



机电传动控制

主讲教师：谢经明

华中科技大学 机械科学与工程学院

第十一章 步进和伺服驱动系统

CONTENTS



11.1

步进电机驱动控制和
脉冲式定位控制

11.2

交流伺服驱动系统

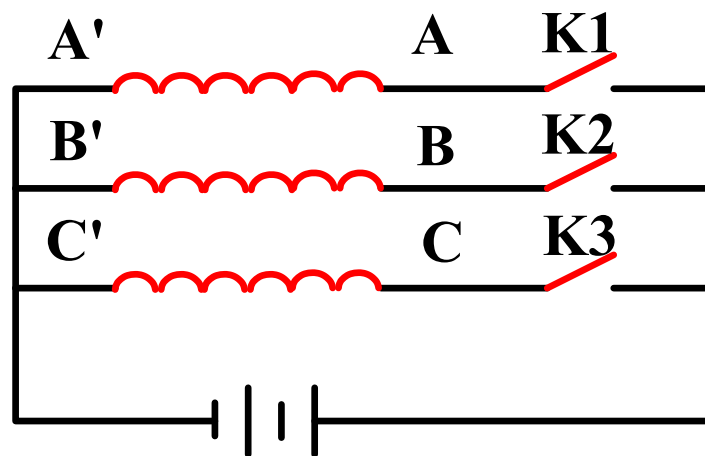
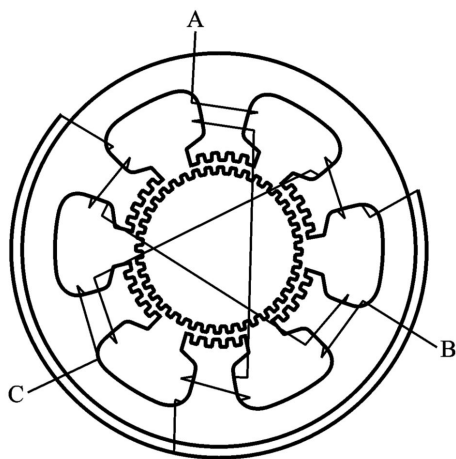
11.1 步进电机驱动控制 和脉冲式定位控制



11.1 步进电动机驱动控制

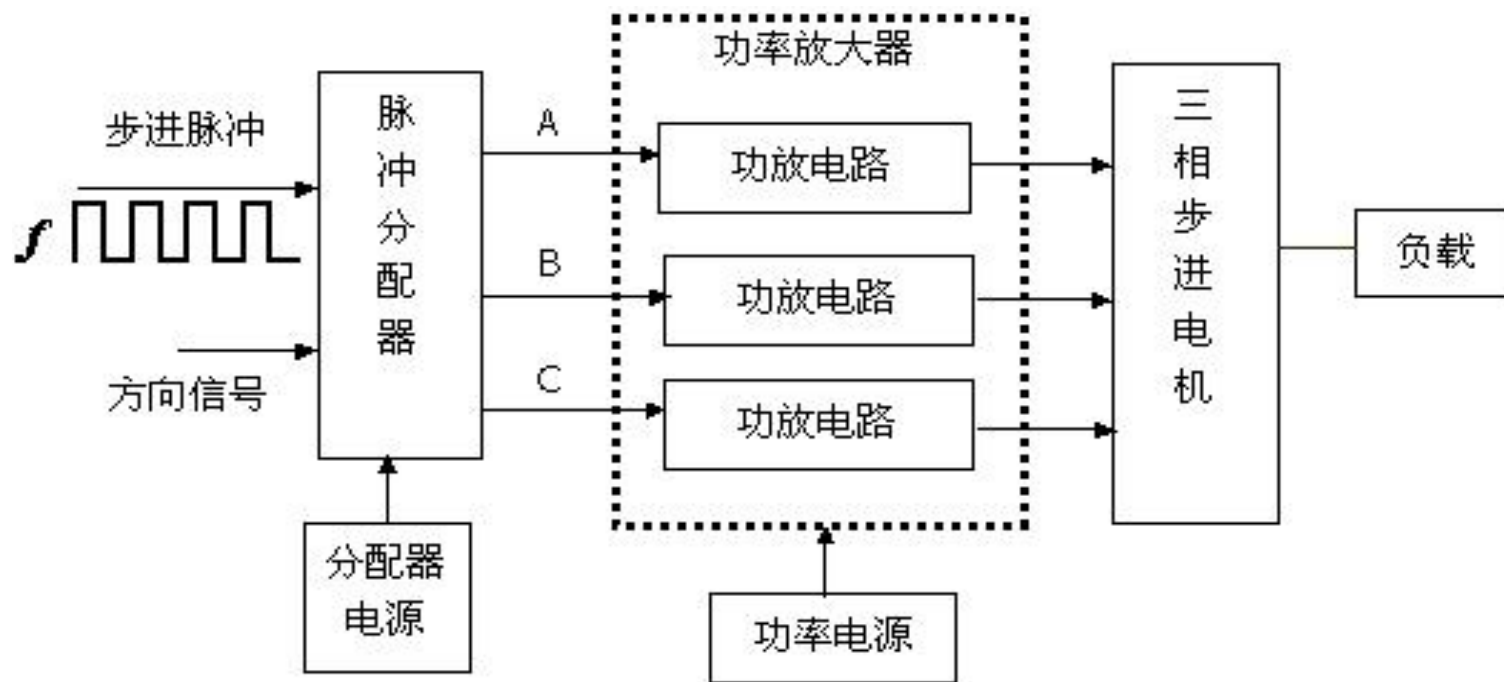
□ 三相反应式步进电动机工作原理

- 转子部分由转子铁心、转轴等组成；
- 转子铁心是由硅钢片或软磁材料叠压而成的齿形铁心；
- 若对励磁绕组以一定方式通以直流励磁电流，则转子以相应的方式转动。



11.1 步进电动机驱动控制

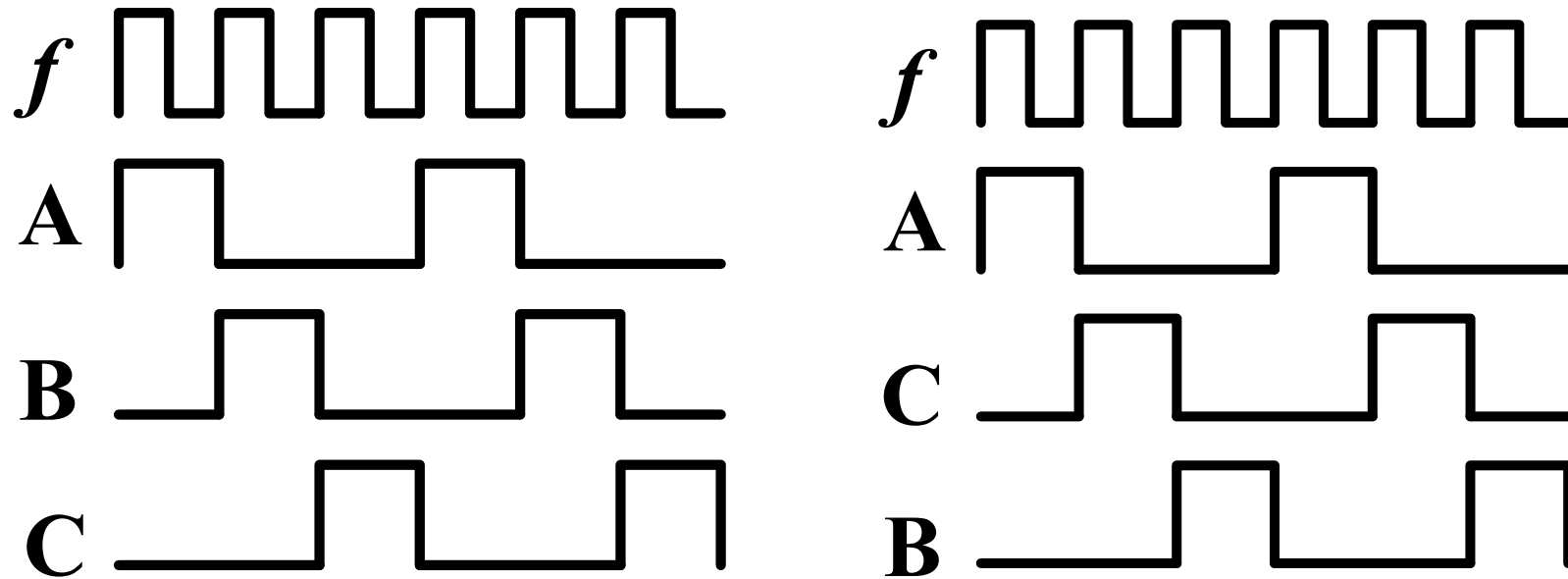
- 运行要求**足够功率**的电脉冲信号按一定的顺序分配到各相绕组;
- 步进电机驱动：脉冲分配（环行分配）+ 功率放大;



步进电动机的驱动系统框图

11.1 步进电动机驱动控制

环分功能：



步进电机按三相单三拍方式运行，则脉冲分配器输出的A、B、C如图所示。当方向电平为低时，脉冲分配器的输出按A-B-C的顺序循环产生脉冲。当方向电平为高时，脉冲分配器的输出按A-C-B的顺序循环产生脉冲。

