形图

3.555定时器构成单稳态触发器

单稳态触发器广泛应用于数字电路，可以用于整形、延迟和定时。单稳态触发器有如下特点：

- ①电路只有一个稳定状态和一个暂稳状态。
- ②在外加触发脉冲信号的作用下，电路能从稳态翻转到暂稳态。
- ③暂稳态维持一段时间后又自动返回到稳态。
- ④暂稳态维持的时间仅取决于电路本身的参数，与触发脉冲无关。

单稳态触发器的暂稳态通常是靠**RC**电路的充、放电过程来维持的。

用555定时器组成的单稳态触发器逻辑电路如图所示。

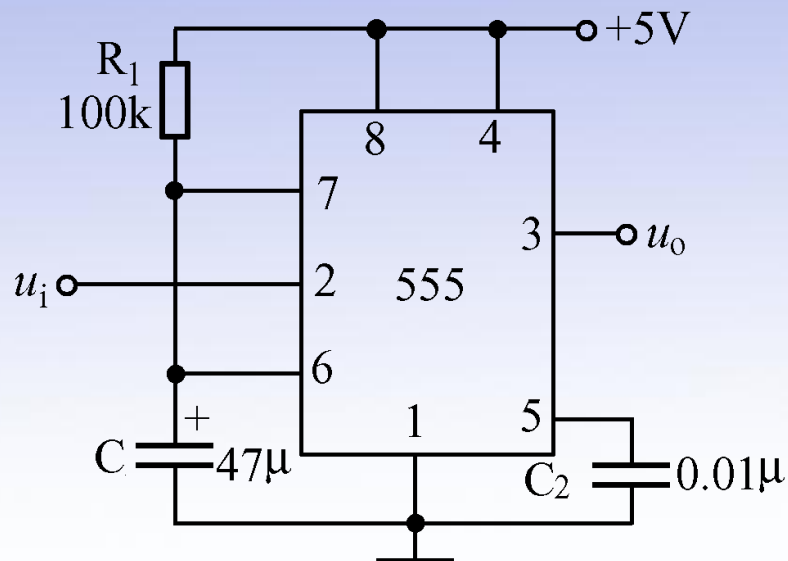


图 用555定时器构成单稳态触发器的逻辑电路

单稳态触发器输出脉冲的宽度为暂稳态持续的时间

$$T = RC \ln 3 \approx 1.1RC$$

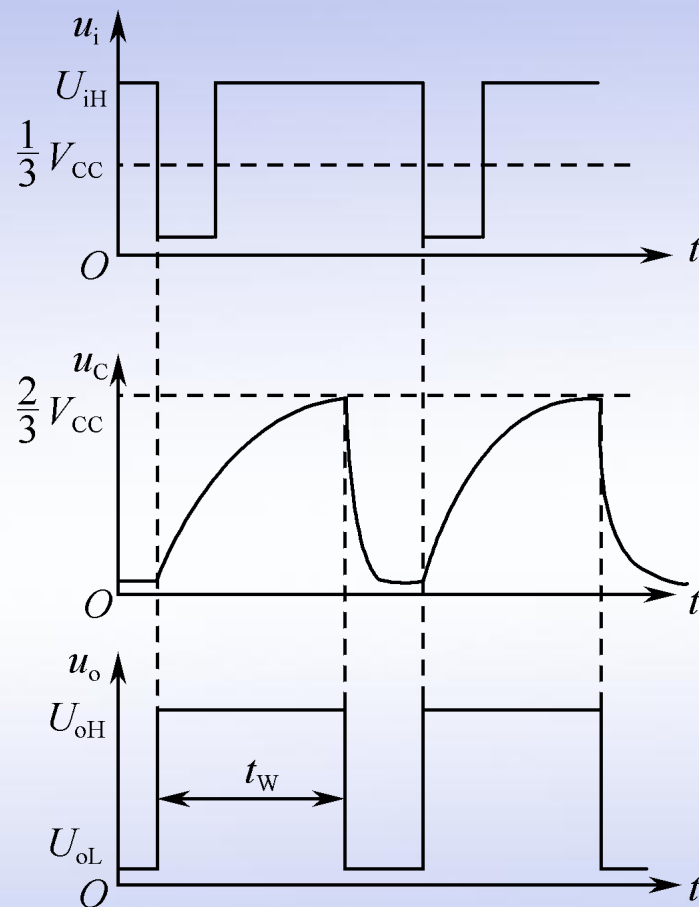


图 单稳态触发器输入输出波形图

4.555定时器构成多谐振荡器

多谐振荡器是用来产生矩形波的自激振荡器，由于矩形波包含了基波和较多的高次谐波成分，因此成为多谐振荡器。另外，这种电路不存在稳定的状态，所以又称为无稳态振荡器。如图所示为用555定时器组成多谐振荡器的逻辑电路。

