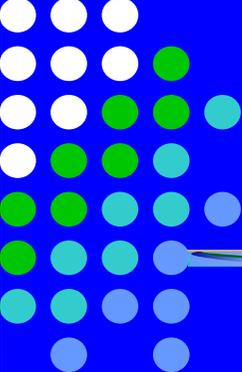
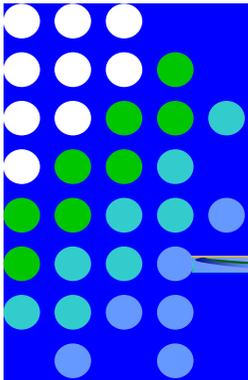


变频器工作原理及其应用



【学习目标】

- 了解变频器的发展和应用。
- 掌握变频器的基本工作原理。
- 初步熟悉变频器的参数设置。
- 掌握IGBT器件的基本原理及常用的驱动保护电路的原理。
- 掌握脉宽调制（PWM）型逆变电路工作原理。



● 【课题描述】

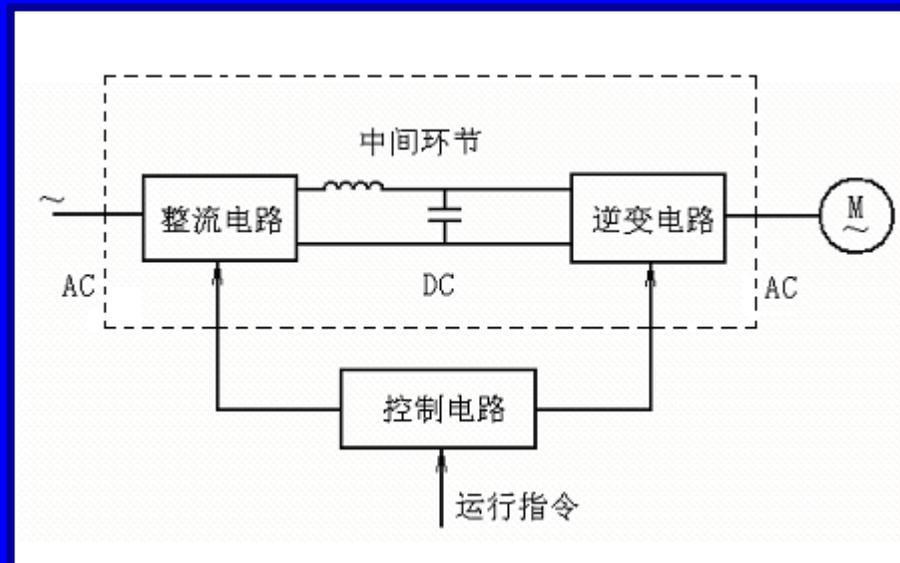
- 变频器是一种静止的频率变换器，可将电网电源的50Hz频率交流电变成频率可调的交流电，作为电动机的电源装置，目前在国内外使用广泛。使用变频器可以节能、提高产品质量和劳动生产率等。
- 具体介绍与变频器相关的知识：变频器的基本原理、变频器常用开关器件（IGBT）、脉宽调制（PWM）型逆变电路、变频调速的特点以及变频器的应用。

SIEMENS MICROMASTER 420 通用变频器

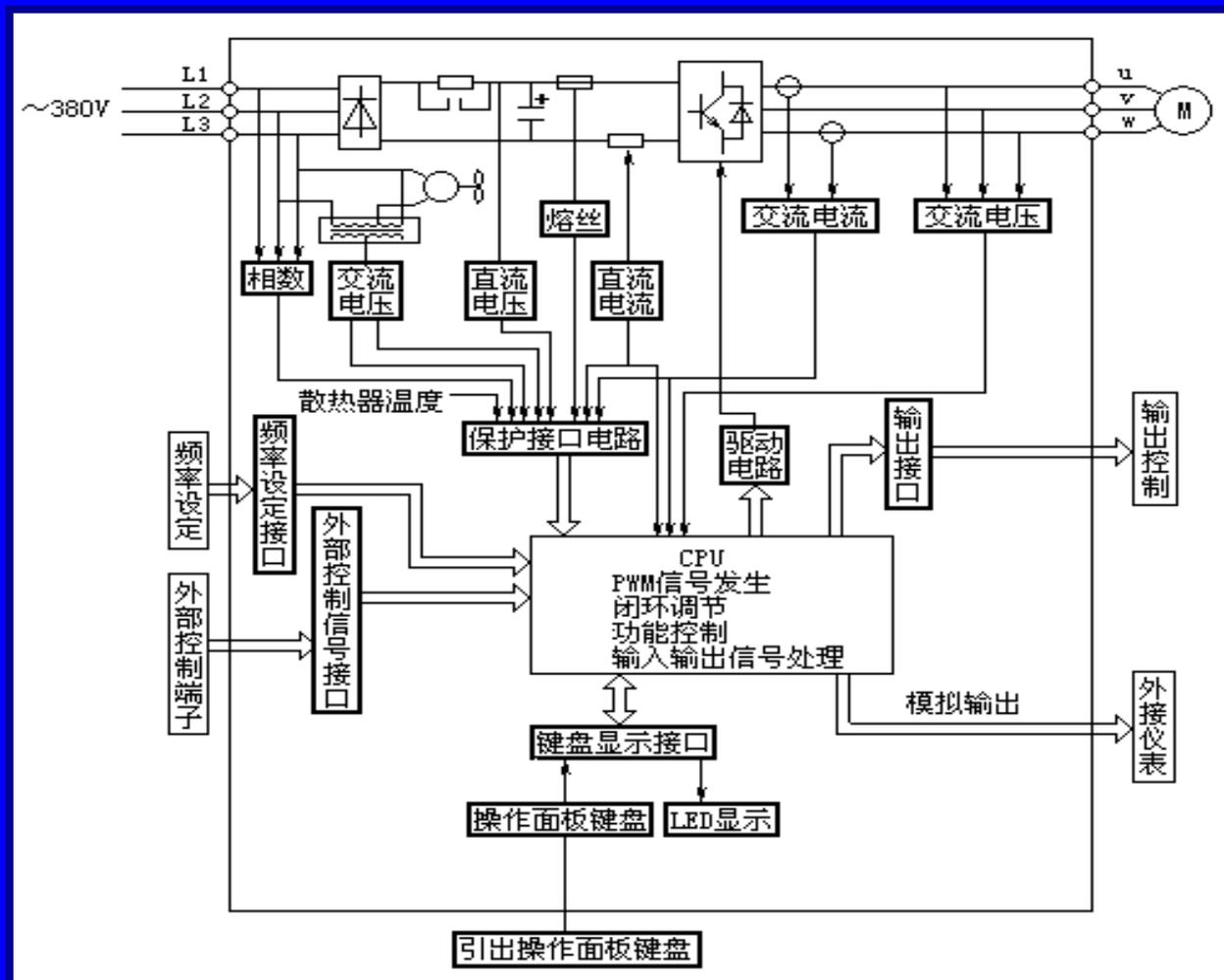


- 【相关知识点】
 - 一、变频器的基本原理
 - 1. 变频器组成原理
 - (1) 变频器的基本结构
- 调速用变频器构成：

- 主电路
- 控制电路
- 保护电路

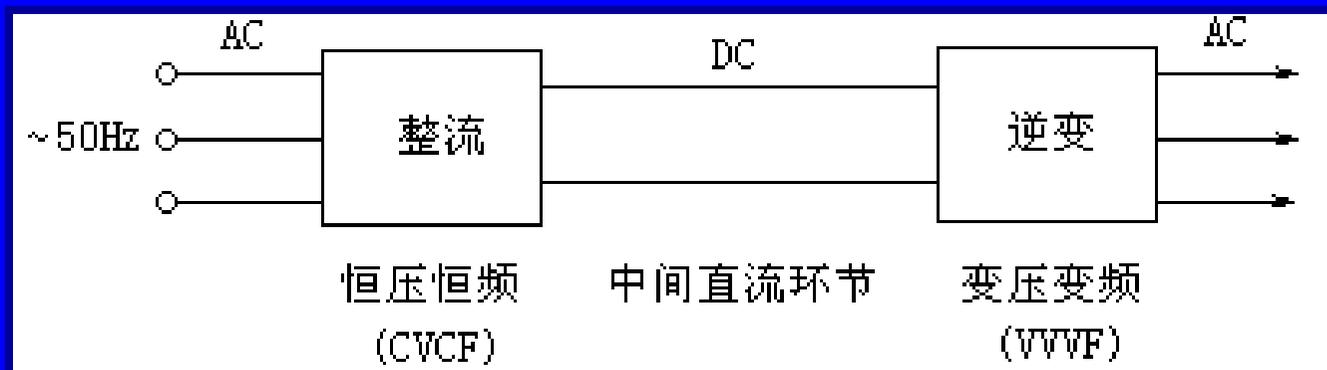


典型的电压控制型通用变频器的原理框图。



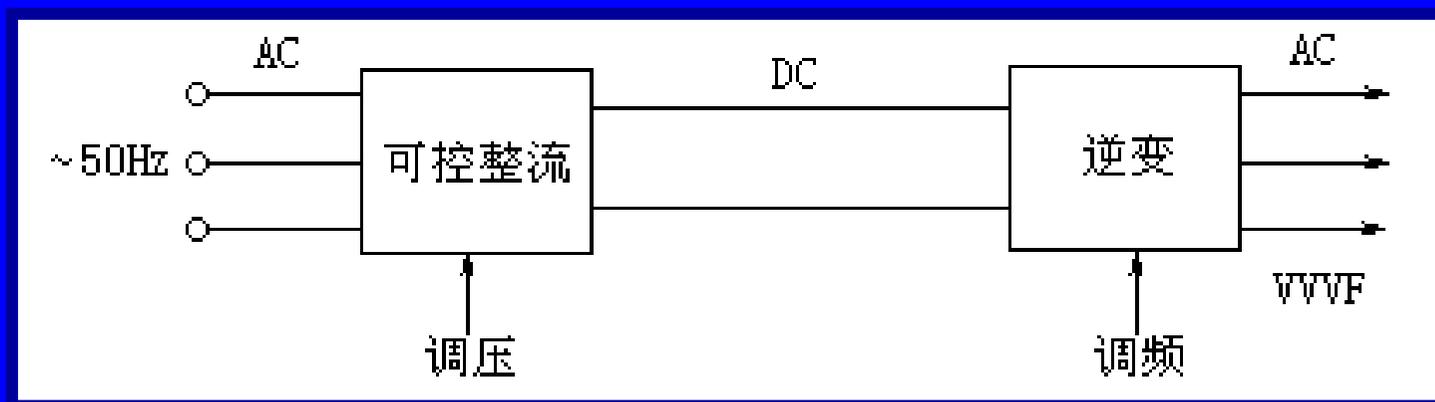
(2) 变频器主电路工作原理

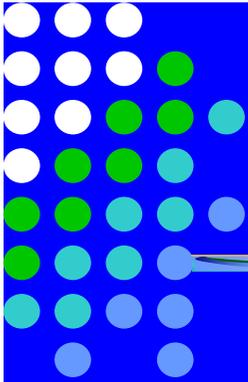
变压变频 (VVVF: Variable Voltage Frequency) 装置结构框图



按照不同的控制方式，交—直—交变频器可分成以下三种方式：

- 采用可控整流器调压、逆变器调频的控制方式，其结构框图。

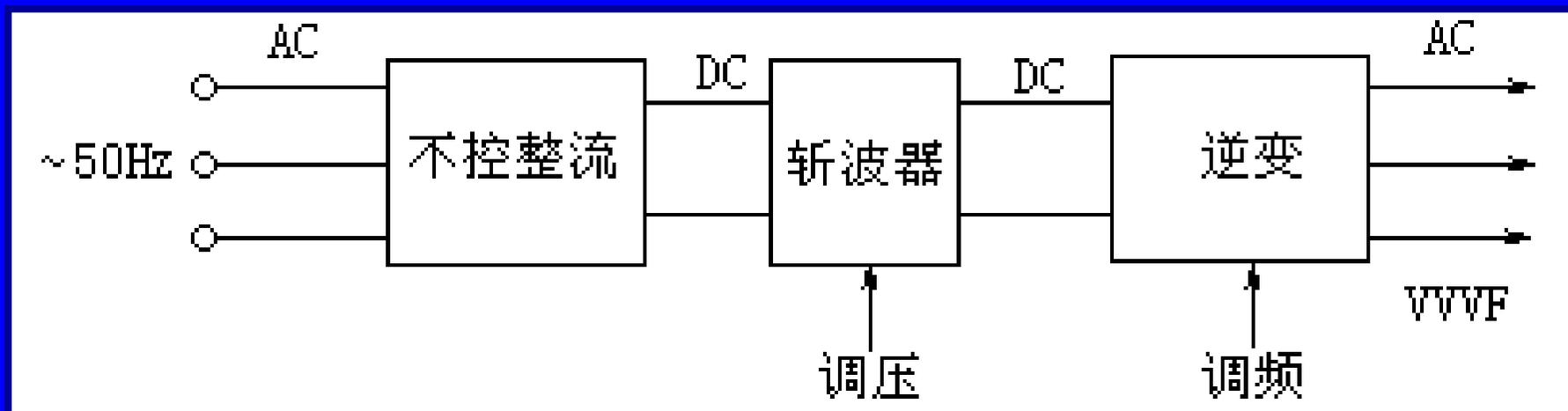


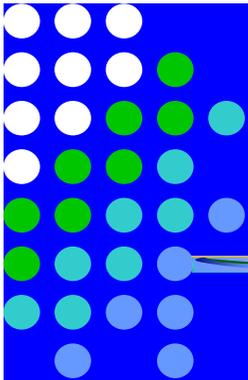


可控整流器调压、逆变器调频的控制方式的特点：

在这种装置中，调压和调频在两个环节上分别进行，在控制电路上协调配合，结构简单，控制方便。但是，由于输入环节采用晶闸管可控整流器，当电压调得较低时，电网端功率因数较低。而输出环节多用由晶闸管组成多拍逆变器，每周换相六次，输出的谐波较大，因此这类控制方式现在用的较少。

