



南京农业大学

# 机械电子学

Mechatronics

执行元件与功率驱动电路

安秋

南京农业大学工学院

# 执行元件的驱动与控制

- 概述
- 执行元件
- 功率器件
- 功率驱动电路
- 电磁阀
- 直流电动机
- 步进电动机

# 直流电动机的驱动与控制

## 1 直流电动机基础

分类、规格参数、符号标识、结构、工作原理

## 2 直流电动机的控制

开关控制

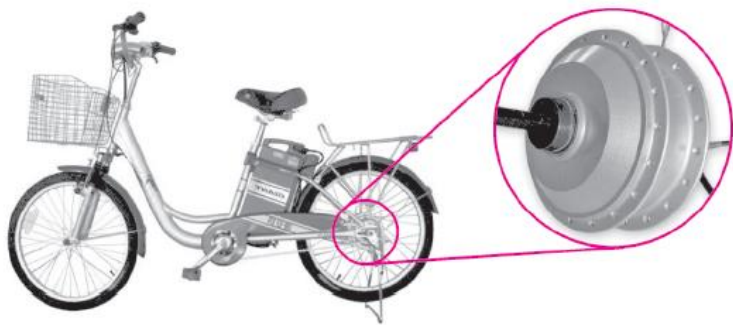
正反转控制：H桥

调速控制：PWM

利用驱动芯片的驱动控制电路

# 基础

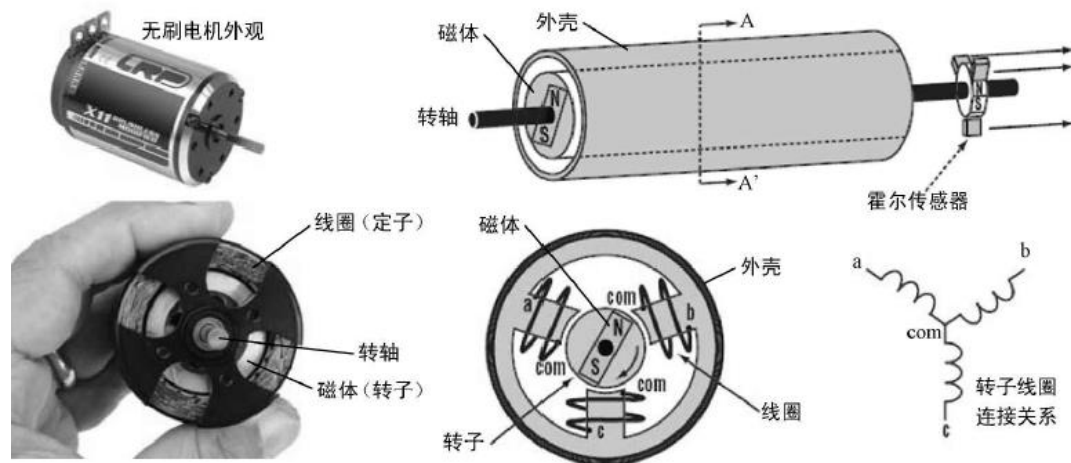
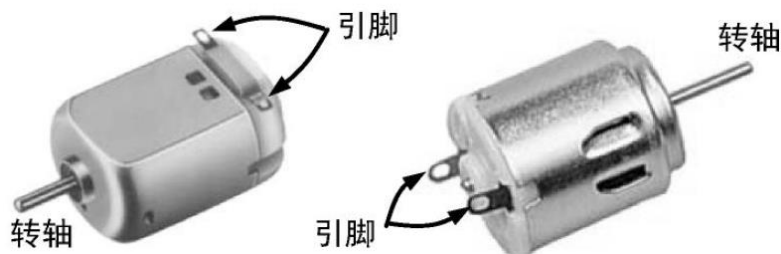
- 直流电动机是由直流电源（需区分电源的正负极）供给电能，将电能转变为机械能的电动装置。直流电动机具有良好的启动性能，能在较宽的范围内进行平滑的无级调速，还适用于频繁启动和停止动作，是应用领域很广的电动机。直流电动机具有良好的可控性能，因此对调速性能要求较高的驱动机构中都采用了直流电动机作为动力源，例如日常生活中常见的电动自行车、小型吸尘器、剃须刀等。



# 基础

- 直流电动机的分类

- 根据转速的不同，直流电机可分为直流高速、直流低速、直流减速电机等几种。
- 根据有无电刷可分为有刷电机（brushed motor）和无刷电机（brushless motor）
- 直流电动机按照主磁场的不同可以分为永磁式直流电动机和电磁式直流电动机

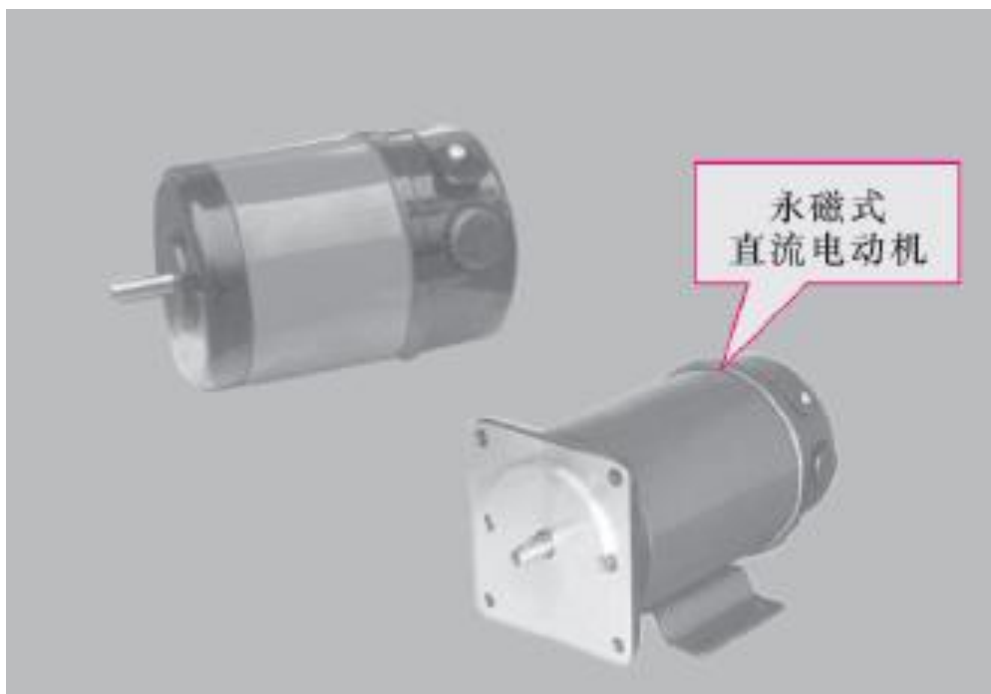


# 基础



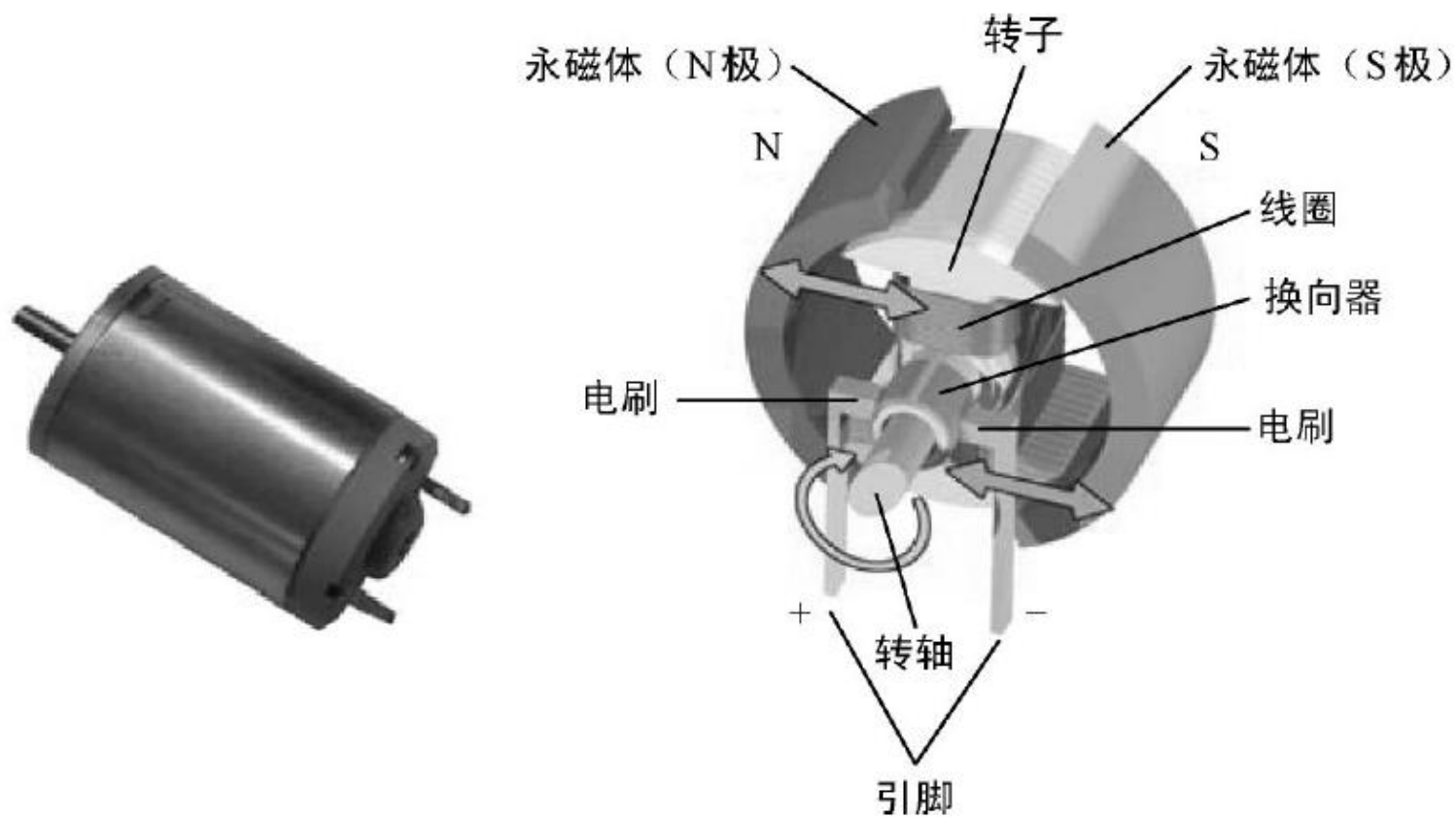
- 直流电动机的分类

- 直流电动机按照主磁场的不同可以分为永磁式直流电动机和电磁式直流电动机



# 基础

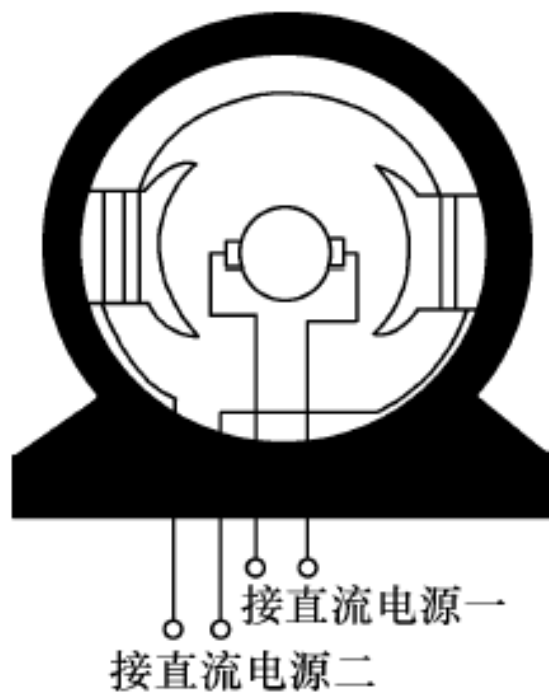
- 永磁式直流电动机



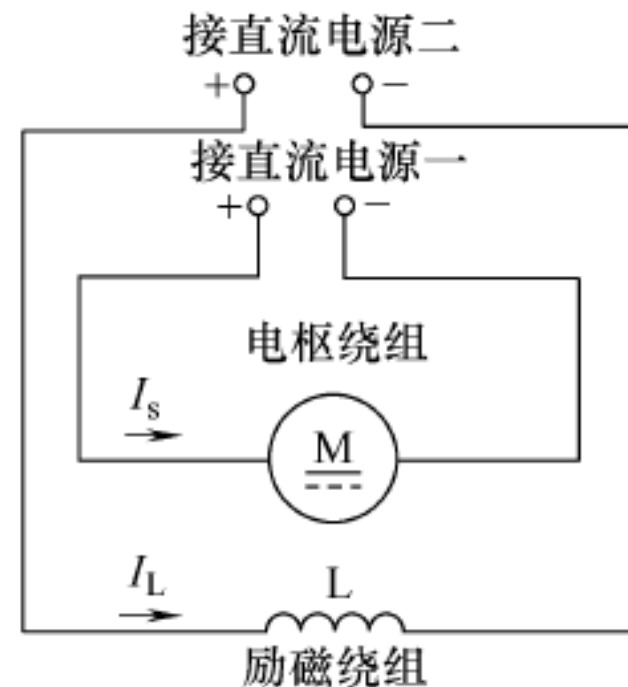
# 基础

- 根据线圈供电方式的不同，电磁式直流电动机又可以分为他励式、并励式、串励式、复励式等几种。
- **他励直流电动机**

他励直流电动机的励磁绕组由独立的励磁电源供电，故其励磁电流不受电枢绕组电流影响，在励磁电流不变的情况下，电动机的起动转矩与电枢电流成正比。他励直流电动机可以通过改变励磁绕组或电枢绕组的电流大小来提高或降低电动机的转速。



a)结构示意图



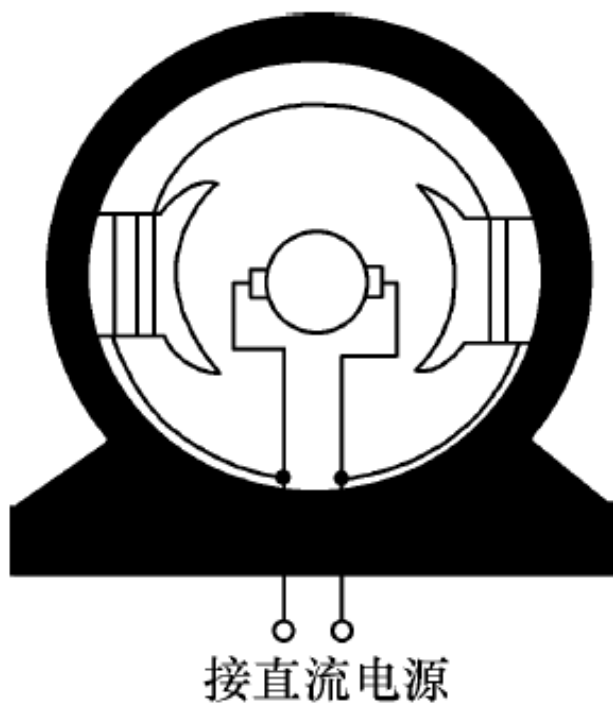
b)接线图



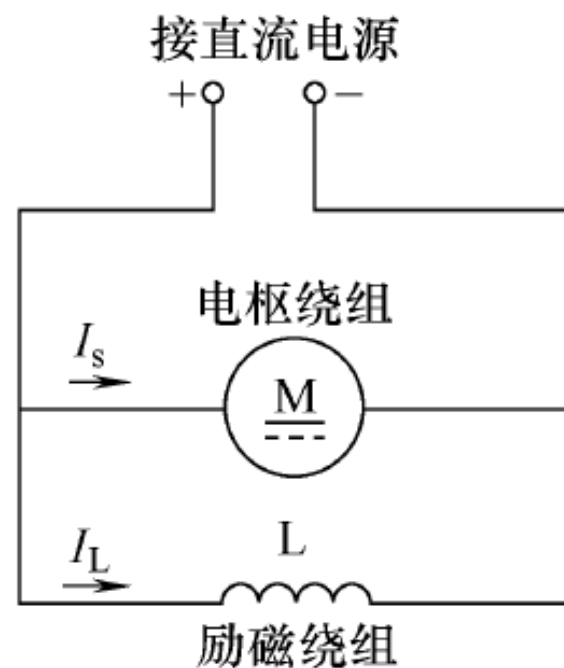
# 基础

- 并励直流电动机

并励直流电动机的励磁绕组采用较细的导线绕制而成，其匝数多、电阻大且励磁电流较恒定。电动机起动转矩与电枢绕组电流成正比，起动电流约为额定电流的2.5倍左右，转速随电流及转矩的增大而略有下降，短时过载转矩约为额定转矩的1.5倍。



a)结构示意图

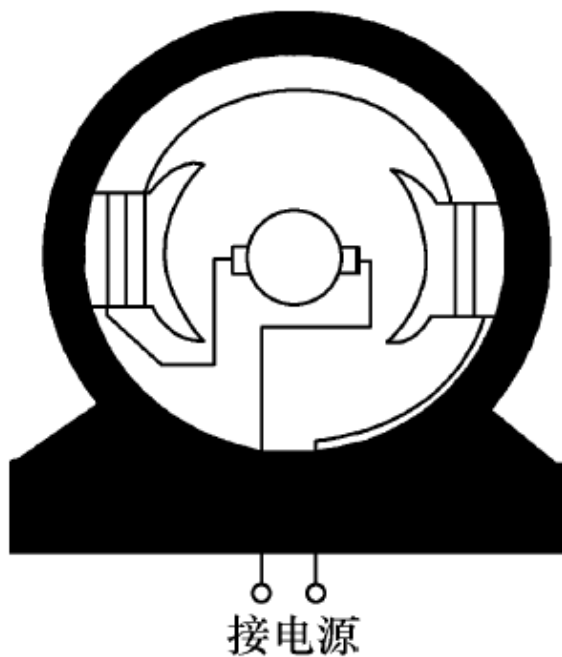


b)接线图

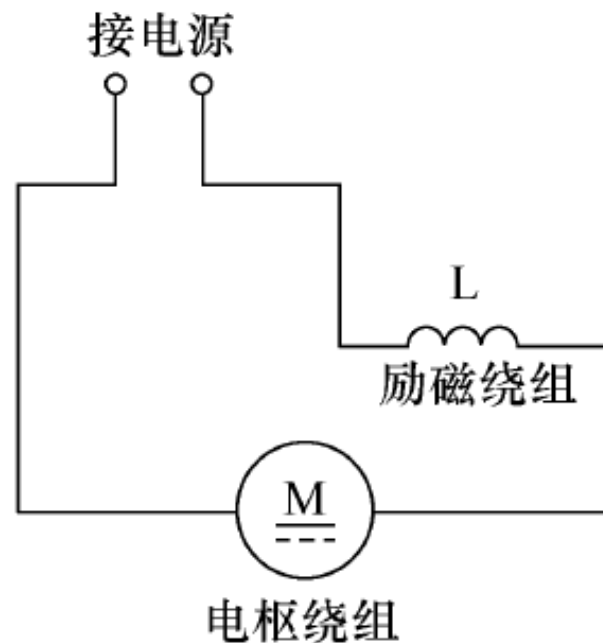
# 基础

- 串励直流电动机

串励直流电动机的励磁绕组和电枢绕组串联，故励磁磁场随着电枢电流的改变有显著的变化，为了减小励磁绕组的损耗和电压降，要求励磁绕组的电阻应尽量小，所以励磁绕组通常用较粗的导线绕制而成，并且匝数较少。



a)结构示意图

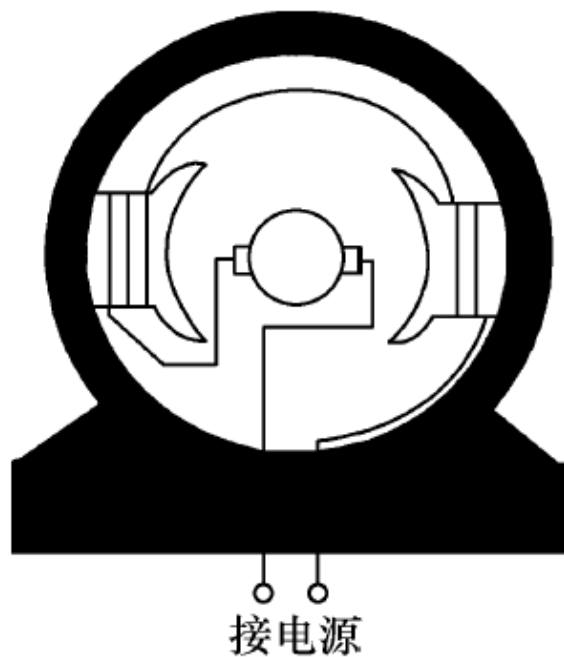


b)接线图

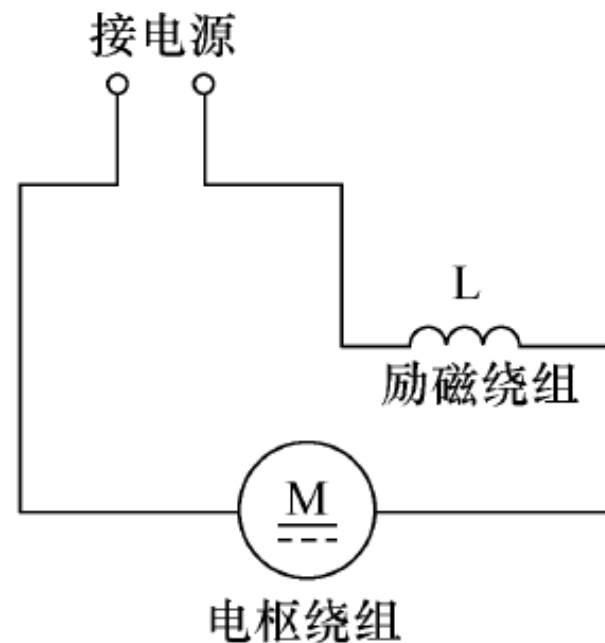
# 基础

- 串励直流电动机

串励直流电动机的转矩近似与电枢电流的二次方成正比，转速随转矩或电流的增加而迅速下降，其起动转矩可达额定转矩的5倍以上，短时间过载转矩可达额定转矩的4倍以上，串励直流电动机轻载或空载时转速很高，为了安全起见，一般不允许空载起动，不允许用皮带或链条传动。



a)结构示意图



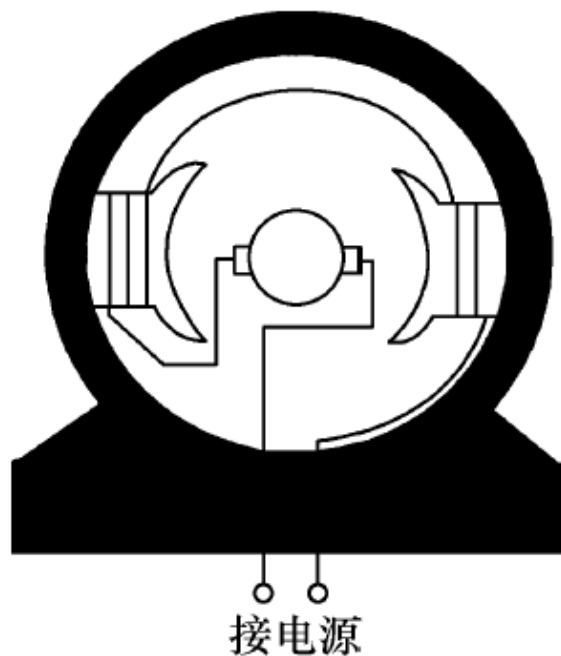
b)接线图

# 基础

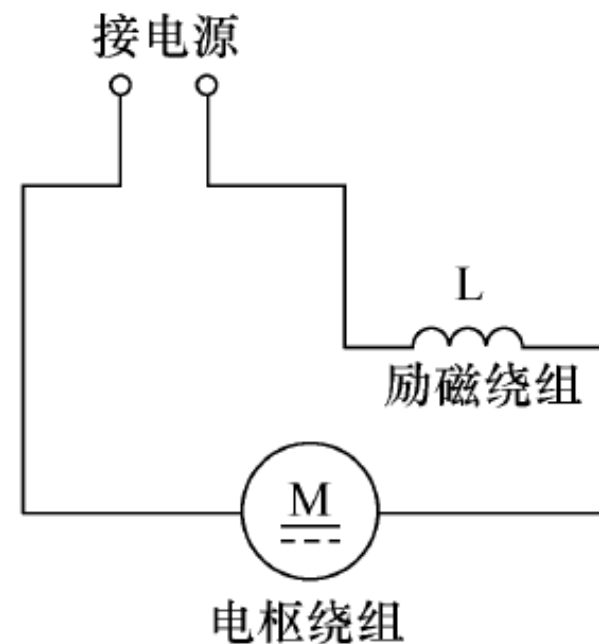


- 串励直流电动机

串励直流电动机还是一种**交直流两用电动机**，既可用直流供电，也可用单相交流供电，因为交流供电更为方便，所以串励直流电动机又称为**单相串励电动机**。由于串励直流电动机具有交、直流供电的优点，故应用较广泛，如电钻、电吹风、电动缝纫机和吸尘器中常采用串励直流电动机作动力源。