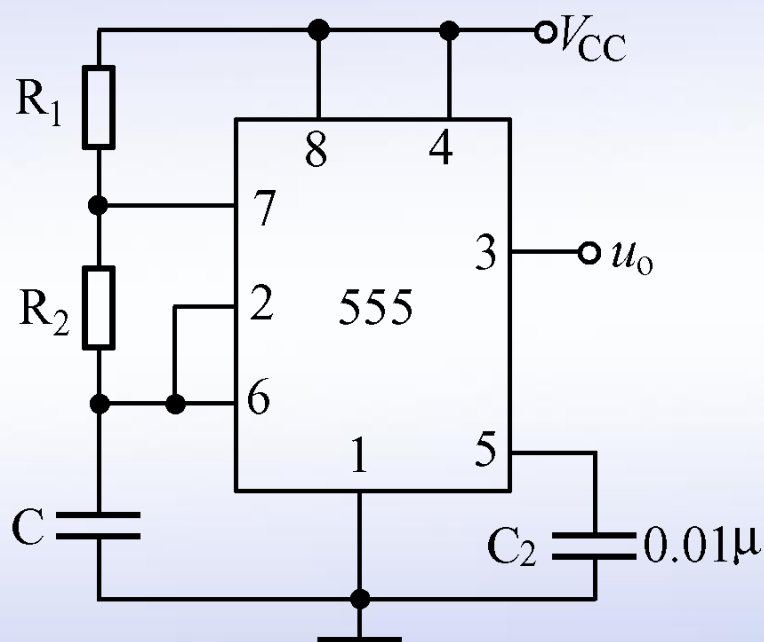


图3.139 用555定时器构成多谐振荡器的逻辑电路

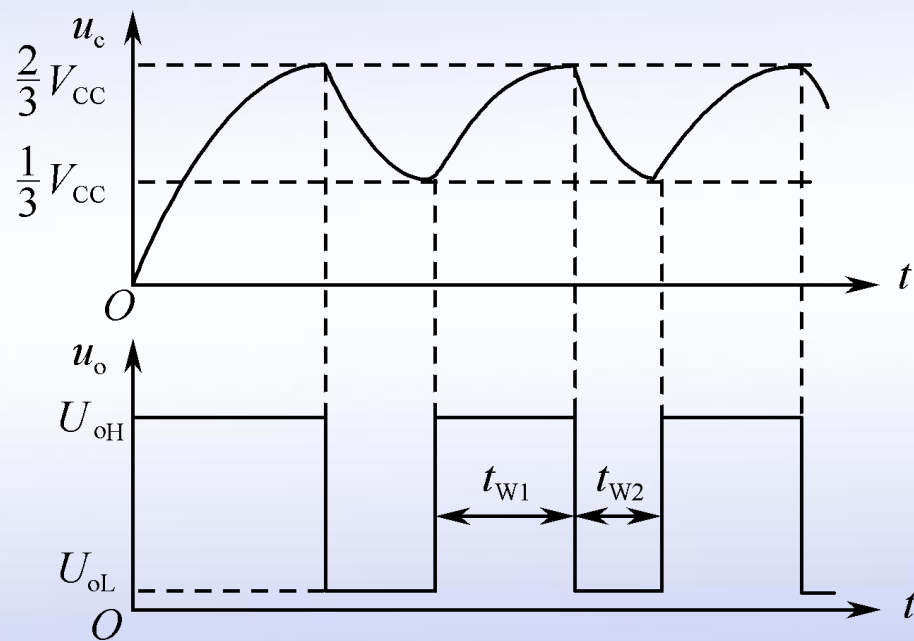


图3.140 多谐振荡器的输入输出波形图

根据振荡原理分析，该电路输出矩形波的周期取决于电容充、放电的时间常数，其充电和放电时间常数分别为 $(R_1+R_2)C$ 和 R_2C ，输出波形周期的估算值为