- 采用不控整流器整流、斩波器调压、再用逆变器调频的控制方式，其结构框图。

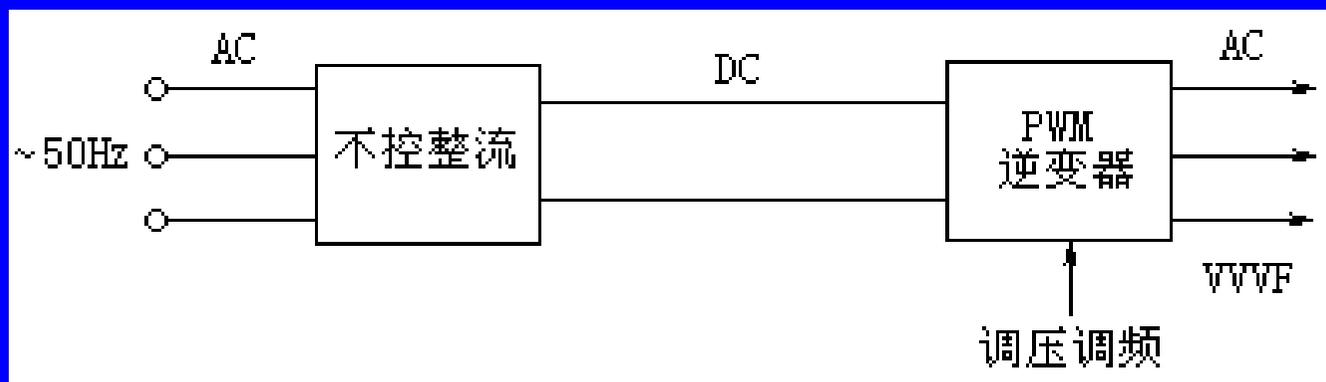


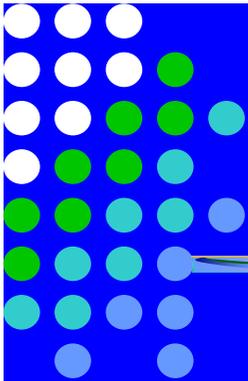


- 不控整流器整流、斩波器调压、再用逆变器调频的控制方式的特点：

整流环节采用二极管不控整流器，只整流不调压，再单独设置斩波器，用脉宽调压，这种方法克服功率因数较低的缺点；但输出逆变环节未变，仍有谐波较大的缺点。

- 采用不控制整流器整流、脉宽调制（PWM）逆变器同时调压调频的控制方式，其结构框图。

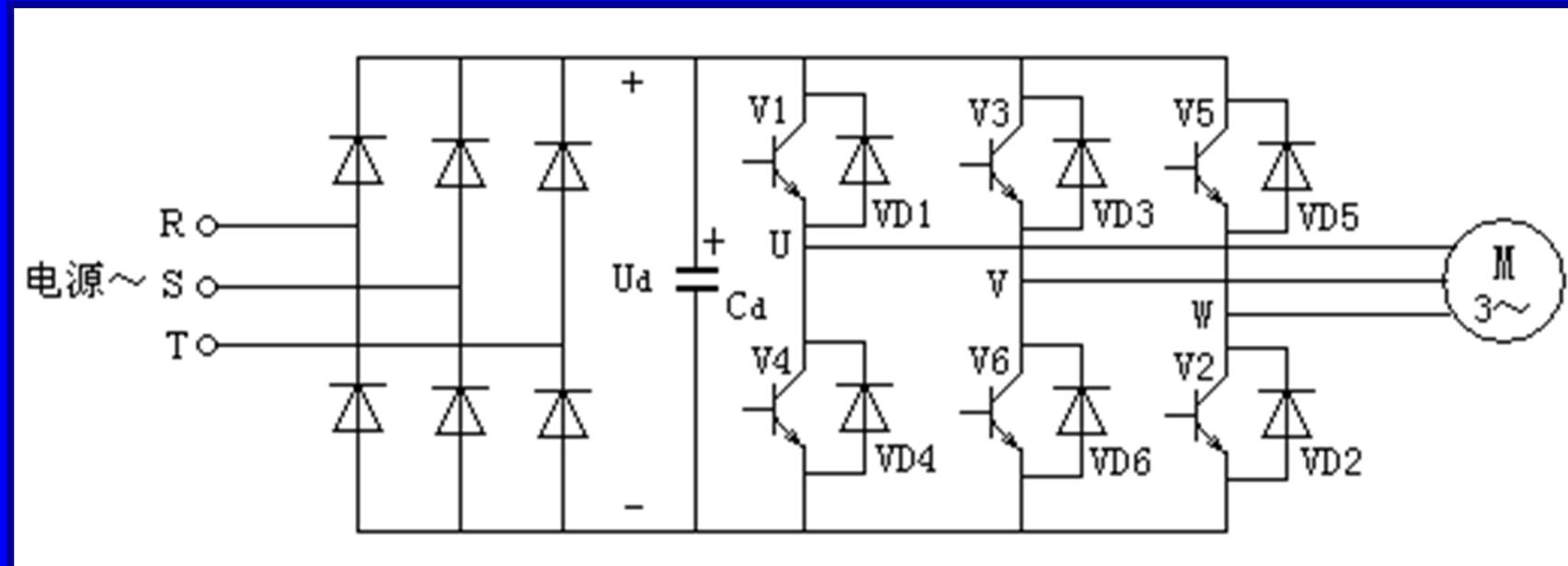




- 不控制整流器整流、脉宽调制（PWM）逆变器同时调压调频的控制方式的特点：

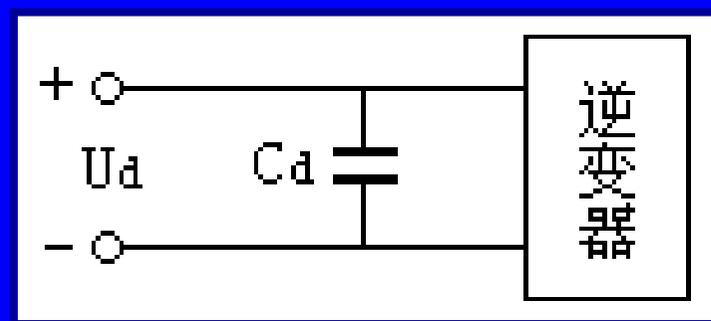
在这类装置中，用不控整流，则输入功率因数不变；用（PWM）逆变，则输出谐波可以减小。PWM逆变器需要全控型电力半导体器件，其输出谐波减少的程度取决于PWM的开关频率，而开关频率则受器件开关时间的限制。采用绝缘双极型晶体管IGBT时，开关频率可达10kHz以上，输出波形已经非常逼近正弦波，因而又称为SPWM逆变器，成为当前最有发展前途的一种装置形式。

电压型变频器结构框图：

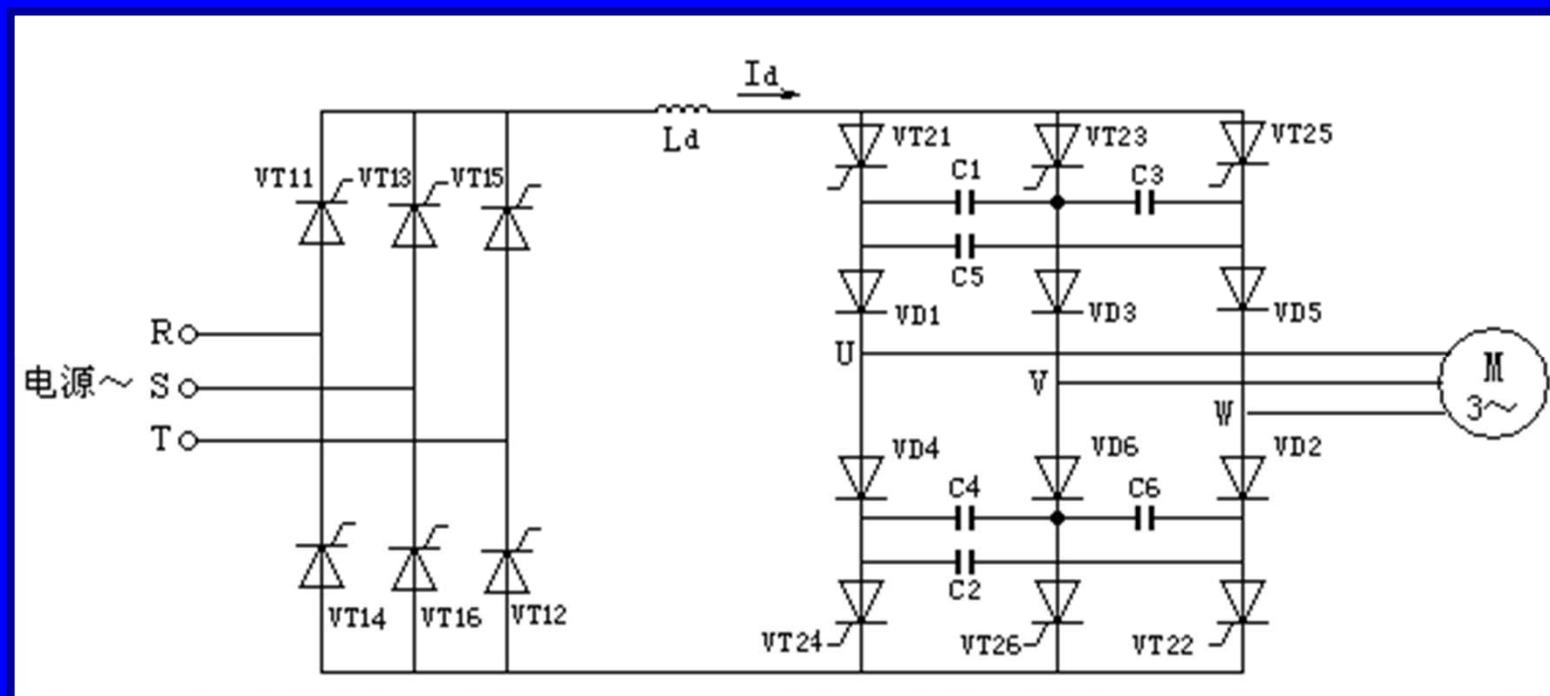


电压型变频器:

在交一直一交变频器中，当中间直流环节采用大电容滤波时，直流电压波形比较平直，在理想情况下是一个内阻抗为零的恒压源，输出交流电压是矩形波或阶梯波，这类变频器叫做电压型变频器

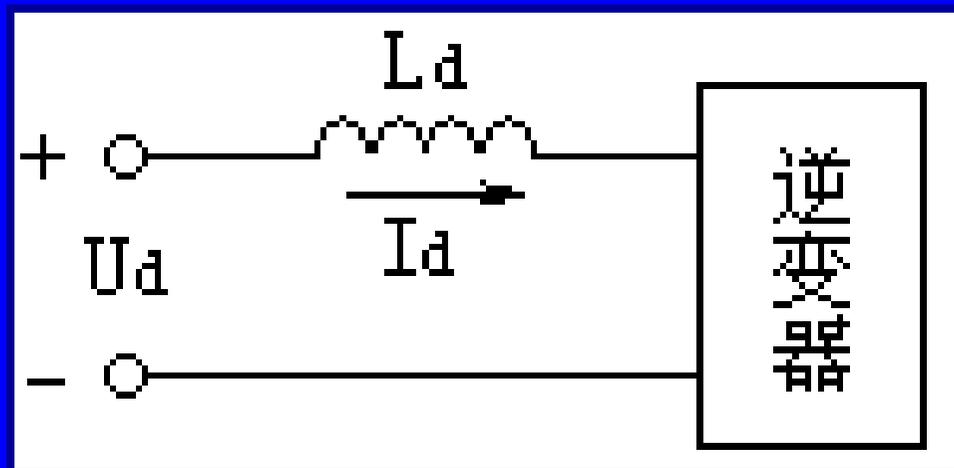


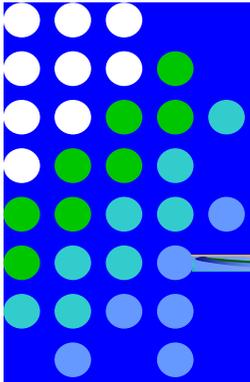
电流型变频器结构框图：



电流型变频器:

当交一直—交变频器的中间直流环节采用大电感滤波时，直流电流波形比较平直，因而电源内阻抗很大，对负载来说基本上是一个电流源，输出交流电流是矩形波或阶梯波，这类变频器叫做电流型变频器。

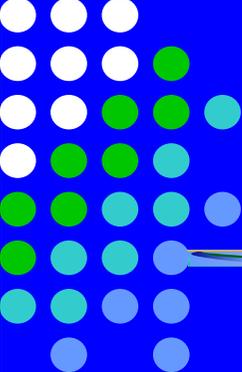




几种典型的交一直一交变频器的主电路。

①交一直一交电压型变频电路

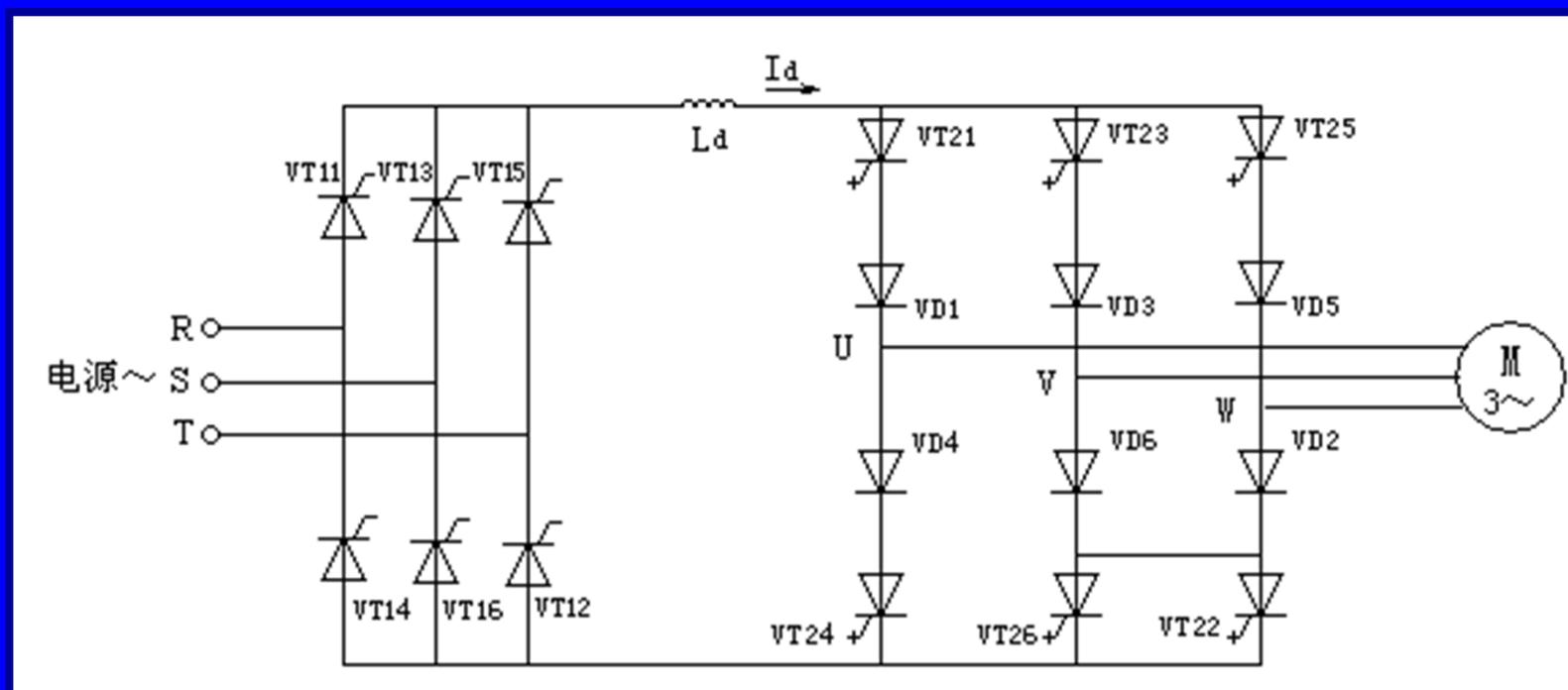
常用的交一直一交电压型PWM变频电路。

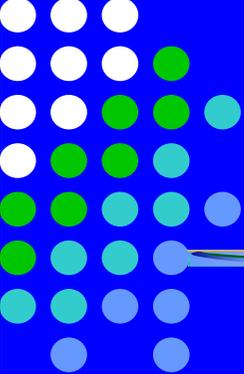


交—直—交电压型PWM变频电路采用二极管构成整流器，完成交流到直流的变换，其输出直流电压 U_d 是不可控的；中间直流环节用大电容 C 滤波；电力晶体管 $V_1 \sim V_6$ 构成PWM逆变器，完成直流到交流的变换，并能实现输出频率和电压的同时调节， $VD_1 \sim VD_6$ 是电压型逆变器所需的反馈二极管。