11.1 步进电动机驱动控制

环分实现方法：

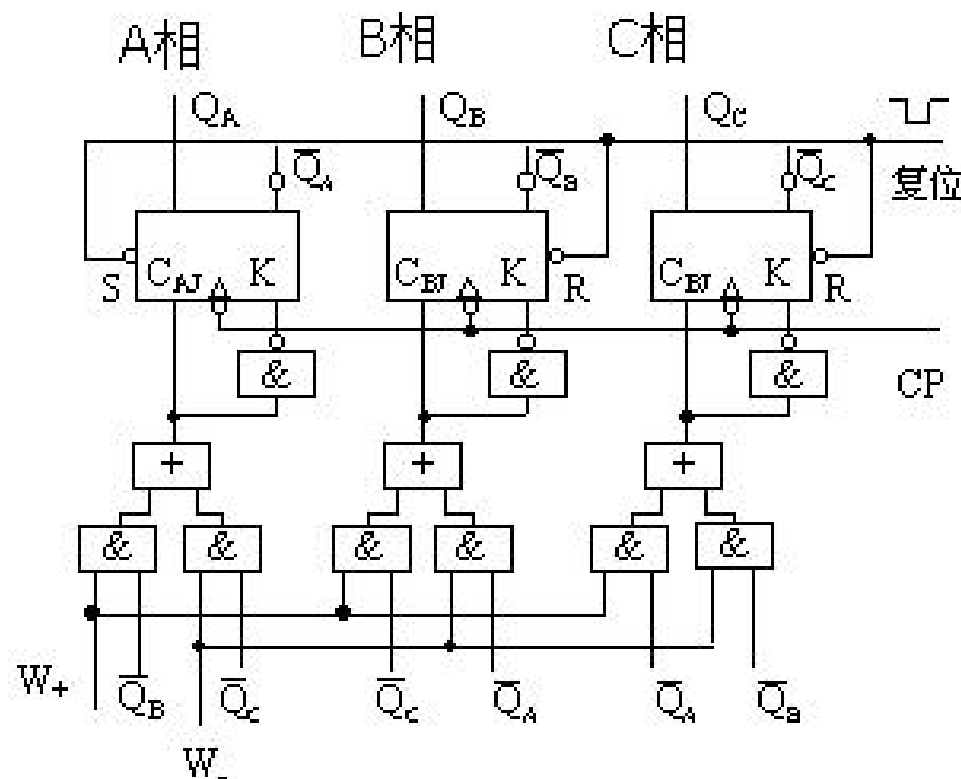
步进电动机的脉冲分配器可由**硬件或软件**方法来实现。

- **硬件环形分配器**有较好的响应速度，且具有直观、维护方便等优点。
- **软件环形分配器**则往往受到微型计算机运算速度的限制，有时难以满足高速实时控制的要求。

11.1 步进电动机驱动控制

硬件环形分配器：

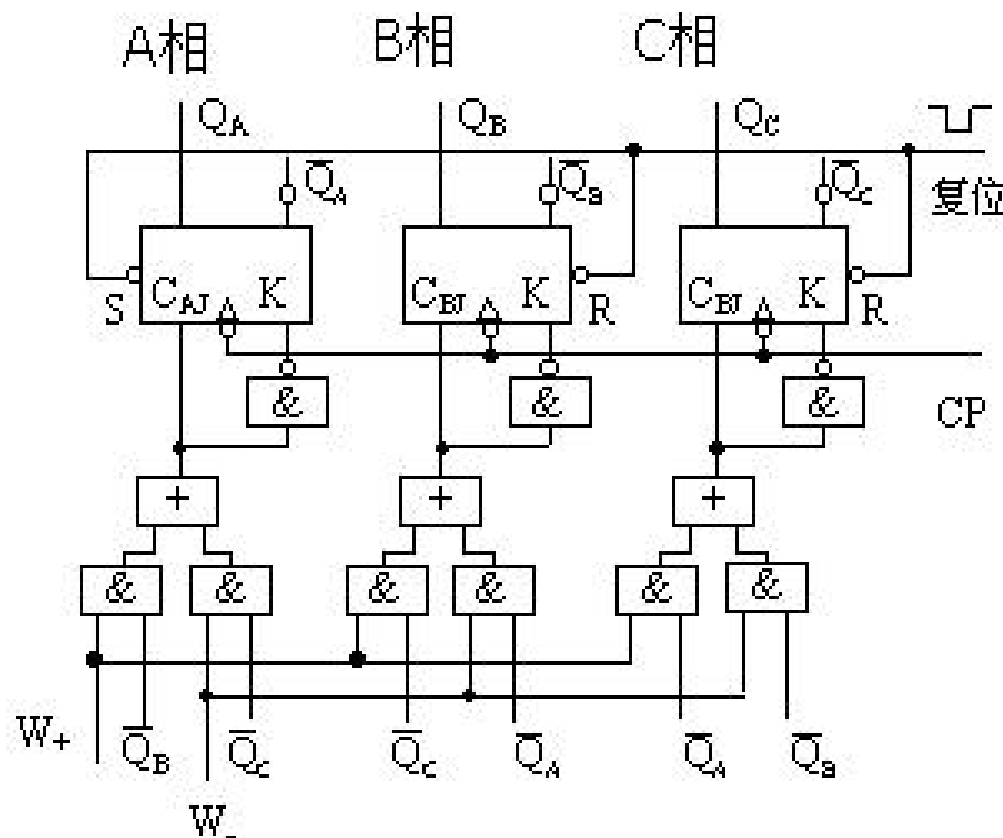
硬件环形分配器需根据步进电动机的相数和步进电机绕组的通电方式设计,图所示是一个三相六拍的环形分配器。分配器的主体是三个J-K触发器。三个J-K触发器的Q输出端分别经各自的功放电路与步进电动机A、B、C三相绕组连接。电机正转时,要使A、B、C按A—AB—B—BC—C—CA顺序循环产生脉冲信号输出。电机反转时,则应以A—AC—C—CB—B—BA的顺序循环。电路中,决定正、反转的信号为 W_+ 、 W_- 。当使 $W_+=1$ 、 $W_-=0$ 时对应正转; $W_+=0$ 、 $W_-=1$ 时对应反转。



11.1 步进电动机驱动控制

硬件环形分配器：

根据数字电子技术基础分析电路的工作原理可知，当复位端来一个脉冲信号时，三个J-K触发器被置初值，即 Q_A 、 Q_B 、 Q_C 依次置为1、0、0。每一个CP脉冲的下降沿将J-K触发器J端的状态锁存到Q端，可得出正转（ $W_+=1$ 、 $W_-=0$ ）时环形分配器的逻辑状态真值表。



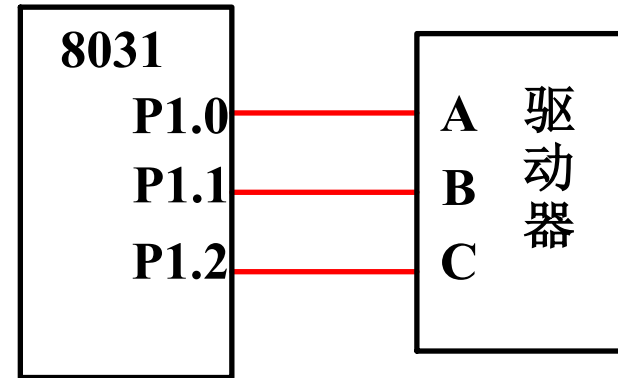
11.1 步进电动机驱动控制

硬件环分真值表：

序号	控制信号状态	输出状态	导电绕组
	C _{AJ} C _{BJ} C _{CJ}	Q _A Q _B Q _C	
0	1 1 0	1 0 0	A
1	0 1 0	1 1 0	AB
2	0 1 1	0 1 0	B
3	0 0 1	0 1 1	BC
4	1 0 1	0 0 1	C
5	1 0 0	1 0 1	CA
6	1 1 0	1 0 0	A

11.1 步进电动机驱动控制

软件环形分配：



软件环分的方法是利用计算机程序来设定硬件接口的位状态，从而产生一定的脉冲分配输出。对于不同的计算机和接口器件，软件环分有不同的形式。现以MCS-51系列单片机8031为例加以说明。

8031单片机本身包含4个8位I/O端口，分别为P0、P1、P2、P3。若要实现三相六拍方式的脉冲分配，需要三根输出口线，本例中选P1口的P1.0、P1.1、P1.2位作为脉冲分配的输出。

11.1 步进电动机驱动控制

软件环分分配表：

	P1.7	P1.6	P1.5	P1.4	P1.3	P1.2	P1.1	P1.0	通 电 相
TABLE	X	X	X	X	X	0	0	1	A
TABLE+1	X	X	X	X	X	0	1	1	AB
TABLE+2	X	X	X	X	X	0	1	0	B
TABLE+3	X	X	X	X	X	1	1	0	BC
TABLE+4	X	X	X	X	X	1	0	0	C
TABLE+5	X	X	X	X	X	1	0	1	CA

11.1 步进电动机驱动控制

程序设计原理：

P1输送的内容依次为：

01H、03H、02H、06H、04H、05H。

编写程序时，将这些值按顺序存放在固定的只读存储器中，设计一个正转子程序和一个反转子程序供主程序调用。正转子程序按顺序取表中的内容输出到P1端口，而反转子程序按逆序取表中的内容输出到P1端口。主程序每调用一次子程序，就完成一次P1端口的输出。主程序调用子程序的时间间隔（可用软件延时或中断的方法实现）决定了输出脉冲的频率，从而决定步进电机转速。下面是正转子程序清单，反转子程序与此相类似。