$$T = t_{W1} + t_{W2} = 0.7(R_1 + R_2)C + 0.7R_2C = 0.7(R_1 + 2R_2)C$$

通过改变充、放电时间常数就可以改变矩形波的周期和脉冲宽度。

二、555定时器的应用

1. 电子式发动机转速表电路

图是电子式发动机转速表，它由555定时器及相应电阻和电容组成的单稳态触发器、电阻**R1**和**VS1**组成的限幅电路、耦合电容**C1**等组成。

1.电子式发动机转速表电路

图是电子式发动机转速表，它由555定时器及相应电阻和电容组成的单稳态触发器、电阻R1和VS1组成的限幅电路、耦合电容C1等组成。

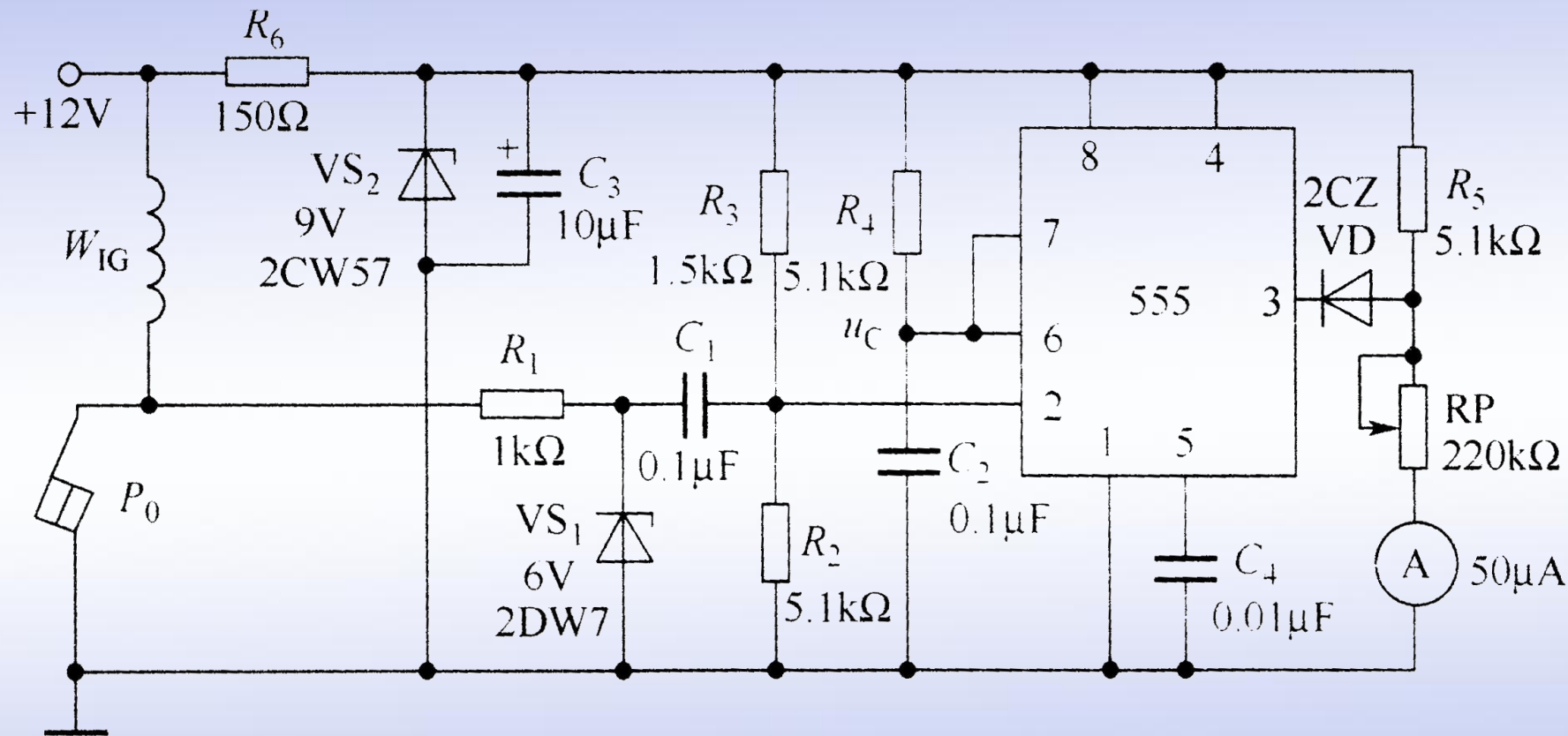


图 电子式发动机转速表

2.汽车前大灯自动控制电路

汽车前大灯自动控制电路图如图所示。该控制器有单稳态延时电路（U1、R1、R2、R3、R4、C1），多谐振荡电路（U2、R5、R6、C3），NMOS功率驱动管Q2、Q3组成。该电路的+12V直流电源由汽车的蓄电池提供。