a)结构示意图



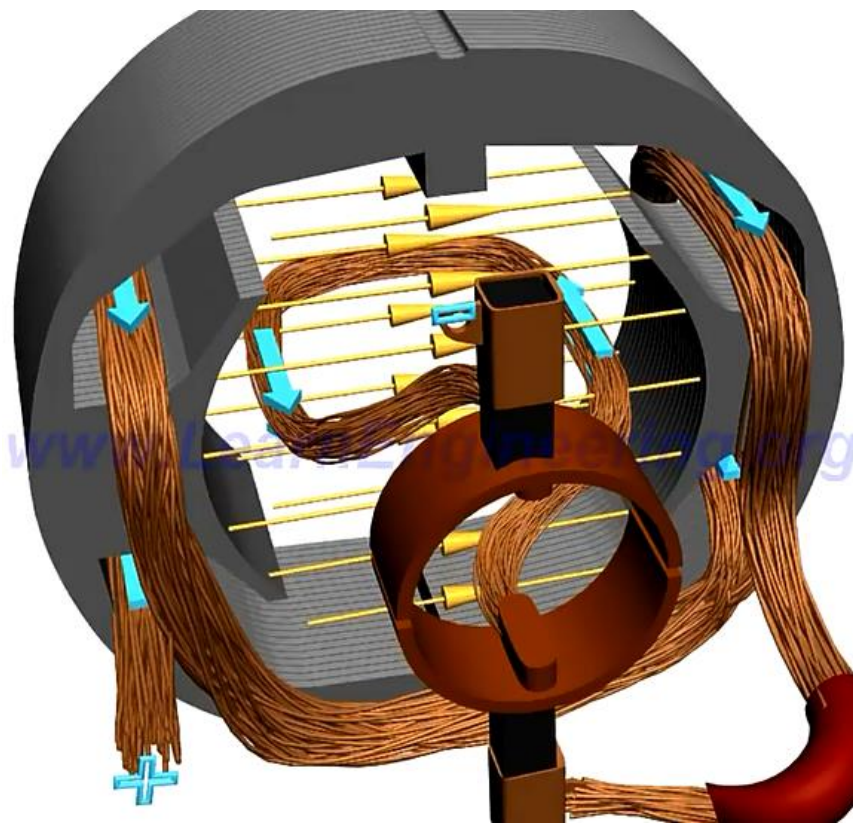
b)接线图

# 基础



- 串励直流电动机

同时改变励磁电流和电枢电流的方向，电机的转向不变。

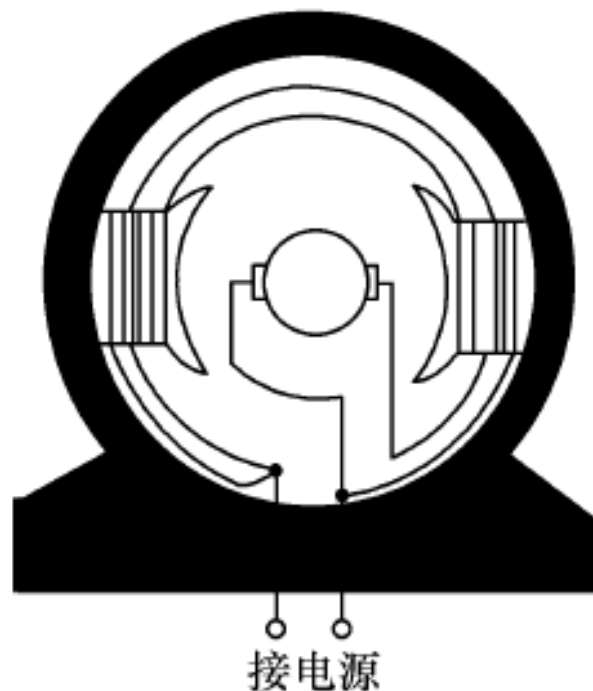


# 基础

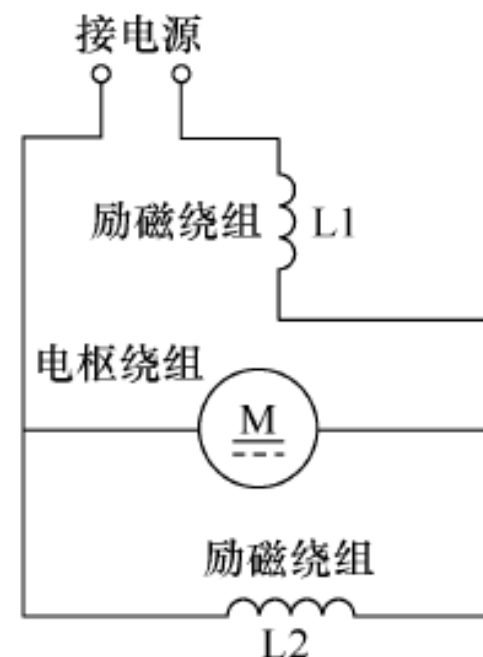
## • 复励直流电动机

复励直流电动机有两个励磁绕组，一个与电枢绕组串联，另一个与电枢绕组并联。

复励直流电动机的串联励磁绕组匝数少，并联励磁绕组匝数多，两个励磁绕组产生的磁场方向相同的电动机称为积复励电动机，反之称为差复励电动机，由于积复励电动机工作稳定，所以更为常用。复励直流电动机的起动转矩约为额定转矩的**4**倍，短时间过载转矩为额定转矩的**3.5**倍左右。



a)结构示意图

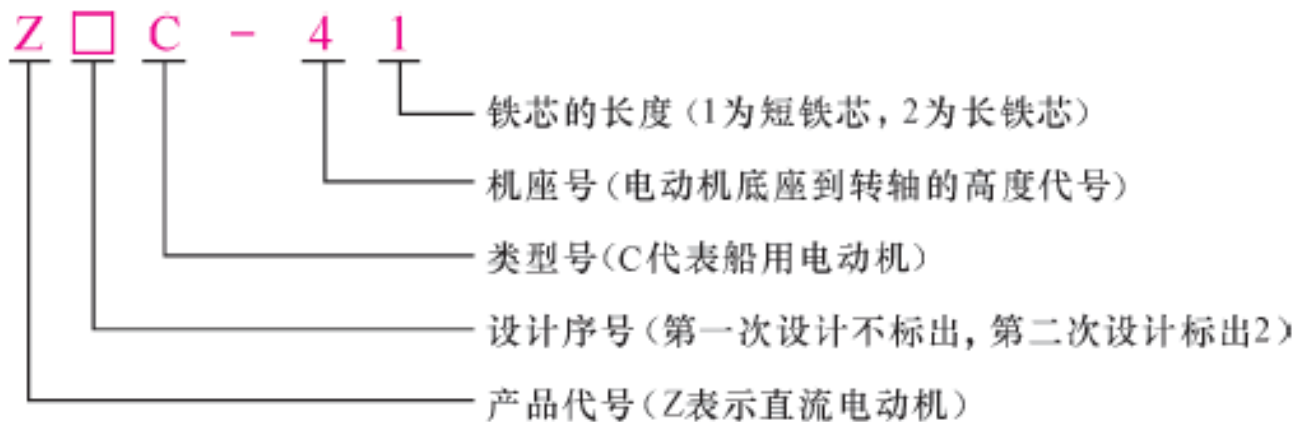


b)接线图

# 基础

- 直流电动机的规格参数

- 在直流电动机的铭牌上标识有直流电动机的型号、额定功率、额定电压、额定电流、额定转速、励磁方式、励磁电压、绝缘等级、质量（俗称重量）及出厂日期和制造单位等。

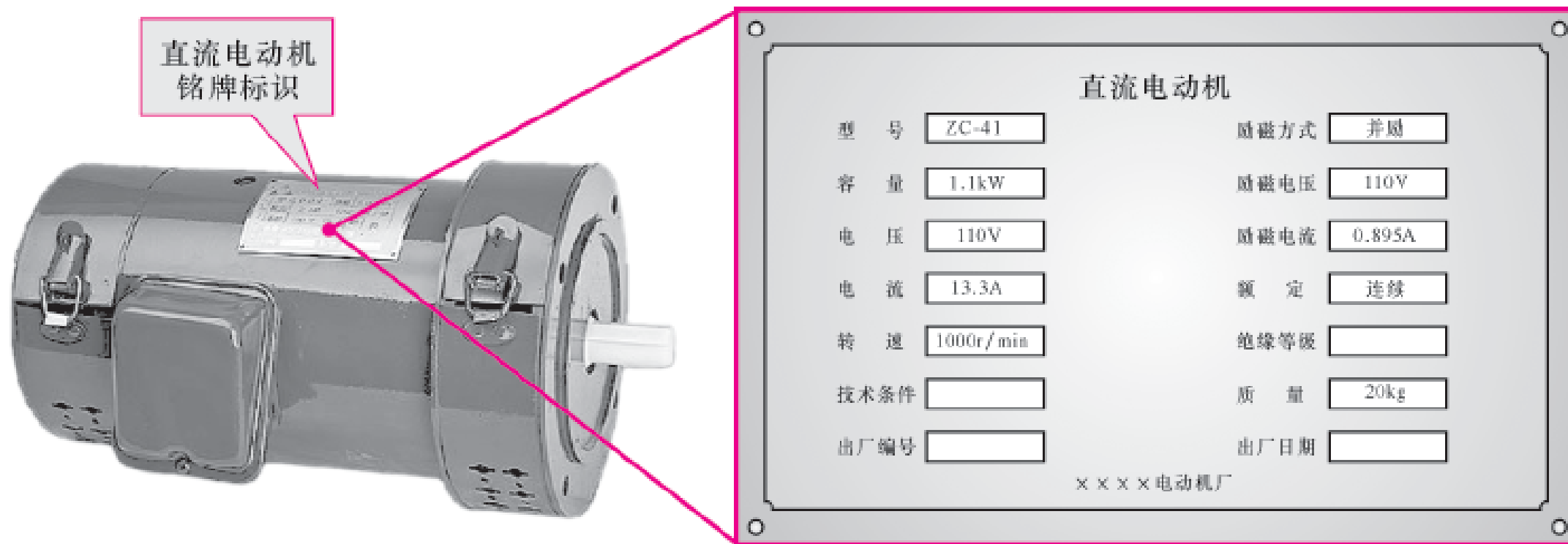




# 基础

- 直流电动机的规格参数







该电动机为普通直流电动机，为第1次设计；机座号为4，铁芯为短铁芯。额定功率为1.1kW；正常工作时，从电刷两端输给电动机的电压为110V，电流为13.3A；转子的速度为每分钟1000r，采用并励方式；加在励磁绕组上的额定电压为110V，额定电流为0.895A；此电动机可以以连续工作的方式运行；电动机的总质量为20kg。

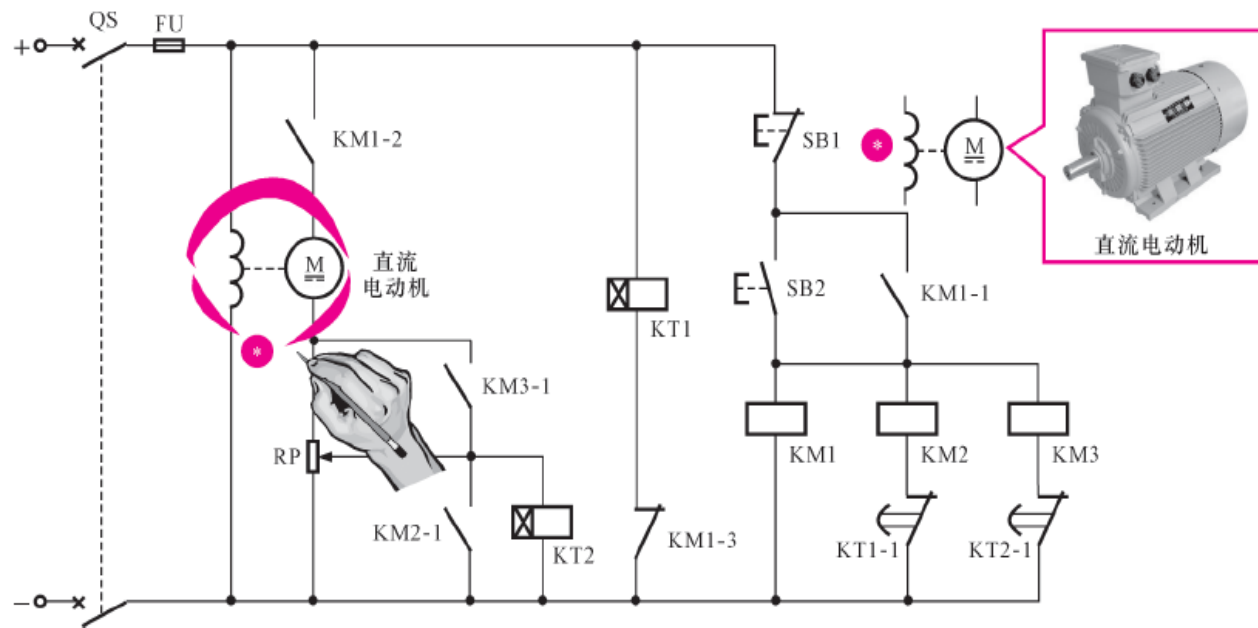




# 基础

## • 直流电动机在线路中的符号标识

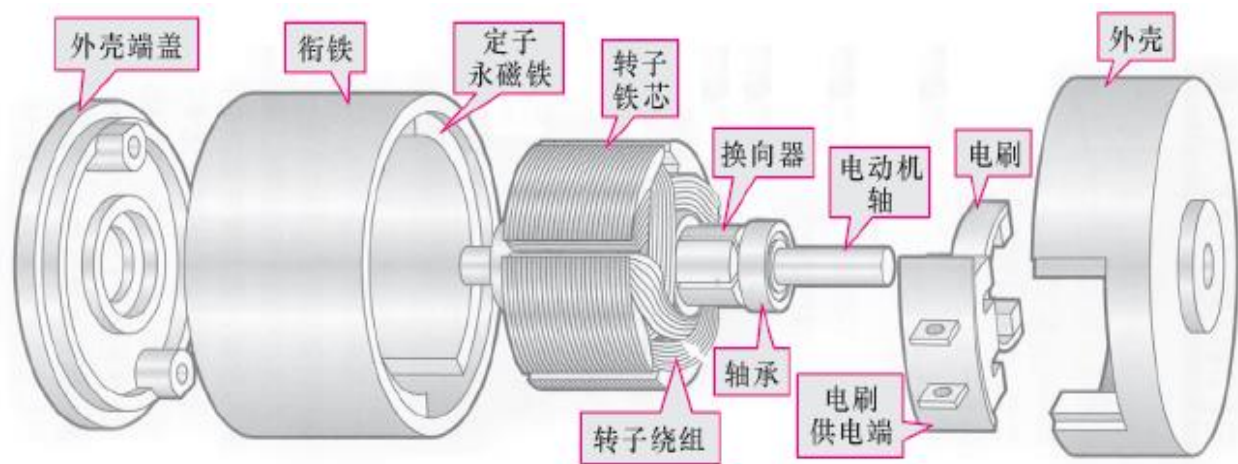
名称	符号	名称	符号
直流电动机		并励式电动机	
步进电动机		串励式电动机	
他励式电动机		复励式电动机	



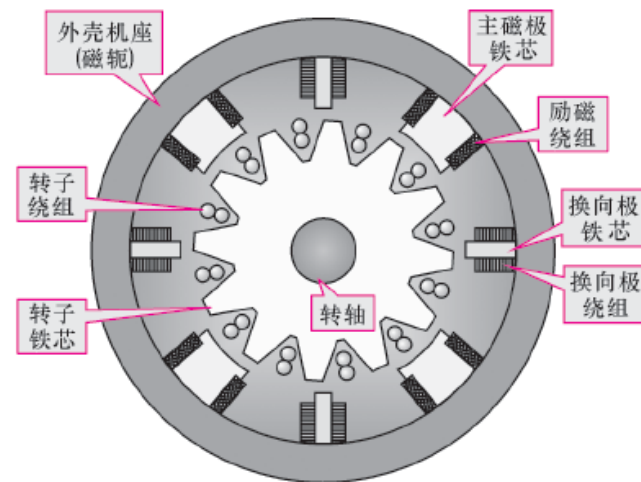
# 基础

## 内部结构

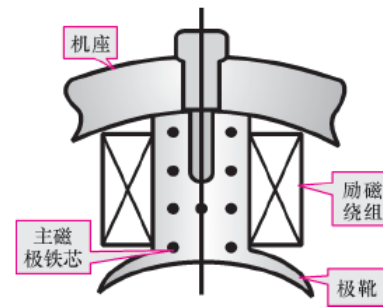
直流电动机主要是由静止的定子和旋转的转子两个部分构成的。其中定子部分包含了主磁极、衔铁、端盖和电刷等部分，转子部分包含了转子铁芯、转子绕组、转轴、换向器、轴承等部分。图所示为典型直流电动机的内部结构。



主磁极是由定子永磁铁和衔铁构成的



主磁极部分是由主磁极铁芯和套装在铁芯上的励磁绕组构成的



# 基础

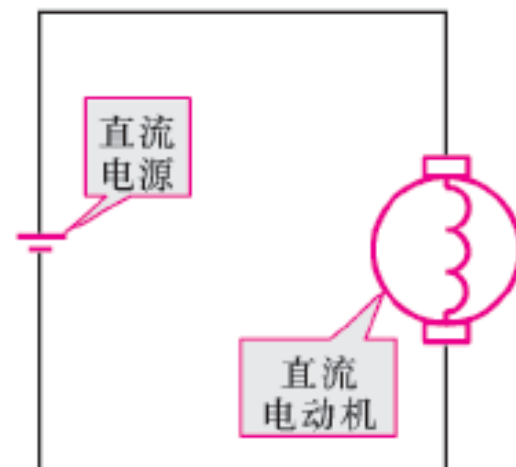
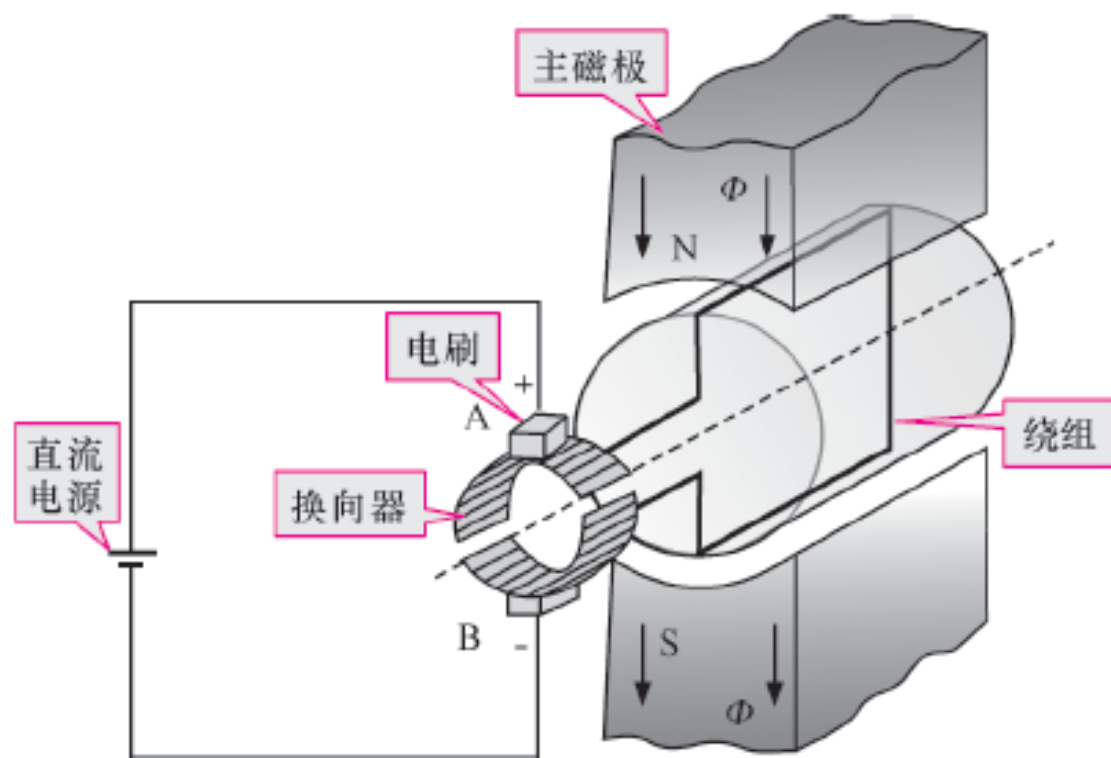
## 内部结构

直流电动机主要是由静止的定子和旋转的转子两个部分构成的。其中定子部分包含了主磁极、衔铁、端盖和电刷等部分，转子部分包含了转子铁芯、转子绕组、转轴、换向器、轴承等部分。图所示为典型直流电动机的内部结构。