11.1 步进电动机驱动控制

正转子程序：

```
CW : CJNE R0 , #6 , CW1 ; R0指示数据表中数据输出的  
                        相对指针  
      MOV R0 , #0 ; 若指针已指到表尾 , 则将指针重指表头  
CW1 : MOV A , R0  
      MOV DPTR , #TABLE ; 指针DPTR指向表头  
      MOVC A , @A+DPTR ; 从表中取值送到A中  
      MOV P1 , A ; A的内容送到输出端口P1  
      INC R0 ; 为取下一个数做准备  
      RET  
TABLE : DB 01H , 03H , 02H , 06H , 04H , 05H
```

11.1 步进电动机驱动控制

步进电动机的驱动电路：

步进电动机的功率驱动电路实际上是一种脉冲放大电路，使脉冲具有一定的**功率驱动能力**。由于功率放大器的输出直接驱动电动机绕组，因此，功率放大电路的性能对步进电动机的运行性能影响很大。对驱动电路要求的核心问题则是如何提高步进电动机的快速性和平稳性（这样快速的建立需要的电流）。常见的步进电动机驱动电路主要有以下几种。

11.1 步进电动机驱动控制

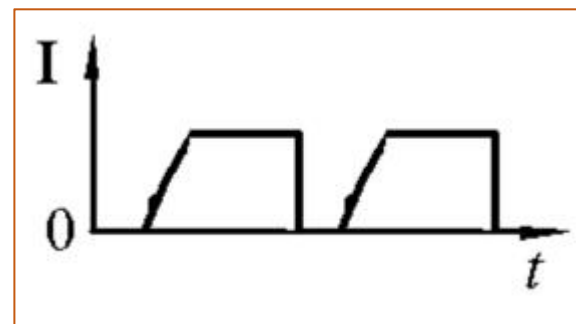
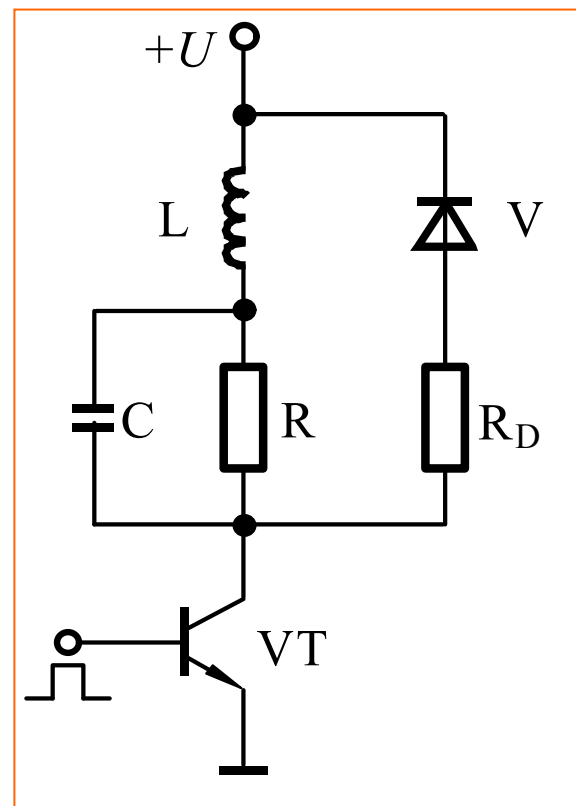
1 . 单电压驱动电路

如图所示是步进电动机一相的驱动电路， L 是电动机绕组，晶体管 VT 可以认为是一个无触点开关，它的理想工作状态应使电流流过绕组 L 的波形尽可能接近矩形波。但由于电感线圈中电流不能突变，在接通电源后绕组中的电流按指数规律上升。

时间常数:

$$i_L = \frac{U}{R + r} (1 - e^{t/\tau})$$

$$\tau = L / (R + r)$$



(1-17)

11.1 步进电动机驱动控制

单电压驱动电路绕组中的电流须经一段时间后才能达到稳态电流（ L 为绕组电感， r 为绕组电阻）。由于步进电动机绕组本身的电阻很小（约为零点几欧），所以，若不加外接电阻 R 其时间常数为 L/r 很大，绕组中电流上升速度很慢，从而严重影响电动机的启动频率。串以电阻 R 后，时间常数由变成 $L/(R+r)$ ，缩短了绕组中电流上升的过渡过程，从而提高了工作速度。

在电阻 R 两端并联电容 C ，是由于电容上的电压不能突变，在绕组由截止到导通的瞬间，电源电压全部降落在绕组上，使电流上升更快，所以，电容 C 又称为加速电容。

二极管 V 在晶体管 V_T 截止时起续流和保护作用，以防止晶体管截止瞬间绕组产生的反电势造成管子击穿，串联电阻使电流下降更快，从而使绕组电流波形后沿变陡。

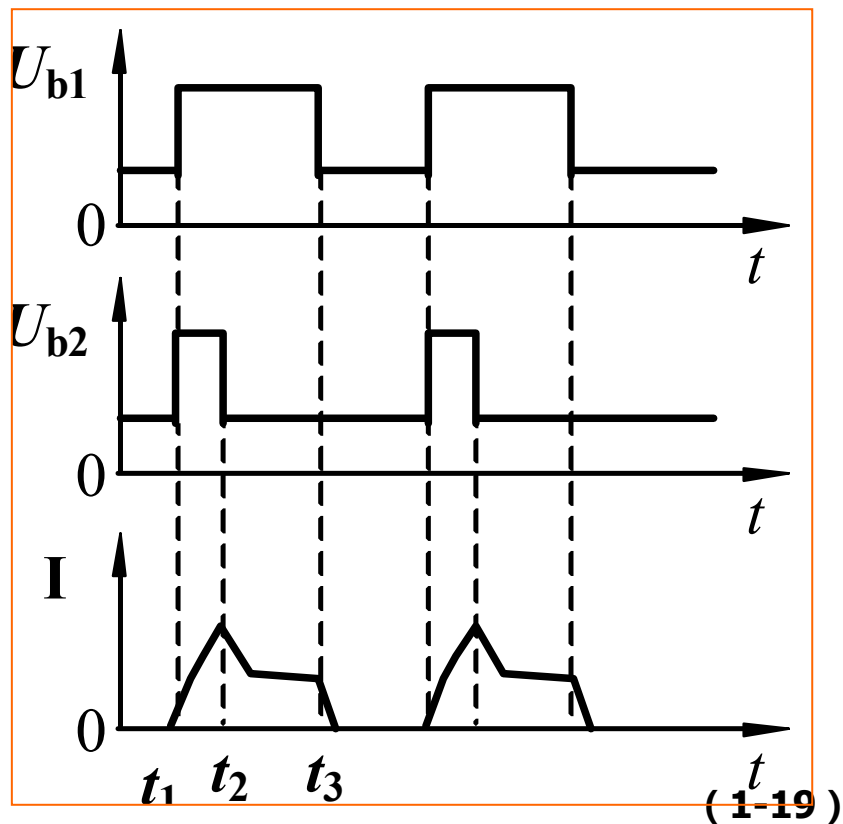
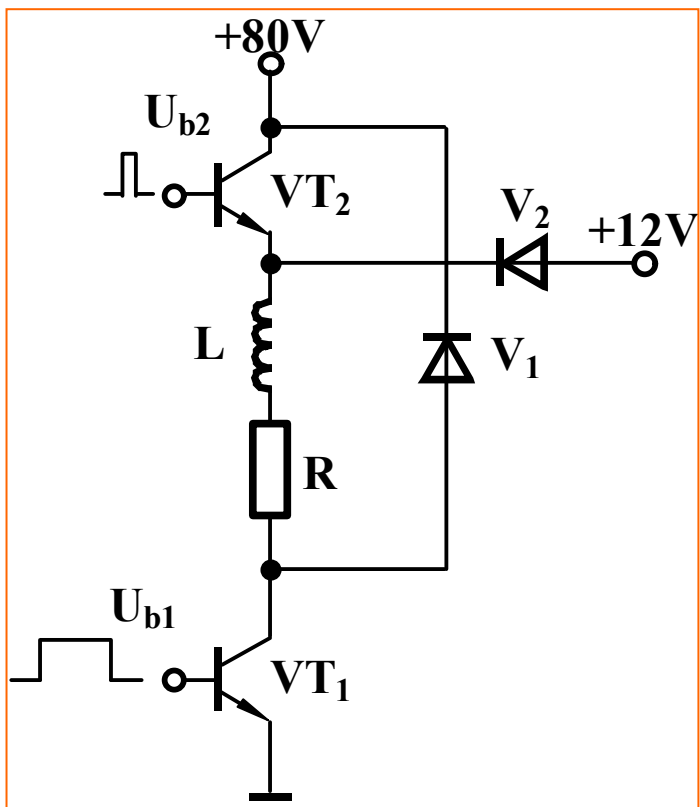
缺点： R 上有功率消耗。

为了提高快速性，需加大 R 的阻值，随着阻值的加大，电源电压也势必提高（稳态电流达到一定值），功率消耗也进一步加大，正因为这样，单电压限流型驱动电路的使用受到了限制。

11.1 步进电动机驱动控制

2. 高低压切换型驱动电路

高低压切换型驱动电路的最后一级如图所示。这种电路中，采用高压和低压两种电压供电，一般高压为低压的数倍。



11.1 步进电动机驱动控制

若加在VT1和VT2管基极的电压 U_{b1} 和 U_{b2} 如图(b)所示，则在时间 $t_1 \sim t_2$ 内，VT1和VT2均饱和导通，+80V的高压电源经VT1和VT2管加在步进电动机的绕组L上，使绕组电流迅速上升。

当时间到达 t_2 时（采取定时方式），或当电流上升到某一数值时（采用定流方式）， U_{b2} 变为低电平，VT2管截止，电动机绕组的电流由+12V电源经VT1管来维持，此时，以 t_2 处的电流为初值，电流下降到电动机的额定电流。