②交一直一交电流型变频电路

常用的交一直一交电流型变频电路。

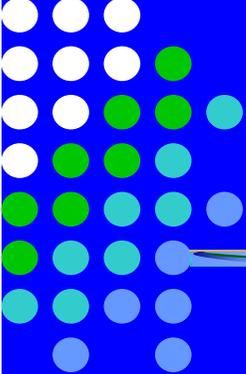




交—直—交电流型变频电路：整流器采用晶闸管构成的可控整流电路，完成交流到直流的变换，输出可控的直流电压 U ，实现调压功能；中间直流环节用大电感 L 滤波；逆变器采用晶闸管构成的串联二极管式电流型逆变电路，完成直流到交流的变换，并实现输出频率的调节。

③交一直一交电压型变频器与电流型变频器的性能比较

| 特点名称 | 电压型变频器 | 电流型变频器 |
|----------|---|---|
| 储能元件 | 电容器 | 电抗器 |
| 输出波形的特点 | 电压波形为矩形波 电流波形近似正弦波 | 电流波形为矩形波 电压波形为近似正弦波 |
| 回路构成上的特点 | 有反馈二极管 直流电源并联大容量电容（低阻抗电压源） 电动机四象限运转需要再生用变流器 | 无反馈二极管 直流电源串联大电感（高阻抗电流源） 电动机四象限运转容易 |
| 特性上的特点 | 负载短路时产生过电流 开环电动机也可能稳定运转 | 负载短路时能抑制过电流 电动机运转不稳定需要反馈控制 |
| 适用范围 | 适用于作为多台电机同步运行时的供电电源但不要求快速加减的场合 | 适用于一台变频器给一台电机供电的单电机传动，但可以满足快速起制动和可逆运行的要求 |



● 二、绝缘门极晶体管（IGBT）

1. IGBT的结构和基本工作原理

- 绝缘门极晶体管IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）也称绝缘栅极双极型晶体管，是一种新发展起来的复合型电力电子器件。
- 由于它结合了MOSFET和GTR的特点，既具有输入阻抗高、速度快、热稳定性好和驱动电路简单的优点，又具有输入通态电压低，耐压高和承受电流大的优点，这些都使IGBT比GTR有更大的吸引力。
- 在变频器驱动电机，中频和开关电源以及要求快速、低损耗的领域，IGBT有着主导地位。

(1) IGBT的基本结构与工作原理

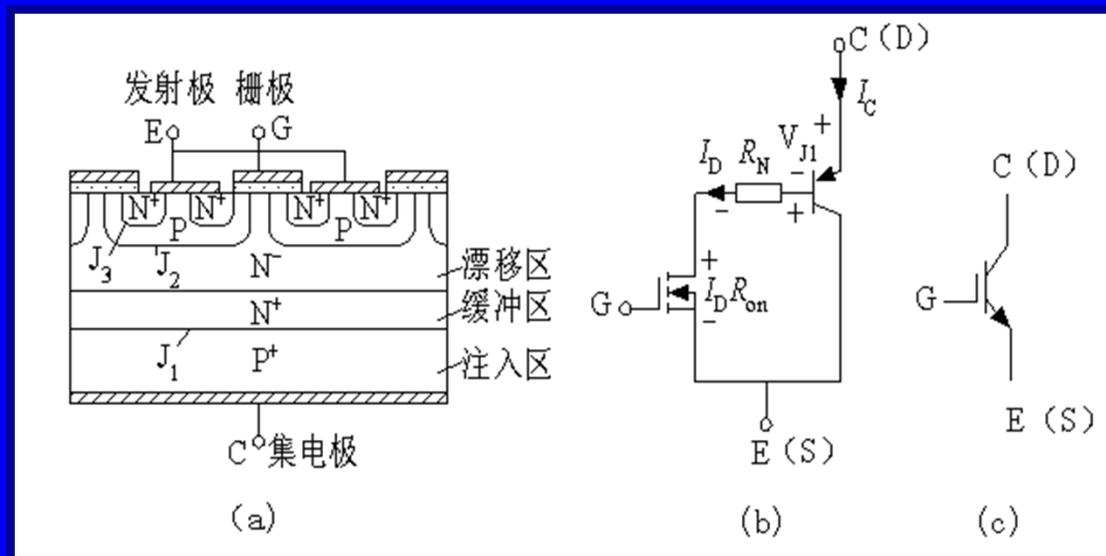
1) 基本结构

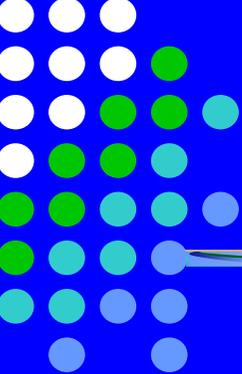
IGBT也是三端器件，三个极为漏极（D）、栅极（G）和源极（S）。

(a) 内部结构

(b) 简化等效电路

(c) 电气图形符号





2) 工作原理

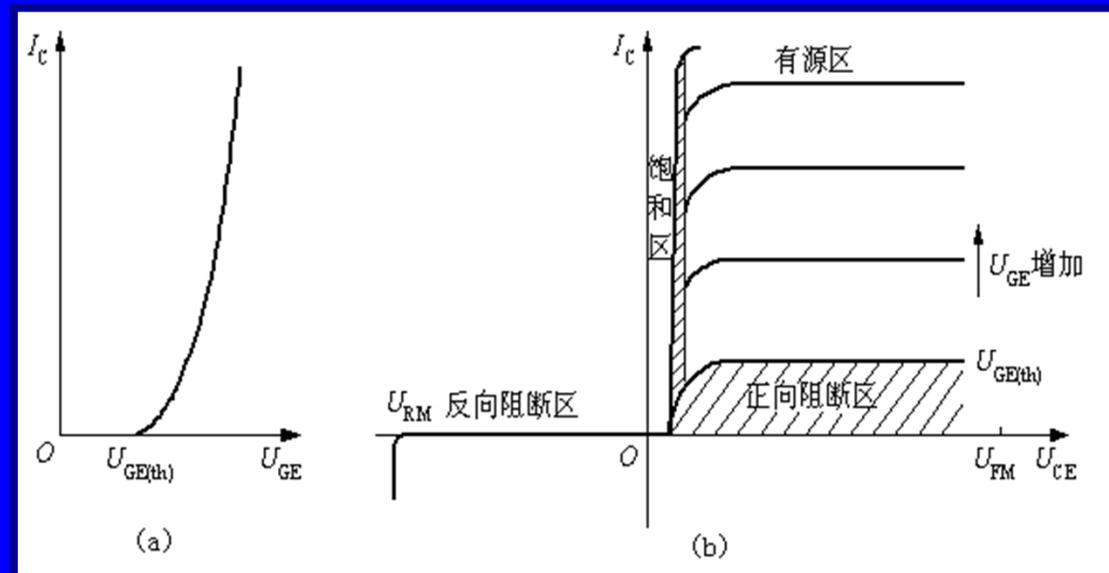
- IGBT的驱动原理与电力MOSFET基本相同，它是一种压控型器件。
- 开通和关断是由栅极和发射极间的电压 U_{GE} 决定的，当 U_{GE} 为正且大于开启电压 $U_{GE(th)}$ 时，MOSFET内形成沟道，并为晶体管提供基极电流使其导通。
- 当栅极与发射极之间加反向电压或不加电压时，MOSFET内的沟道消失，晶体管无基极电流，IGBT关断。

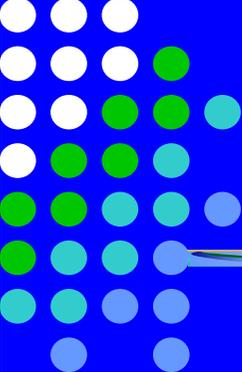
(2) IGBT的基本特性与主要参数

IGBT的转移特性和输出特性

(a) 转移特性

(b) 输出特性



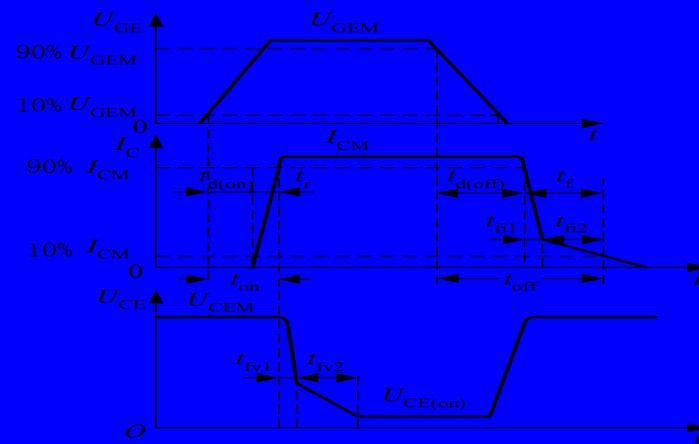


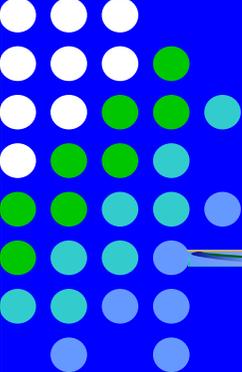
1) IGBT的基本特性

① 静态特性

- IGBT的转移特性，它描述的是集电极电流 I_C 与栅射电压 U_{GE} 之间的关系，与功率MOSFET的转移特性相似。
- 开启电压 $U_{GE}(th)$ 是IGBT能实现电导调制而导通的最低栅射电压。
- $U_{GE}(th)$ 随温度升高而略有下降，温度升高 $1^{\circ}C$ ，其值下降 $5mV$ 左右。在 $+25^{\circ}C$ 时， $U_{GE}(th)$ 的值一般为 $2\sim 6V$ 。
- IGBT的输出特性，也称伏安特性，它描述的是以栅射电压为参考变量时，集电极电流 I_C 与集射极间电压 U_{CE} 之间的关系。

IGBT的开关过程





2) 主要参数

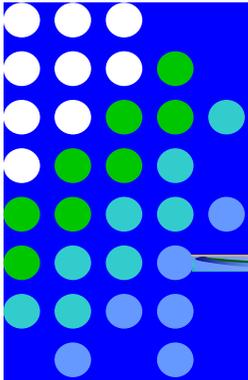
①集电极—发射极额定电压 U_{CES}

②栅极—发射极额定电压 U_{GES}

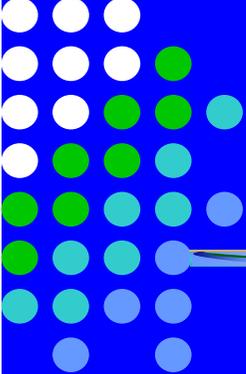
③额定集电极电流 I_C

(3) IGBT的擎住效应和安全工作区

- 从IGBT的结构可以发现，IGBT电流可能发生失控的现象，就像普通晶闸管被触发以后，即使撤消触发信号晶闸管仍然因进入正反馈过程而维持导通的机理一样，因此被称为擎住效应或自锁效应。
- 引发擎住效应的原因，可能是集电极电流过大（静态擎住效应），也可能是最大允许电压上升率 du_{CE}/dt 过大（动态擎住效应），温度升高也会加重发生擎住效应的危险。



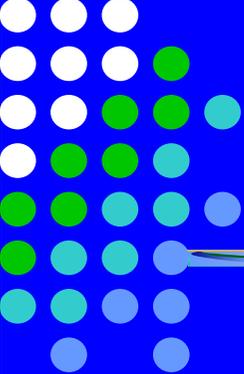
- 动态擎住效应比静态擎住效应所允许的集电极电流小，因此所允许的最大集电极电流实际上是根据动态擎住效应而确定的。
- 根据最大集电极电流、最大集电极间电压和最大集电极功耗可以确定IGBT在导通工作状态的参数极限范围；根据最大集电极电流、最大集射极间电压和最大允许电压上升率可以确定IGBT在阻断工作状态下的参数极限范围，即反向偏置安全工作电压（RBSOA）。

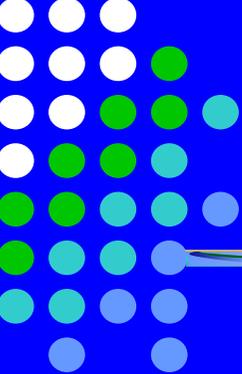


2. IGBT的驱动电路

(1) 对驱动电路的要求

- ① IGBT是电压驱动的，具有一个 $2.5\sim 5.0\text{V}$ 的阈值电压，有一个容性输入阻抗，因此IGBT对栅极电荷非常敏感，故驱动电路必须很可靠，保证有一条低阻抗值的放电回路，即驱动电路与IGBT的连线要尽量短。
- ② 用内阻小的驱动源对栅极电容充放电，以保证栅极控制电压 U_{CE} 有足够陡的前后沿，使IGBT的开关损耗尽量小。另外，IGBT开通后，栅极驱动源应能提供足够的功率，使IGBT不退出饱和而损坏。
- ③ 驱动电路中的正偏压应为 $+12\sim +15\text{V}$ ，负偏压应为 $-2\sim -10\text{V}$ 。

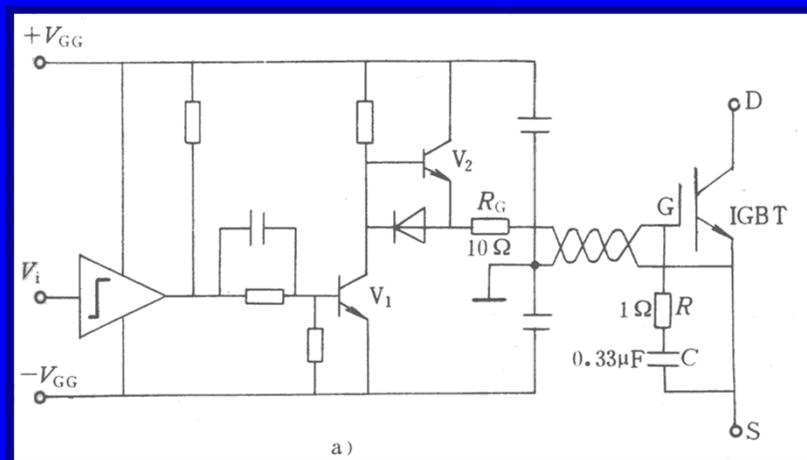
- 
- ④ IGBT多用于高压场合，故驱动电路应整个控制电路在电位上严格隔离。
 - ⑤ 驱动电路应尽可能简单实用，具有对IGBT的自保护功能，并有较强的抗干扰能力。
 - ⑥ 若为大电感负载，IGBT的关断时间不宜过短，以限制 di/dt 所形成的尖峰电压，保证IGBT的安全。