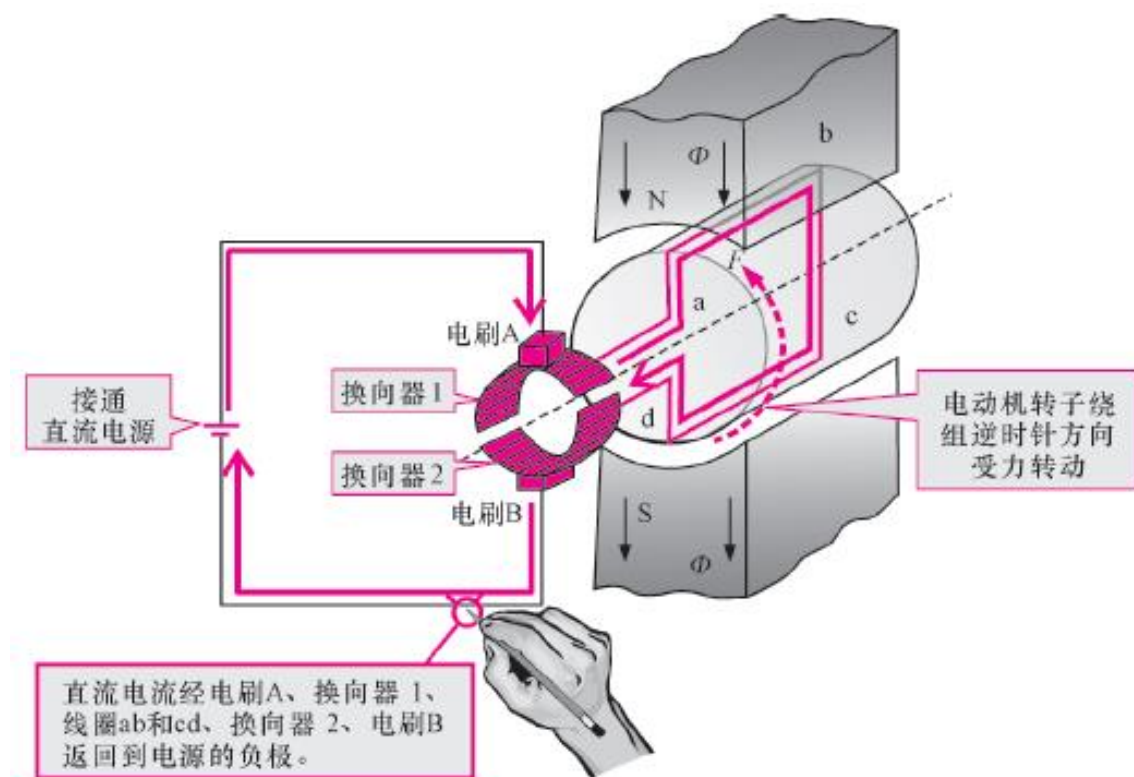
# 基础

- 工作原理

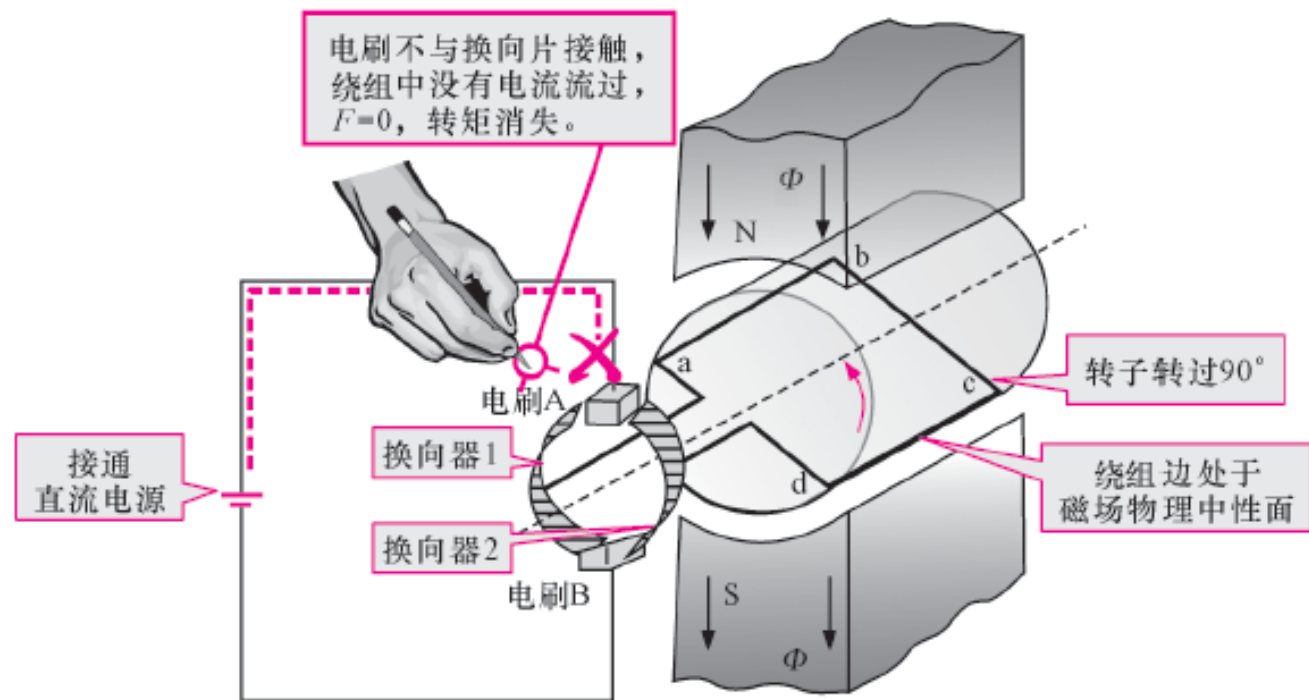


# 基础

## • 工作原理



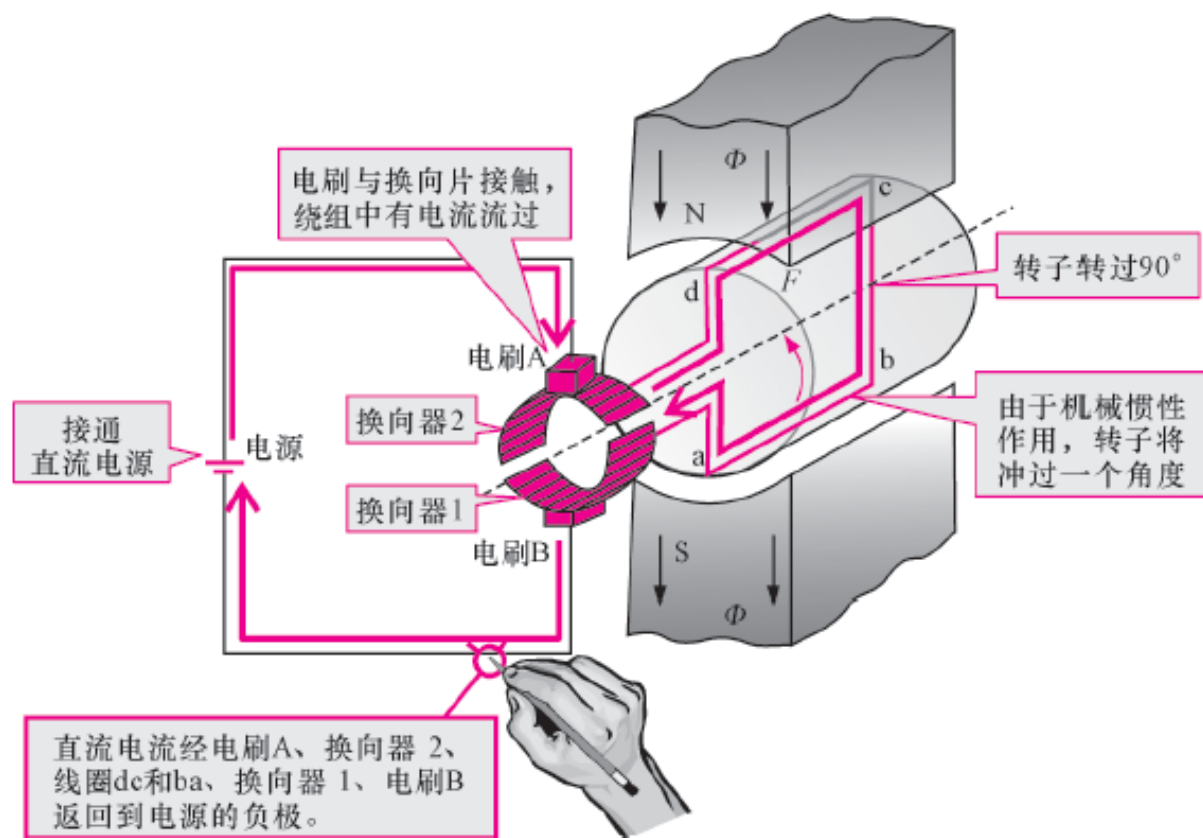
接通电源一瞬间的工作状态



转过90°后的工作状态

# 基础

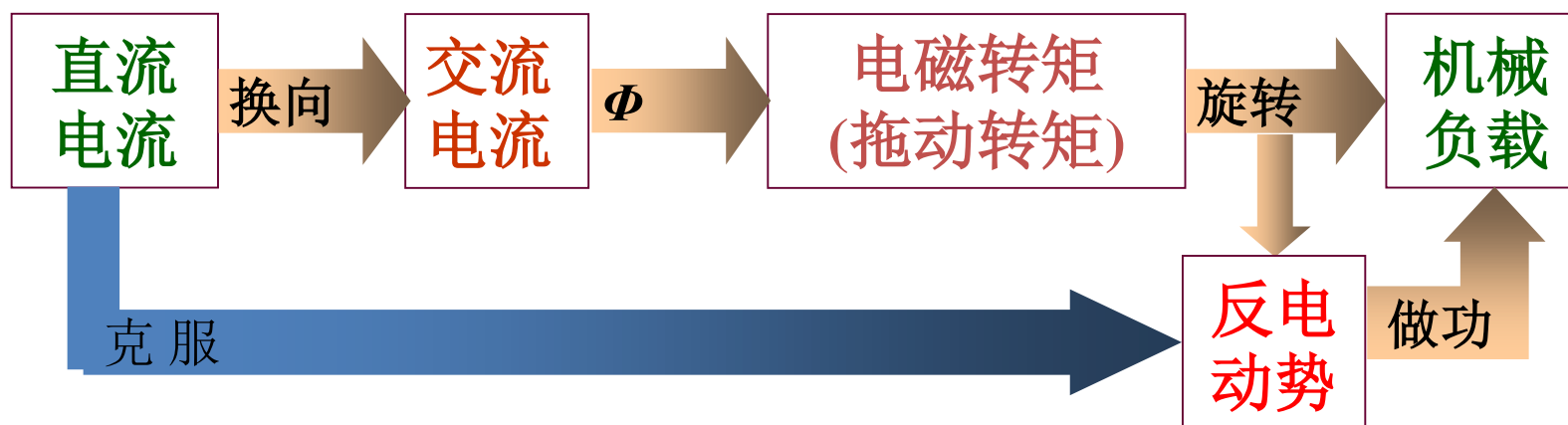
- 工作原理



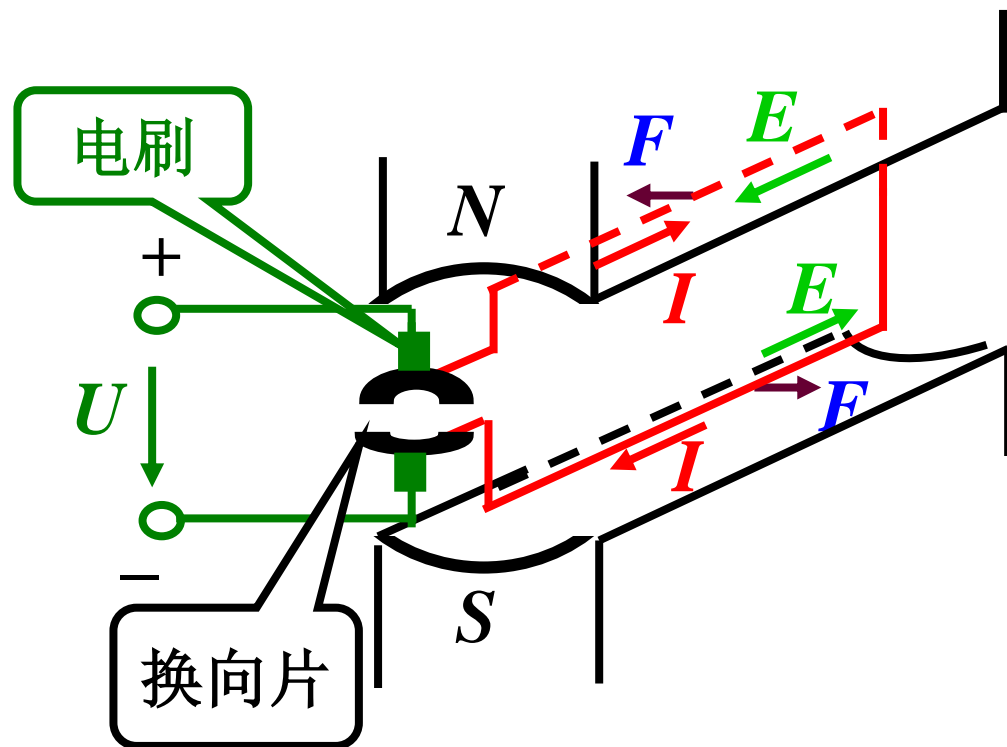
再经90° 旋转后的工作状态

# 直流电动机工作原理

## ● 电磁关系



# 直流电动机工作原理



根据右手定则知，**感应电动势 $E$** 和原通入的电流方向相反，其大小为：

$$E = K_E \phi n$$

$\left\{ \begin{array}{l} K_E: \text{与电机结构有关的常数} \\ \phi: \text{磁通} \\ n: \text{电动机转速} \end{array} \right.$

单位：  $\phi$  (韦伯)，  $n$  (转/每分)，  $E$  (伏)



# 直流电动机工作原理

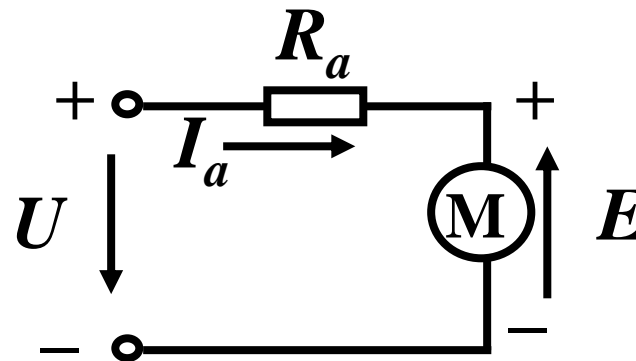
因为 $E$ 与通入的电流方向相反，所以叫反电动势。



$$U = E + I_a R_a$$

$U$ : 外加电压

$R_a$ : 绕组电阻



以上两公式反映的概念：

(1) 电枢反电动势的大小和磁通、转速成正比，若想改变 $E$ ，只能改变 $\Phi$ 或 $n$ 。

$$E = K_E \Phi n$$

(2) 若忽略绕组中的电阻 $R_a$ ，则  $U \approx E = K_E \Phi n$ ，

可见，当外加电压一定时，电机转速和磁通成反比，通过改变 $\Phi$ 可调速。  
当磁通一定时，电机转速和外加电压成正比，通过改变外加电压可调速。

# 直流电动机工作原理

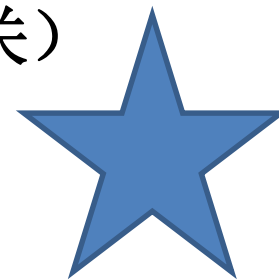
## 电磁转矩

$$T = K_T \Phi I_a$$

$K_T$ : 与线圈的结构有关的常数，力矩常数  
(与线圈大小，磁极的对数等有关)

$\Phi$ : 线圈所处位置的磁通

$I_a$ : 电枢绕组中的电流



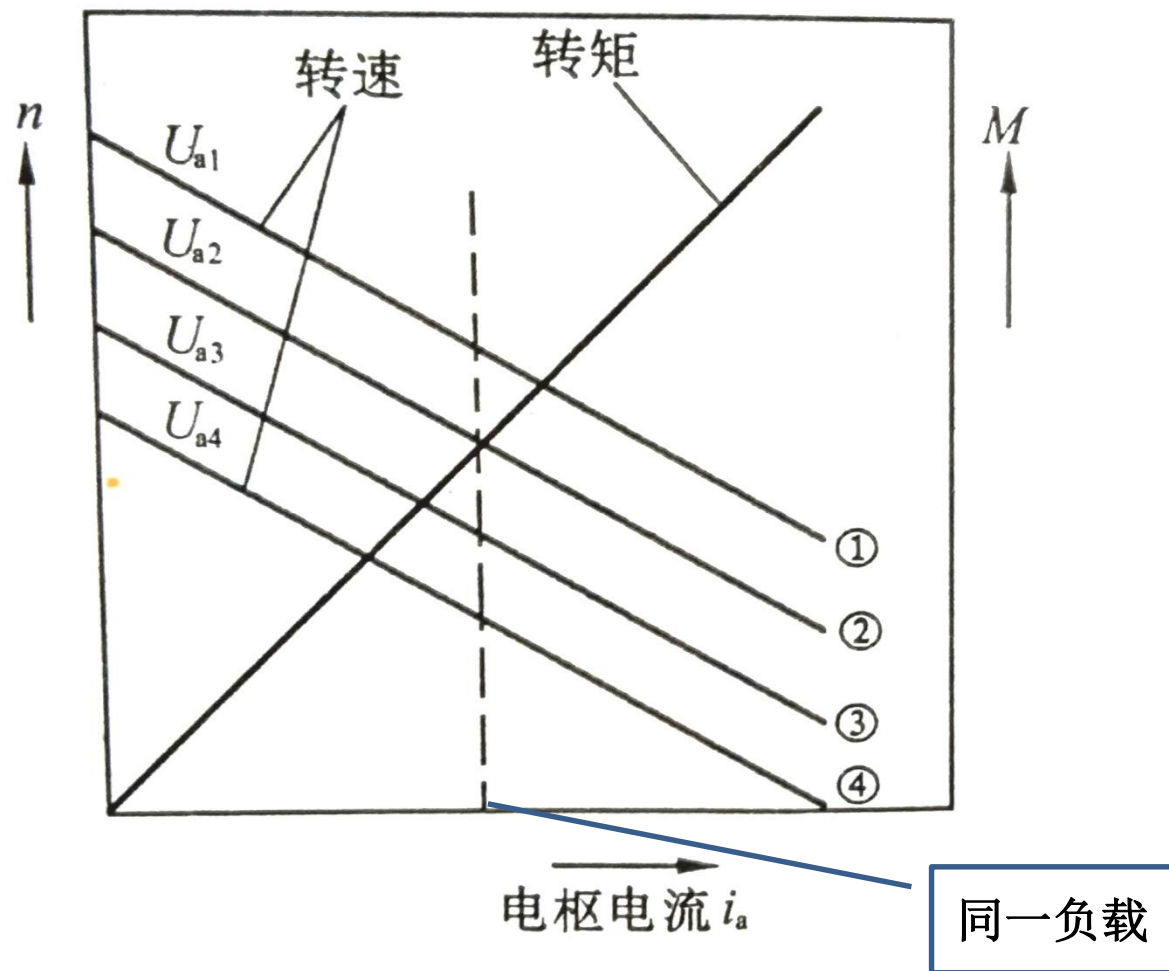
单位:  $\Phi$  (韦伯),  $I_a$  (安培),  $T$  (牛顿·米)

由转矩公式可知:

(1)产生转矩的条件: 必须有励磁磁通和电枢电流。

(2)改变电机旋转的方向: 改变电枢电流的方向或者改变磁通的方向。

# 直流电动机工作原理



曲线1—4的斜率由电枢电阻 $R_a$ 。

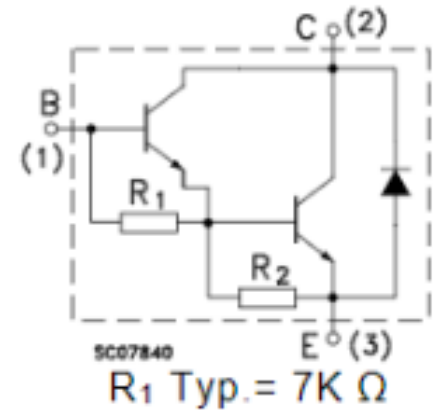
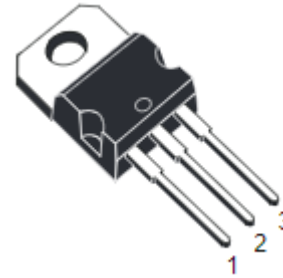
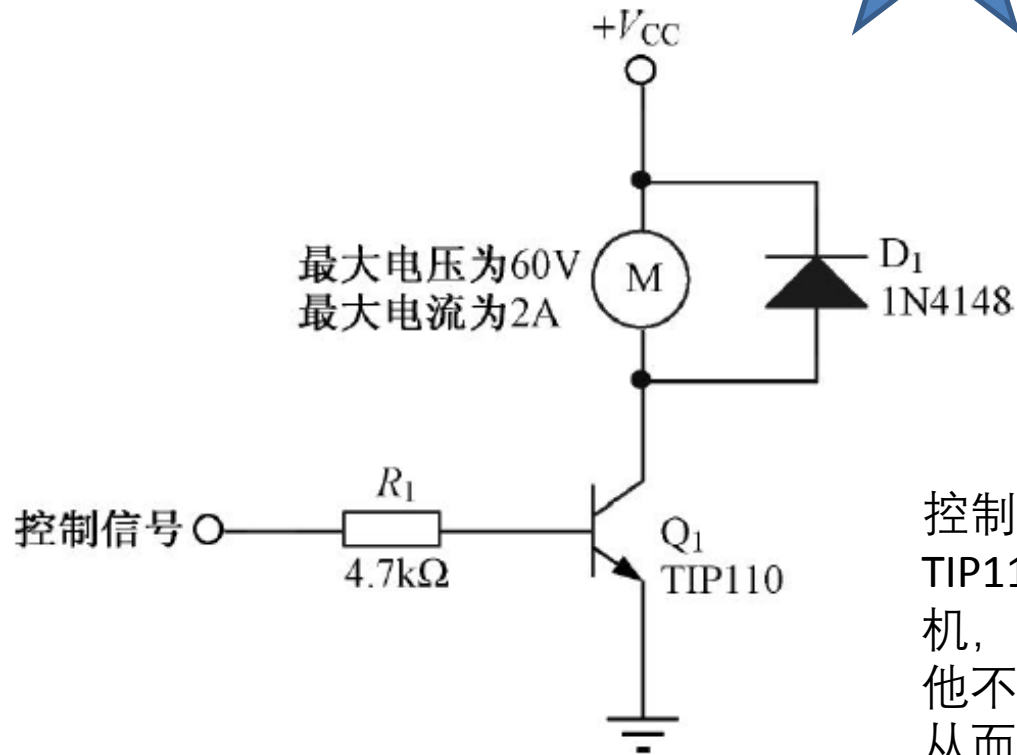
当电枢电流小的时候，转速高；随着负载增大，即电枢电流变大，转速下降。

在产品手册中的一个重要参数：**转矩常数**（每一A电流反映到输出轴的转矩大小），用来表示电动机的拖动能力。

直流电动机的特性曲线

# 直流电动机的驱动与控制

- 开关控制



控制信号使三极管开关导通或截止，以驱动电机。三极管TIP110最大可驱动额定电压为60V、额定电流为2A的直流电机，并且在大电流工作状态下三极管需要添加散热器。其他不同功率的直流电机，可参考这个电路设计三极管开关，从而实现简单的通/断控制。

# 直流电动机的驱动与控制

- 转速控制

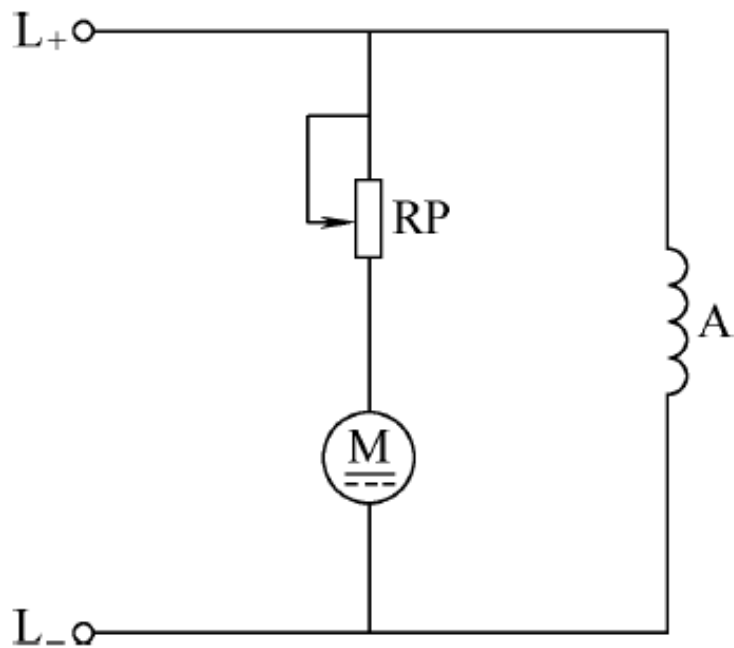
直流电动机调速有三种方式：

- 一是电枢绕组回路串接电阻调速；
- 二是改变励磁绕组的励磁磁场调速；
- 三是改变电枢绕组电压来调速。



# 直流电动机的驱动与控制

- 电枢绕组回路串接电阻调速

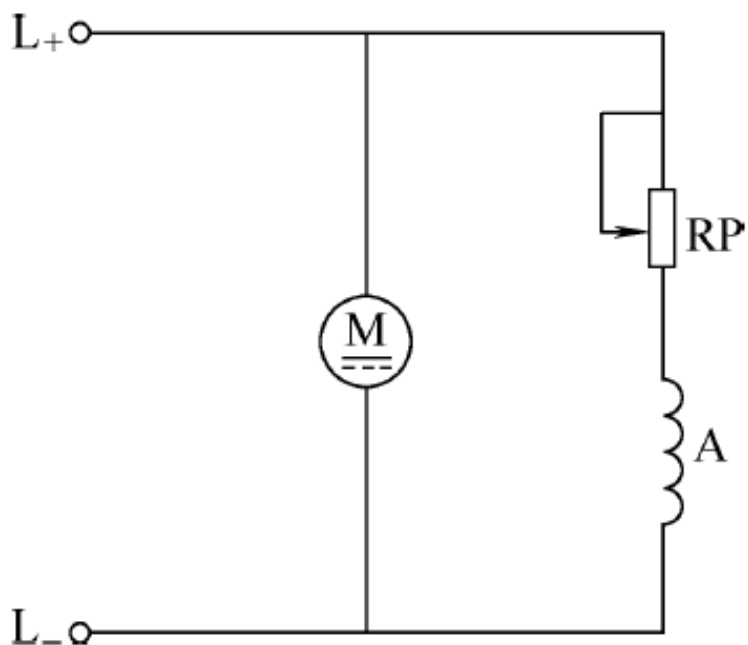


$RP$ 为调速变阻器，它接电枢绕组串接在一起，当 $RP$ 阻值增大时， $RP$ 两端的电压增大，由于电源电压不变，故电枢绕组两端的电压下降，电动机转速下降；当 $RP$ 阻值减小时，电枢绕组两端的电压增大，电动机转速升高。

电枢绕组回路串接电阻调速方法只能将电动机转速调低，无法将转速调高（不会超过额定转速）。另外，电动机工作时电枢绕组流过的电流比较大，而调速变阻器又与电枢绕组串联，故在变阻器上有很大的能量损耗，且转速易受负载影响，稳定性差。但由于这种调速方法操作方便，设备简单，对于功率不大、工作时间短、要求不高的设备常采用这种调速方法，如电池起重机、铲车、电池搬运车等设备中的直流电动机广泛采用这种调速方法。

# 直流电动机的驱动与控制

- 改变励磁磁场调速控制线路



RP为调速变阻器，它与励磁绕组串接在一起，当RP阻值增大时，流过励磁绕组的电流减小，励磁绕组产生的磁场变弱，磁通量减小，电动机转速升高；当RP阻值减小时，励磁绕组的磁通量增加，电动机转速降低。

由于电动机励磁绕组的电流很小，约为电枢绕组电流的3%~5%，故调速变阻器的能量损耗小。并励直流电动机在额定条件下运行时，励磁磁场基本饱和，很难通过增强励磁磁场来降速，只能通过减弱磁场来提速，故这种调速方法又称弱磁调速，但不能将转速过于调高，否则易出现电动机振动大和“飞车”事故。

# 直流电动机的驱动与控制

- 改变电枢绕组电压调速控制线路

- 若采用改变电枢绕组电压的方法来调速，需要为电枢绕组提供独立可调的直流电源，这种方法适用于他励直流电动机（或接成他励式的并励直流电动机）。在一些生产设备中，常采用直流发电机产生直流电压提供给他励直流电动机作为电枢绕组电源组成直流发电机—电动机拖动系统（简称为G-M 系统），来实现通过改变电枢绕组电压进行调速。