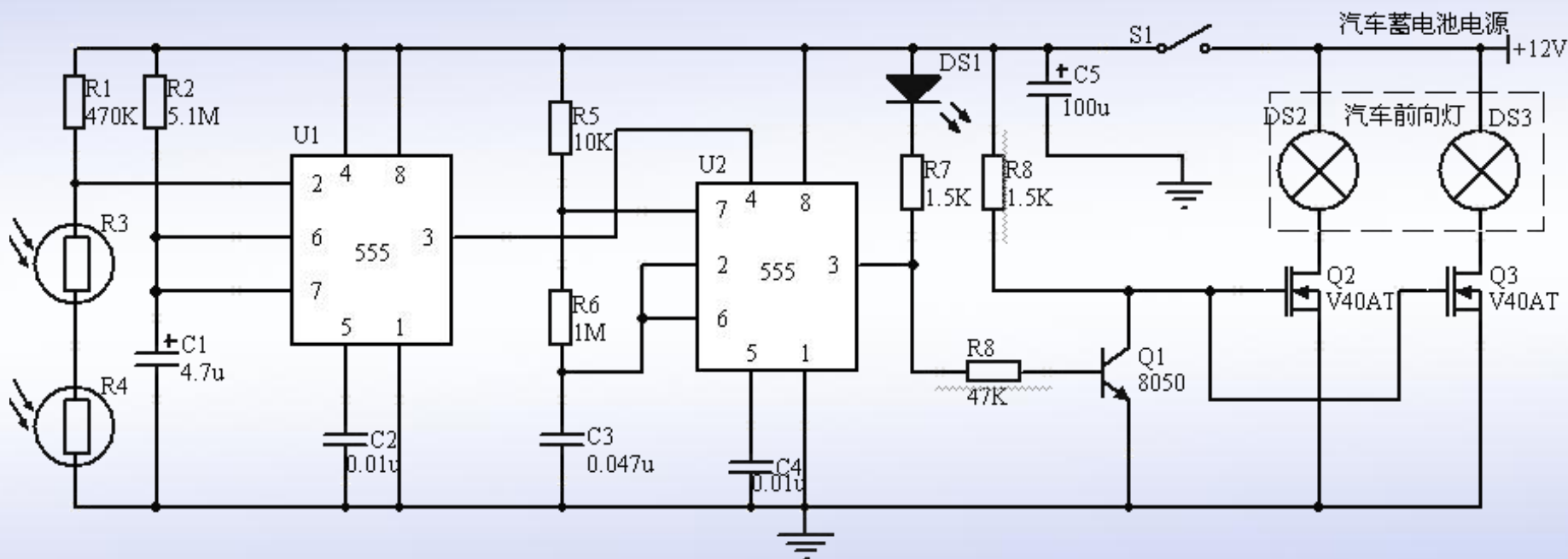


图 汽车前大灯自动控制电路图

当前方无相向行驶的车辆时，光敏电阻**R3**、**R4**因没有受到光照而呈高电阻，相应**U1**的2脚为高电平使**555**复位，3脚输出低电平，该低电平有时**U2**的4脚为低电平而使其处于复位状态，3脚输出的低电平使**Q1**截止，**Q2**、**Q3**导通，两前大灯一直点亮。

当前方有相向行驶的车辆时，光敏电阻**R3**、**R4**因受到光照而呈低电阻，相应**U1**的2脚为低电平（ $\frac{1}{3}V_{CC}$ ）使**555**置位，3脚输出高电平，该电平使**U2**的4脚为高电平而使其开始振荡，其输出的振荡频率为 $f=1.44/[(R5+2R6)C3]$ 的方波信号。此时，**Q1**随方波信号的高低电平变化而交替导通、截止，相应的**Q2**、**Q3**也随之交替截止、导通，从而使前大灯一明一暗地闪动。若光照消失，则**C1**通过**R2**充电，当**C1**的电压充到 $\frac{2}{3}V_{CC}$ 时，**U1**复位，**C1**的充电时间即为大灯延时闪烁的时间 $t=1.1R2C1$ 。若延时时间到，**R3**、**R4**仍没有受到光照，则**U1**输出低电平稳态，该低电平使**U2**复位，两大灯又点亮。