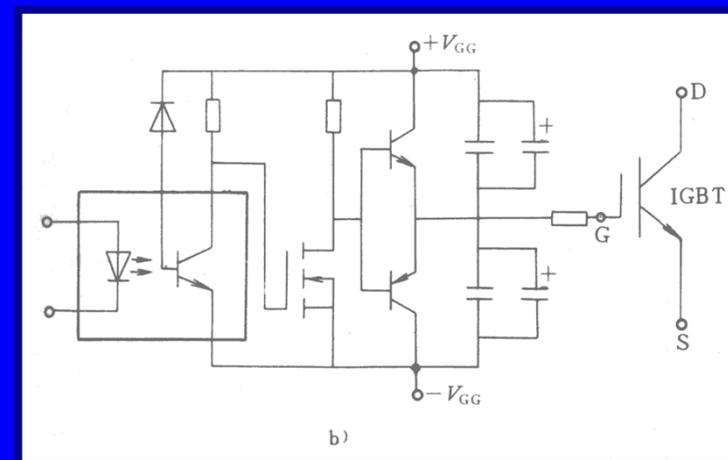
(2) 驱动电路

- 因为IGBT的输入特性几乎与MOSFET相同，所以用于MOSFET的驱动电路同样可以用于IGBT。
- 在用于驱动电动机的逆变器电路中，为使IGBT能够稳定工作，要求IGBT的驱动电路采用正负偏压双电源的工作方式。
- 为了使驱动电路与信号电隔离，应采用抗噪声能力强，信号传输时间端的光耦合器件。
- 基极和发射极的引线应尽量短，基极驱动电路的输入线应为绞合线
- 为抑制输入信号的振荡现象，基极和发射极并联一阻尼网络。
- 驱动电路的输出级采用互补电路的形式以降低驱动源的内阻，同时加速IGBT的关断过程。

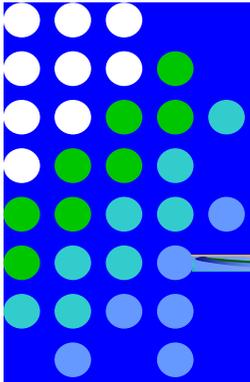
IGBT基极驱动电路



(a) 阻尼滤波



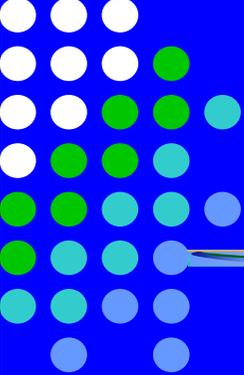
(b) 光电隔离



(3) 集成化驱动电路

IGBT有与其配套的集成驱动电路。

这些专用驱动电路抗干扰能力强，集成化程度高，速度快，保护功能完善，可实现IGBT的最优驱动。



3. IGBT的保护电路

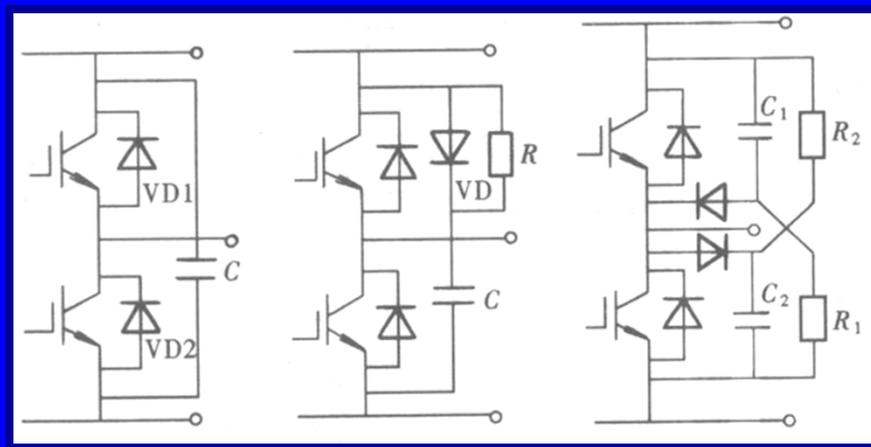
因为IGBT是的保护主要是栅源过电压保护、静电保护、采用R-C-VD缓冲电路等等。

在IGBT电控系统中设置过压、欠压、过流和过热保护单元，以保证安全可靠工作。

必须保证IGBT不发生擎住效应；具体做法是，实际中IGBT使用的最大电流不超过其额定电流。

(1) 缓冲电路

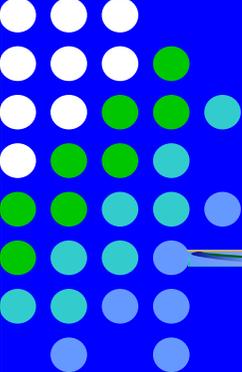
几种用于IGBT桥臂的典型缓冲电路。

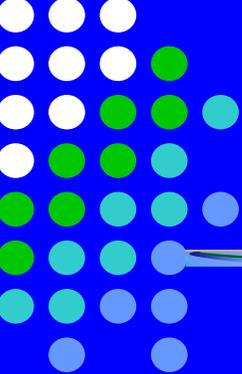


(a)

(b)

(c)

- 
- a) 图是最简单的单电容电路，适用于50A以下的小容量IGBT模块，由于电路无阻尼组件，易产生LC振荡，故应选择无感电容或串入阻尼电阻 R_S ；
 - b) 图是将RCD缓冲电路用于双桥臂的IGBT模块上，适用于200A以下的中等容量IGBT；
 - c) 图中，将两个RCD缓冲电路分别用在两个桥臂上，该电路将电容上过冲的能量部分送回电源，因此损耗较小，广泛应用于200A以上的大容量IGBT。

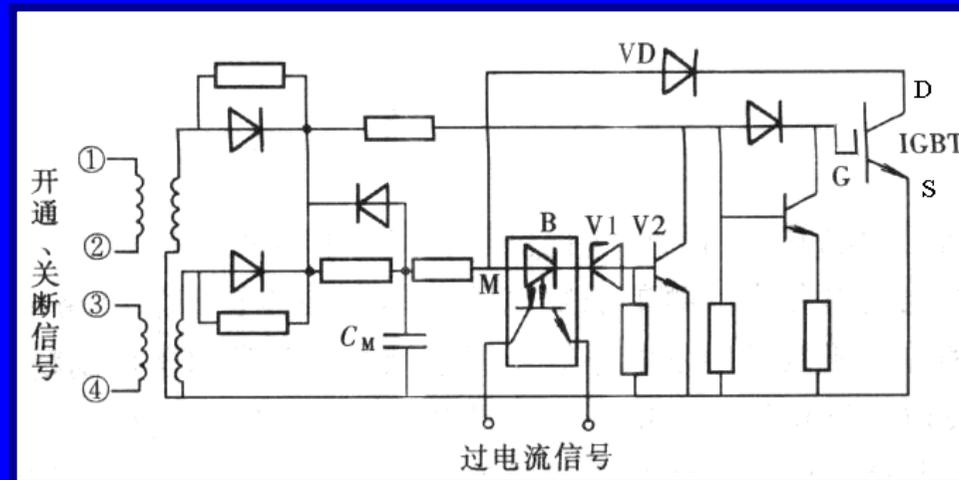


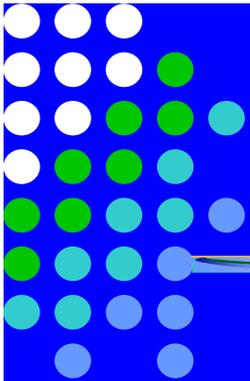
(2) IGBT的保护

- 过电流保护措施主要是检测出过电流信号后迅速切断栅极控制信号来关断IGBT。

实际使用中，要求在检测到过电流后，通过控制电路产生负的栅极驱动信号来关断IGBT。只要IGBT的额定参数选择合理，10内的过电流一般不会使之损坏。

- 采用集电极电压识别方法的过流保护电路。

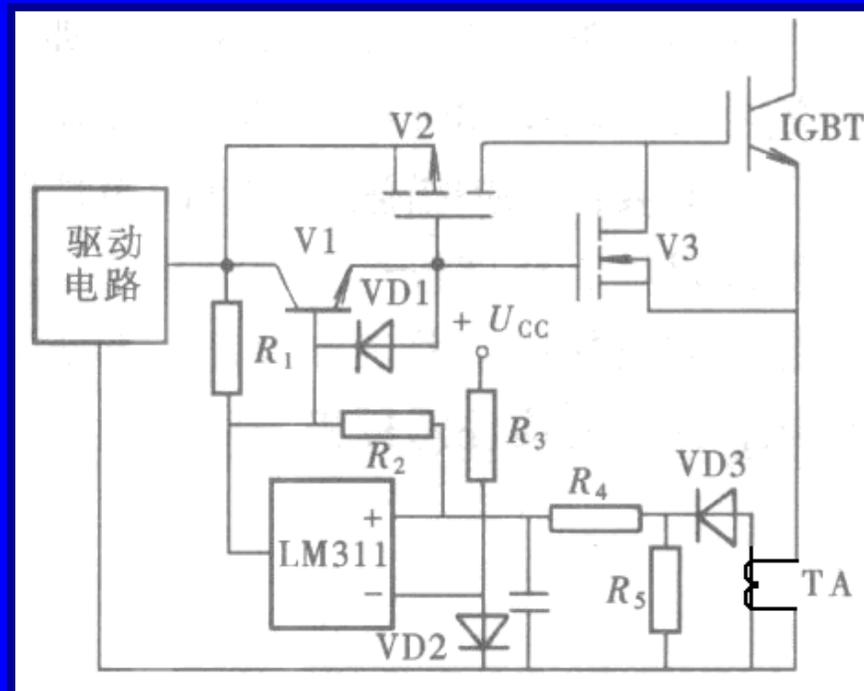




- 集电极电压识别方法的过流保护电路

为了避免IGBT过电流的时间超过允许的短路过电流时间，保护电路应当采用快速光耦合器等快速传送组件及电路。

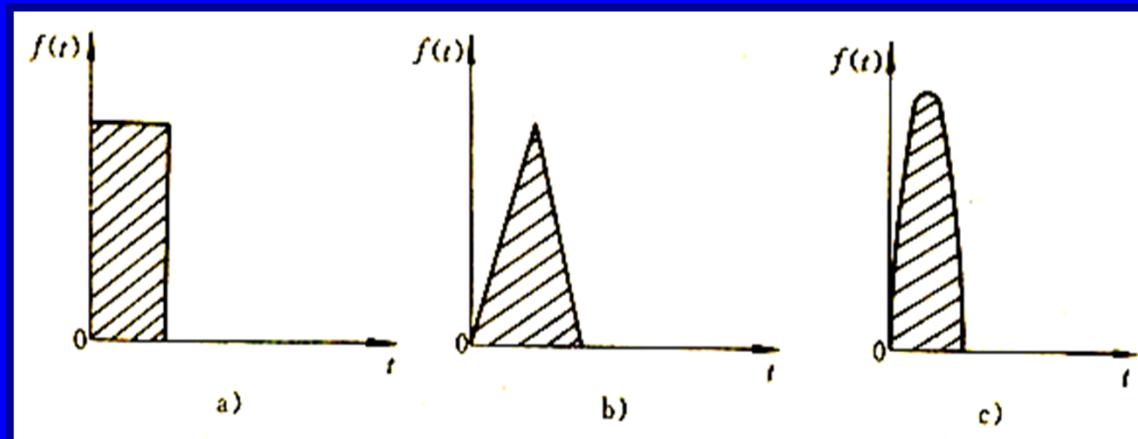
- 检测发射极电流过流的保护电路。

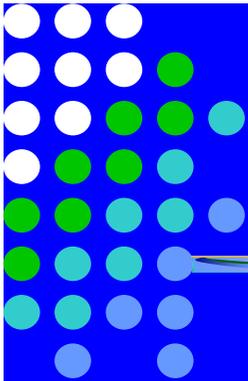


三、脉宽调制（PWM）型逆变电路

1. PWM控制的基本原理

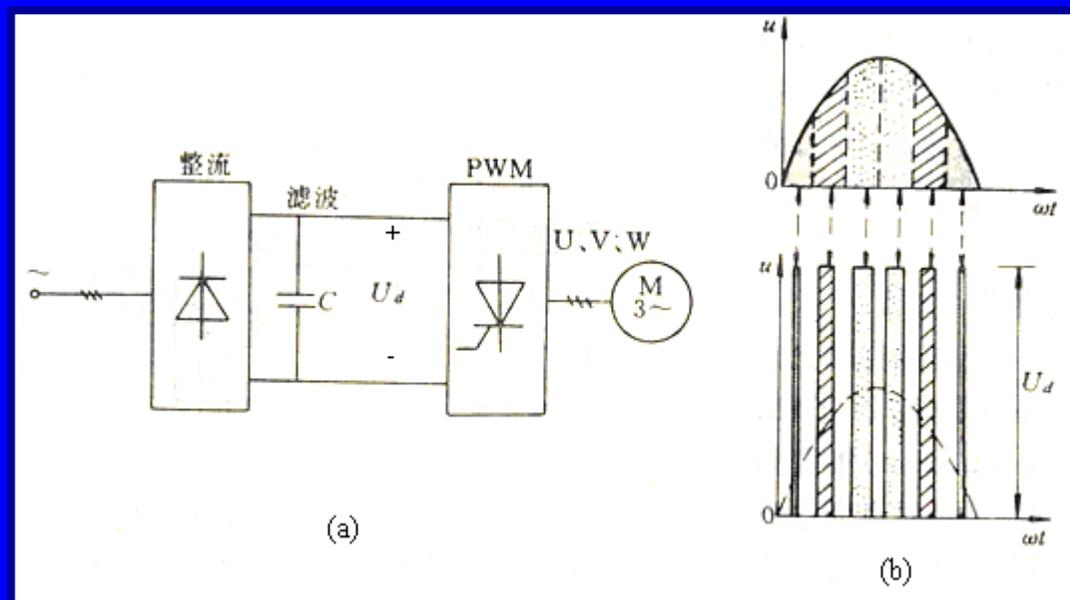
- 在采样控制理论中有一个重要结论：冲量（脉冲的面积）相等而形状不同窄脉冲，分别加在具有惯性环节的输入端，其输出响应波形基本相同，只要脉冲在面积相等，其作用的效果基本相同。
- 形状不同而冲量相同的各种窄脉冲