# 直流电动机的驱动与控制

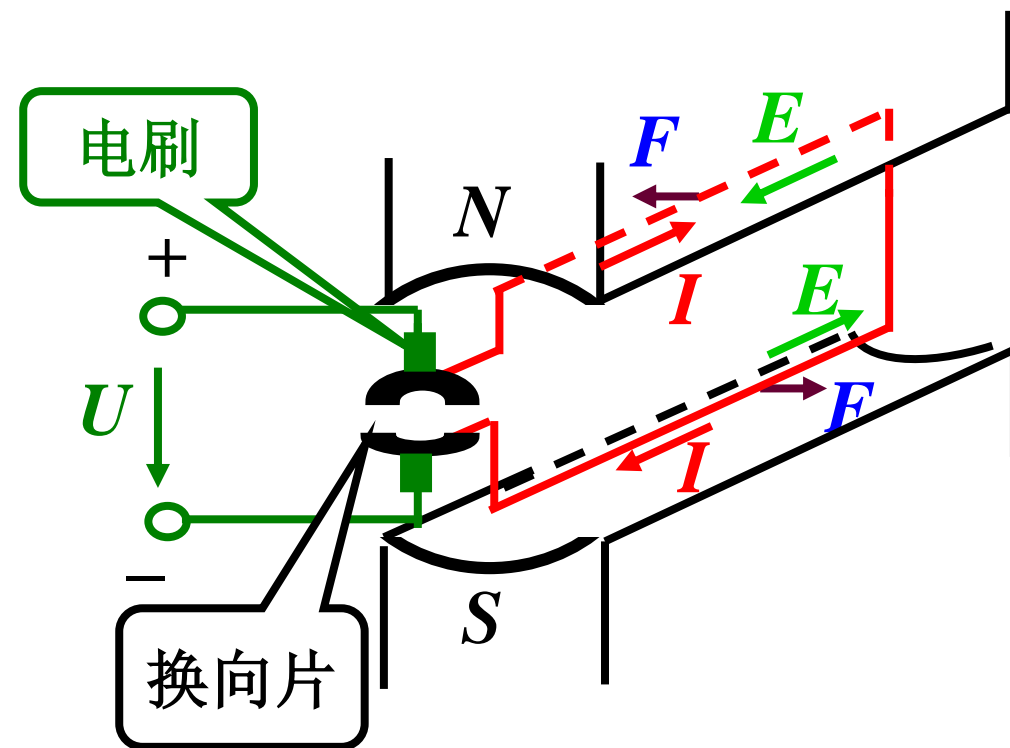
- 改变电枢绕组电压调速控制线路

根据右手定则知，**感应电动势 $E$** 和原通入的电流方向相反，其大小为：

$$E = K_E \phi n$$

$\left\{ \begin{array}{l} K_E: \text{与电机结构有关的常数} \\ \phi: \text{磁通} \\ n: \text{电动机转速} \end{array} \right.$

单位：  $\phi$ （韦伯）， $n$ （转/每分）， $E$ （伏）



# 直流电动机的驱动与控制

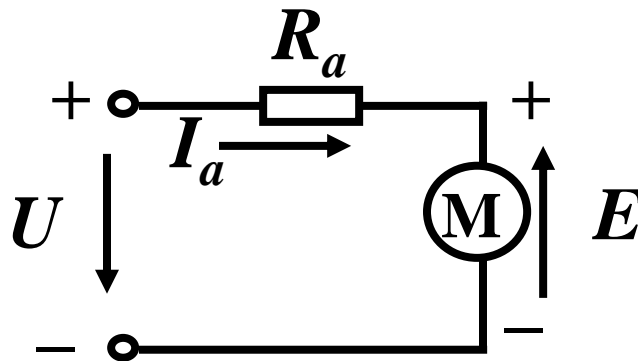
- 改变电枢绕组电压调速控制线路

因为 $E$ 与通入的电流方向相反，所以叫反电势。

$$U = E + I_a R_a$$

$U$ : 外加电压

$R_a$ : 绕组电阻



以上两公式反映的概念:

(1) 电枢反电动势的大小和磁通、转速成正比，若想改变 $E$ ，只能改变 $\Phi$ 或 $n$ 。

(2) 若忽略绕组中的电阻 $R_a$ ，则  $U \approx E = K_E \Phi n$   $E = K_E \Phi n$

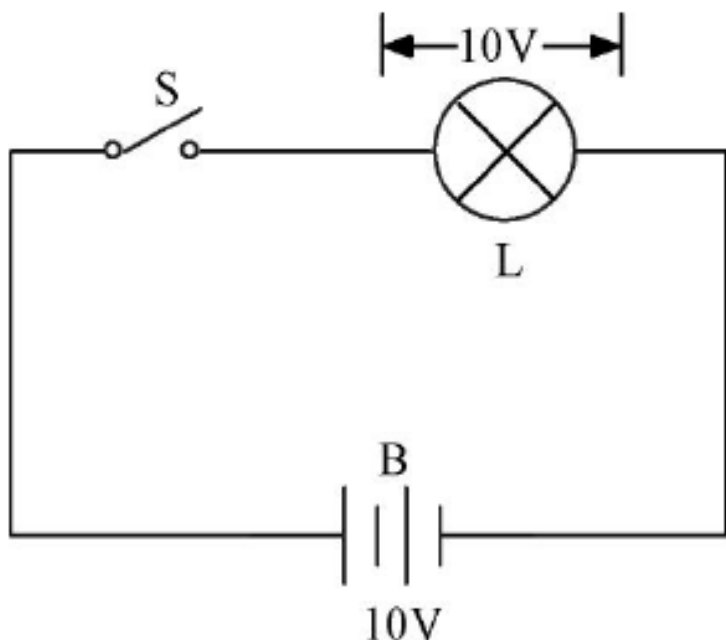
可见，当外加电压一定时，电机转速和磁通成反比，通过改变 $\Phi$ 可调速。当磁通一定时，电机转速和外加电压成正比，通过改变外加电压可调速。

# 直流电动机的驱动与控制

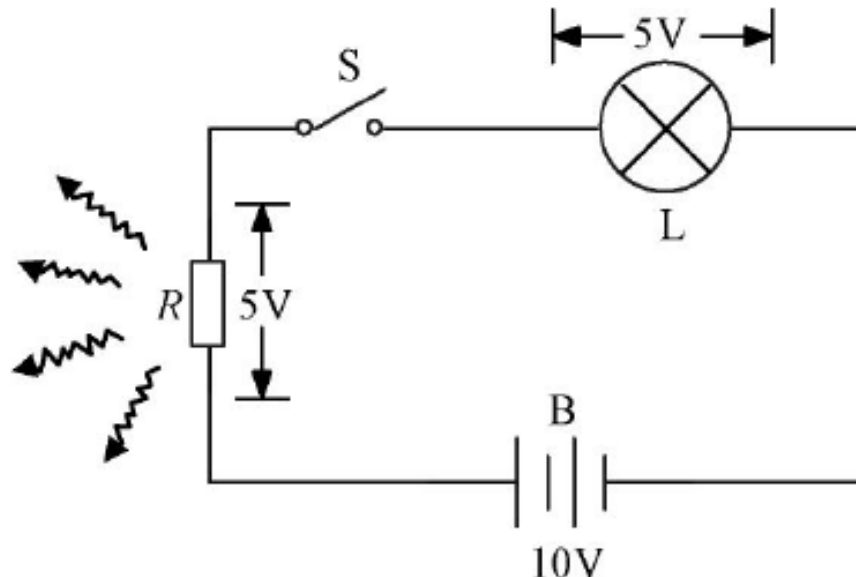
- 改变电枢绕组电压调速控制线路



PWM (脉宽调制)



(a) 灯泡功率为10W



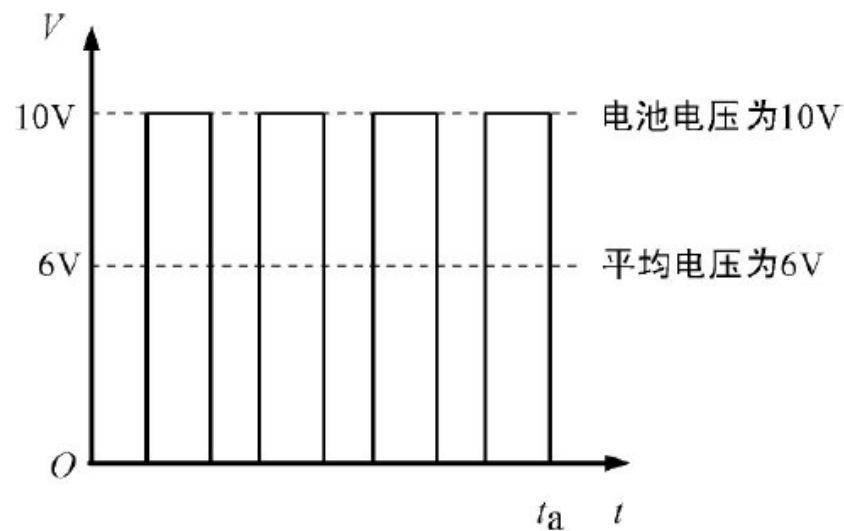
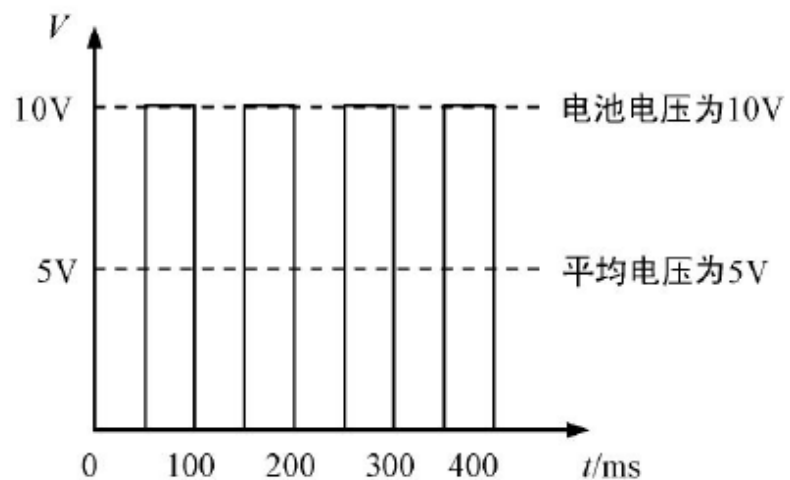
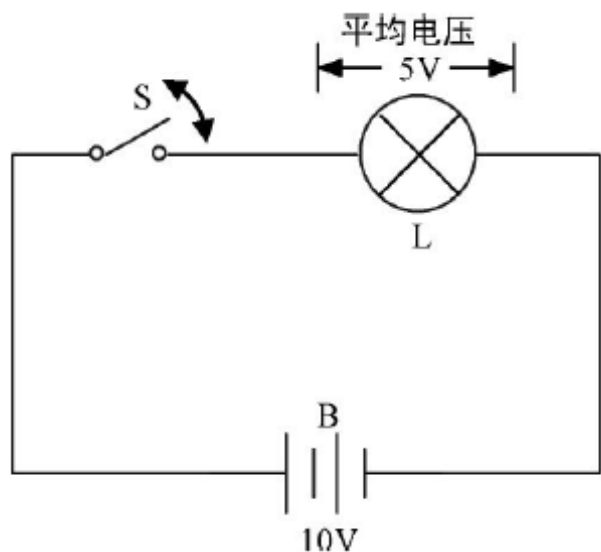
(b) 灯泡功率为5W

# 直流电动机的驱动与控制

- 改变电枢绕组电压调速控制线路

PWM (脉宽调制)

$$V_m = \frac{10V \times 50ms + 0V \times 50ms}{100ms} = 5V$$

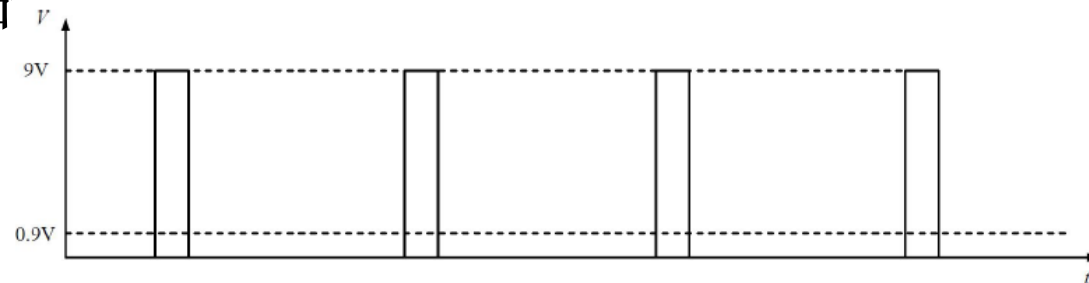


# 直流电动机的驱动与控制

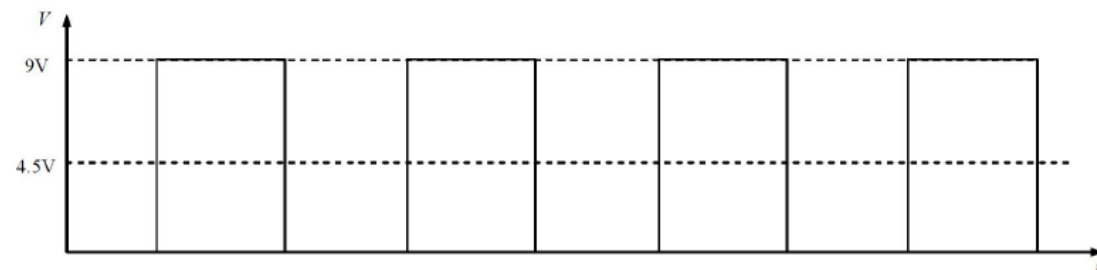
- 改变电枢绕组电压调速控制线路

**PWM (脉宽调制)**

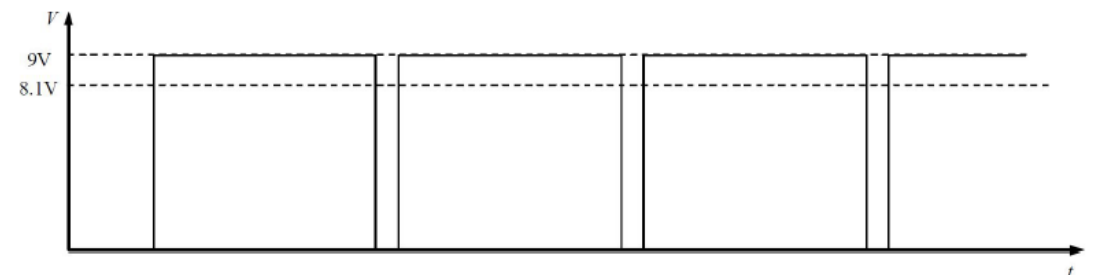
图 (a) 是占空比为10%的矩形波，其电平出现时间只占10%。  
图 (b) 和图 (c) 分别为占空比是50%和90%的矩形波。  
如果直流电平是9V，则这3种PWM信号输出的平均电压分别是0.9V ( $9V \times 10\%$ )、4.5V ( $9V \times 50\%$ )、8.1V ( $9V \times 90\%$ )。



(a) 占空比为 10% 的矩形波信号



(b) 占空比为 50% 的矩形波信号



(c) 占空比为 90% 的矩形波信号

# 直流电动机的驱动与控制

- 改变电枢绕组电压调速控制线路

PWM (脉宽调制)

如何产生PWM信号？

PWM信号的本质是具有一定占空比的矩形波信号，在实际应用中有4种方法可以产生PWM信号：**模拟方法、数字方法、专用芯片方法、单片机方法。**这里主要介绍模拟方法和专用芯片方法。

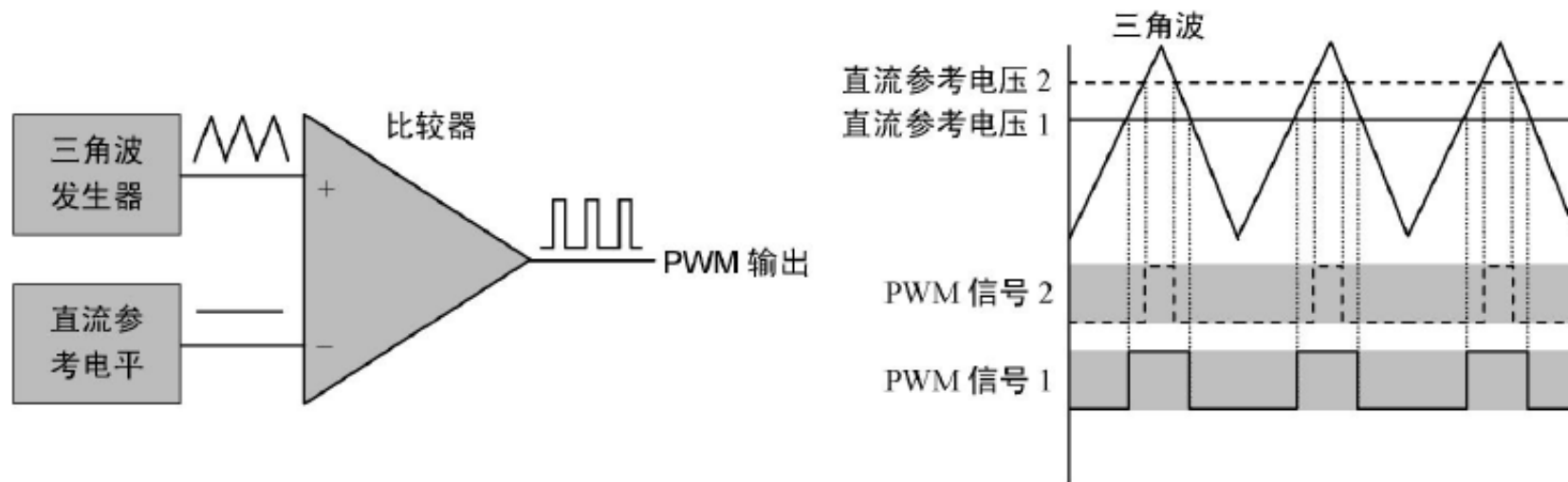


# 直流电动机的驱动与控制

- 改变电枢绕组电压调速控制线路

PWM（脉宽调制）

利用比较器获得PWM信号



把三角波发生器和比较器结合起来，就能立即获得PWM信号。

# 直流电动机的控制

- 改变电枢绕组电压调速控制线路

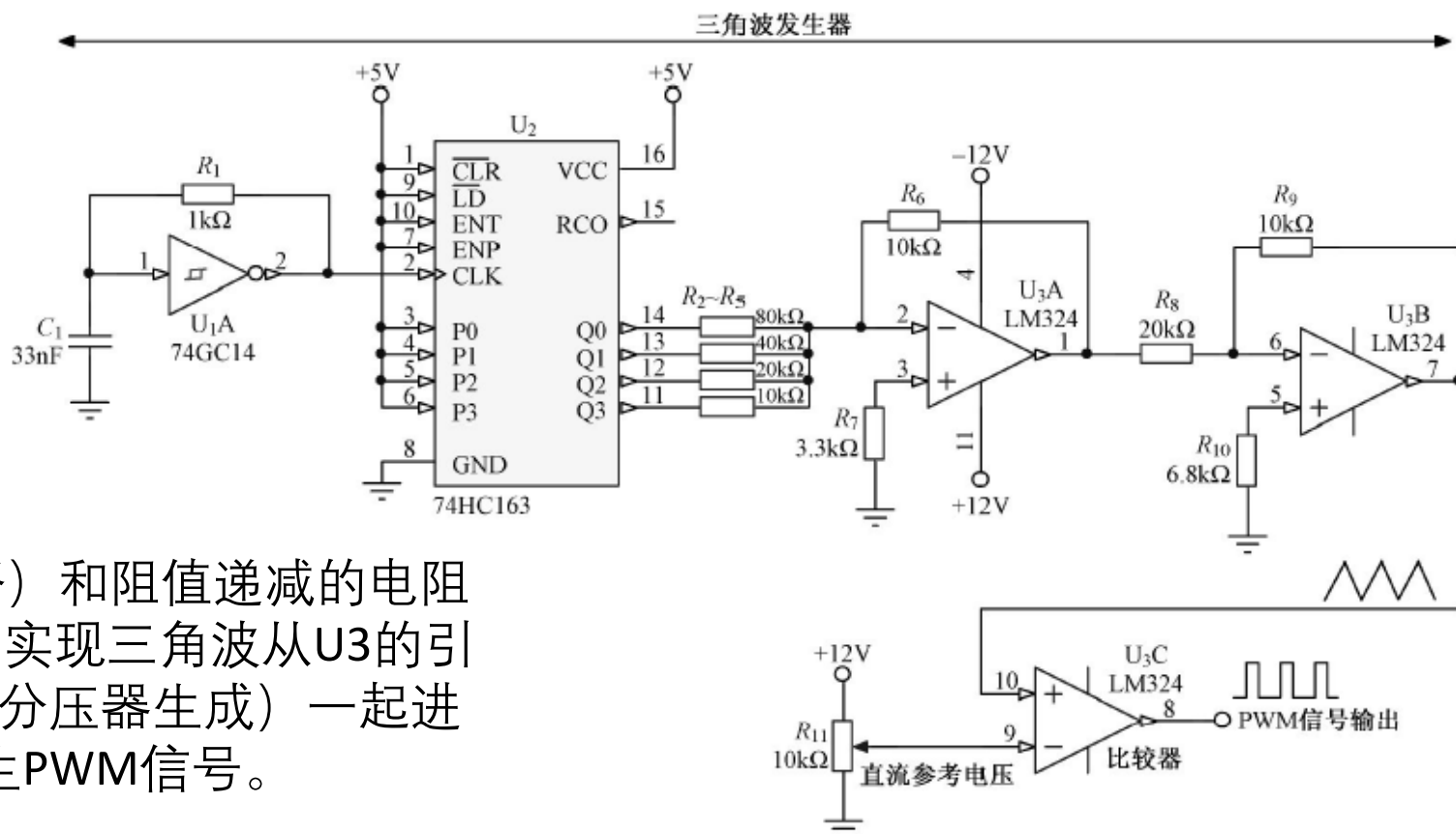
模数混合法

PWM（脉宽调制）

首先，施密特反相器74HC14（数字电路集成电路）、电阻R1和电容C1共同组成一个简单的振荡器作为电路的时序，其振荡频率为

$$f_{osc} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 1 \times 10^3 \Omega \times 33 \times 10^{-9} \text{F}} \approx 2.4 \text{kHz}$$

由计数器74HC163（数字电路集成电路）和阻值递减的电阻R2~R5（80kΩ、40kΩ、20kΩ、10kΩ）实现三角波从U3的引脚7输出。三角波与直流参考电压（由分压器生成）一起进入比较器，最后在比较器的输出端产生PWM信号。



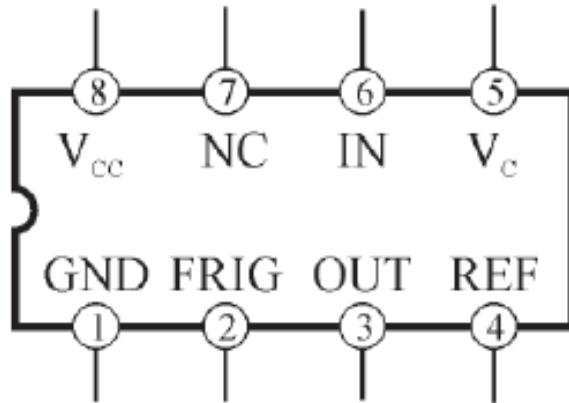


# 直流电动机的控制

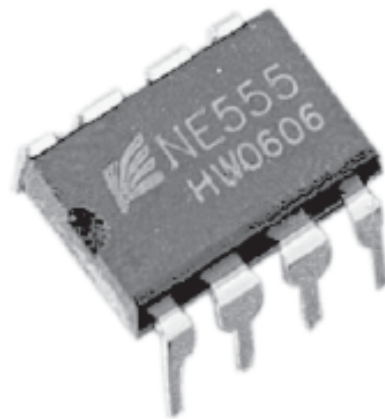
- 改变电枢绕组电压调速控制线路

PWM（脉宽调制）

由555芯片构成的直流电动机PWM调速电路



555定时器芯片



NE555时基电路

# 直流电动机的控制

- 改变电枢绕组电压调速控制线路

## PWM（脉宽调制）

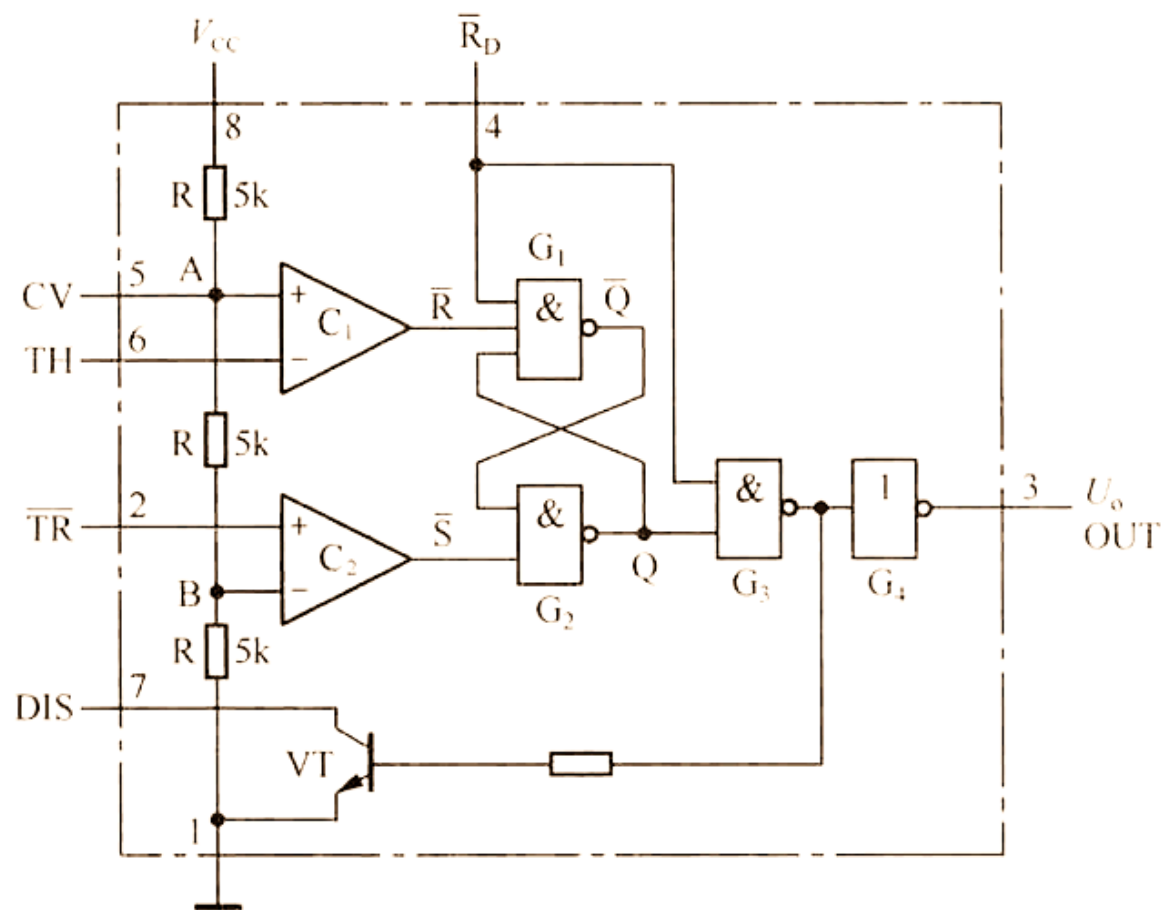
### 由555芯片构成的直流电动机PWM调速电路

电阻分压器由3个阻值相等的电阻R构成，两个运算放大器C1、C2构成电压比较器。

3个阻值相等的电阻将电源 $V_{CC}$ （⑧脚）分作3等份，比较器C1的“+”端（⑤脚）电压 $U_+$ 为 $\frac{2}{3}V_{CC}$ ，比较器C2的“-”电压 $U_-$ 为 $\frac{1}{3}V_{CC}$ 。