3.雨刷控制电路

雨刷控制电路图如图所示，该电路由一个振荡器和控制电路组成，控制雨刷摆动**5s**后，再间停**0~30s**，间停的时间视车外雨的大小适时进行调节。

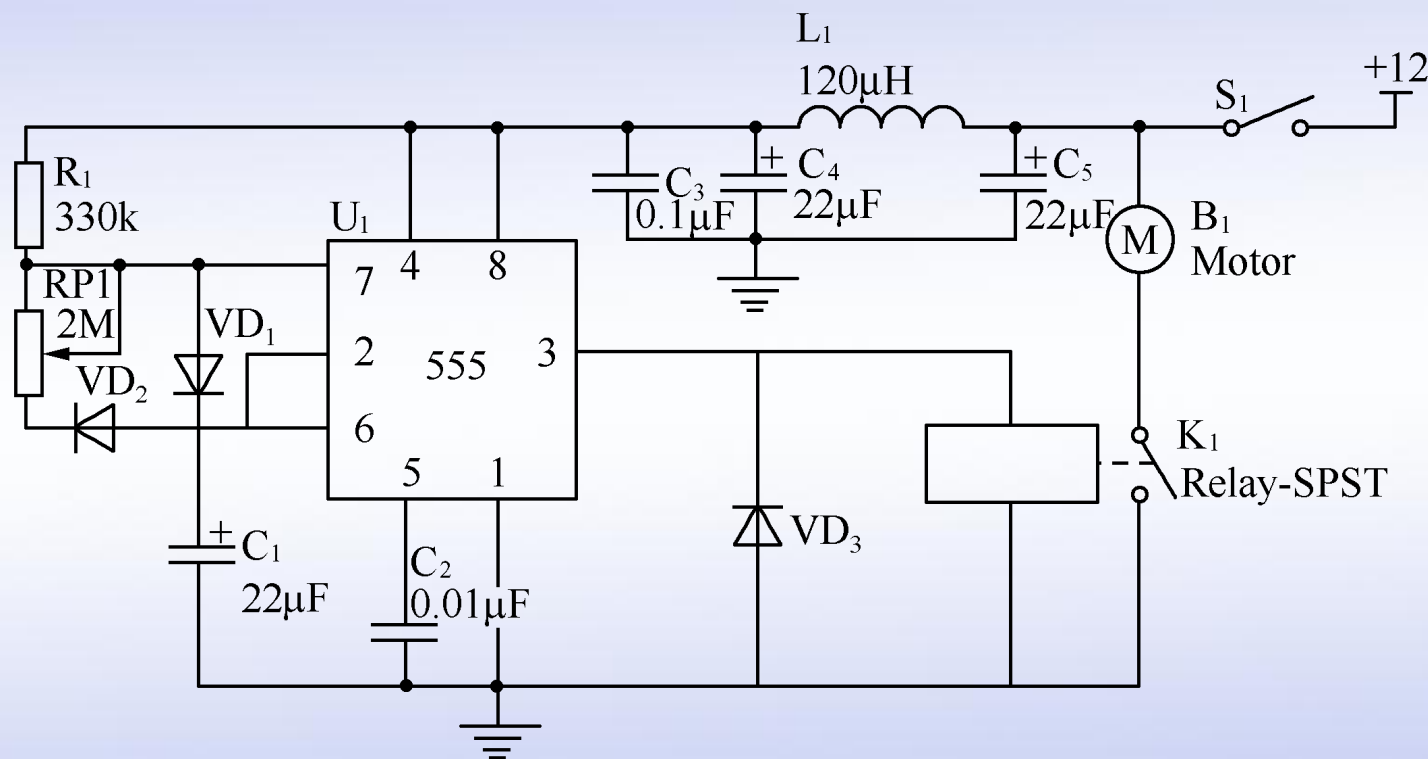


图 雨刷控制电路图

555和 R_1 、 RP_1 、 C_1 及 D_1 、 D_2 组成无稳态多谐振荡器。振荡频率由555电路的充放电时间常数决定。充电时间 $t_{\text{充}}=0.693R_1C_1$ ，放电时间 $t_{\text{放}}=0.693RP_1C_1$ 。图示参数对应的充电时间约为5秒，放电时间可由电位器 RP_1 进行调节，可在0~30秒时间自行调节。多谐振荡的周期为 $T=t_{\text{充}}+t_{\text{放}}=0.693(R_1+RP_1)C_1$ ，可见其周期和占空比都可以进行调节。