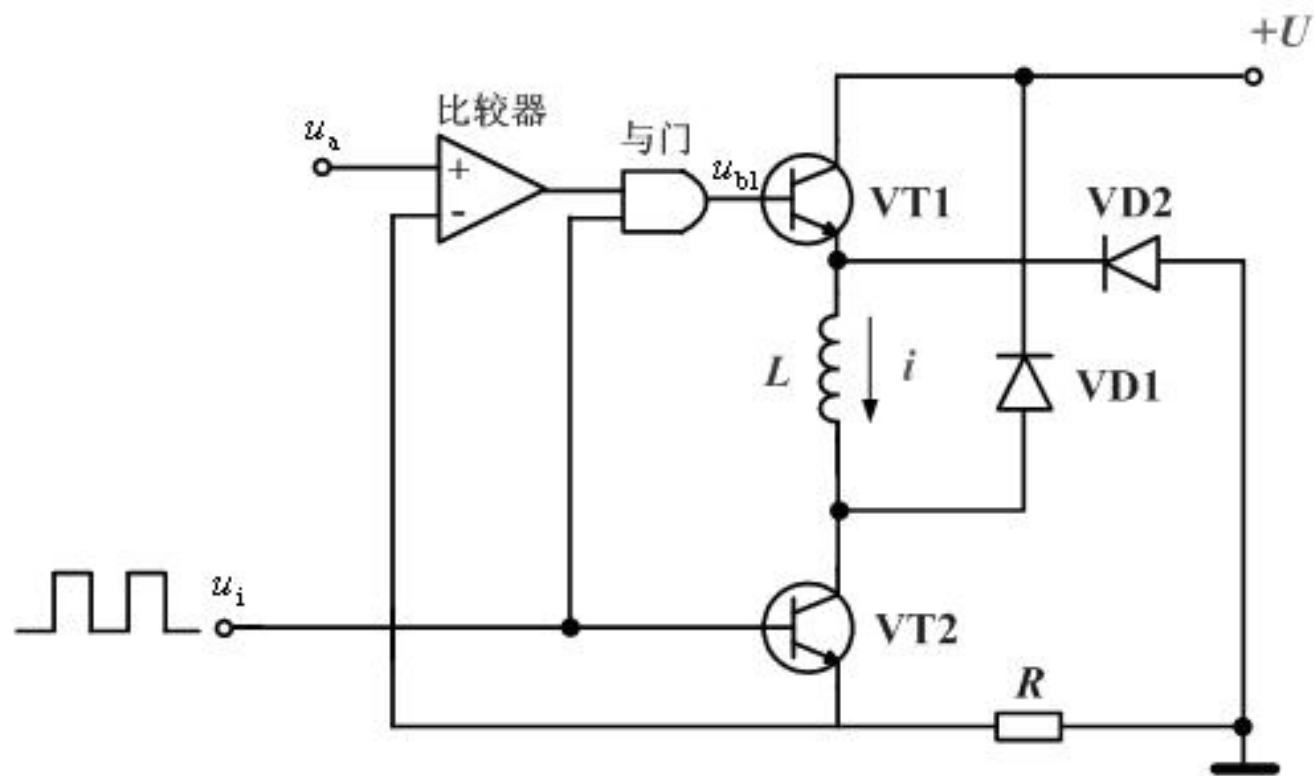
当时间到达 t_3 时， U_{b1} 也为低电平，VT1管截止，电动机绕组电流经续流回路下降到零。

高低压驱动线路的优点：功耗小，启动力矩大，突跳频率和工作频率高。

缺点：大功率管的数量要多用一倍，增加了驱动电源。

11.1 步进电动机驱动控制

3. 斩波恒流型驱动电路



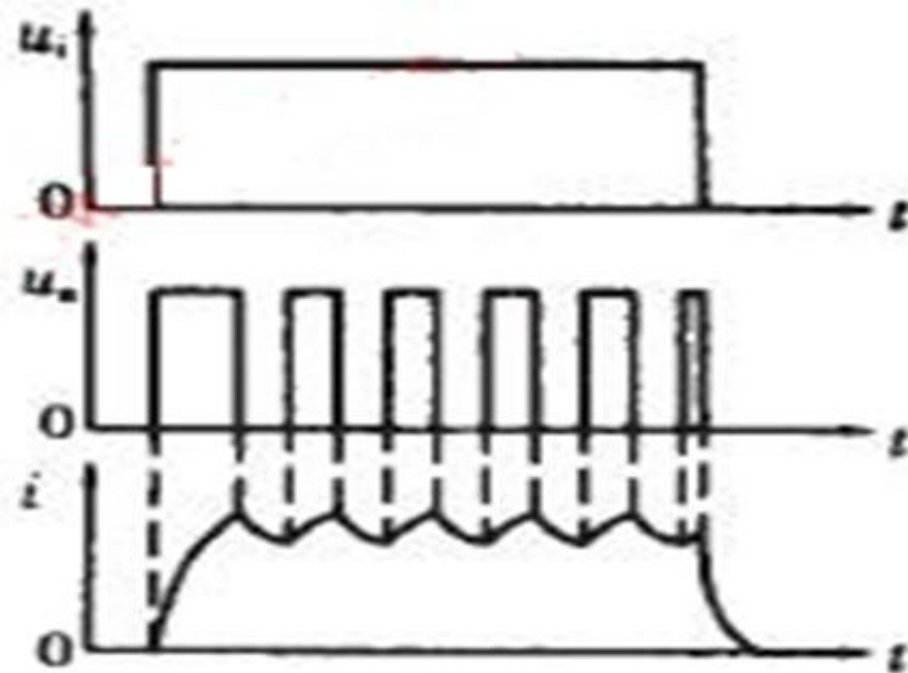
11.1 步进电动机驱动控制

斩波恒流型驱动的工作原理：

VT_1 是一个高频开关管。 VT_2 管的发射极接一个电流取样小电阻 R 。比较器一端接给定电压 U_c ，另一端接 R 上的压降。控制脉冲 U_i 为低电平时， VT_1 和 VT_2 均截止。当 U_i 为高电平时， VT_1 和 VT_2 均导通，电源向电机供电。由于绕组电感的作用， R 上电压逐渐升高，当超过给定电压 U_c ，比较器输出低电平，与门因此输出低电平， VT_1 截止，电源被切断，绕组电感放电。当取样电阻上的电压小于给定电压时，比较器又输出高电平，与门输出高电平， VT_1 又导通，电源又开始向绕组供电，这样反复循环，直到 U_i 又为低电平。因此： VT_2 每导通一次， VT_1 导通多次，绕组的电流波形为锯齿形，如图 所示，在 VT_2 导通的时间里电源是脉冲式供电(图 中 U_a 波形)，所以提高了电源效率，而且还能有效抑制共振。

11.1 步进电动机驱动控制

斩波恒流型驱动的波形：



斩波恒流型驱动的波形

特点：输出转矩大、效率高。

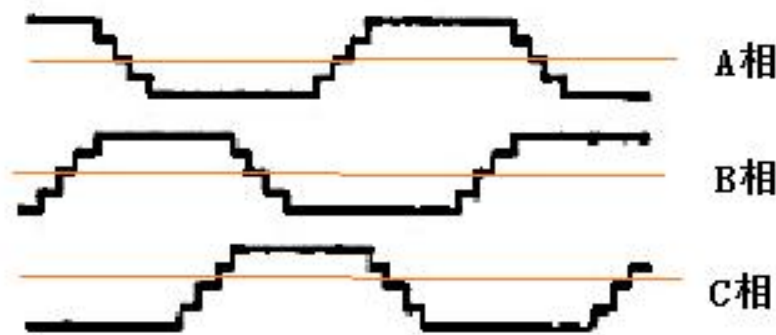
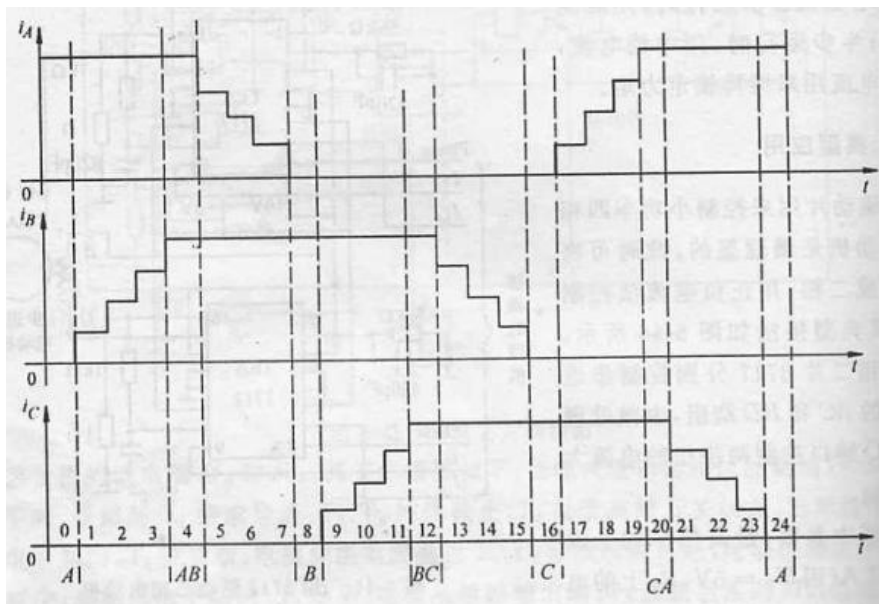
4. 调频调压驱动电路