如果TH端（⑥脚）输入的电压大于 $\frac{2}{3}V_{CC}$ 时，即运算放大器C1的 $U_+ < U_-$ ，比较器C1输出低电平“0”；如果 $\overline{TR}$ 端（②脚）输入的电压大于 $\frac{1}{3}V_{CC}$ 时，即运算放大器C2的 $U_+ > U_-$ ，比较器C1输出高电平“1”。

555定时器芯片



# 直流电动机的控制

- 改变电枢绕组电压调速控制线路

## PWM（脉宽调制）

### 由555芯片构成的直流电动机PWM调速电路

#### 基本RS触发器

基本RS触发器是由两个与非门G1、G2构成的。

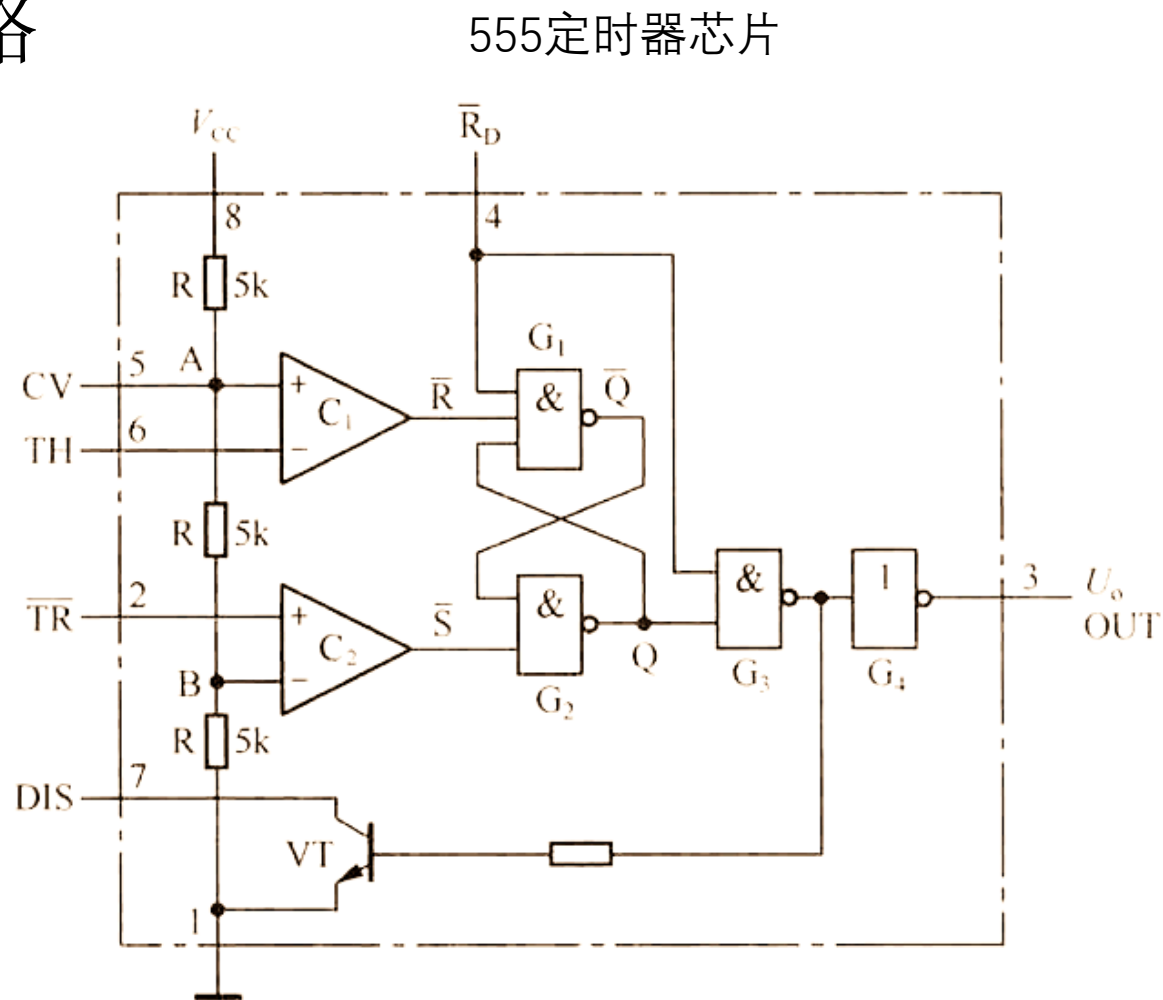
当 $\bar{R}=0$ 、 $\bar{S}=1$ 时，触发器置“0”，即 $Q=0$ ， $\bar{Q}=1$ ；

当 $\bar{R}=1$ 、 $\bar{S}=0$ 时，触发器置“1”，即 $Q=1$ ， $\bar{Q}=0$ ；

当 $\bar{R}=1$ 、 $\bar{S}=1$ 时，触发器“保持”原状态；

当 $\bar{R}=0$ 、 $\bar{S}=0$ 时，触发器状态不定，这种情况禁止出现。

$\bar{R}_D$ 端（④脚）为**定时器复位端**，当 $\bar{R}_D=0$ 时，它送到基本RS触发器，对触发器置“0”，即 $Q=0$ ， $\bar{Q}=1$ ； $\bar{R}_D=0$ 和触发器输出的 $Q=0$ 送到与非门G3，与非门输出为“1”，再经非门G4后变为“0”，从定时器的OUT端（③脚）输出“0”。即 $\bar{R}_D=0$ 时，定时器被复位，输出为“0”，在正常工作时，应让 $\bar{R}_D=1$ 。



# 直流电动机的控制

- 改变电枢绕组电压调速控制线路

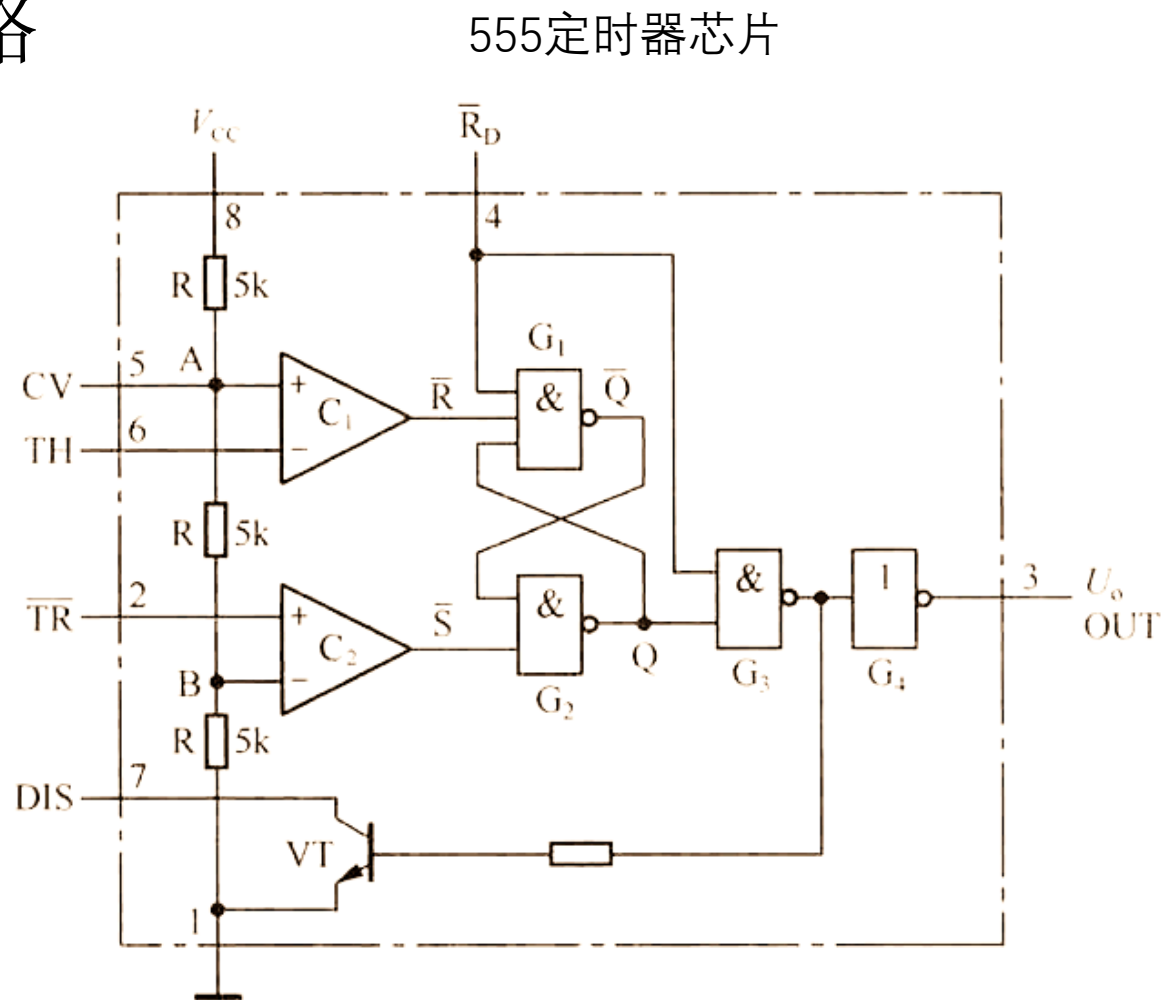
## PWM (脉宽调制)

## 由555芯片构成的直流电动机PWM调速电路

## 放电管和缓冲器

三极管**VT**为放电管，它的状态受与非门**G3**输出电平控制，当**G3**输出为高电平时，**VT**的基极为高电平而导通，⑦、①之间相当于短路；当**G3**输出为低电平时，**VT**截止，⑦、①之间相当于开路。

非门**G4**为缓冲器，主要是提高定时器带负载能力，保证定时器**OUT**端能输出足够的电流，还能隔离负载对定时器的影响。



# 直流电动机的控制

- 改变电枢绕组电压调速控制线路

PWM（脉宽调制）

由555芯片构成的直流电动机PWM调速电路

555定时器的功能见表，表中标“x”表示不论为何值情况，都不影响结果。

输入			输出	
$\overline{R_D}$	$TH$	$\overline{TR}$	$OUT$	放电管状态
0	x	x	低	导通
1	$>\frac{2}{3}V_{CC}$	$>\frac{1}{3}V_{CC}$	低	导通
1	$<\frac{2}{3}V_{CC}$	$>\frac{1}{3}V_{CC}$	不变	不变
1	$<\frac{2}{3}V_{CC}$	$<\frac{1}{3}V_{CC}$	高	截止

从表中可以看出555在各种情况下的状态，如在 $\overline{R_D}=1$ 时，如果高触发端 $TH>\frac{2}{3}V_{CC}$ 、低触发端 $\overline{TR}>\frac{1}{3}V_{CC}$ ，则定时器OUT端会输出低电平“0”，此时内部的放电管处于导通状态。

# 直流电动机的控制

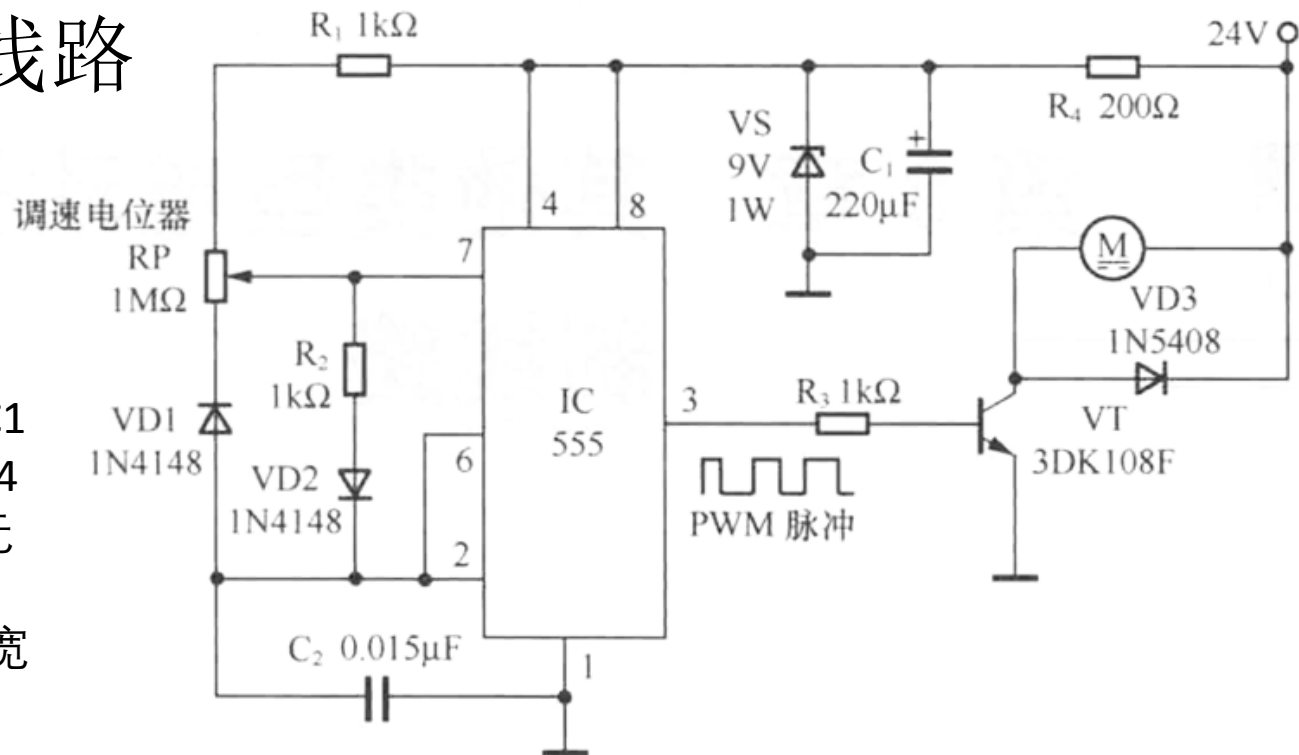
## • 改变电枢绕组电压调速控制线路

### PWM（脉宽调制）

### 由555芯片构成的直流电动机PWM调速电路

24V的直流电源经R<sub>4</sub>降压，稳压二极管VS稳压和电容C<sub>1</sub>滤波后，得到9V电压送到555芯片的8脚（电源脚）和4脚（复位脚，低电平时复位）。555芯片与外围有关元件构成振荡器，工作后从3脚输出脉冲信号，当调节555芯片7脚的电位器RP时，3脚会输出的PWM脉冲（宽度可变的脉冲），该脉冲送到三极管VT的基极。

当脉冲高电平来时，VT导通，有电流流过直流电动机M，脉冲低电平来时，VT截止，无有电流流过直流电动机。如果往某个方向调节RP时555芯片3脚输出的PWM脉冲变宽（脉冲高电平持续时间变长，低电平时间变短），则VT导通时间长、截止时间短，这样会使流过直流电动机的平均电流增大，电动机转速变快，如果调节RP使555芯片3脚输出的PWM脉冲变窄，直流电动机流过的平均电流减小，转速变慢。

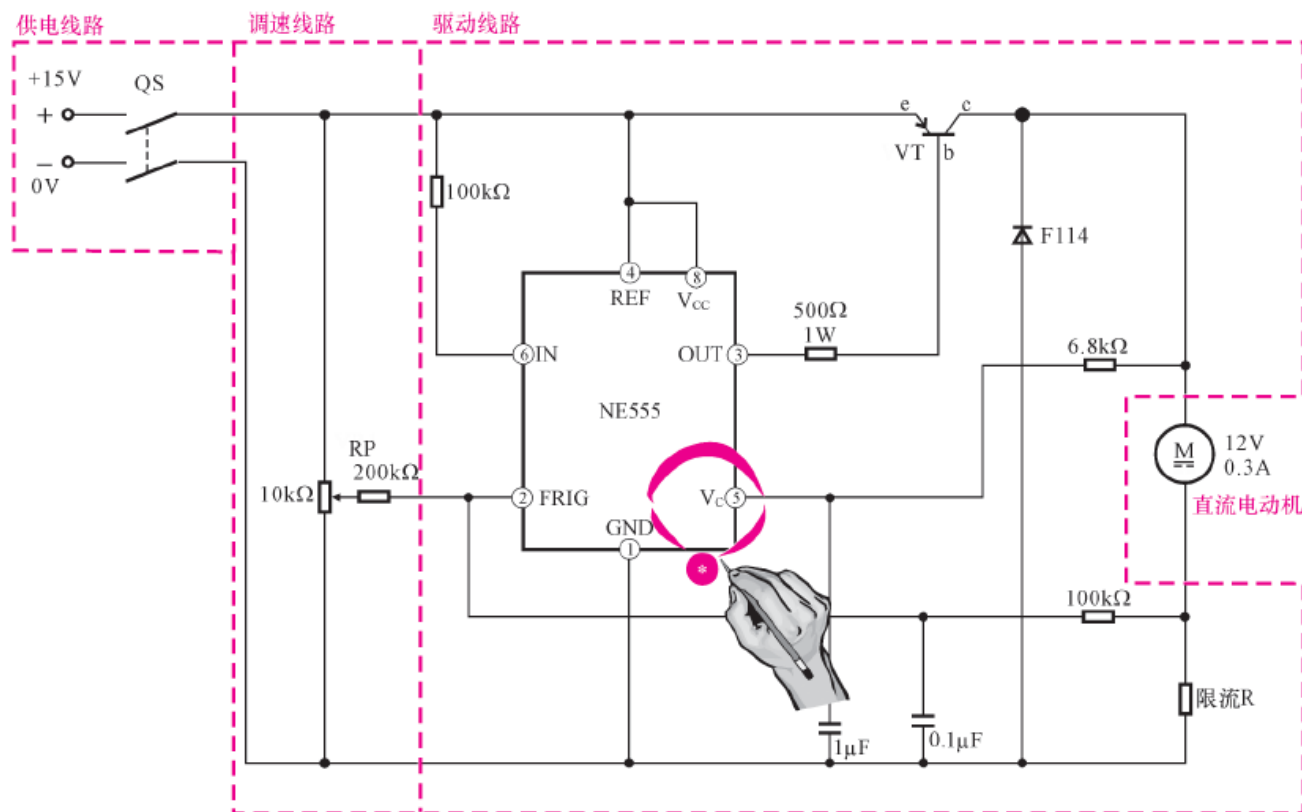


# 直流电动机的控制

- 改变电枢绕组电压调速控制线路

PWM（脉宽调制）

由555芯片构成的直流电动机PWM调速电路



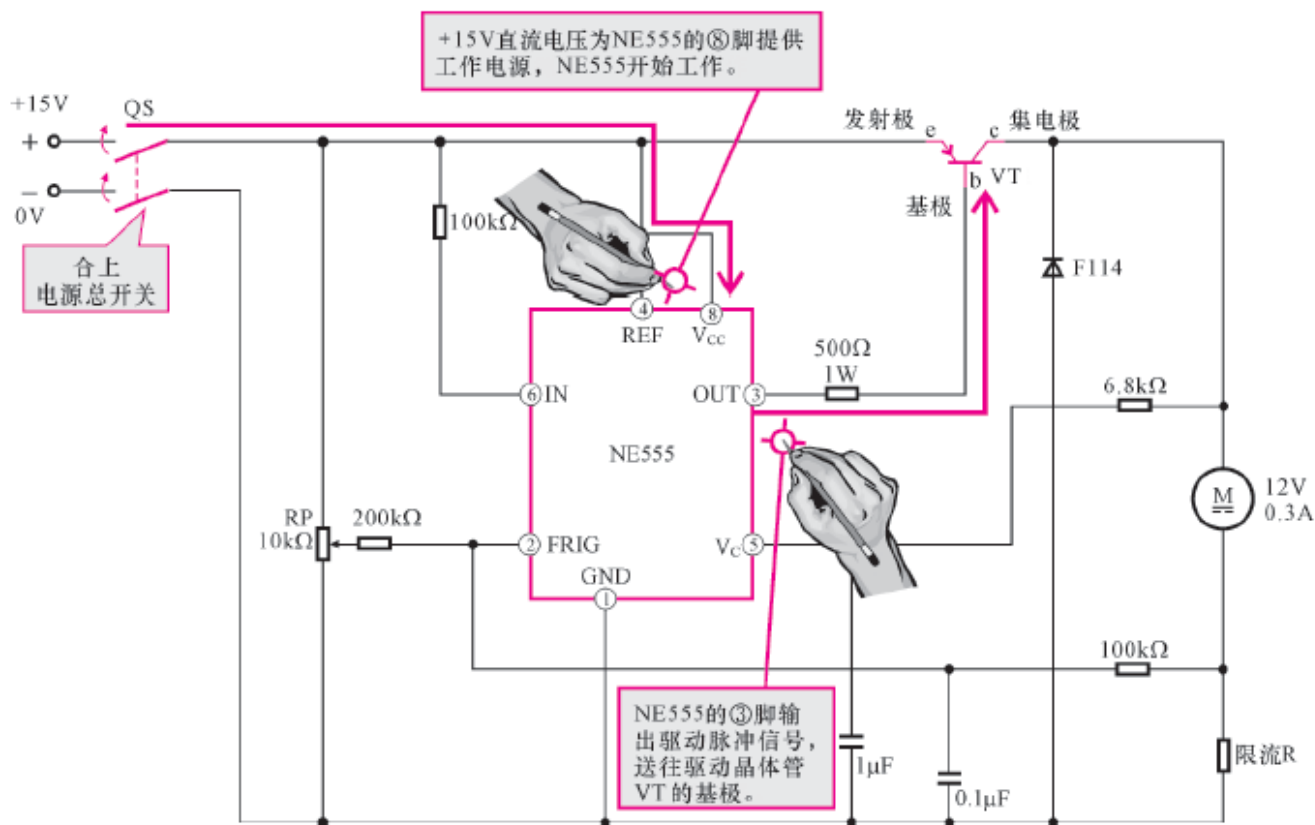
主要由供电线路、调速线路、驱动线路以及直流电动机等组成。该线路中的10kΩ速度调整电阻器RP、NE555时基电路、驱动晶体管VT以及直流电动机为核心部件和元器件。

# 直流电动机的控制

- 改变电枢绕组电压调速控制线路

PWM（脉宽调制）

由555芯片构成的直流电动机PWM调速电路



启动过程

合上电源总开关QS，接通+15V直流电源。+15V直流电压为NE555的⑧脚提供工作电源，NE555开始工作。由NE555的③脚输出驱动脉冲信号，送往驱动晶体管VT的基极。