刚通电时，555的2脚为低电平，使555置位，3脚输出高电平，继电器吸合，电机得电运转，带动雨刷摆动。随着 C_1 通过 R_1 、 D_1 充电，当 C_1 上的点位高于 $2/3V_{CC}$ 时，555复位，3脚输出低电平，继电器释放，电机停转，雨刷停摆。由此可知， C_1 充电到 $2/3V_{CC}$ 的时间为工作时间， C_1 放电到 $1/3V_{CC}$ 的时间为间停时间。

4.汽车防盗报警器

汽车防盗报警器是为了防止车辆被盗而设计的报警装置。一般要求有如下基本功能：

- ①驾驶员用车门遥控器或车门钥匙锁好车门后，报警器处于警戒状态。
- ②如果有人以非正常方式打开车门，则报警器报警。
- ③有人打开车门后即使重新关闭车门，报警声仍持续一段时间。

图所示的汽车防盗报警器就是具有这些功能的报警装置，防盗报警电路由磁控开关**S2**、开关管**VT1**、充放电元件**C1**和**R3**、**VT2**和**VT3**组成的复合管、开关管**VT4**、**555**定时器组成的多谐振荡器、晶闸管**VT(H)**、电喇叭按钮**S2**、**12V**电源开关**S1**等组成。

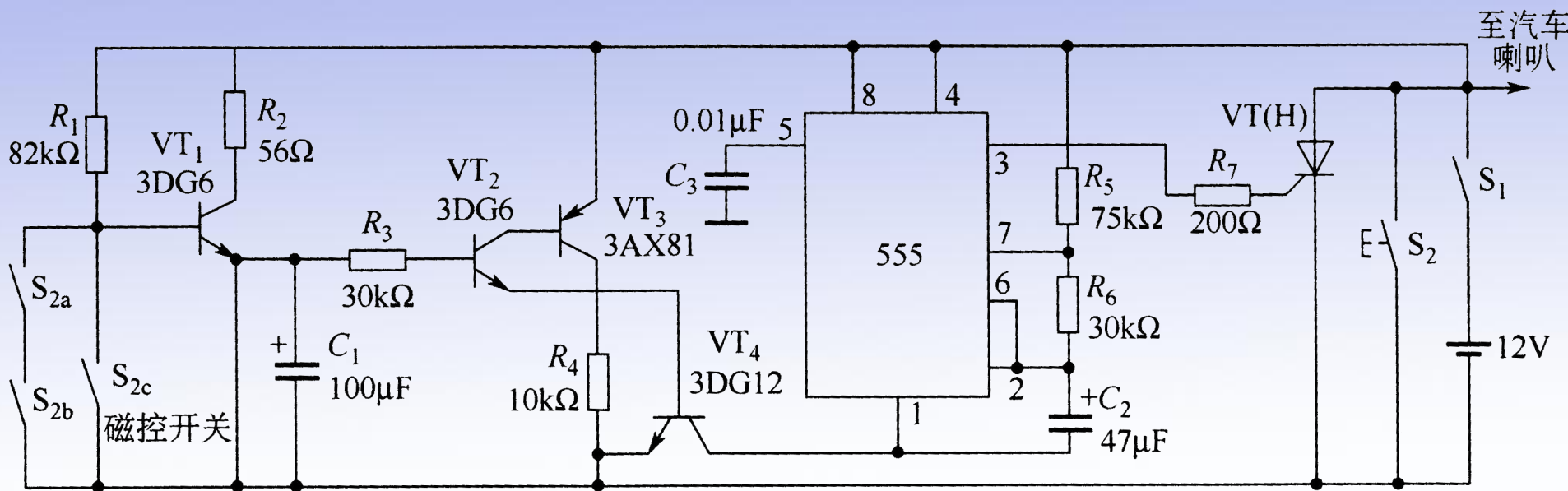


图 汽车防盗报警器电路图