前面几种驱动方式在低频时会产生振动现象，因此为解决低频驱动时的振动现象，可采用调频调压驱动方式，即在低频时采用相对较低的电压供电，减少驱动电流的过冲，高频时采用高压供电，增加电机的高频响应特性。

11.1 步进电动机驱动控制

5. 细分驱动

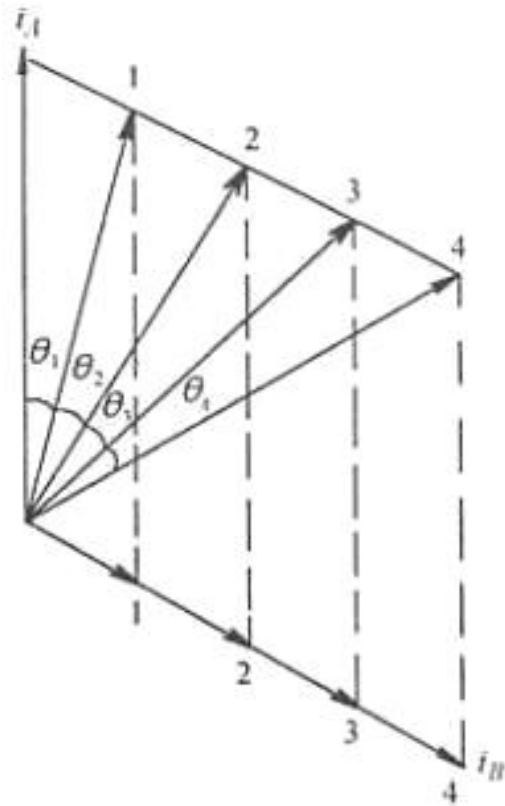
- 切换时，绕组电流并非全部切除或通入，只改变额定值的一部分（如1/4），转子也只转动步距角的一部分（如1/4）。



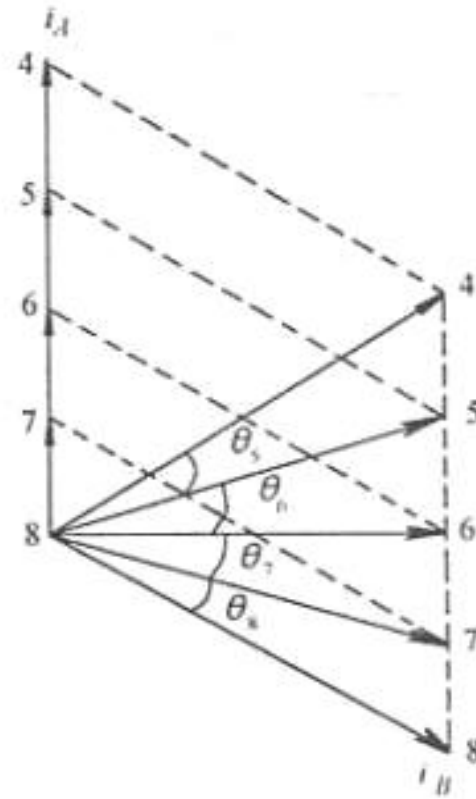
绕组阶梯电流波形图

11.1 步进电动机驱动控制

- 细分时合成磁势的旋转情况:



(a) $A \rightarrow AB$



(b) $AB \rightarrow B$

11.1 步进电动机驱动控制

步进电动机的振荡和失步：

a、振荡

步进电动机的振荡现象主要发生在：

步进电动机工作在低频区

步进电动机工作在共振区

步进电动机突然停车时

11.1 步进电动机驱动控制

步进电动机的振荡和失步：

b、失步

步进电动机的失步原因主要有两种：

转子的转速慢于旋转磁场的速度

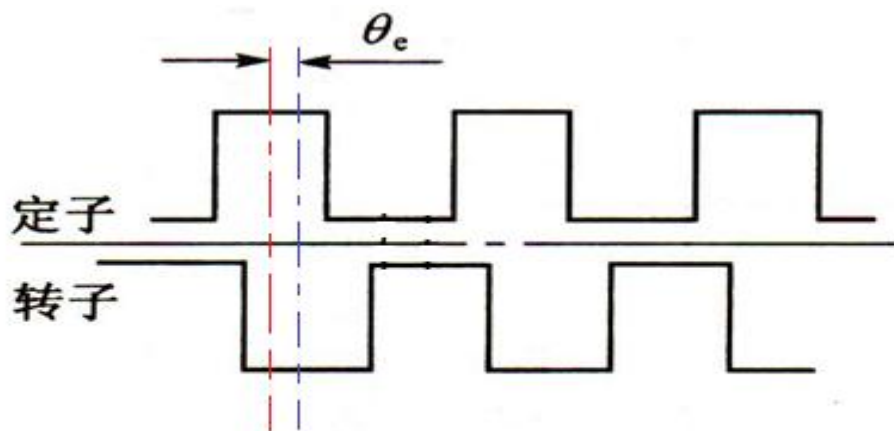
转子的平均速度大于旋转磁场的速度

11.1 步进电动机驱动控制

步进电动机的特性：

a. 静态特性

矩角特性



失调角示意图

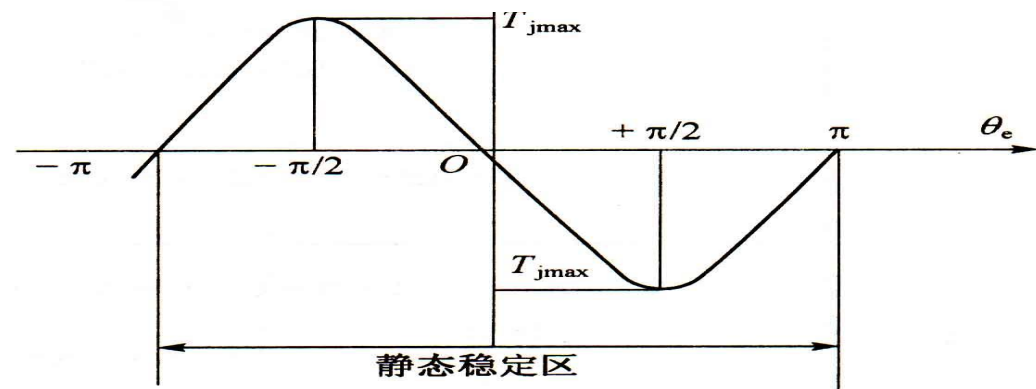


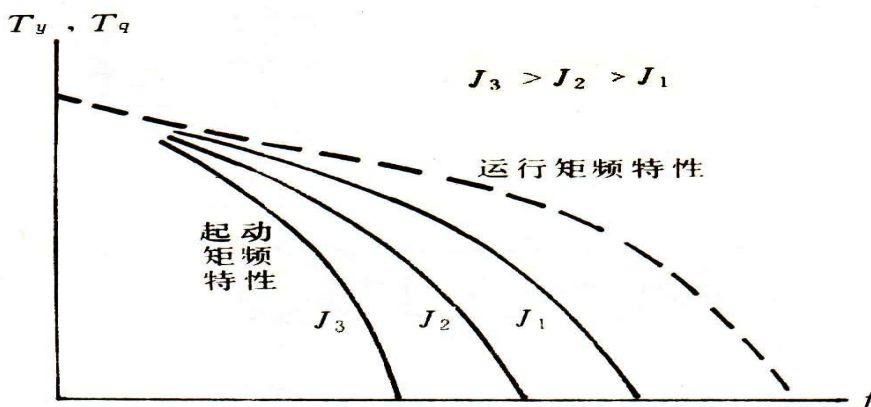
图 3.9 矩 - 角特性曲线

11.1 步进电动机驱动控制

b. 动态特性

起动矩频特性:

有外加负载时，不失步正常起动所需的脉冲频率与负载转矩的对应关系



步进电机矩频特性曲线

运行矩频特性:

运行时输出转矩与输入脉冲频率的关系。

11.1 步进电动机驱动控制

步进电动机的性能指标：

a、最大静转矩

某相始终通电而处于静止不动状态时所能承受的最大外加转矩（即所能输出的最大电磁转矩）

b、空载起动频率

空载状态下转子从静止状态能够不失步地起动时的最大控制频率。

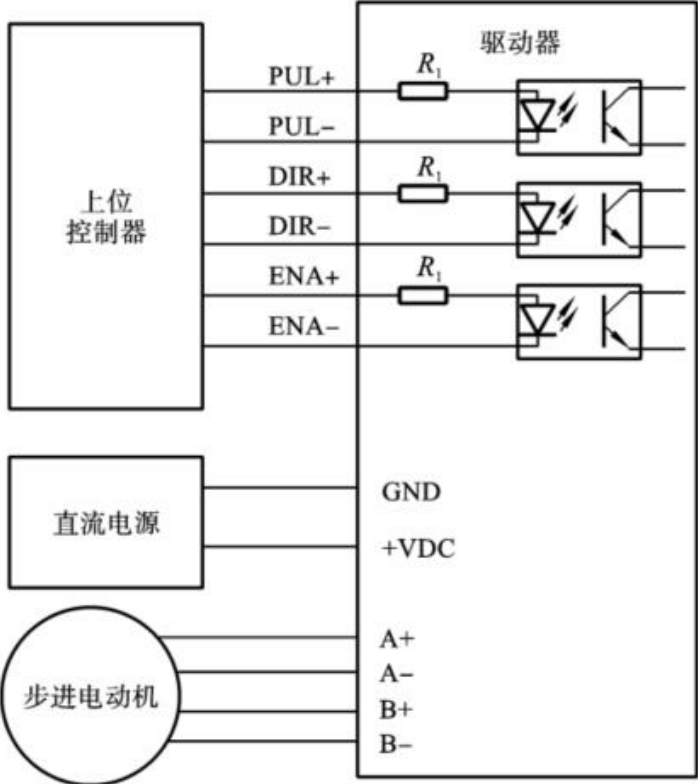
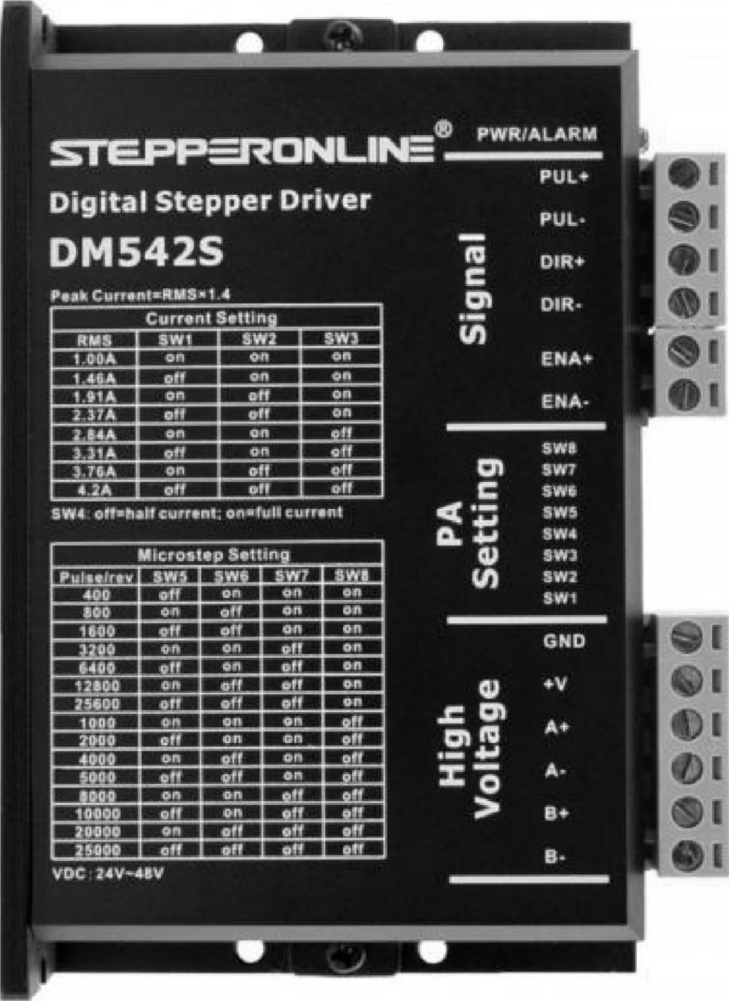
11.1 步进电动机驱动控制

c、空载运行频率

空载状态下转子能够不失步地运行时的最大控制频率。

d、最大相电压和最大相电流

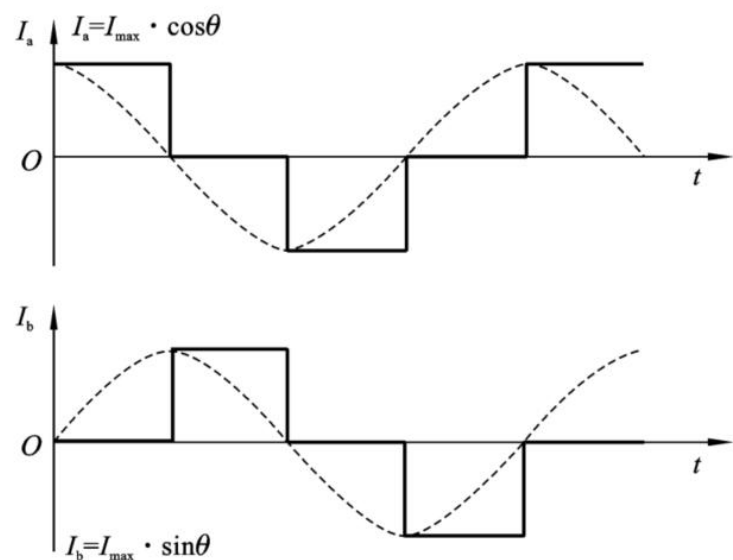
11.1 步进电动机驱动控制



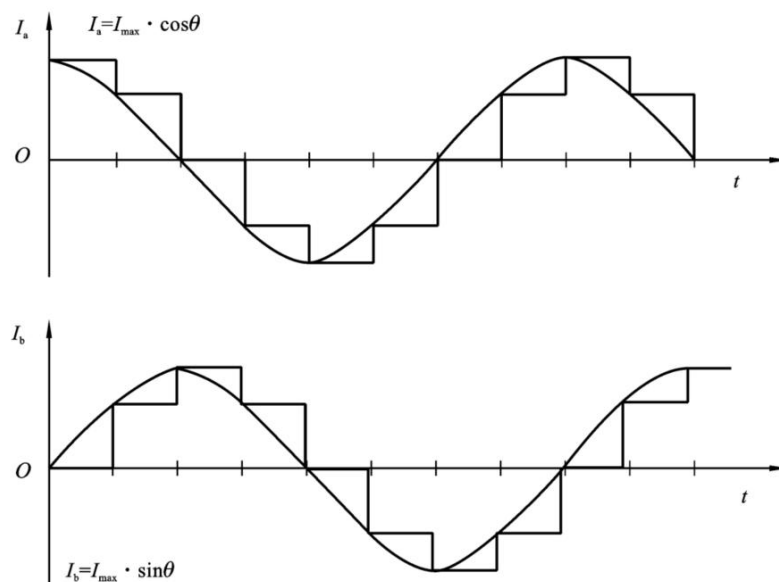
步进电动机驱动器接线

11.1 步进电动机驱动控制—数字控制

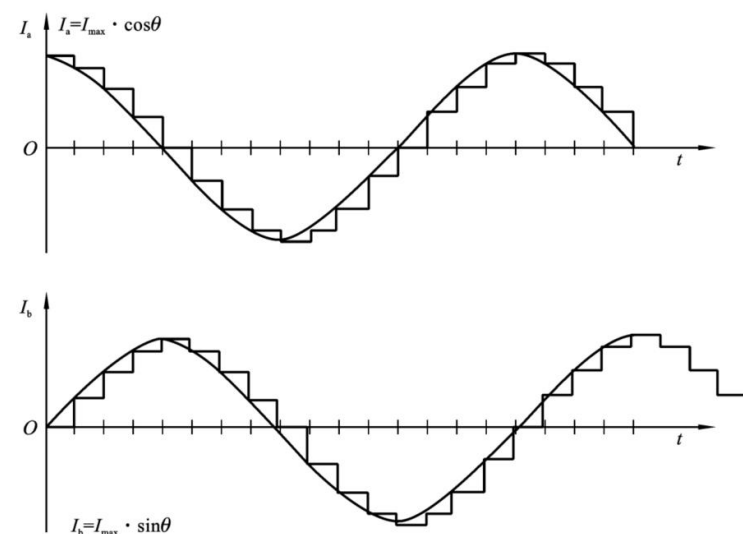
- 半拍驱动模式下相电流的谐波含量更小
- 细分（微步）控制：降低步进相电流谐波，提高位置控制分辨率，改善振动问题
- 采用细分（微步）控制模式，每次脉冲切换时，阶梯式增大或减小相绕组电流的大小



全拍（整步）控制



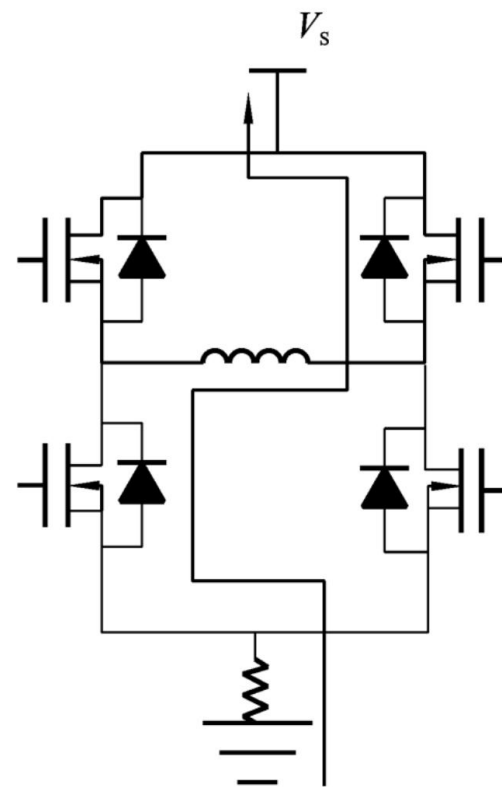
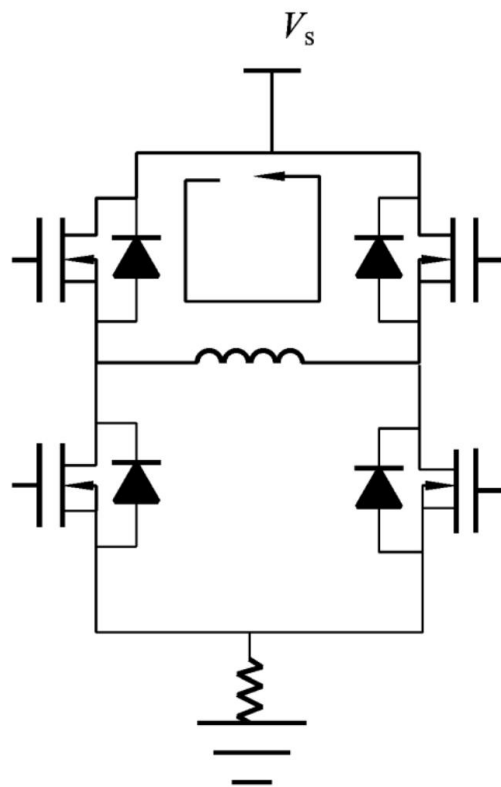
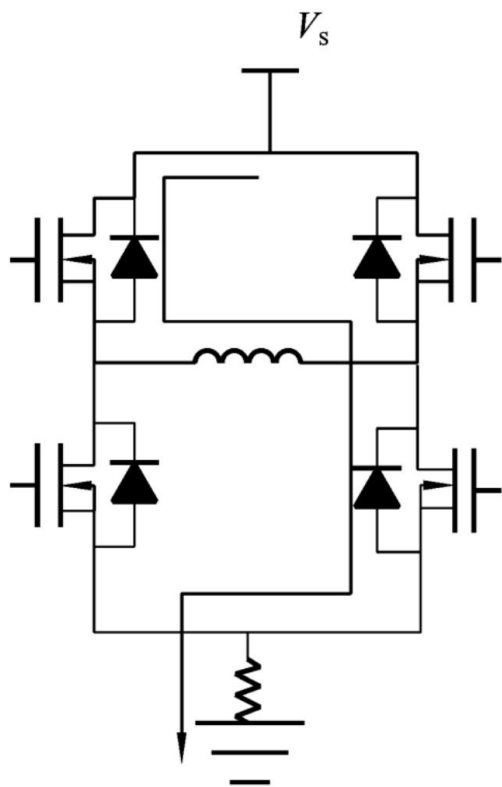
半拍（半步）控制