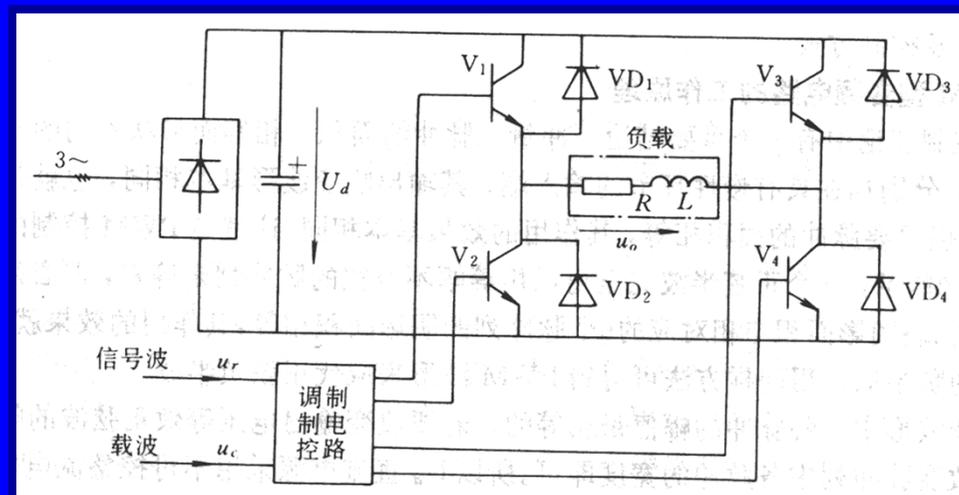
- 在PWM波形中，各脉冲的幅值是相等的，若要改变输出电压等效正弦波的幅值，只要按同一比例改变脉冲列中各脉冲的宽度即可。所以 U_d 直流电源采用不可控整流电路获得，不但使电路输入功率因数接近于1，而且整个装置控制简单，可靠性高。

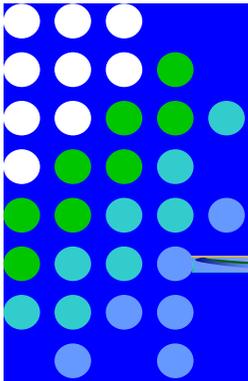
- PWM控制的基本原理示意图



(1) 单相桥式PWM变频电路工作原理

单相桥式PWM变频电路



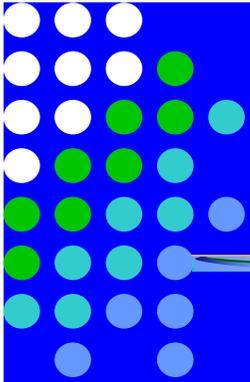


1) 单极性PWM控制方式工作原理

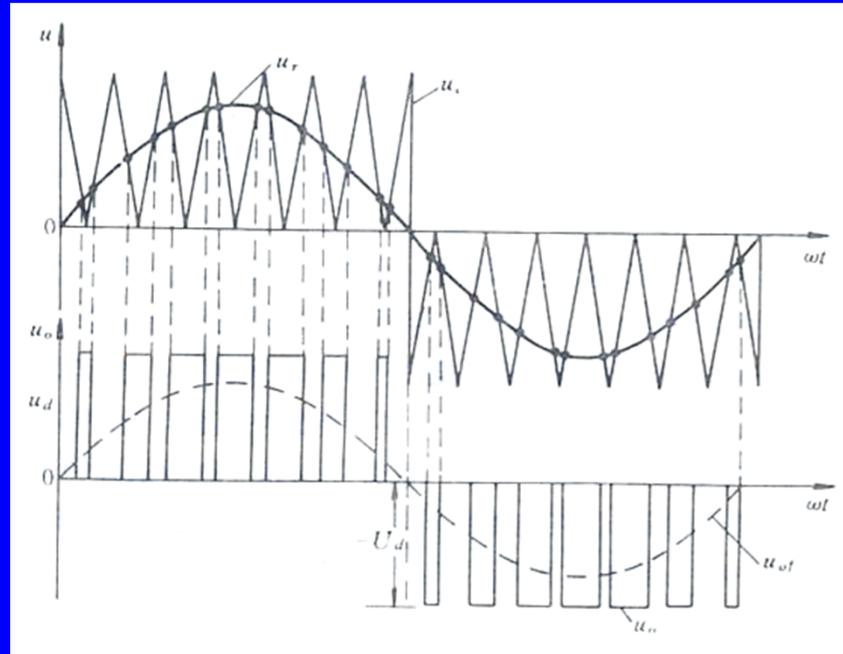
按照PWM控制的基本原理，如果给定了正弦波频率、幅值和半个周期内的脉冲个数，PWM波形各脉冲的宽度和间隔就可以准确地计算出来。

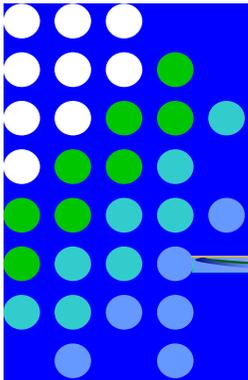
图6-25 单极性PWM控制方式原理波形

- ① 当 u_r 正半周时，让V1一直保持通态，V2保持断态。
- ② 当 u_r 负半周时，让V2一直保持通态，V1保持断态。



单极性PWM控制方式原理波形



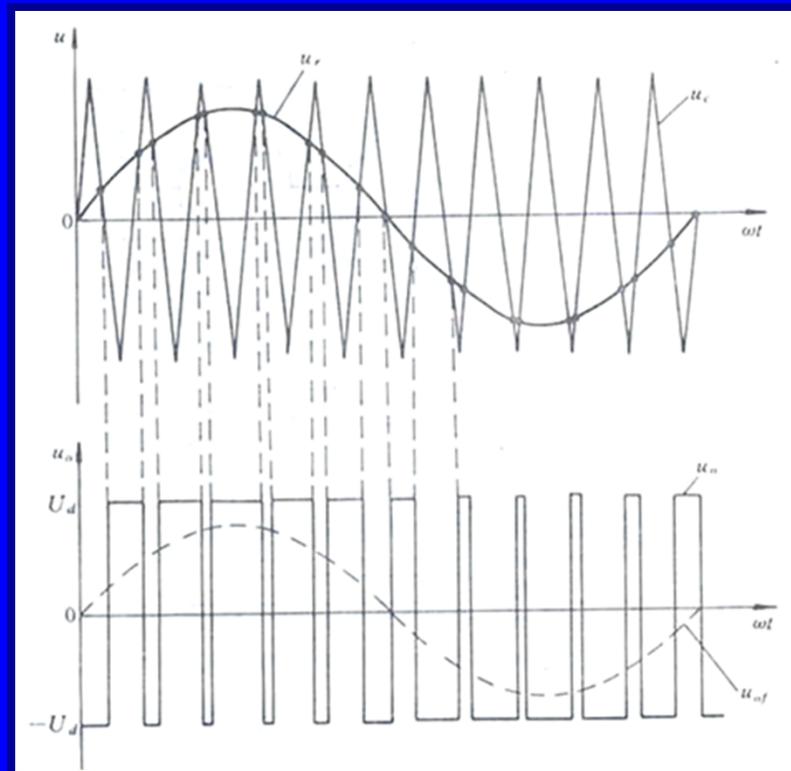


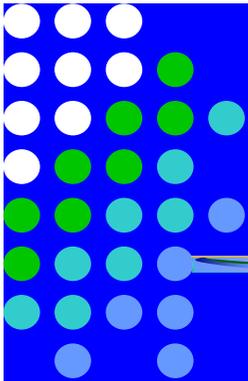
2) 双极性PWM控制方式工作原理

调制信号 ur 仍然是正弦波，而载波信号 uc 改为正负两个方向变化的等腰三角形波，对逆变桥 $V1 \sim V4$ 的控制方法是：

- ① 在 ur 正半周，当 $ur > uc$ 的各区间，给 $V1$ 和 $V4$ 导通信号，而给 $V2$ 和 $V3$ 关断信号，输出负载电压 $uo = Ud$ 。
- ② 在 ur 负半周，当 $ur < uc$ 的各区间，给 $V2$ 和 $V3$ 导通信号，而给 $V1$ 和 $V4$ 关断信号，输出负载电压 $uo = -Ud$ 。

双极性PWM控制方式原理波形



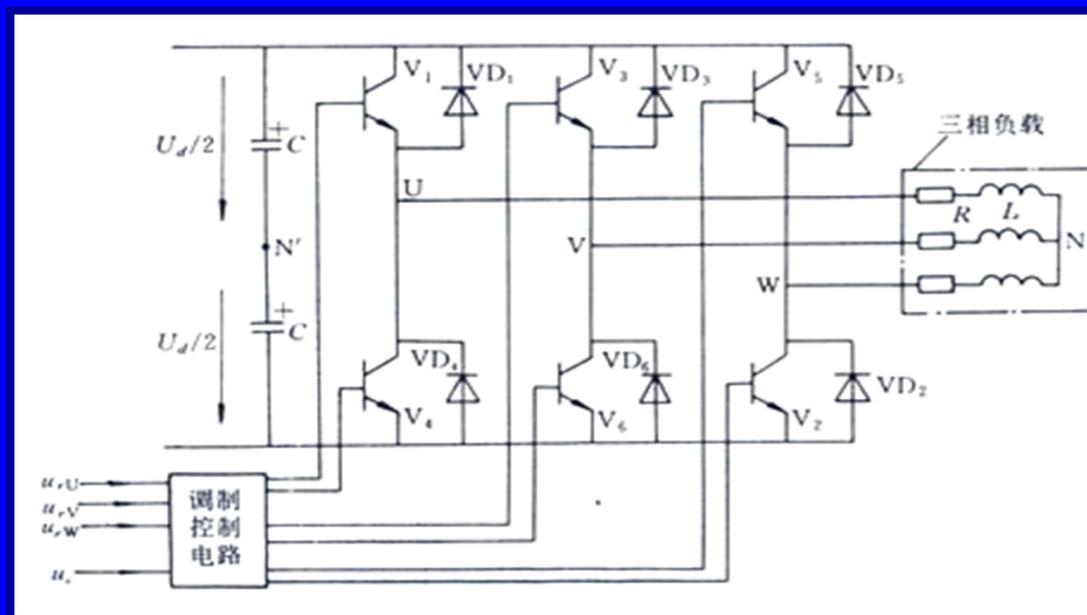


控制方式特点是：

- ①同一平桥上下两个桥臂晶体管的驱动信号极性恰好相反，处于互补工作方式。
- ②电感性负载时，若V1和V4处于通态，给V1和V4以关断信号，则V1和V4立即关断，而给V2和V3以导通信号，由于电感性负载电流不能突变，电流减小感生的电动势使V2和V3不可能立即导通，而是二极管VD2和VD3导通续流，如果续流能维持到下一次V1与V4重新导通，负载电流方向始终没有变，V2和V3始终未导通。只有在负载电流较小无法连续续流情况下，在负载电流下降至零，VD2和VD3续流完毕，V2和V3导通，负载电流才反向流过负载。

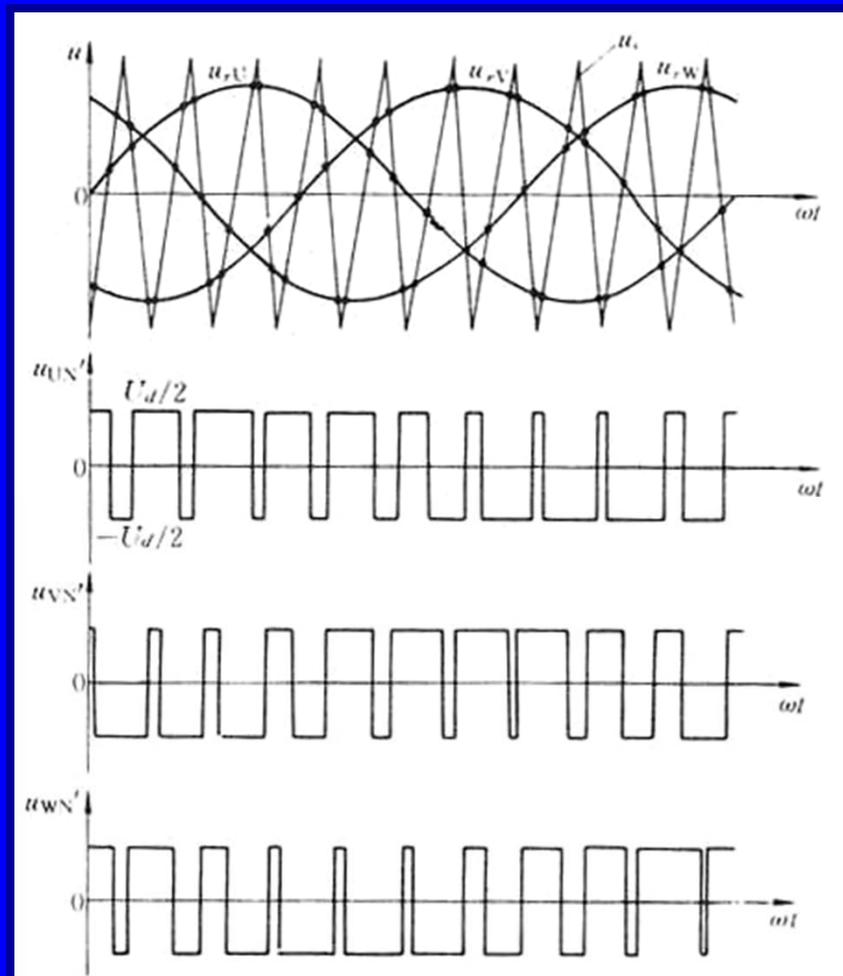
(2) 三相桥式PWM变频电路的工作原理

三相桥式PWM变频电路

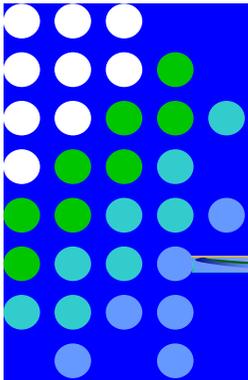


电路采用GTR作为电压型三相桥式逆变电路的自关断开关器件，负载为感性。

三相桥式PWM变频波形



稍选课件



- 三相桥式PWM变频电路只能选用双极性控制方式，工作原理：
 - 三相调制信号 urU 、 urV 和 urW 为相位依次相差 120° 的正弦波，而三相载波信号是公用一个正负方向变化的三角形波 uc 。U、V和W相自关断开关器件的控制方法相同。
 - U、V和W三相之间的线电压PWM波形以及输出三相相对于负载中性点N的相电压PWM波形，可按下列计算式求得

$$u_{UV} = u_{UN'} - u_{VN}$$

– 线电压

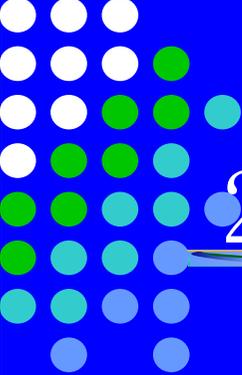
$$u_{VW} = u_{VN'} - u_{WN'} \quad u_{WU} = u_{WN'} - u_{UN'}$$