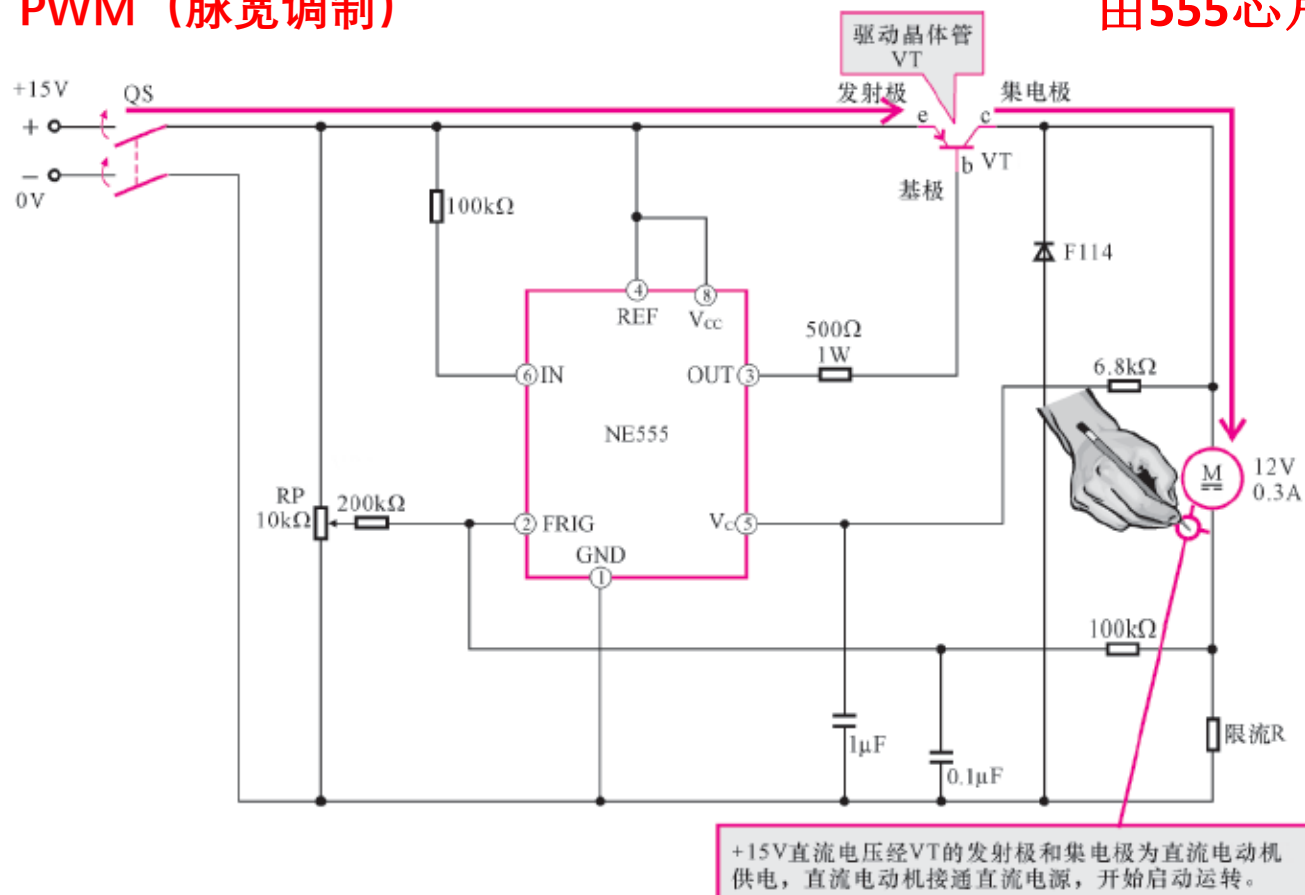


# 直流电动机的控制

- 改变电枢绕组电压调速控制线路

PWM（脉宽调制）

由555芯片构成的直流电动机PWM调速电路



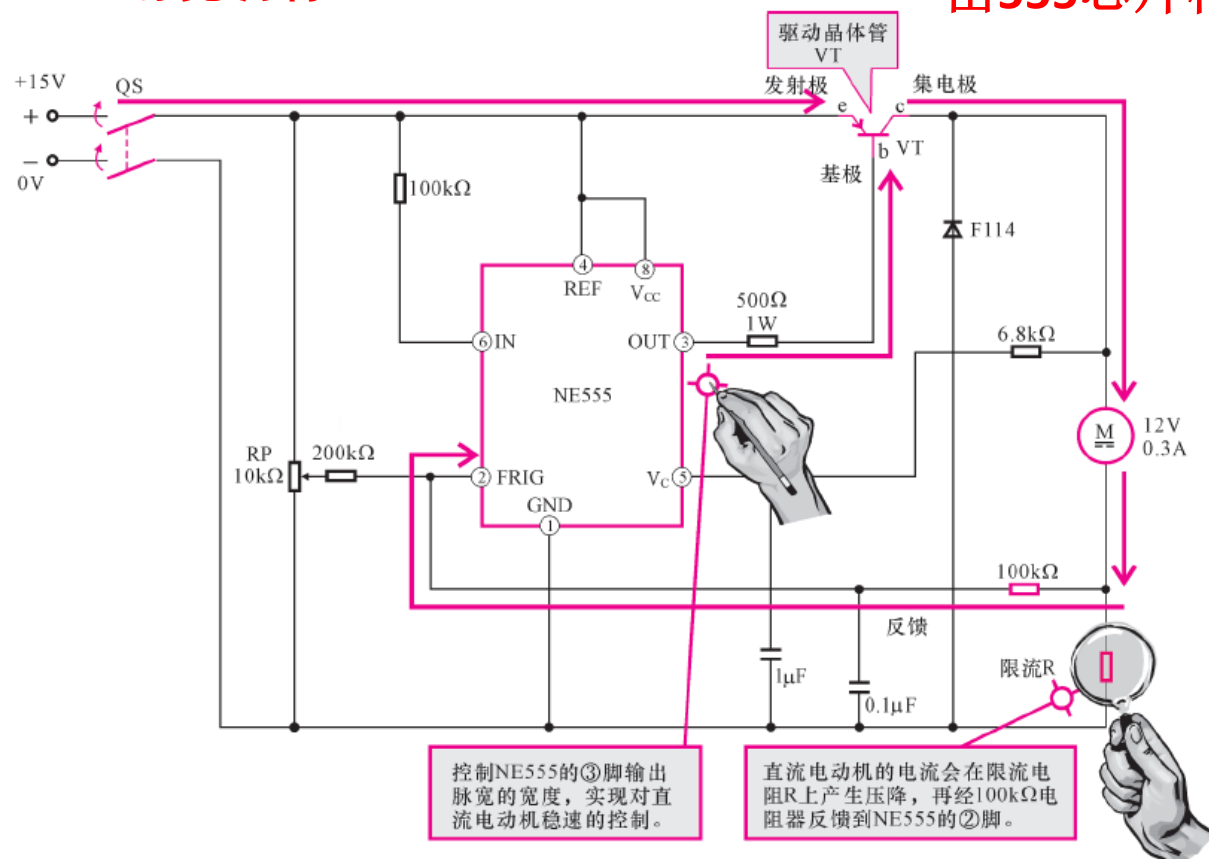
驱动晶体管VT工作后，其集电极输出脉冲电压。+15V直流电压经VT变成脉冲电流为直流电动机供电。直流电动机开始启动运转。

# 直流电动机的控制

- 改变电枢绕组电压调速控制线路

PWM（脉宽调制）

由555芯片构成的直流电动机PWM调速电路



稳速控制过程

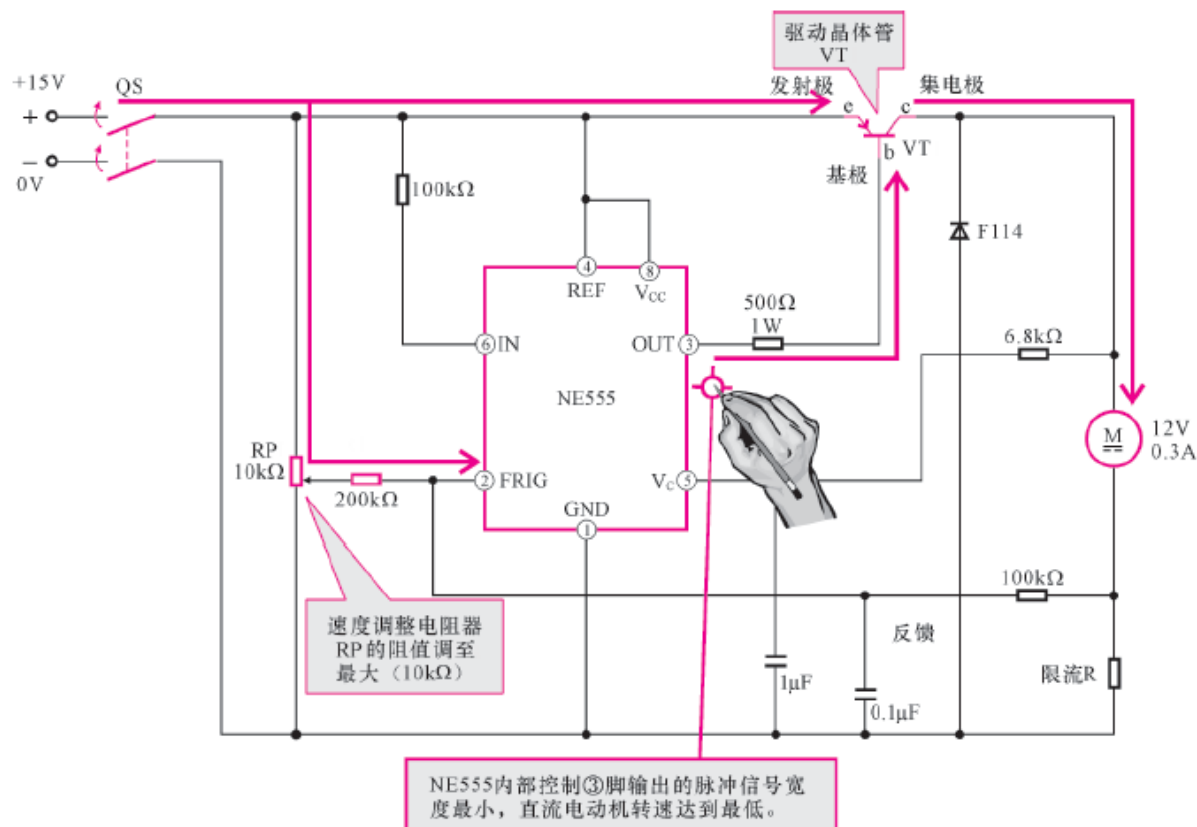
直流电动机的电流会在限流电阻R上产生压降。该压降经100kΩ电阻器反馈到NE555的②脚。控制NE555的③脚输出脉宽的宽度，实现对直流电动机稳速的控制。

# 直流电动机的控制

- 改变电枢绕组电压调速控制线路

PWM（脉宽调制）

由555芯片构成的直流电动机PWM调速电路



低速运转过程

转速控制过程

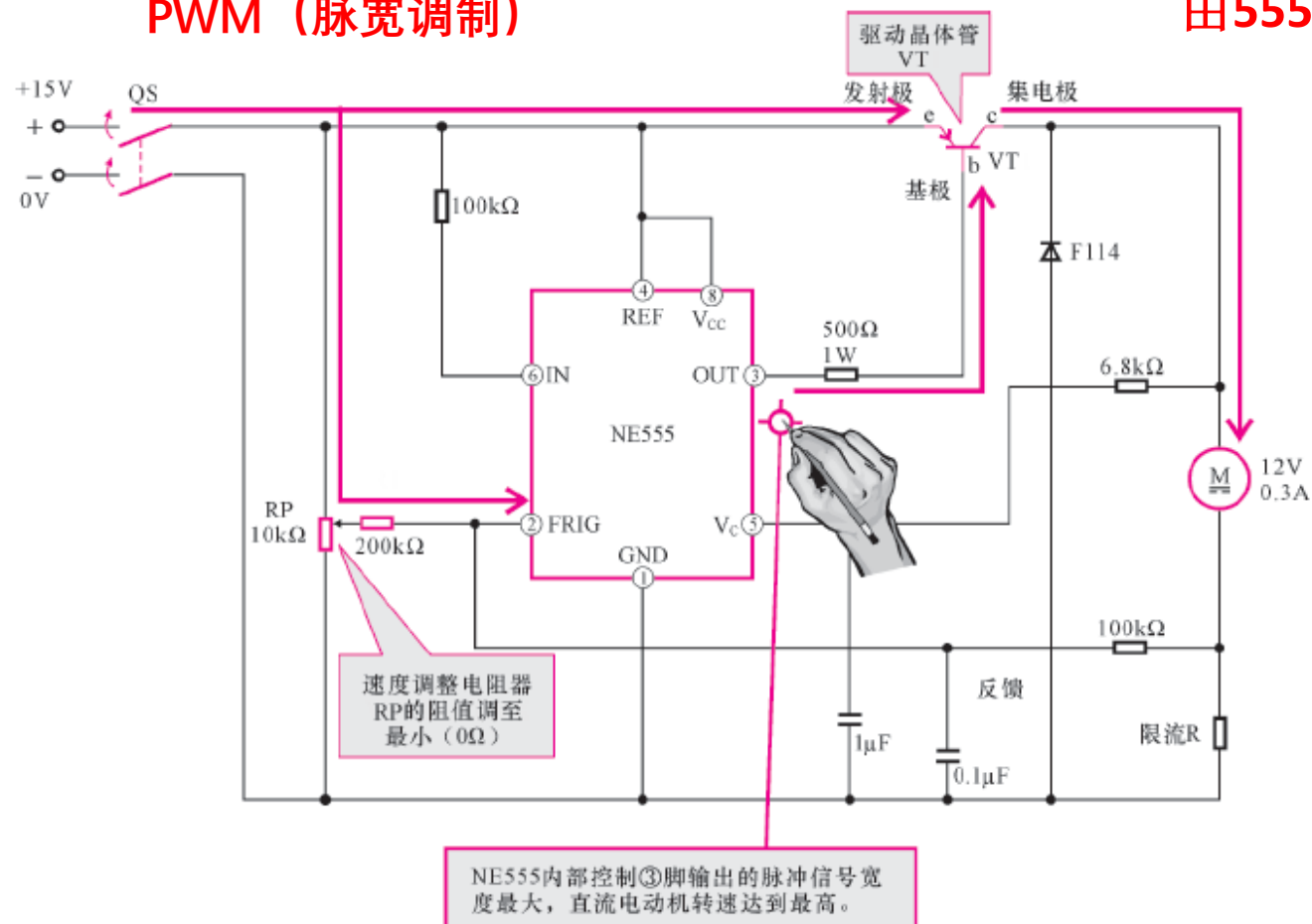
将速度调整电阻器RP的阻值调至最大（10kΩ）。+15V直流电压经过RP和200kΩ电阻器串联送入NE555的②脚。NE555内部控制③脚输出的脉冲信号宽度最小，直流电动机转速达到最低。

# 直流电动机的控制

- 改变电枢绕组电压调速控制线路

PWM（脉宽调制）

由555芯片构成的直流电动机PWM调速电路



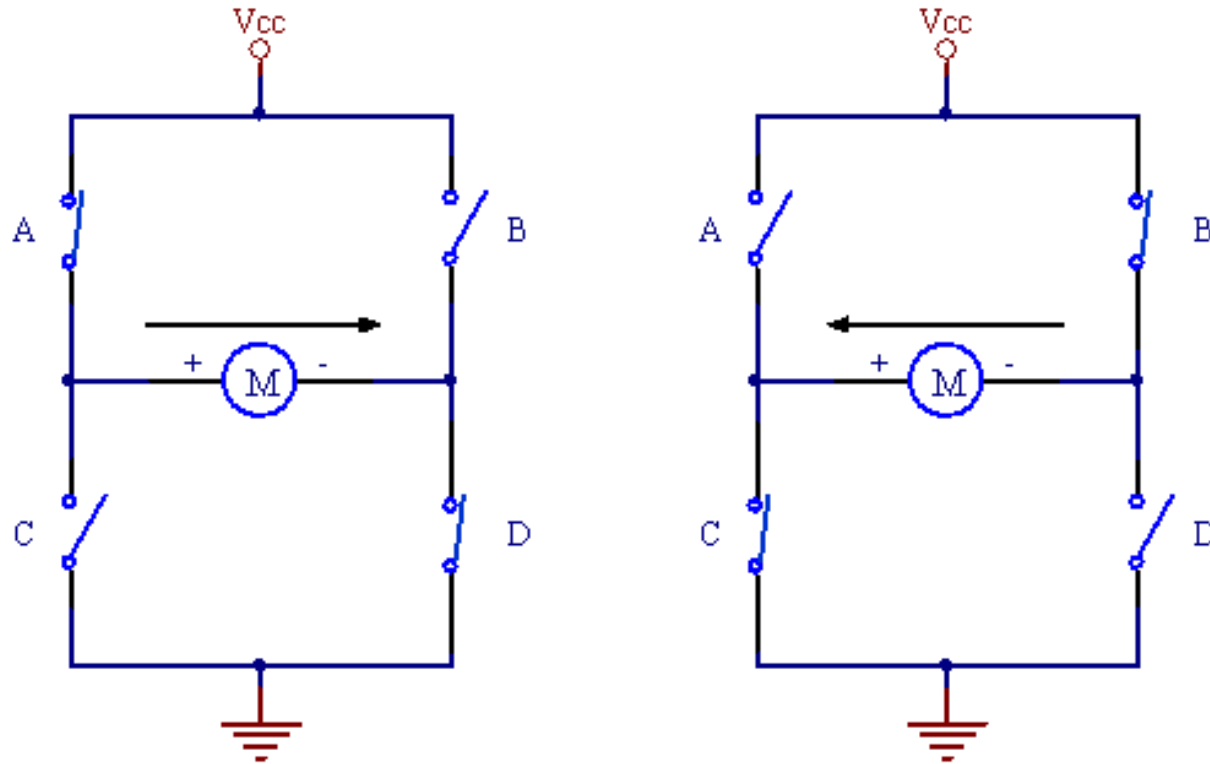
转速控制过程

将速度调整电阻器RP的阻值调至最小（0Ω）。+15V直流电压只经过200kΩ电阻器串联送入NE555的②脚。NE555内部控制③脚输出的脉冲信号宽度最大，直流电动机转速达到最高。需停机时，将电源总开关QS关闭即可。

# 直流电动机的驱动与控制

- 正反转控制

## H桥原理



在左图中，利用开关A、D的闭合与断开给电机提供PWM信号，以此就可以控制正转的转速。  
在右图中利用开关B、C产生PWM信号来控制反转的转速。

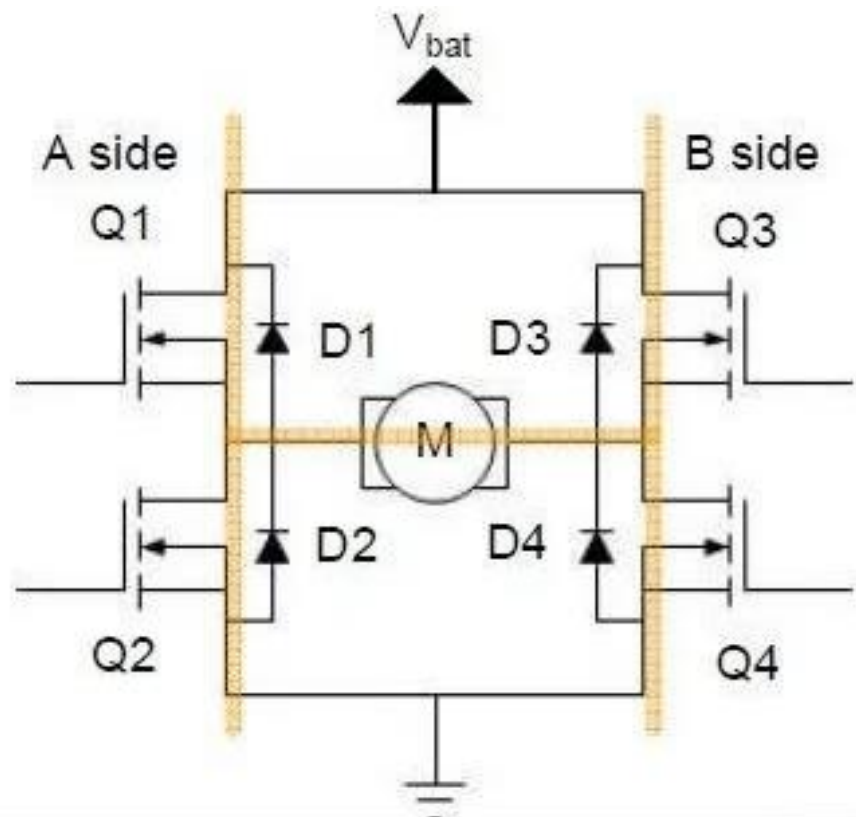
# 直流电动机的驱动与控制

- 正反转控制

## H桥原理

H桥是一个比较简单的电路，通常它会包含四个独立控制的开关元器件（例如MOS-FET），它们通常用于驱动电流较大的负载，比如电机

这里有四个开关元器件Q1，Q2，Q3，Q4，另外还有一个直流电机M，D1，D2，D3，D4是MOS-FET的续流二极管；



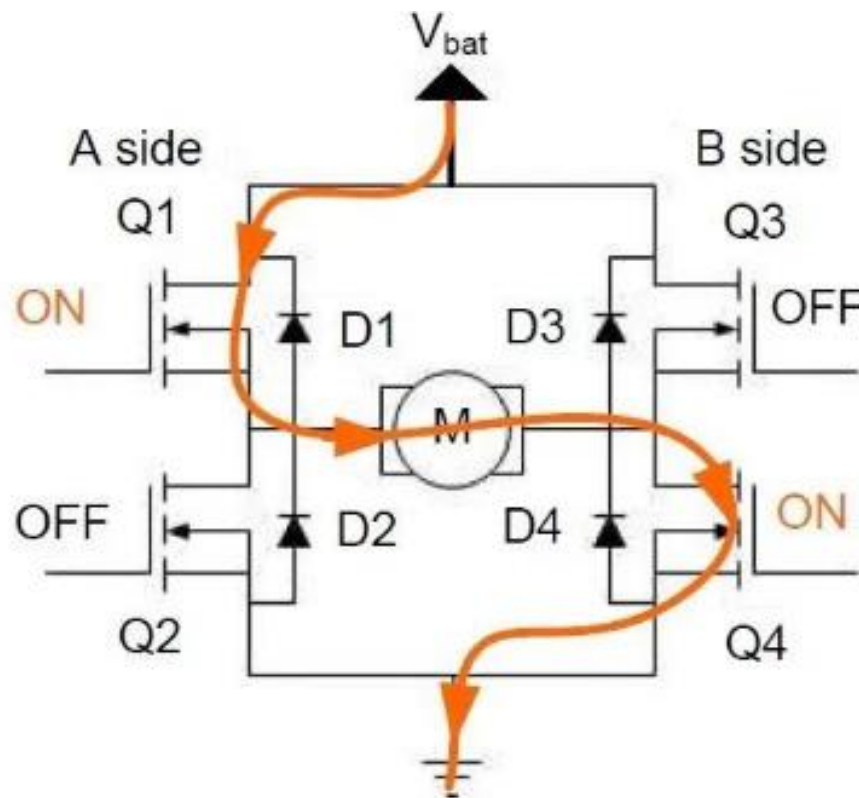
# 直流电动机的控制

- 正反转控制

## H桥原理

打开Q1和Q4;  
关闭Q2和Q3;  
此时假设电机正转, 这电流依次  
经过Q1, M, Q4, 在图中使用  
黄色线段进行标注;

正转



# 直流电动机的控制

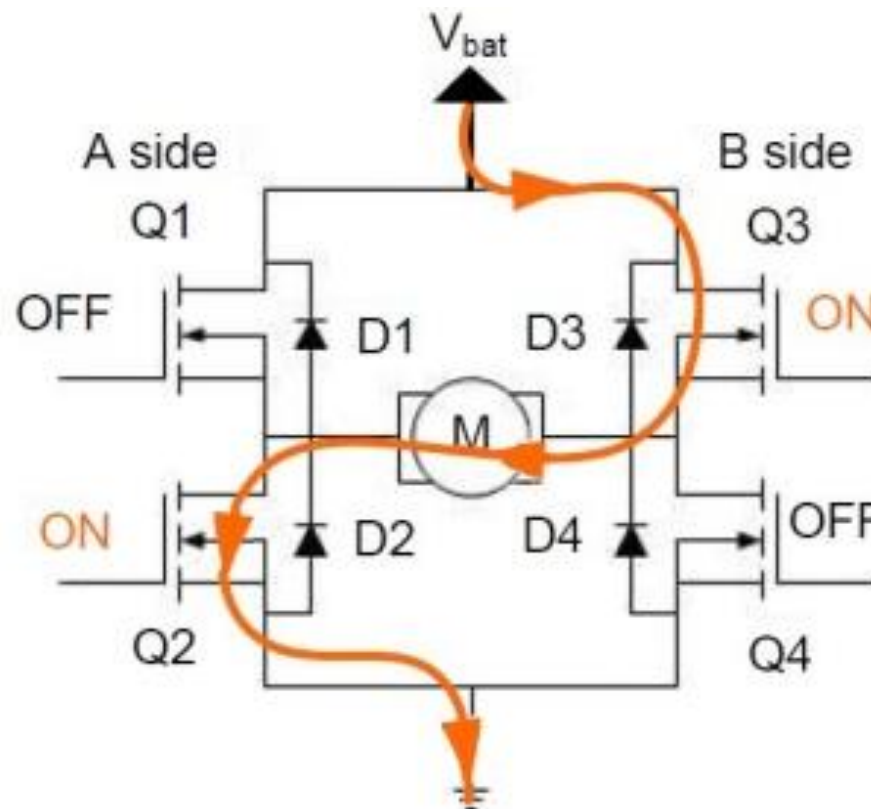


- 正反转控制

反转

## H桥原理

关闭Q1和Q4;  
打开Q2和Q3;  
此时电机反转（与前面介绍的情况相反），这电流依次经过Q2, M, Q3, 在图中使用黄色线段进行标注;