细分（微步）控制

11.1 步进电动机驱动控制—数字控制

- **H桥正向导通**：绕组电流快速增加
- **H桥高侧或低侧同时导通**：绕组电流缓慢衰减
- **H桥反向导通**：绕组电流快速衰减



PWM控制：分配H桥通断状态的占空比，实现对相电流的精细控制

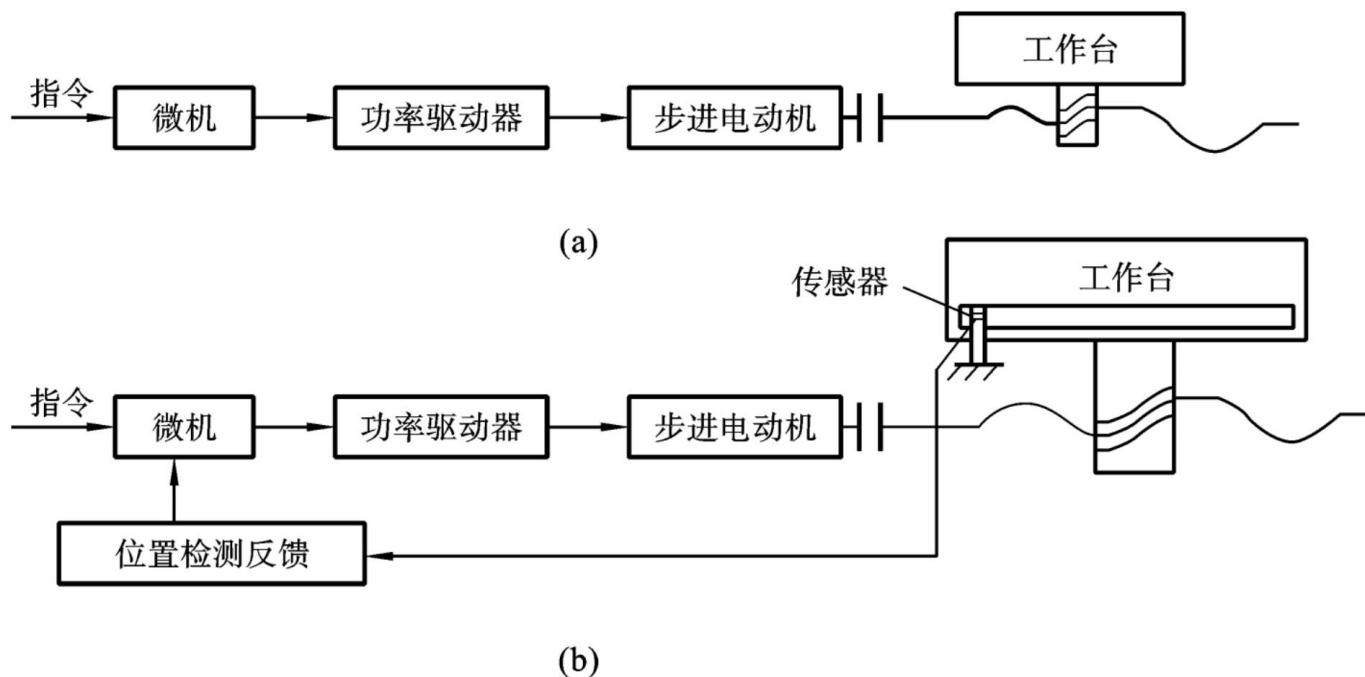
11.1 步进电动机驱动控制—开闭环控制

□ **开环控制系统**：步进电动机的旋转速度全取决于指令脉冲的频率

点位控制的变速运行（“加速-恒速-减速-低恒速-停止”）

□ **闭环控制系统**：直接或间接检测转子的位置和速度