– 相电压

$$u_{UN} = u_{UN'} - \frac{1}{3}(u_{UN'} + u_{VN'} + u_{WN'})$$

$$u_{VN} = u_{VN'} - \frac{1}{3}(u_{UN'} + u_{VN'} + u_{WN'})$$

$$u_{WN} = u_{WN'} - \frac{1}{3}(u_{UN'} + u_{VN'} + u_{WN'})$$



2. PWM变频电路的调制控制方式

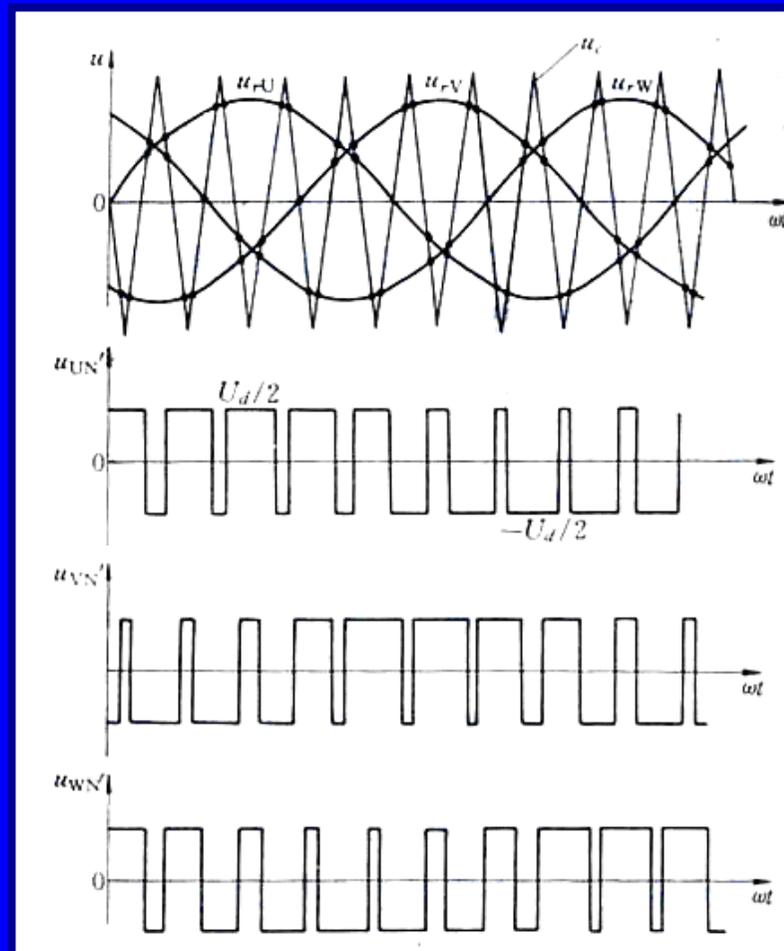
在PWM变频电路中，载波频率 f_c 与调制信号频率 f_r 之比称为载波比，即 $N=f_c/f_r$ 。

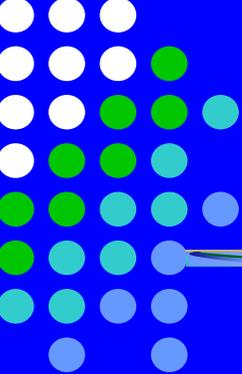
PWM逆变电路有异步调制和同步调制两种控制方式：

(1) 异步调制控制方式

当载波比 N 不是3的整数倍时，载波与调制信号波就存在不同步的调制，就是异步调制三相PWM。

同步调制的三相PWM变频波形



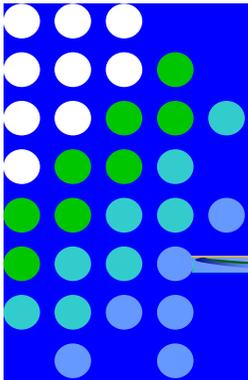


异步调制控制方式的特点是：

- ① 控制相对简单。
- ② 在调制信号的半个周期内，输出脉冲的个数不固定，脉冲相位也不固定，正负半周的脉冲不对称，而且半周期内前后1/4周期的脉冲也不对称，输出波形就偏离了正弦波。
- ③ 载波比 N 愈大，半周期内调制的PWM波形脉冲数就愈多，正负半周不对称和半周

内前后1/4周期脉冲不对称的影响就愈大，输出波形愈接近正弦波。

所以在采用异步调制控制方式时，要尽量提高载波频率 f_c ，使不对称的影响尽量减小，输出波形接近正弦波。



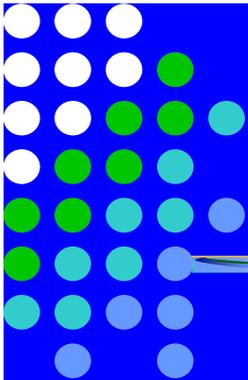
(2) 同步调制控制方式

在三相逆变电路中当载波比 N 为3的整数倍时，载波与调制信号波能同步调制。

同步调制控制方式的特点是：

- ①控制相对较复杂，通常采用微机控制。
- ②在调制信号的半个周期内，输出脉冲的个数是固定不变的，脉冲相位也是固定的。正负半周的脉冲对称，而且半个周期脉冲排列其左右也是对称的，输出波形等效于正弦。

当逆变电路要求输出频率 f_o 很低时，由于半周期内输出脉冲的个数不变，所以由PWM调制而产生 f_o 附近的谐波频率也相应很低，这种低频谐波通常不易滤除，而对三相异步电动机造成不利影响。



3. SPWM波形的生成

SPWM的控制就是根据三角波载波和正弦调制波用比较器来确定它们的交点，在交点时刻对功率开关器件的通断进行控制。

四、变频器的应用

1. 变频后异步电动机的机械特性

改变电源频率 f 会引起异步电动机机械特性怎样改变呢？

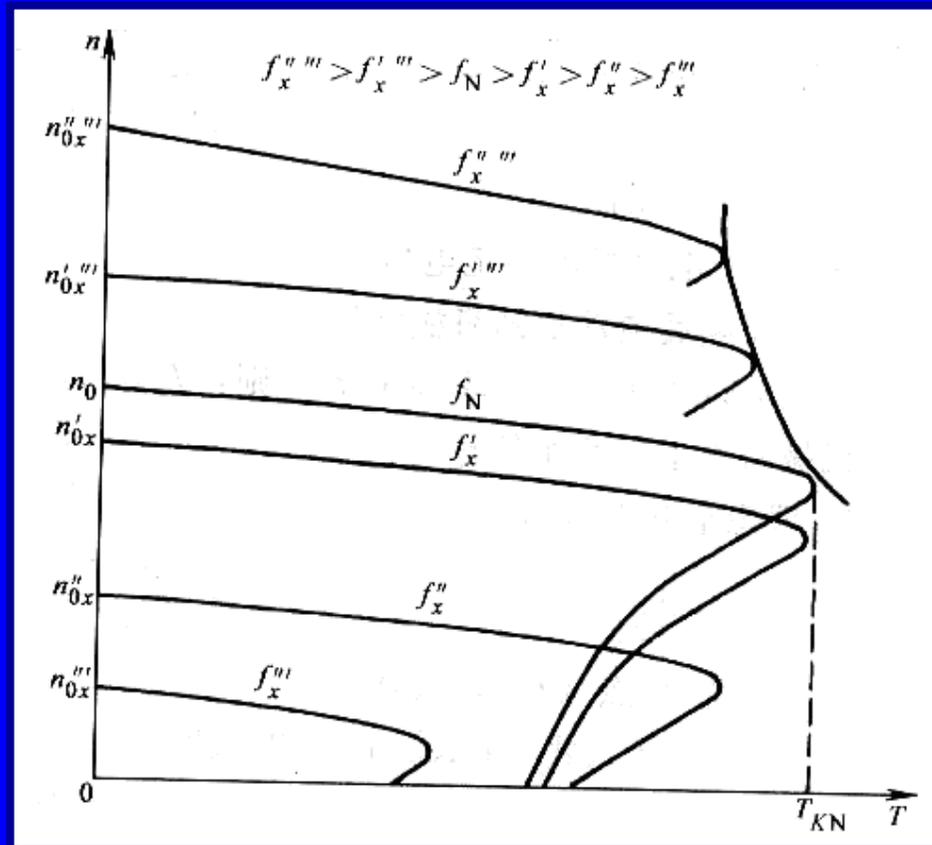
调节频率时通过几个特殊点来得出机械特性的大致轮廓。

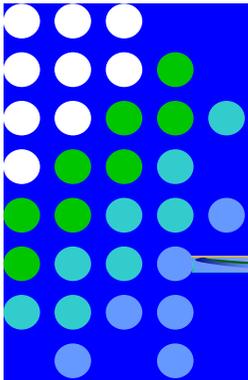
(1) 理想空载点 $(0, n_0)$
$$n_0 = \frac{60f_1}{p}$$

(2) 最大转矩点 (T_m, n)

$$T_m = \frac{3pU_1^2}{4\pi f_1 (R_s + \sqrt{R_s^2 + (L_{ls} + L'_{lr})^2})^2}$$

三相异步电动机变频调速机械特性





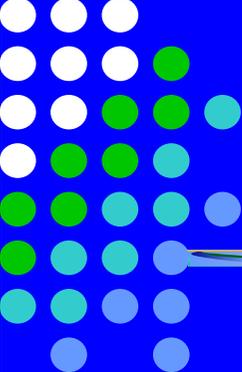
(1) 基频以下时的机械特性

- 1) 理想空载转速: $f_1 \downarrow \rightarrow n_0 \downarrow$
- 2) 最大转矩:

最大转矩是确定机械特性的关键点，它们的特征如下：

从额定频率向下调频时，理想空载转速减小，最大转矩逐渐减小。

- ② 频率在额定频率附近下调时，最大转矩减少很少，可以近似认为不变；频率调得很低时，最大转矩减小很快。
- ③ 频率不同时，最大转矩点对应的转差 Δ_{rm} 变化不是很大，所以稳定工作区的机械特性基本是平行的。



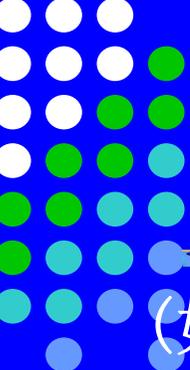
(2) 基频以上时的机械特性

在基频以上调速时，频率从额定频率往上调节，但定子电压不可能超过额定电压，只能保持额定电压。

1) 理想空载转速： $f_1 \uparrow \rightarrow n_0 \uparrow$

2) 最大转矩：

- ① 额定频率以上调频时，理想空载转速增大，最大转矩大幅减小。
- ② 最大转矩点对应的转差 Δm 几乎不变，但由于最大转矩减小很多，所以机械特性斜度加大，特性变软。



(3) 变频调速特性的特点

1) 恒转矩的调速特性

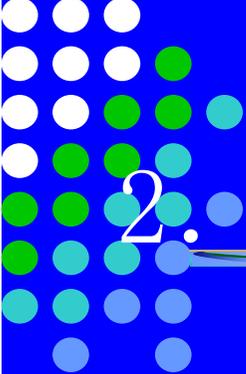
(如提升机的行走机构、皮带运输机、轧钢机的平行移动机构等都属于恒转矩负载)

在频率小于额定频率的范围内，经过补偿后的机械特性的最大转矩基本为一定值，因此这区域基本为恒转矩区域，适合带恒转矩的负载。

2) 恒功率的调速特性

(负载转矩与转速成反比，如轧钢机的主传动机构)

在频率大于额定频率的范围内，机械特性的最大电磁功率基本为一定值，电动机近似具有恒功率的调速特性，适合带恒功率的负载。



2. 变频器的控制方式

控制方式大体可分：

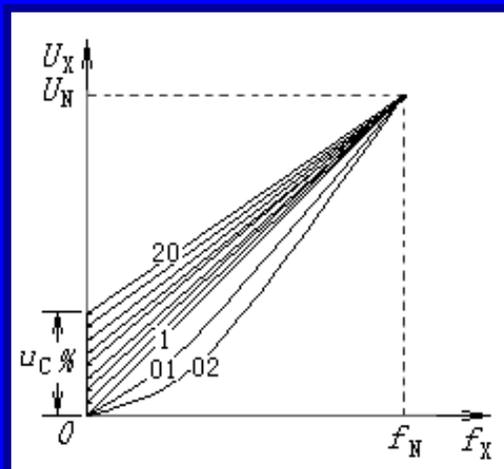
- V /F控制方式
- 转差频率控制
- 矢量控制

(1) V/F控制

V/F控制是一种比较简单的控制方式。

基本特点是对变频器的输出电压和频率同时进行控制，通过提高 U/f 比来补偿频率下调时引起的最大转矩下降而得到所需的转矩特性。

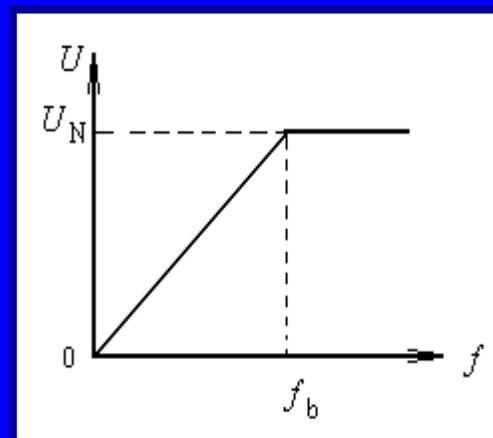
变频器的 U/f 控制曲线

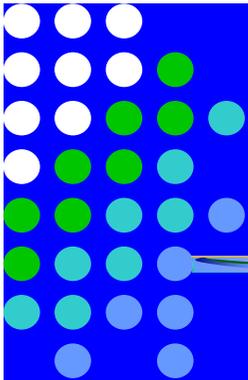


为了方便用户选择 U/f 比，变频器通常都是以 U/f 控制曲线的方式提供给用户，让用户选择。

① 基本 U/f 控制曲线

基本 U/f 线





② 转矩补偿的 U/f 曲线

特点：在 $f=0$ 时，不同的 U/f 曲线电压补偿值不同。

适用负载：经过补偿的 U/f 曲线适用于低速时需要较大转矩的负载，且根据低速时负载的大小来确定补偿程度，选择 U/f 线。

③ 负补偿的 U/f 曲线

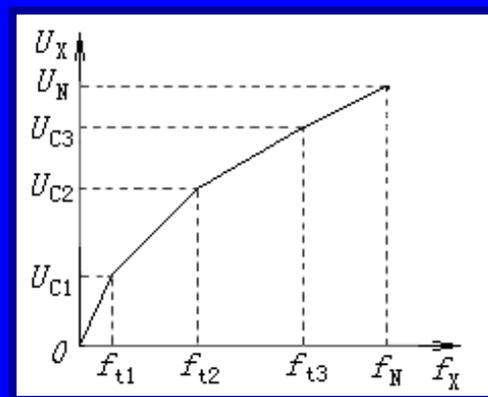
特点：低速时， U/f 线在基本 U/f 曲线的下方。

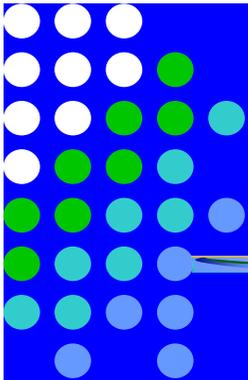
适用负载：主要适用于风机、泵类的平方率。由于这种负载的阻转矩和转速的平方成正比，即低速时负载转矩很小，即使不补偿，电动机输出的电磁转矩都足以带动负载。