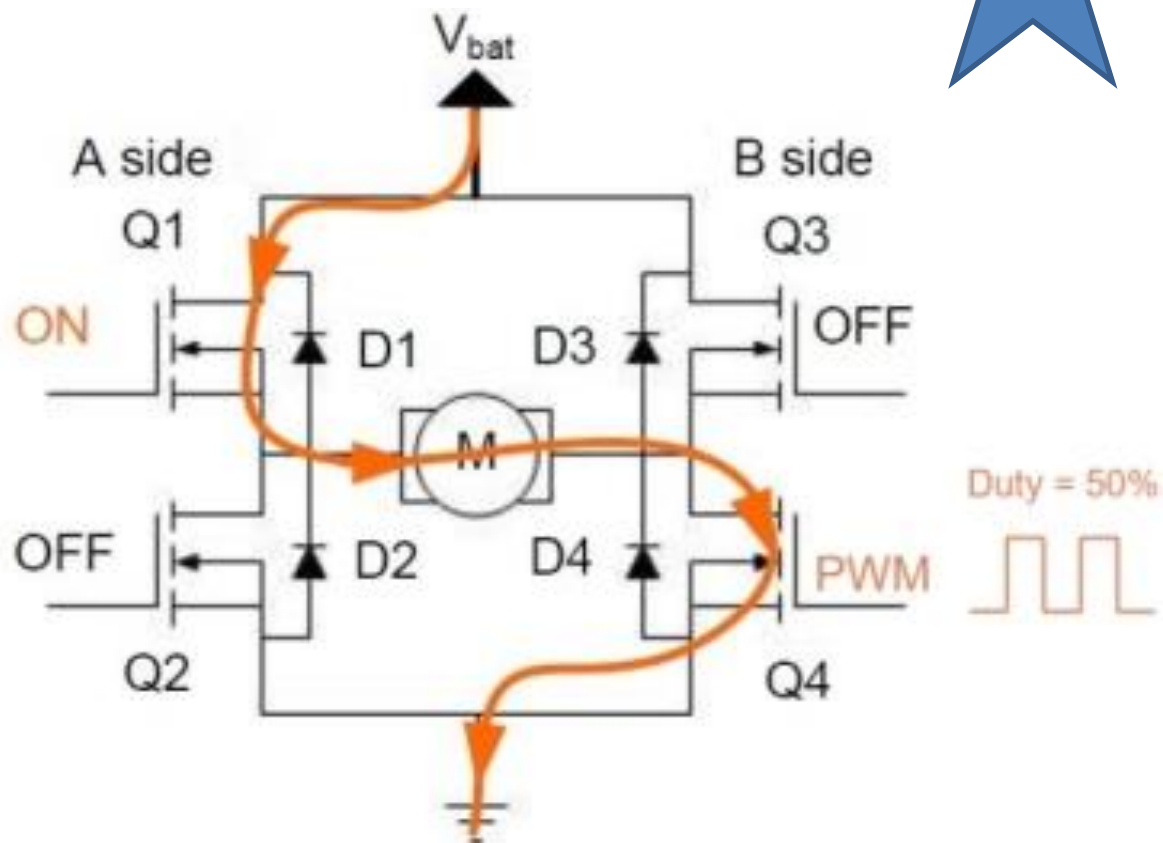
# 直流电动机的控制

- 正反转控制

## H桥原理

关闭Q2，Q3；  
打开Q1，Q4上给它输入  
50%占空比的PWM波形，这  
样就达到了降低转速的效果，  
如果需要增加转速，则将输  
入PWM的占空比设置为  
100%；

调速



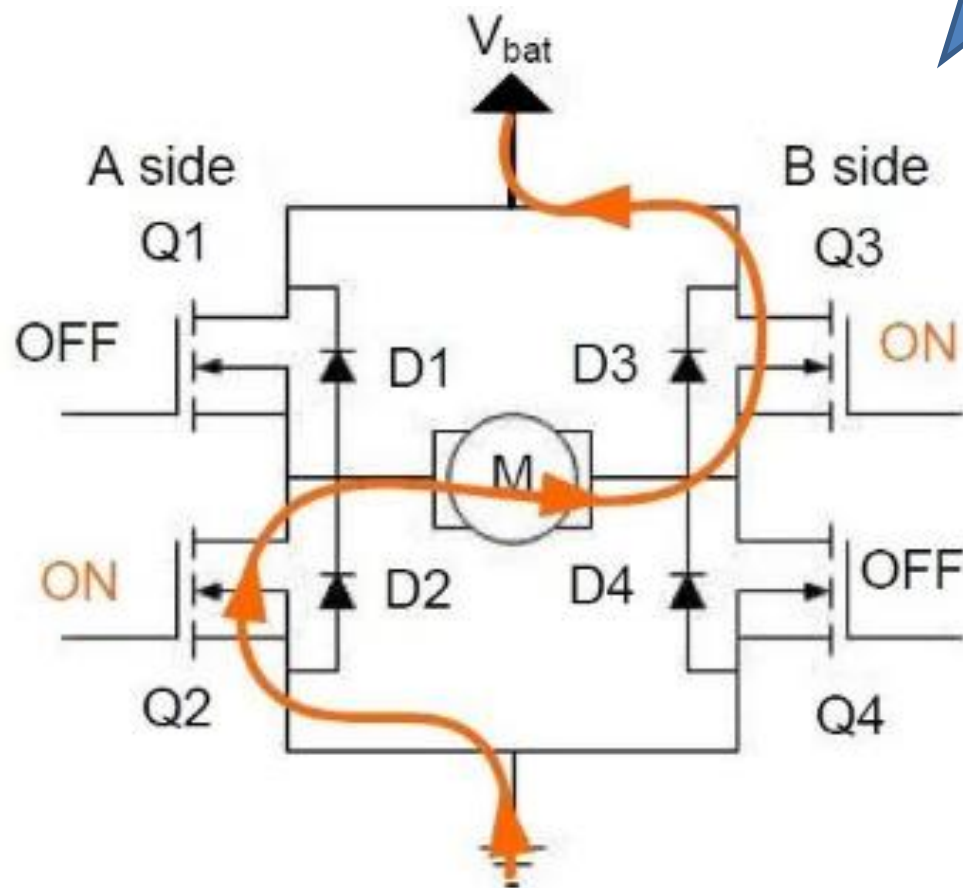
# 直流电动机的控制

- 正反转控制

停止状态

## H桥原理

这里以电机从正转切换到停止状态为例；  
正转情况下；Q1和Q4是打开状态；  
这时候如果关闭Q1和Q4，直流电机内部可以等效成电感，也就是感性负载，电流不会突变，那么电流将继续保持原来的方向进行流动，这时候我们希望电机里的电流可以快速衰减；  
这里有两种办法：  
第一种：关闭Q1和Q4，这时候电流仍然会通过反向续流二极管进行流动，此时短暂打开Q1和Q3从而达到快速衰减电流的目的；



# 直流电动机的控制

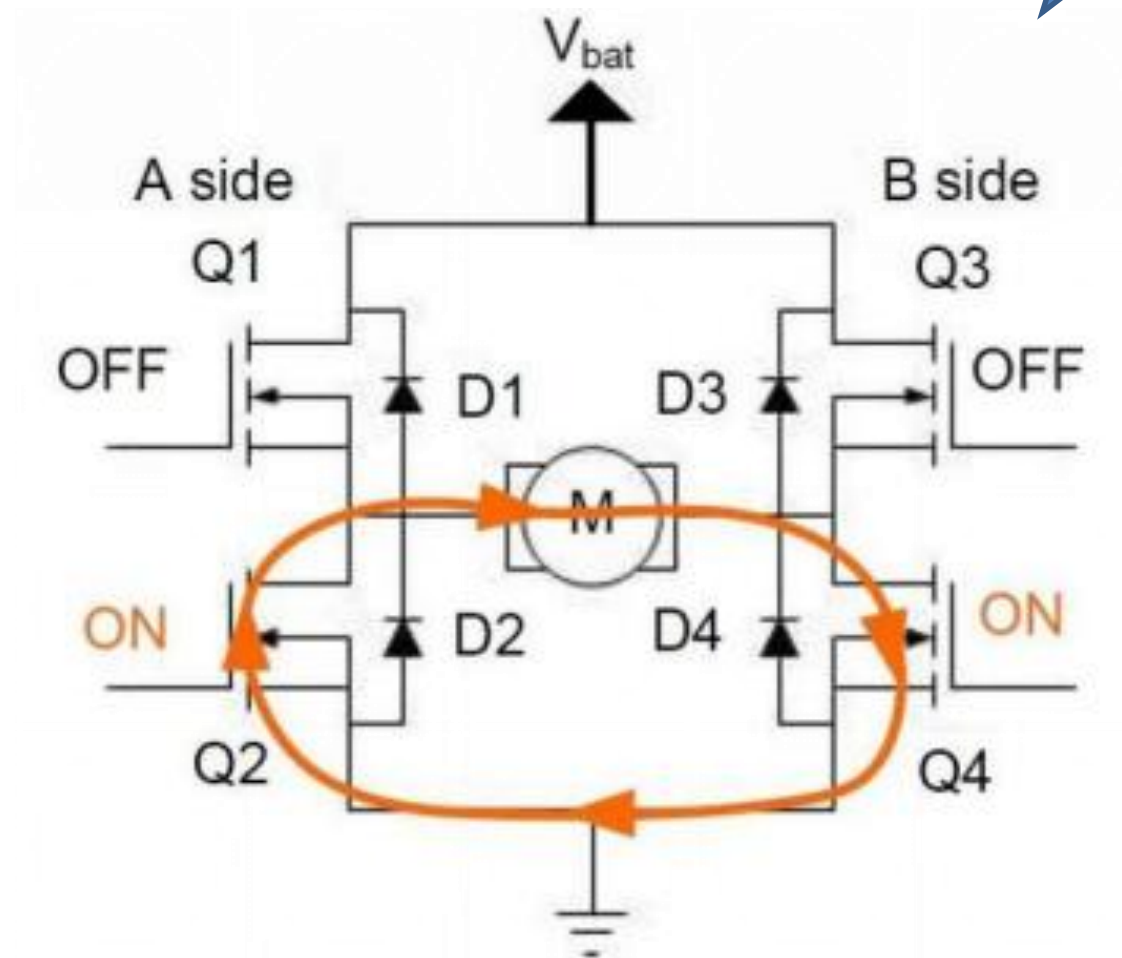


- 正反转控制

## H桥原理

第二种：准备停止的时候，关闭Q1，打开Q2，这时候电流并不会衰减地很快，电流循环在Q2，M，Q4之间流动，通过MOS-FET的内阻将电能消耗掉；

停止状态



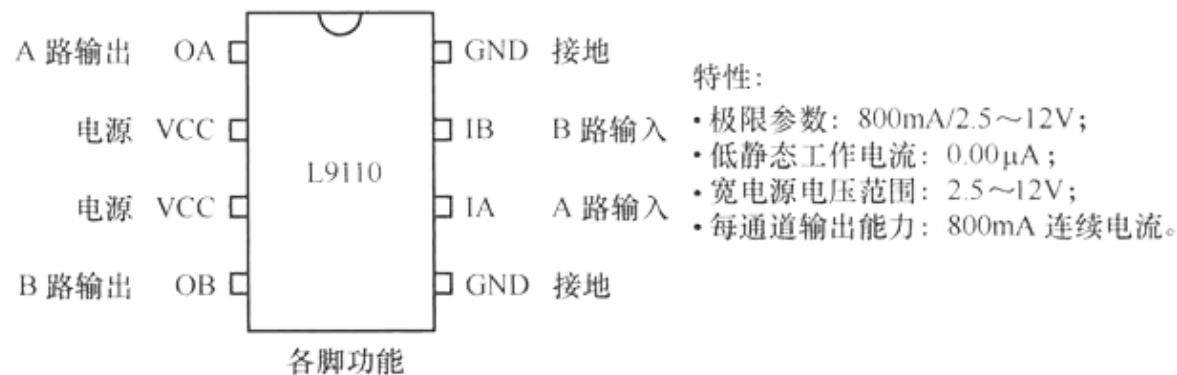
# 直流电动机的驱动与控制

- 利用驱动芯片的驱动控制电路

- 大功率直流电动机的工作电压高、电流大，其控制线路主要由继电器和接触器等低压电器组成。对于中小功率的直流电动机，由于工作电压低、电流小，实际使用的时候，用分立元件制作H桥是很麻烦的，其控制通常采用电子元器件和一些专用的驱动芯片，接上电源、电机，通过输入控制信号就可以驱动电机了。比如常用的L293D、L298N、TA7257P、SN754410等。

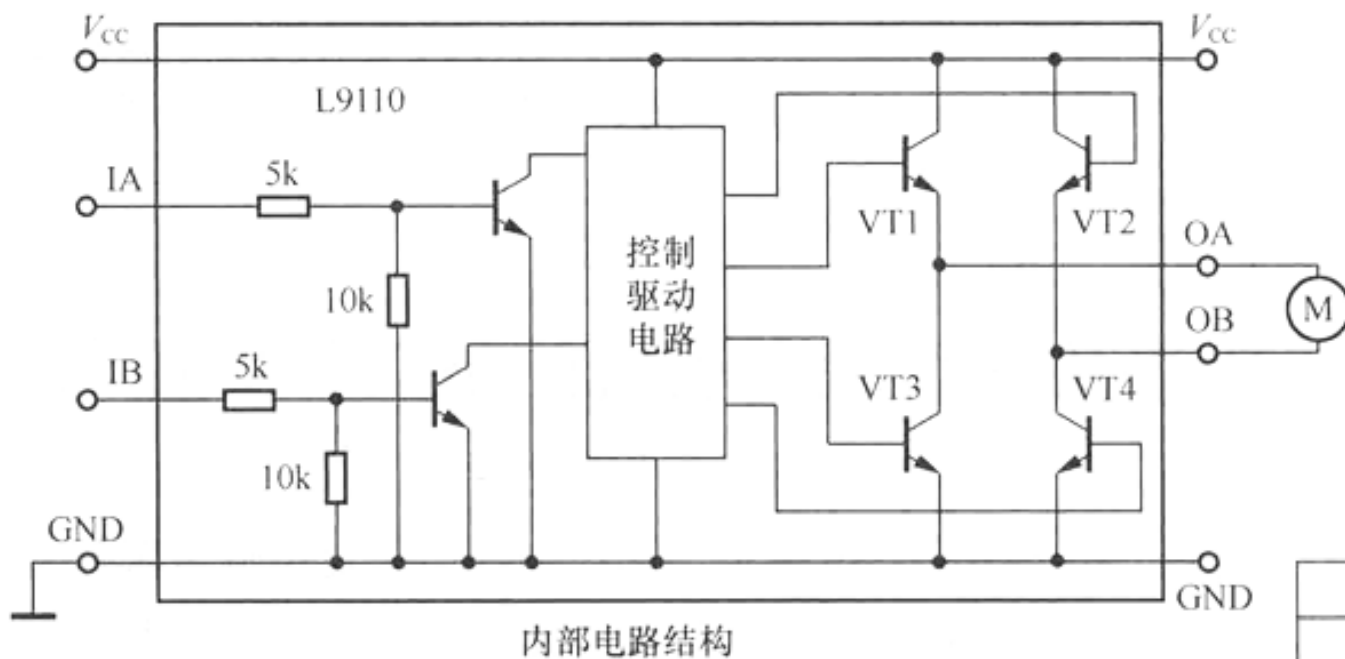
# 直流电动机的控制

- **L9110驱动芯片及其构成的直流电动机正反转电路**
  - L9110是一款为控制和驱动电机设计的双通道推挽式功率放大的单全桥驱动芯片。该芯片有两个TTL/CMOS兼容电平的输入端，两个输出端可以直接驱动电机正反转，每通道能通过800mA的持续电流（峰值电流允许1.5A），内置的钳位二极管能释放感性负载（含线圈的负载，如继电器、电机）产生的反电动势。L9110S广泛用来驱动玩具汽车电机、脉冲电磁阀门，步进电机、开关功率管等。



# 直流电动机的控制

- L9110驱动芯片及其构成的直流电动机正反转电路

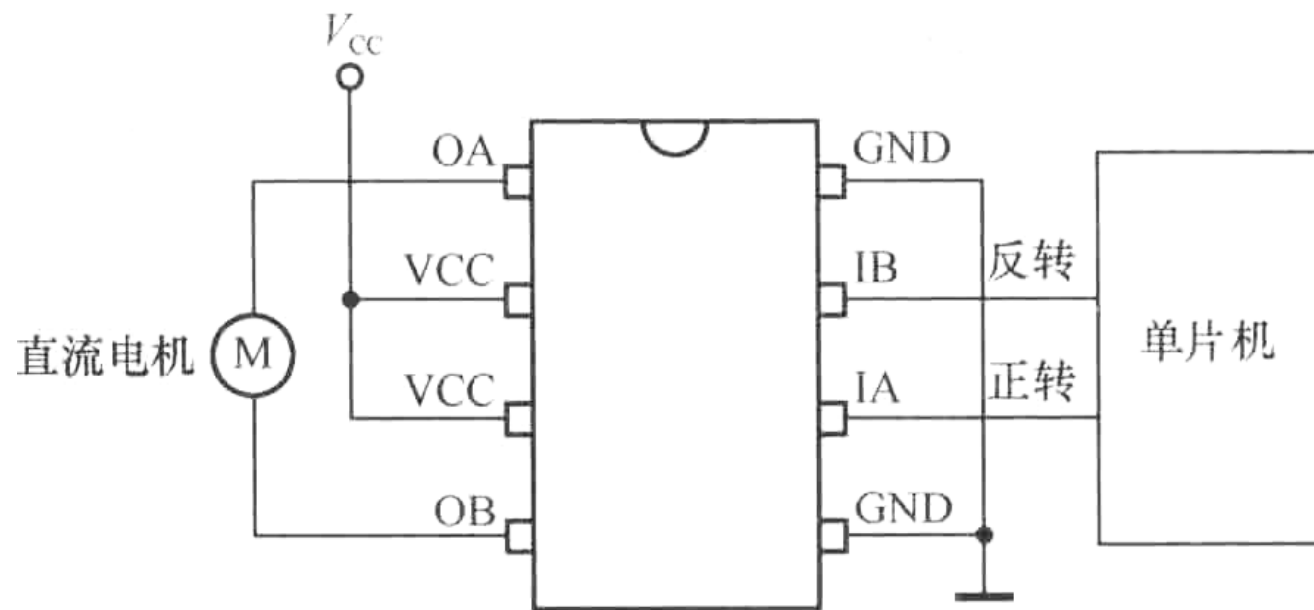


输入输出关系表 (H: 高电平; L: 低电平; Z: 高阻)

IA	IB	OA	OB
H	L	H	L
L	H	L	H
L	L	L	L
H	H	Z (高阻)	Z (高阻)

# 直流电动机的控制

- L9110驱动芯片及其构成的直流电动机正反转电路



采用L9110作驱动电路的直流电机正反转控制电路。当单片机输出高电平（H）到L9110的IA端时，内部的三极管VT1、VT4导通（见图），有电流流过电机，电流途径是VCC端入→VT1的ce极→OA端出→电机→OB端入→VT4的ce极→GND，电机正转；当单片机输出高电平（H）到L9110的IB端（IA端此时为低电平）时，内部的三极管VT2、VT3导通（见图），有电流流过电机，电流途径是VCC端入→VT2的ce极→OB端出→电机→OA端入→VT3的ce极→GND，流过电机的电流方向变反，电机反转。

# 直流电动机的控制



## L298/L293驱动芯片及其构成的双直流电动机正、反转电路

- L298是一款高电压大电流的双全桥（**双H桥**）驱动芯片，其额定工作电流为2A，峰值电流可达3A，最高工作电压46V,可以驱动感性负载（如大功率直流电机，步进电机，电磁阀等），其输入端可以与单片机直接连接。L298用作驱动直流电机时，可以控制两台单相直流电机，也可以控制两相或四相步进电机。
- L293与L298一样，内部结构基本相同，除L293E为20脚外，其他均为16脚，额定工作电流1A，最大可达1.5A,电压工作范围4.5~36V； $V_S$ 电压最大值也是36V，一般 $V_S$ 电压（电机电源电压）应该比 $V_{SS}$ 电压（芯片电源电压）高，否则有时会出现失控现象。
- L298封装形式主要有双列直插式和贴片式。

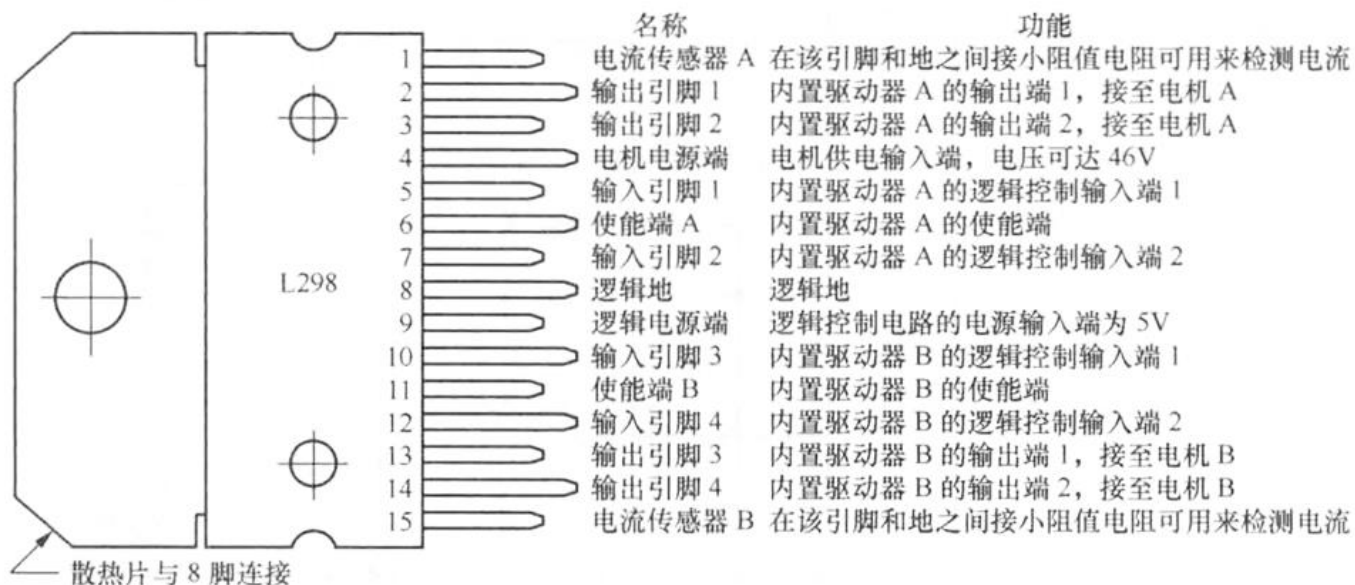


# 直流电动机的控制

## L298/L293驱动芯片及其构成的双直流电动机正、反转电路

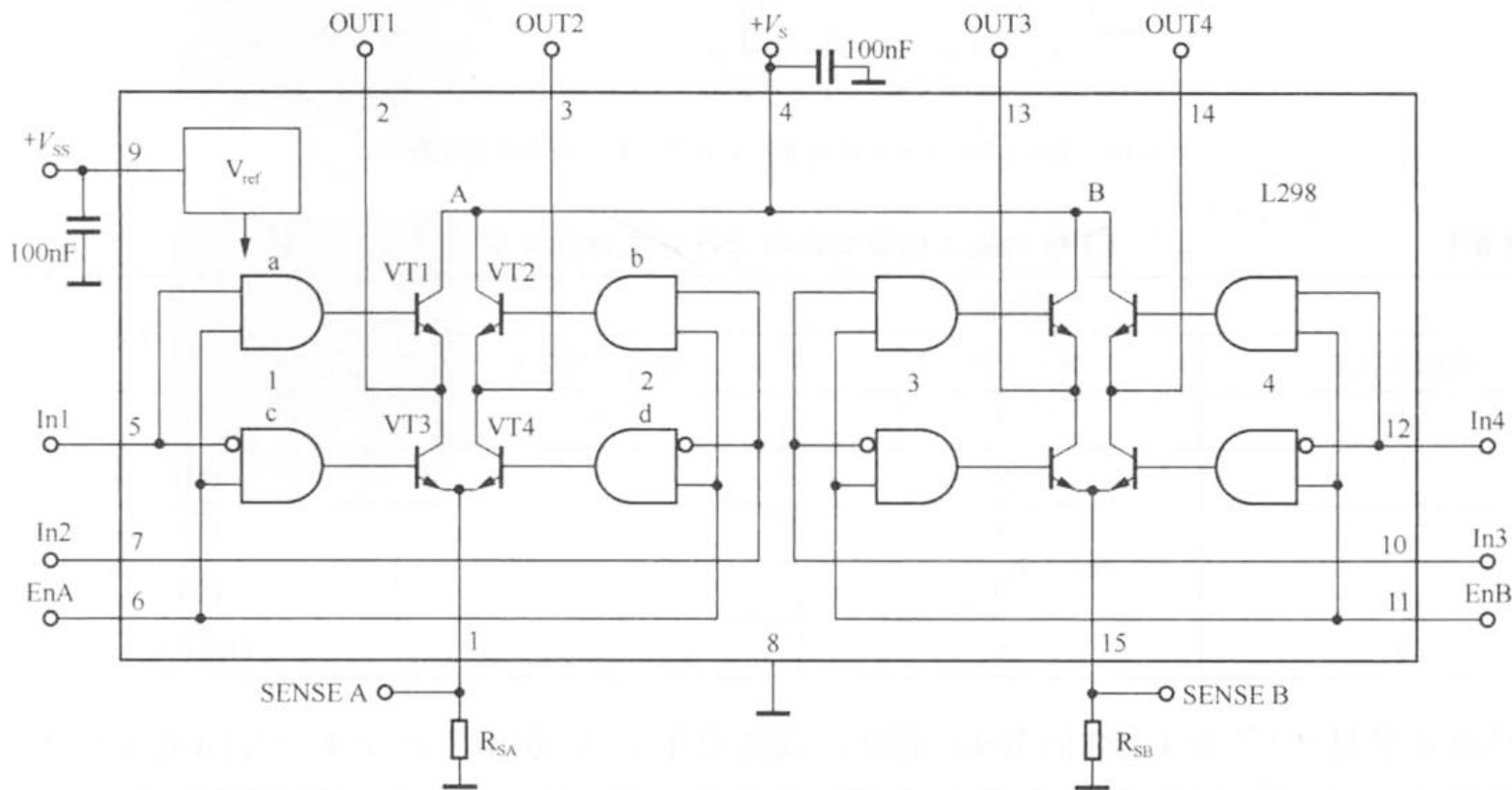
特性:

- 类型: 双全桥
- 输入类型: 非反相
- 输出数: 4 路
- 额定工作电流: 2A
- 电流 - 峰值输出: 3A
- 电源范围: 4.5~46V
- 工作温度: -25~130℃



# 直流电动机的控制

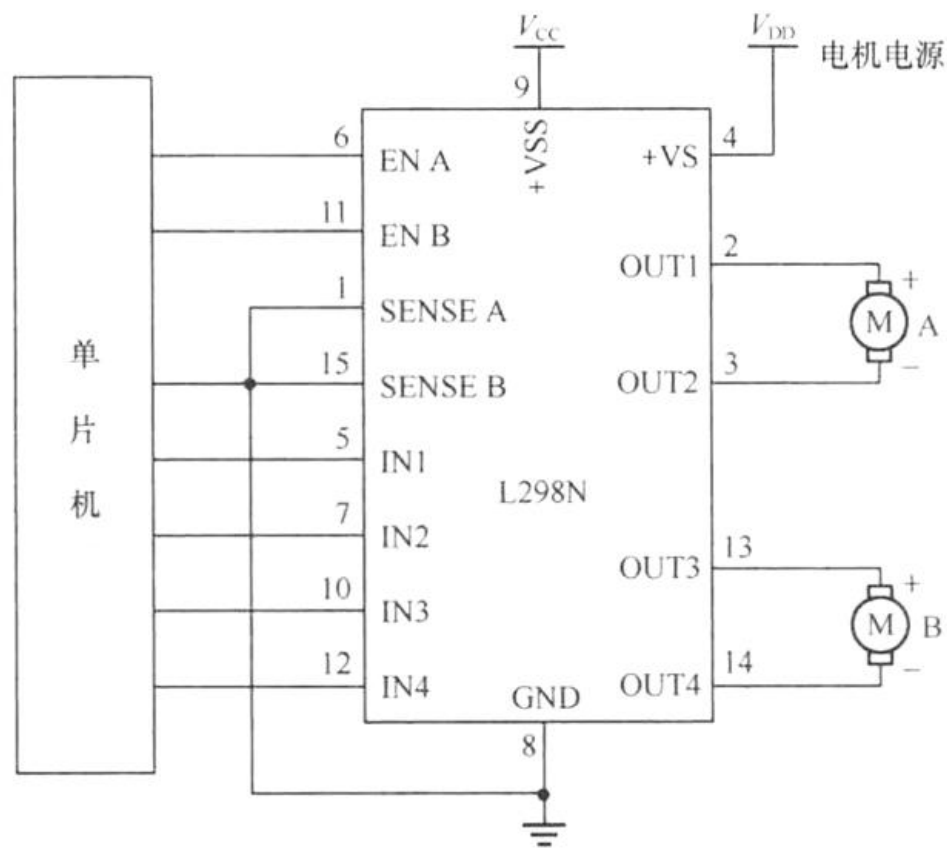
## L298/L293驱动芯片及其构成的双直流电动机正、反转电路



# 直流电动机的控制



## L298/L293驱动芯片及其构成的双直流电动机正、反转电路



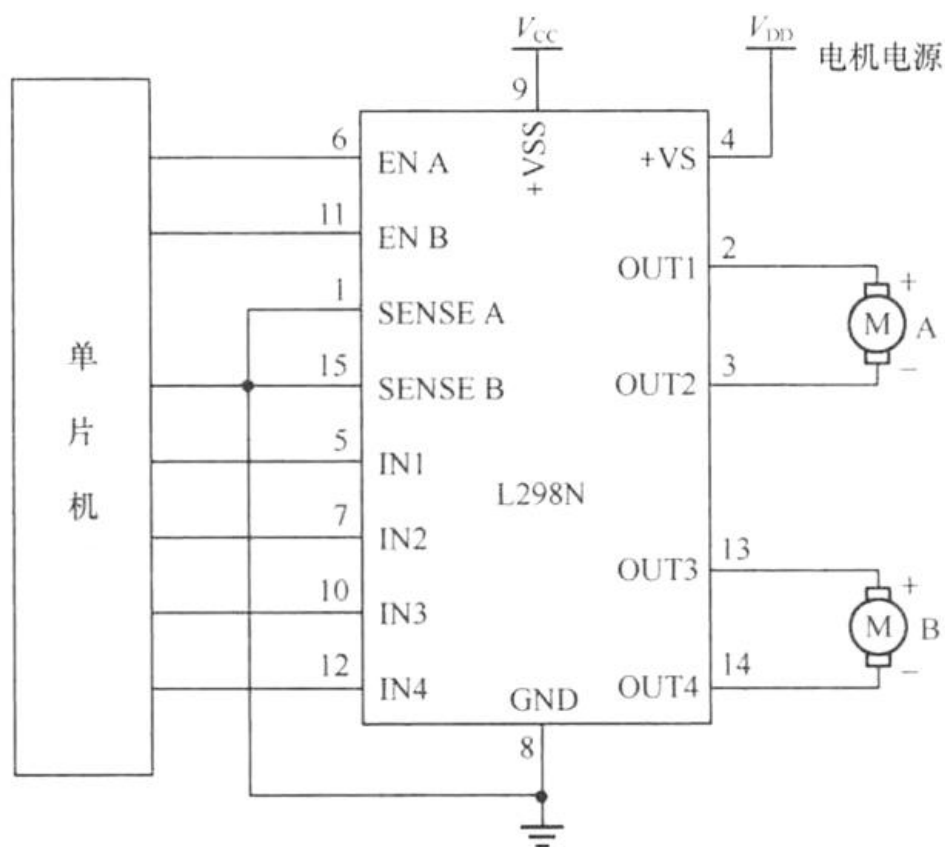
输入信号			电机运行方式
使能端 A/B	输入引脚 1/3	输入引脚 2/4	
1	1	0	正转
1	0	1	反转
1	1	1	刹车
1	0	0	刹车
0	×	×	自动转动

用L298作驱动电路的两台直流电机正反转控制电路，两台电机的控制和驱动是相同的，L298的输入信号与电机运行方式的对应关系见表，下面以A电机控制驱动为例进行说明。

# 直流电动机的控制



## L298/L293驱动芯片及其构成的双直流电动机正、反转电路

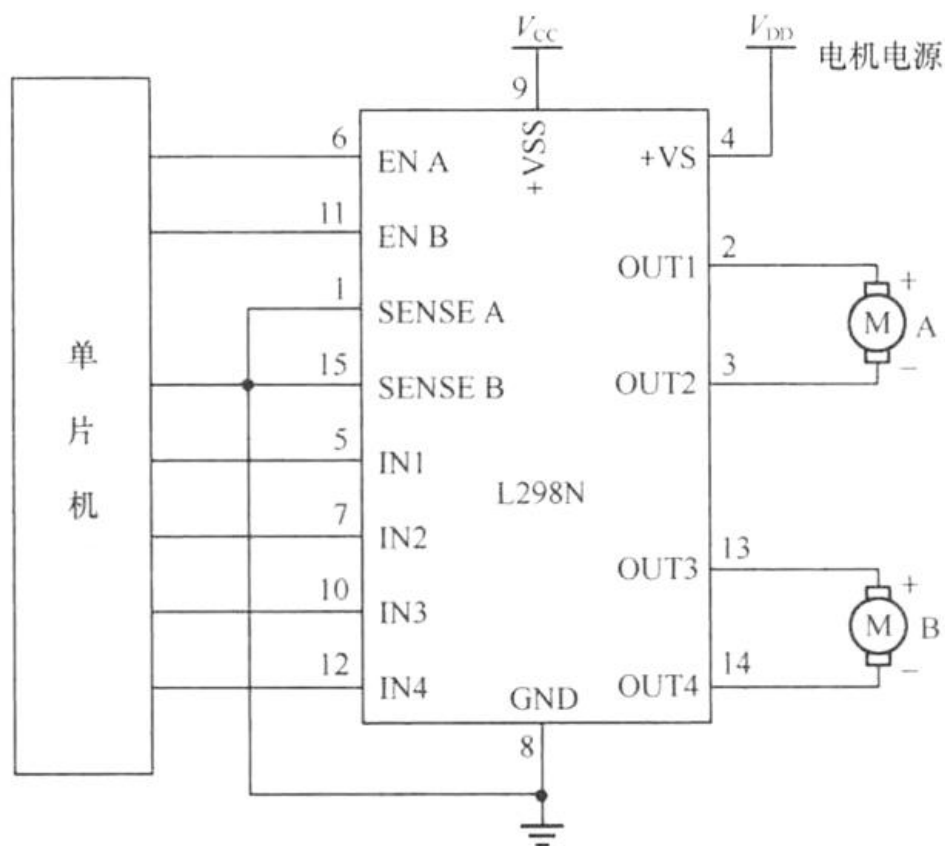


当单片机送高电平（用“1”表示）到L298的ENA端时，该高电平送到L298内部A通道的a~d4个与门（见图所示的L298内部电路），使之全部开通，单片机再送高电平到L298的IN1端，送低电平到IN2端，IN1端高电平在内部分作两路，一路送到与门a输入端，由于与门另一输入端为高电平（来自ENA端），故与门a输出高电平，三极管VT1导通，另一路送到与门b的反相输入端，取反后与门b的输入变成低电平，与门b输出低电平，VT3截止。与此类似，IN2端输入的低电平会使VT2截止、VT4导通，于是有电流流过A电机，电流方向是Vdd→L298的4脚入→VT1-2脚出→A电机→3脚入→VT4→1脚出→地，A电机正向运转。

# 直流电动机的控制



## L298/L293驱动芯片及其构成的双直流电动机正、反转电路

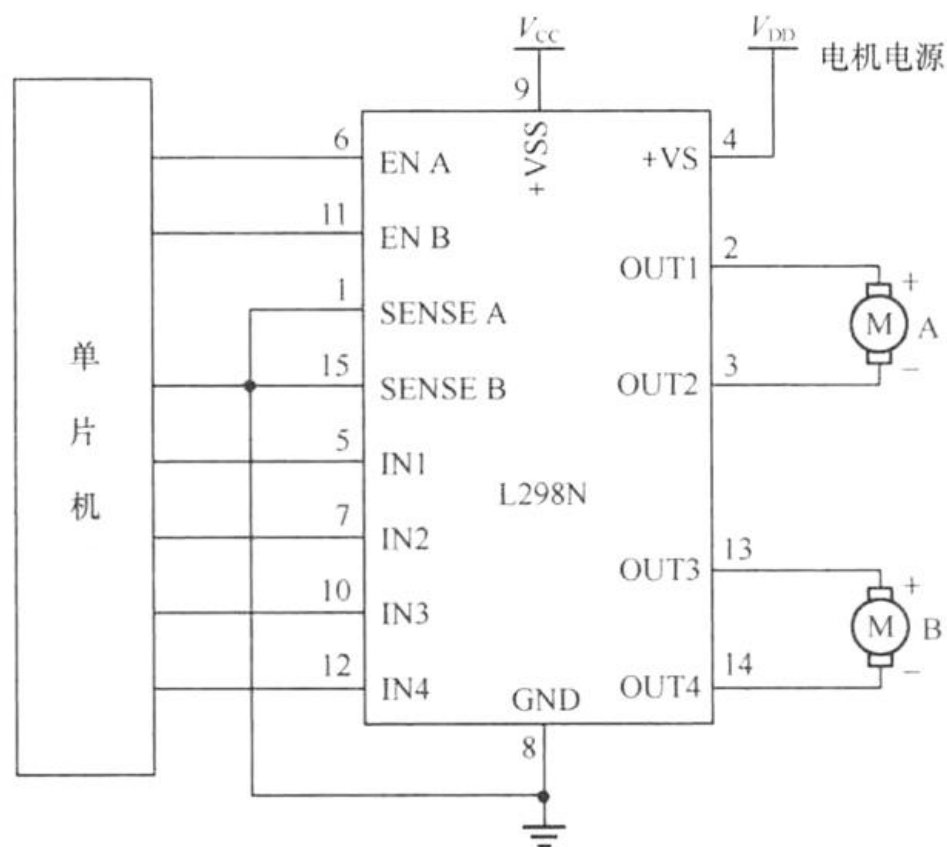


当单片机送“1”到L298的ENA端时，该高电平使A通道的a~d 4个与门全部开通，单片机再送低电平到L298的IN1端，送高电平到IN2端，IN1端的低电平使内部的VT1截止、VT3导通，IN2端的高电平使内部的VT2导通、VT4截止，于是有电流流过A电机，电流方向是 $V_{DD} \rightarrow$  L298的4脚入 $\rightarrow$  VT2 $\rightarrow$  3脚出 $\rightarrow$  A电机 $\rightarrow$  2脚入 $\rightarrow$  VT3 $\rightarrow$  1脚出 $\rightarrow$  地，A电机的电流方向发生改变，反向运转。

# 直流电动机的控制



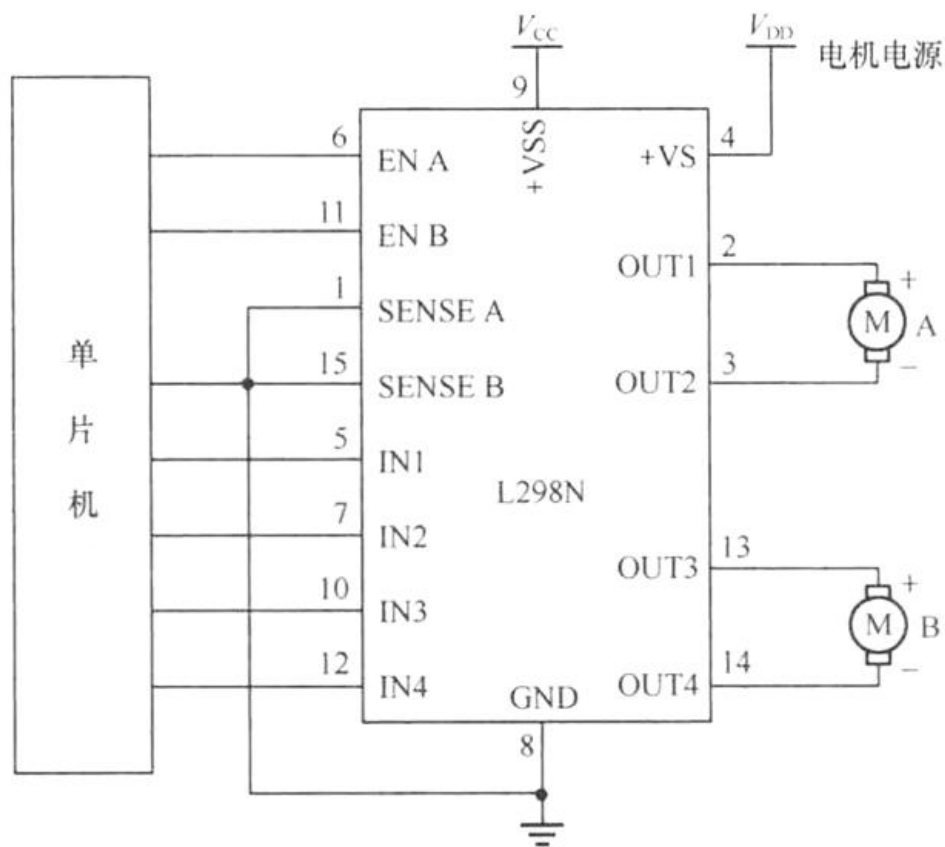
## L298/L293驱动芯片及其构成的双直流电动机正、反转电路



当L298的ENA端=1、IN1=1、IN2=1时，VT1、VT2导通（VT3、VT4均截止），相当于在内部将2、3脚短路，也即直接将A电机的两端直接连接，这样电机惯性运转时内部绕组产生的电动势有回路而有电流流过自身绕组，该电流在流过绕组时会产生磁场阻止电机运行，这种利用电机惯性运转产生的电流形成的磁场对电机进行制动称为再生制动。当L298的ENA端=1、IN1=0、IN2=0时，VT3、VT4导通（VT1、VT1均截止），对A电机进行再生制动。

# 直流电动机的控制

## L298/L293驱动芯片及其构成的双直流电动机正、反转电路



当L298的ENA端=0时，a~d 4个与门全部关闭，VT1~VT4均截止，A电机无外部电流流入，不会主动运转，自身惯性运转产生的电动势因无回路而无再生电流，故不会有再生制动，因此A电机处于自由转动。

# 直流电动机的控制

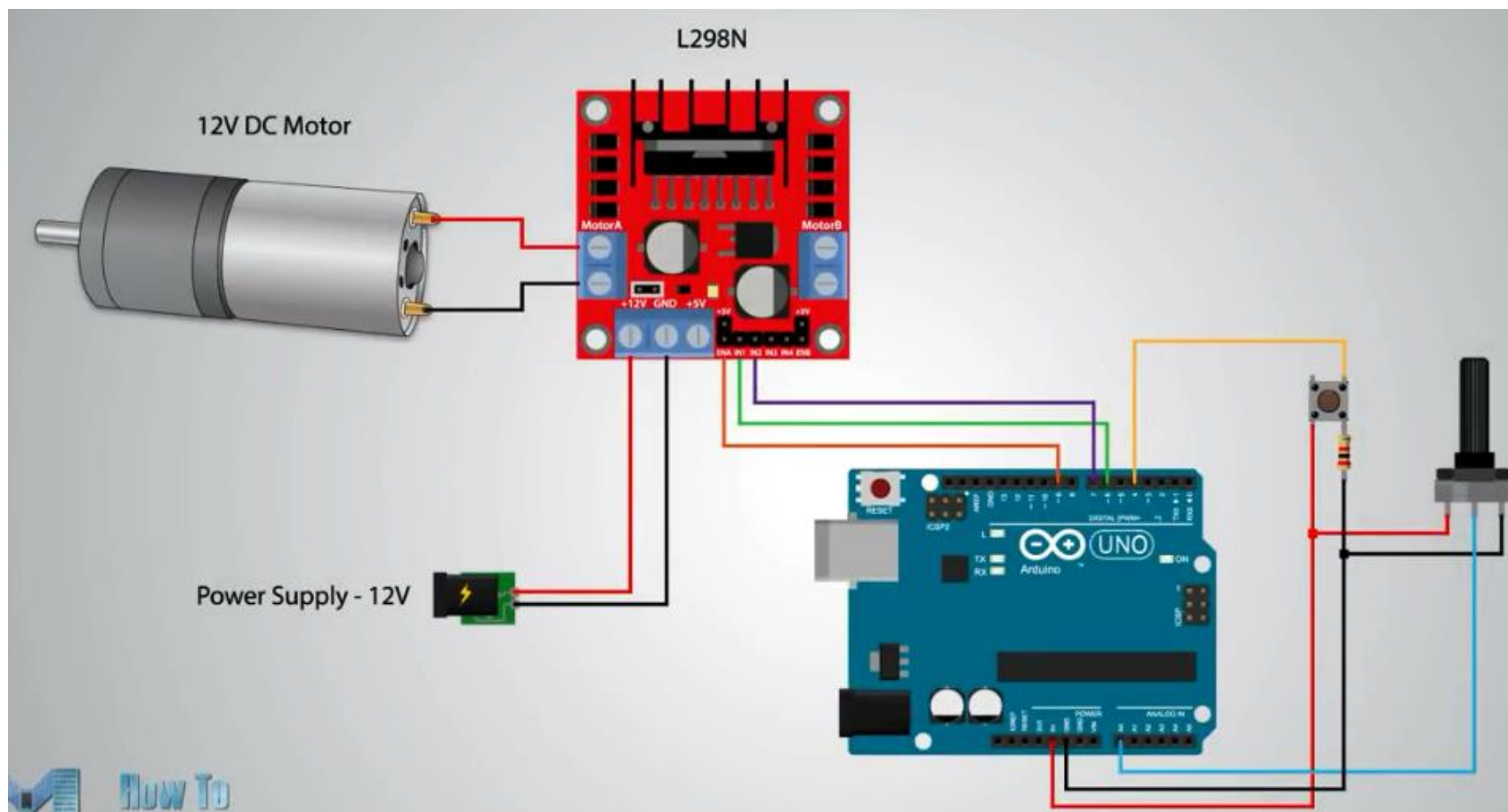
## L298/L293驱动芯片及其构成的双直流电动机正、反转电路





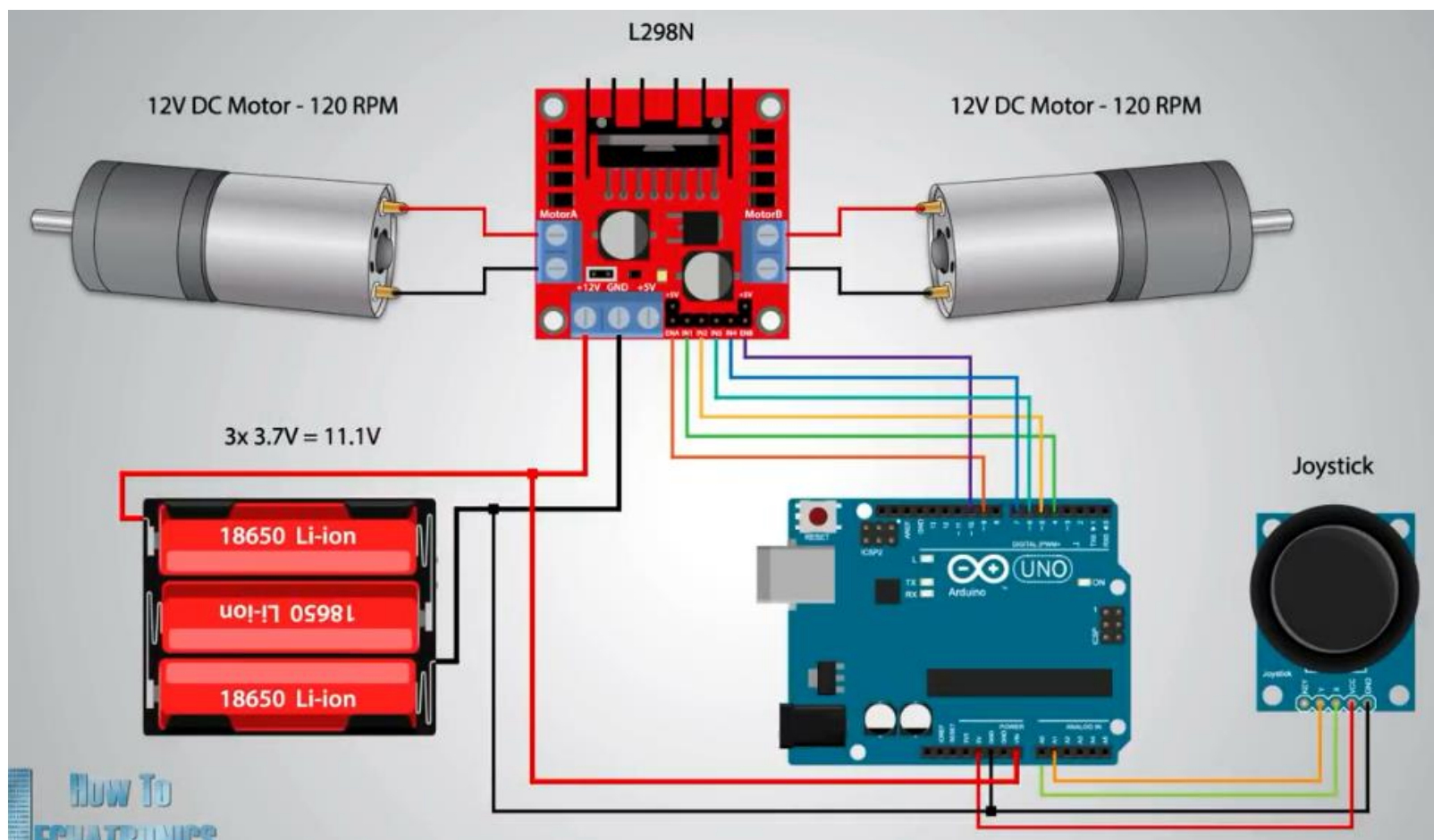
# 直流电动机的控制

## L298/L293驱动芯片及其构成的双直流电动机正、反转电路



# 直流电动机的控制

## L298/L293驱动芯片及其构成的双直流电动机正、反转电路



# 直流电动机的控制

## L298/L293驱动芯片及其构成的双直流电动机正、反转电路