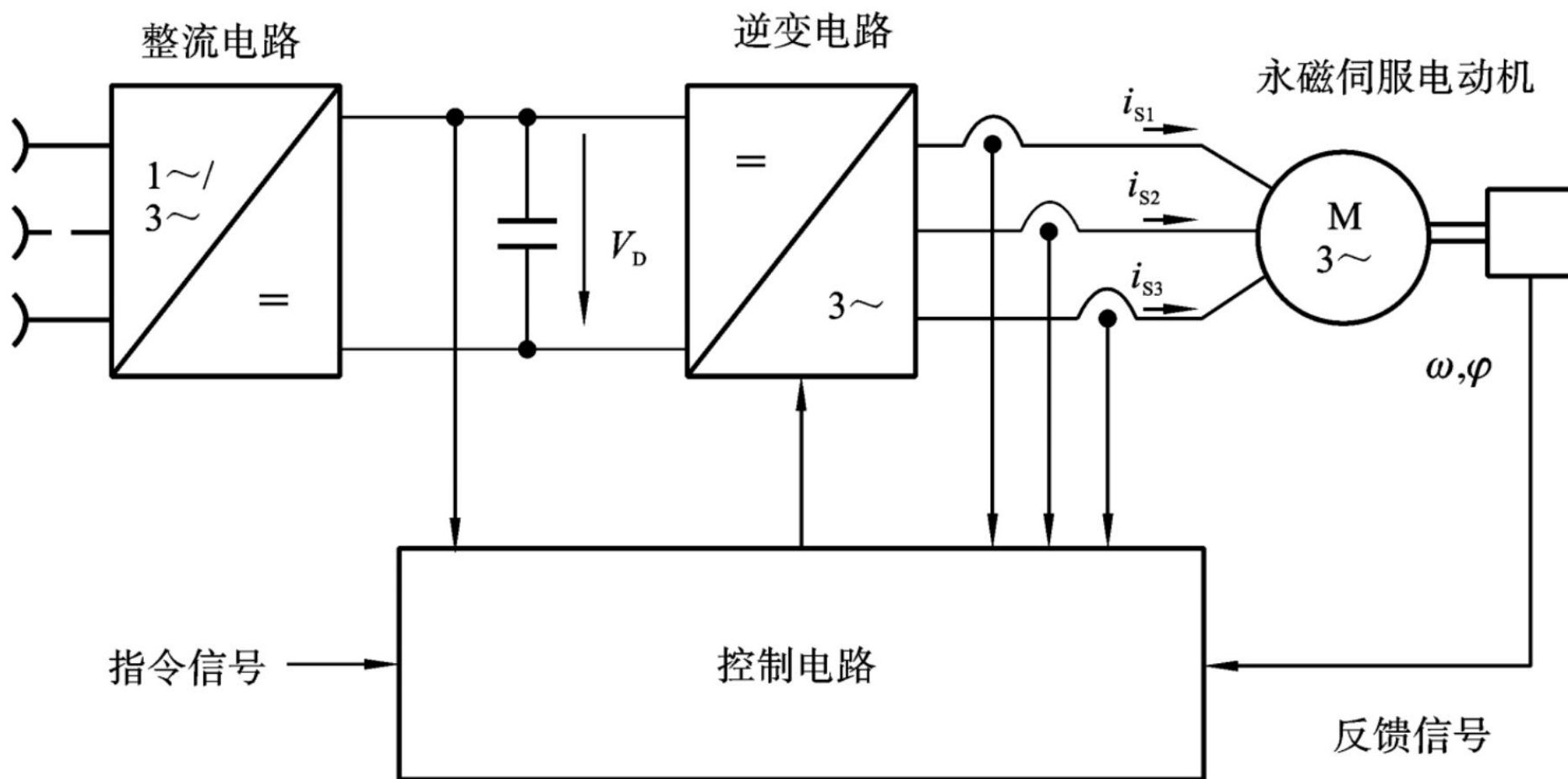
（精准、平稳） 计算与指令位置的差值后自动给出驱动的脉冲串



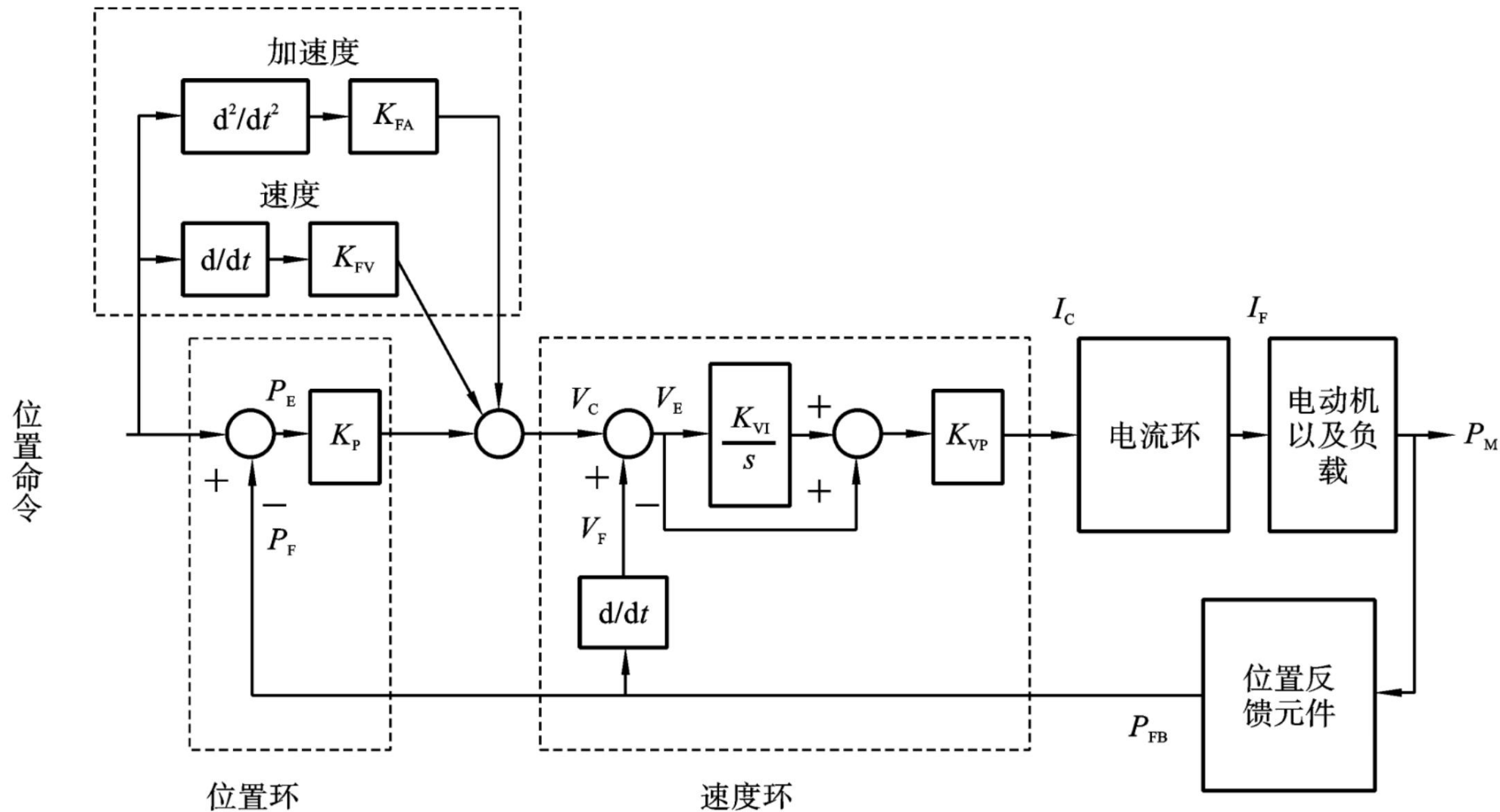
11.2 交流伺服驱动系统



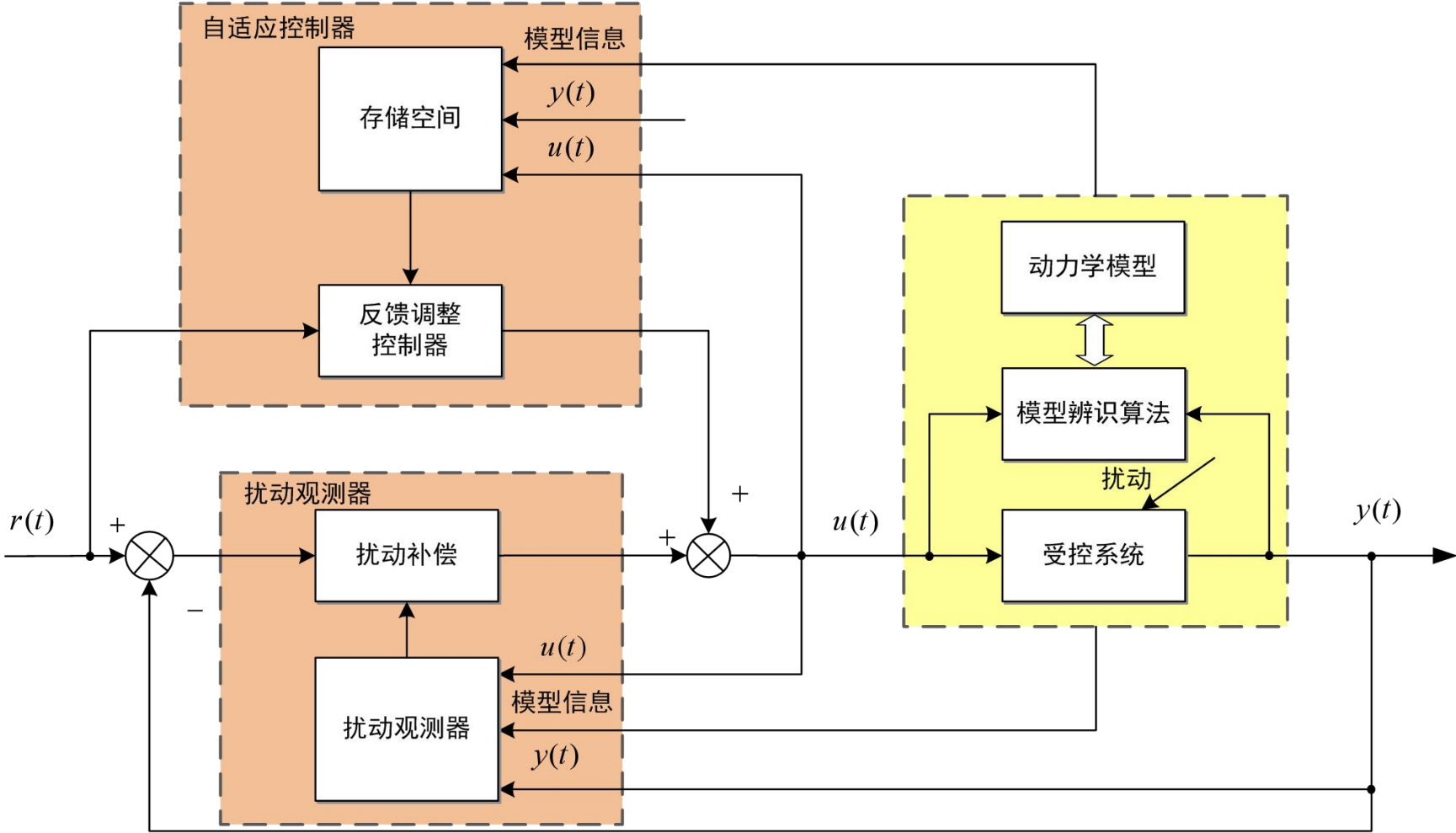
11.2 交流伺服驱动系统



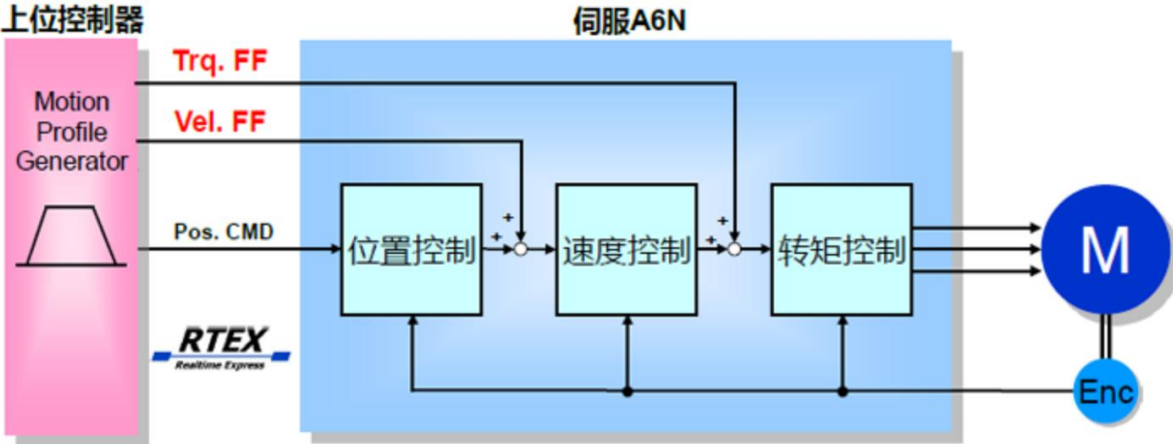
11.2 交流伺服驱动系统



11.2 交流伺服驱动系统



11.2 交流伺服驱动系统



系统构成示例