④ U/f 比分段补偿线

特点： U/f 曲线由几段组成，每段的 U/f 值均由用户自行给定。分段 U/f 比的补偿线

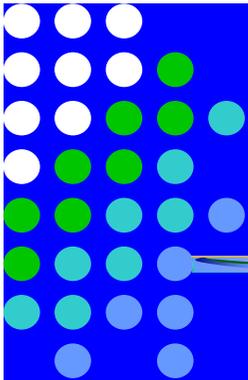
适用负载：负载转矩与转速大致成比例的负载。在低速时补偿少，在高速时补偿程度需要加大。





2) 选择 U/f 控制曲线时常用的操作方法

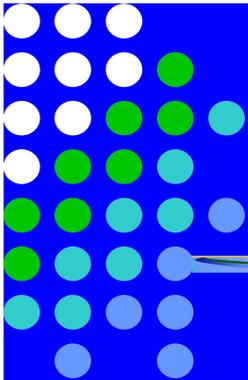
- ① 将拖动系统连接好，带以最重的负载。
- ② 根据所带负载的性质，选择一个较小的 U/f 曲线，在低速时观察电动机的运行情况，如果此时电动机的带负载能力达不到要求，需将 U/f 曲线提高一档。依次类推，直到电动机在低速时的带负载能力达到拖动系统的要求。
- ③ 如果负载经常变化，在②中选择的 U/f 曲线，还需要在轻载和空载状态下进行检验。方法是：将拖动系统带以最轻的负载或空载，在低速下运行，观察定子电流的大小，如果过大或者变频器调闸，说明原来选择的 U/f 曲线过大，补偿过分，需要适当调低 U/f 曲线。



(2) 转差频率控制

转差频率控制方式是一种对V/F控制的一种改进。

利用了速度传感器的速度闭环控制，并在一定程度上对输出转矩进行控制在负载发生较大变化时，仍能达到较高的速度精度和具有较好的转矩特性。



(3) 矢量控制

矢量控制的基本思想是将异步电动机的定子电流在理论上分成两部分：产生磁场的电流分量（磁场电流）和与磁场相垂直、产生转矩的电流分量（转矩电流），并分别加以控制。

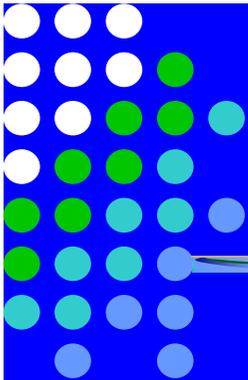
使用矢量控制的要求：

- 1) 矢量控制的设定
- 2) 矢量控制的要求
- 3) 使用矢量控制的注意事项

在使用矢量控制时，可以选择是否需要速度反馈；频率显示以给定频率为好。

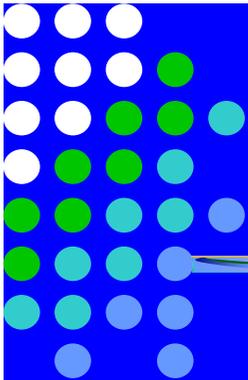
(4) 三种控制方式的特性比较

| 名称 | | V/F控制 | 转差频率控制 | 矢量控制 |
|--------------|----------|---|---|---|
| 加减速特性 | | 急加减速控制有限，4象 限运转时在零速度附近有 空载时间，过电流抑制能力小 | 急加减速控制有限度（比 U/f控制有提高），4象 限运转时通常在零速度附近 有空载时间，过电流抑制 能力中 | 急加减速时的控制无限 度，可以进行连续4象 限运转，过电流抑制能力 |
| 速度 控 制 | 范围 | 1: 10 | 1: 20 | 1: 100以上 |
| | 响应 | — | 5~10rad/s | 30~100rad/s |
| | 定常精 度 | 根据负载条件转差频率发 生变动 | 与速度检出精度、控制运 算精度有关 | 模拟最大值的0.5% 数字最大值的0.05% |
| 转矩控制 | | 原理上不可能 | 除车辆调速等外，一般不 适用 | 适用 可以控制静止转矩 |
| 通用性 | | 基本上不需要因电动机特 性差异进行调整 | 需要根据电动机特性给定 转差频率 | 按电动机不同的特性需 要给定磁场电流，转矩 电流、转差频率等多个 控制量 |
| 控制构成 | | 最简单 | 较简单 | 稍复杂 |



(5) 直接转矩控制

直接转矩控制是利用空间矢量坐标的概念，在定子坐标系下分析交流电动机的数学模型，控制电动机的磁链和转矩，通过检测定子电阻来达到观测定子磁链的目的，因此省去了矢量控制等复杂的变换计算，系统直观、简洁，计算速度和精度都比矢量控制方式有所提高。

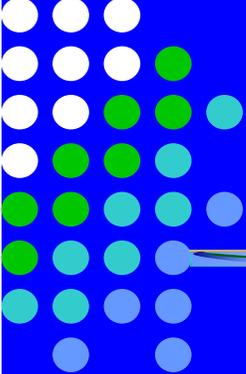


(6) 最优控制

最优控制在实际中的应用根据要求的不同而有所不同，可以根据最优控制的理论对某一个控制要求进行个别参数的最优化。

(7) 其他非智能控制方式

在实际应用中，还有一些非智能控制方式在变频器的控制中得以实现，例如自适应控制、滑模变结构控制、差频控制、环流控制、频率控制等。



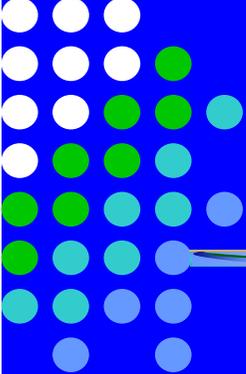
3. 变频器的控制回路

向变频器的主回路提供控制信号的回路，称为控制回路。

(1) 控制回路的构成

- 1) 运算回路
- 2) 电压/电流检测回路
- 3) 驱动回路
- 4) 速度检测回路
- 5) 保护回路

(2) 模拟控制与数字控制



(3) 保护回路

1) 变频器的保护

① 瞬时过电流保护

过载保护、再生过电压保护、瞬时停电保护

接地过电流保护、冷却风机异常

2) 异步电动机的保护

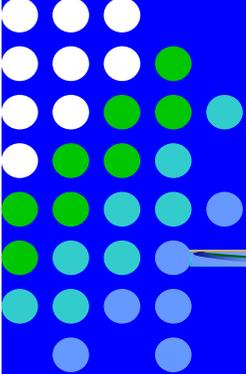
① 过载保护

② 超频（超速）保护

3) 其他保护

① 防止失速过电流

② 防止失速再生过电压



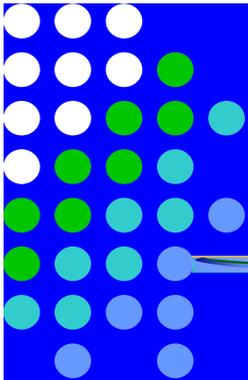
4. 变频器的选择和容量计算

(1) 负载特性

1) 负载转矩的特性

负载被传动时要求电机产生转矩，其大小随负载各种条件而变化。

- ① 恒转矩负载，如挤压机、传送带等。
- ② 平方转矩负载，如泵、风机等。
- ③ 恒功率（反比例转矩）负载，如卷取机、机床主轴等。



2) 负载的起动转矩

额定工作点的转矩为100%，则负载起动转矩值大体如下：

风扇、鼓风机：30%以下；

挤压机、压缩机：150%以上。

3) PUGD²(per unit GD²)

旋转体惯性的大小多用GD²表示，GD²是决定旋转体加减速特性的重要因素。

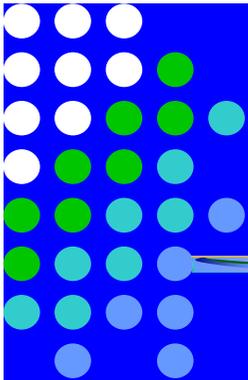
PUGD²的值：
$$PUGD^2 = (GD^2 n_N^2) / (365 P_N) \times 10^{-2}$$

式中：GD²—旋转体的飞轮转矩 (N·m²)；

n_N —额定转速 (r/min)；

P_N —电机额定输出功率 (KW)。

精选课件



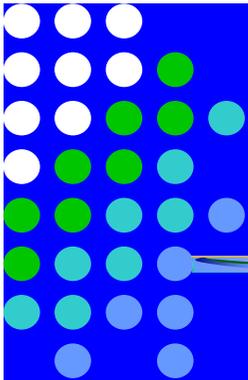
4) 过负载

5) 齿轮的作用

当电机的转速不能完全满足负载时，还需要齿轮配合调速。

通常，在下列场合可考虑使用齿轮：

- ①机械的额定转速比标准电机的极数与50HZ所决定的转速低时。
- ②机械的所需的最高转速比变频器最高频率决定的电机转速高时。
- ③仅使用变频器最低频率到50HZ额定频率的范围，电机转速的最高/最低的比不足时。
- ④增大起动转矩时。



6) 前馈控制与反馈控制

调速系统控制方式可分为前馈控制和反馈控制两种。

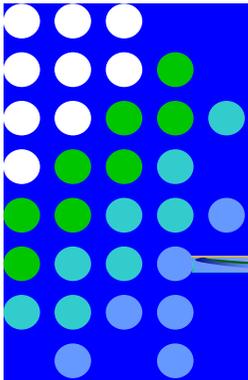
前馈控制与反馈控制特点

| 名称 | 前馈控制 | 反馈控制 |
|------|-------|-------|
| 控制回路 | 相对简单 | 复杂 |
| 反馈 | 无（开环） | 有（闭环） |
| 抗干扰性 | 差 | 强 |
| 传感器 | 不需要 | 需要 |
| 精度 | 相对较低 | 高精度 |

(2) 变频器类型的选择

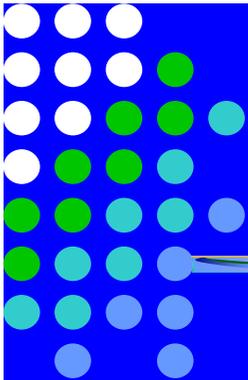
1) 当调速系统控制对象是改变电机速度时，其变频器的选择，需考虑表中的几点。

| 控制对象 | 通用变频器 | 转差频率控制 | 矢量控制变频器 |
|--------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|
| 转矩 | 选用满足该转矩的机种 | 选用满足该转矩的机种 | 选用满足该转矩的机种 |
| 加减速时间 | 加速时必须限制频率指令的上升率 | 在速度指令急速改变时，本身能将电流限制在容许值以内 | 在速度指令急速改变时，本身能将电流限制在容许值以内 |
| 速度控制范围 | 必须选择能覆盖所需速度控制范围的机种 | 必须选择能覆盖所需速度控制范围的机种 | 必须选择能覆盖所需速度控制范围的机种 |
| 避免危险速度下的运转 | 选择具有频率跳变回路的机种 | 选择具有频率跳变回路的机种 | 选择具有频率跳变回路的机种 |
| 速度传感器和调节器的使用 | 考虑温度漂移和干扰的影响 | 考虑温度漂移和干扰的影响 | 考虑温度漂移和干扰的影响 |
| 高精度 | 选用高频率分辨率的机种 | 选用高频率分辨率的机种 | 选用高频率分辨率的机种 |



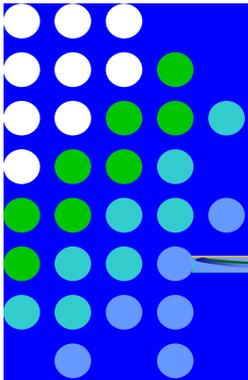
2) 当调速系统控制对象是控制负载的位置或角度时，其变频器的选择，需考虑：

| 控制方式 | 通用变频器 | 通用伺服机用变频器 | 专用伺服机用变频器 |
|-------------|--|---------------------|---------------------|
| 开环位置控制方式 | 通用变频器； 通用变频器+制动单元； 通用变频器+制动单元+机械制动器。 | 不需要 | 不需要 |
| 手动决定位置的控制方式 | 满足 | 不需要 | 不需要 |
| 闭环位置控制方式 | 选用转矩增益大的、带有齿隙补偿功能的机种 | 必须选择能覆盖所需速度控制范围的变频器 | 必须选择能覆盖所需速度控制范围的变频器 |
| 精度 | 1mm | 10 μ m | 1 μ m |



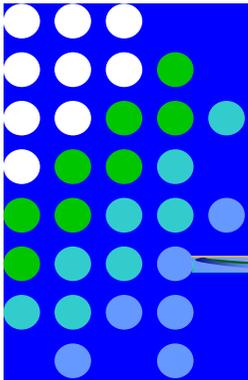
3) 对于造纸、钢铁、胶卷等工厂中处理薄带状加工物的设备，由于产品质量上的要求，必须进行使生产中加工物的张力为一定值的控制。变频器的选择需考虑的几点。

| 控制方式 | 变频器 |
|---------------|---|
| 采用转矩电流控制的张力控制 | 用于移动物体的变频器可采用通用变频器；用于施加与旋转方向相反的转矩的变频器采用矢量控制的变频器，该机种必须要有速度限制功能，有通常的速度控制功能。 |
| 采用拉延的张力控制 | 使用具有速度反馈控制的机种，应具有制动功能。 |
| 采用调节辊的张力控制 | 通用变频器 |
| 采用张力检测器的张力控制 | 矢量控制的变频器 |



4) 对于要求调节响应快、精度高时变频器的选择的几点考虑。

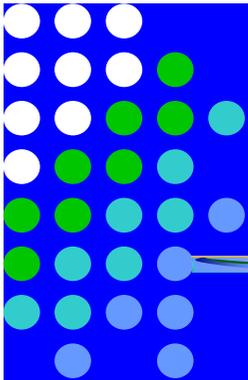
| 控制对象 | 变频器 |
|----------|---|
| 要求响应快的系统 | 对于PWM控制的变频器要求开关频率为1~3KHz，能满足机床等用途的变频器，该机种要有再生制动功能；通用变频器不常使用；转差频率控制的变频器响应速度较快，但不能满足更快的要求； ； 矢量控制的变频器可以满足更快的要求，该机种主回路的开关频率要高。 |
| 要求高精度的系统 | 采用全数字控制的变频器，该机种的数据运算在16位以上。 |



5) 负负载的变频器的选择的几点考虑。

| 控制方式 | 变频器 |
|------------|--|
| 再生过压失速防止控制 | 具有再生制动功能的变频器，该机种的制动力矩为额定转矩的10%~20%左右，设置再生过压失速防止功能，响应速度快。 |
| 制动单元 | 对于小容量的变频器，选择有内藏此功能的机种，也可在外部附加。 对于大容量的变频器，控制单元和电阻单元分设，响应速度快。 |
| 再生整 | 选用带有再生整流器的专用变频器 |

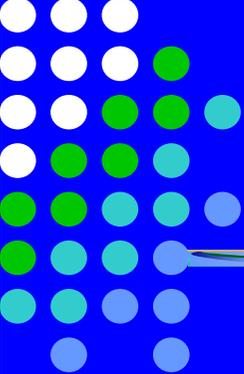
精选课件



6) 冲击负载

冲击负载的变频器的选择

| 控制对象 | 变频器 |
|------------|--|
| 再生过压失速防止控制 | 具有再生制动功能的变频器，该机种的制动力矩为额定转矩的10%~20%左右，设置再生过压失速防止功能，响应速度快。 |
| 制动单元 | 对于小容量的变频器，选择有内藏此功能的机种，也可在外部附加。 对于大容量的变频器，控制单元和电阻单元分设，响应速度快。 |
| 再生整流器 | 选用带有再生整流器的专用变频器 |



(3) 变频器的容量选择

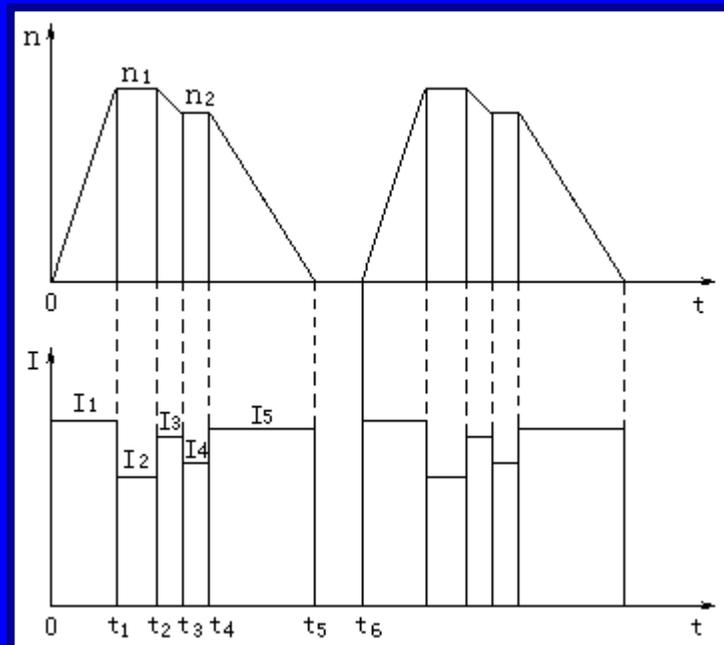
1) 根据电动机电流选择变频器容量

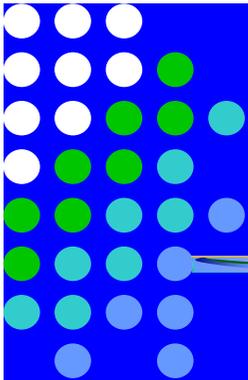
① 连续运行的场合

如按电机实际运行中的最大电流来选定变频器时，变频器的容量可以适当缩小。

② 加减速时变频器容量的选定

运行曲线图

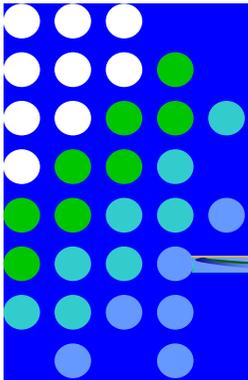




③ 频繁加减速运转时变频器容量的选定

根据运行曲线图，加速、恒速、减速等各种运行状态下的电流值，按下式进行选定：

$$I_{NV} = [(I_1t_1 + I_2t_2 + I_3t_3 + I_4t_4 + I_5t_5) / (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6)]K$$

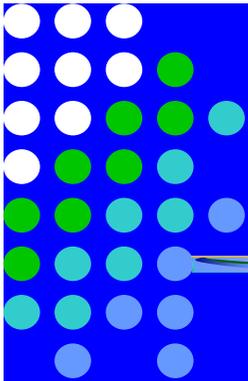


- ④ 电流变化不规则的场合
- ⑤ 电机直接起动时所需变频器容量的选定
- ⑥ 多台电机共用一台变频器供电
- ⑦ 容量选择注意事项
 - (a) 并联追加投入起动
 - (b) 大过载容量
 - (c) 轻载电机
- (4) 根据输出电压选择变频器
变频器输出电压可按电机额定电压选定。
- (5) 根据输出频率选择变频器
变频器的最高输出频率根据机种不同而有很大不同，有50/60HZ、120 HZ、 240 HZ或更高。

5. 变频器的运行方式

变频器的运行方式

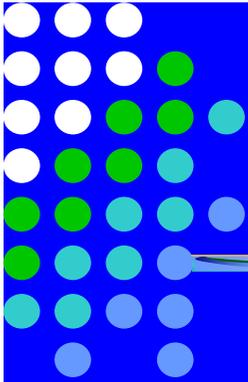
| 序号 | 运行方式 | 序号 | 运行方式 |
|----|---------|----|-------------------|
| 1 | 正反转运行 | 8 | 同步运行 |
| 2 | 远距离操作运行 | 9 | 同速运行 |
| 3 | 寸动运行 | 10 | 带制动器的电机运行 |
| 4 | 3速选择运行 | 11 | 变极电机的运行 |
| 5 | 自动运行 | 12 | 变频器异常时自动切换到工频电源运行 |
| 6 | 并联运行 | 13 | 工频电源自动切换到变频器运行 |
| 7 | 比例运行 | 14 | 瞬停再起启动运行 |



(1) 正反转运行

变频器有的本身基本上都有正反转功能，使用注意事项：

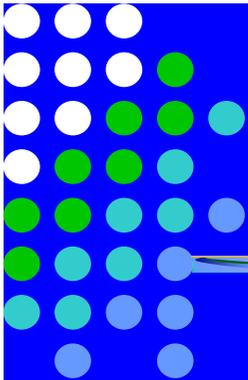
- 1) 变频器的保护功能动作时，可切断电源或接通复位端使变频器复位。
- 2) 时间继电器的整定时间要超过电机停止时间或变频器的减速时间。
- 3) 对于带有接触器进行输出切换的回路，正反转的接触器要互锁。



(2) 远距离操作运行

使用注意事项:

- 1) 选用件要设置在变频器的附近。
- 2) 信号电缆与动力电缆要分开布置。
- 3) 频率表的电缆使用绞合屏蔽线（注意布线距离）。



(3) 寸动运行

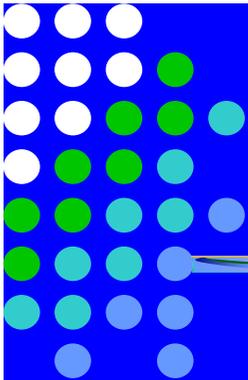
注意事项:

- 1) 不要在变频器负载侧另加接触器进行寸动运转。
- 2) 带制动器电机的寸动运转，停止时使用变频器的输出停止端子。

(4) 三速选择运行

电机以预先给定的三种速度运行的注意事项:

- 1) 选用件与变频器的频率给定信号由于电压低、电流弱等原因，原则上不能有接点加入。
- 2) 要有互锁回路，以防止有两个外部速度给定信号同时输入。



(5) 自动运行

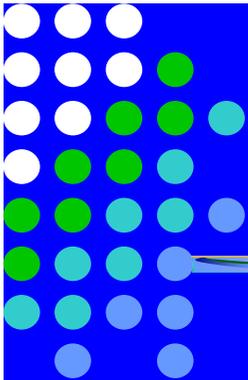
注意事项:

如果使用专用的PID调节器, 进行自动运行时, 可将变频器本身的频率给定信号切换开关选择在20mA处, 不需要前置放大器。

(6) 并联运行

注意事项:

- 1) 不能使用变频器内的电子热保护, 所以每台电机外加热继电器。
- 2) 变频器在运行中如果将停止的电机直接投入, 有时因起动电流使保护装置动作, 变频器停止运行。



(7) 比例运行

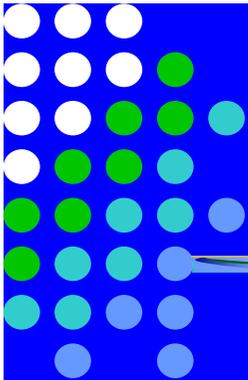
注意事项:

- 1) 由于频率给定信号电压低、电流弱，需要接入接点时，要用微电流开关用继电器的两个接点并联。
- 2) 信号线要远离动力线，并采用绞合屏蔽线。

(8) 同步运行

注意事项:

- 1) 两台变频器的起动、停止要共用一个操作单元，使运行指令完全一致。
- 2) 一台变频器的速度由操作单元直接给定，另一台变频器的速度由位移检测装置与操作单元共同决定。



(9) 同速运行

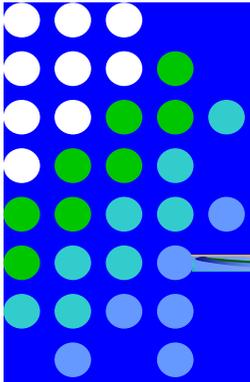
注意事项:

- 1) 两台变频器的起动、停止要共用一个操作单元，使运行指令完全一致。
- 2) 一台变频器的速度由操作单元直接给定，另一台变频器的速度由位移检测装置与操作单元共同决定。

(10) 带制动器电器的运行

注意事项:

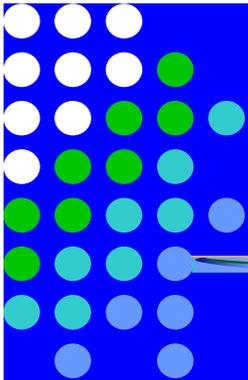
需加制动单元，制动电阻的大小要根据负载的大小选择。



(11) 变极电机的运行

注意事项:

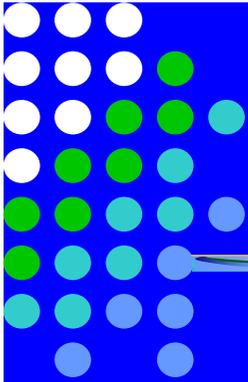
- 1) 时间继电器的延时时间应超过从高速运转到以自由停止的时间。
- 2) 从高速→低速、低速→高速的切换，应在电机停止后进行。
- 3) 对于Y— Δ 起动的电机，只使用 Δ 接法。



(12) 变频器异常时自动切换到工频电源运行

注意事项:

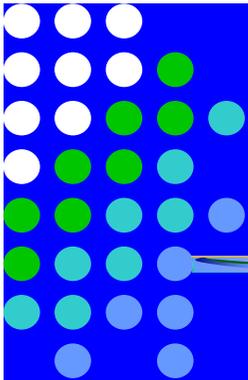
- 1) 切换电路中的接触器要有电气互锁。
- 2) 变频器保护功能动作时，可切断供电电源或对变频器进行复位。
- 3) 当停止变频器工作时，应延时等待电机停止后，才切换到工频电源运行，需装设时间继电器用于延时切换。



(13) 工频电源自动切换到变频器运行

注意事项:

- 1) 变频器内藏专用选用件，如安装在外部则可能干扰产生误动作。
- 2) 切换电路的接触器要有电气互锁。
- 3) 工频电网与变频器输出的相序必须一致。
- 4) 对于自由停止快的负载需注意变频器复位的时间不能太长。



(14) 瞬停再启动运行

注意事项:

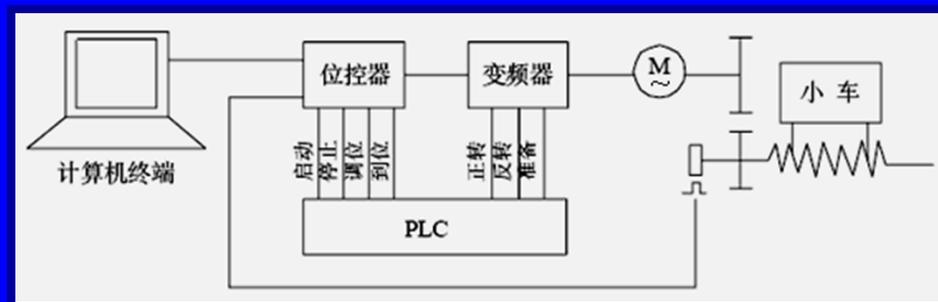
- 1) 变频器内藏专用选用件，如安装在外部则可能干扰产生误动作。
- 2) 对于在瞬停时间+复位时间内自由停止的负载，电机将一度停止，经复位时间后以通常的加速时间自动再启动。

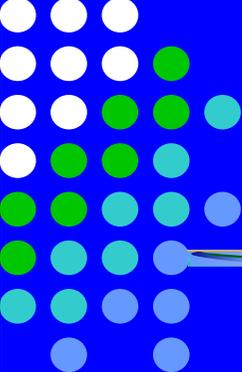
6. 变频器应用实例

(1) 位置控制

1) 系统构成

主要由位控器（位置控制器）、变频器、执行机构三大部分组成。





- 系统构成

- ① 位控器

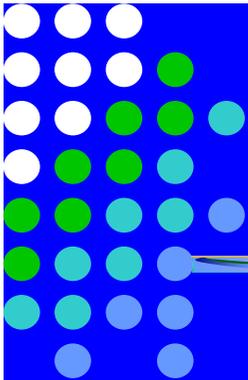
选用德国Lenord+Bauer 公司的GEL8310A型产品，它采用微处理器控制、模块式结构，由CPU 地板、开关量I/O 板、模拟量I/ 模板、通讯接口板构成。

- ② 变频器

采用SIEMENS 第四代通用变频器MM440 系列。

- ③ 执行机构

为普通鼠笼异步电动机经减速箱通过丝杠带动下车往返行走。



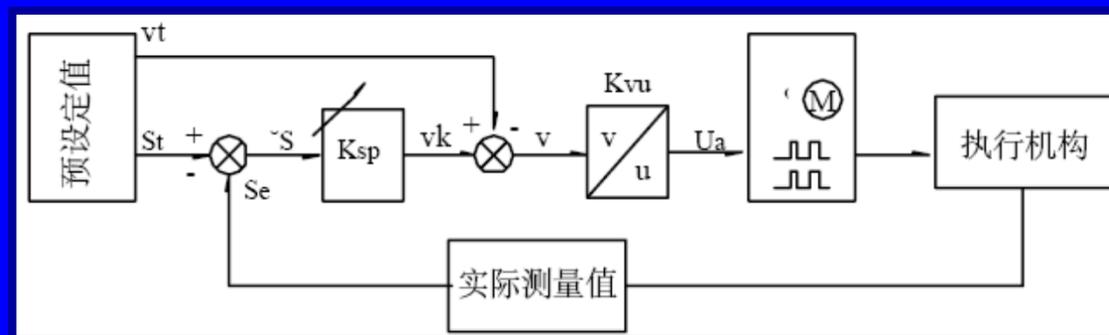
2) 工作原理

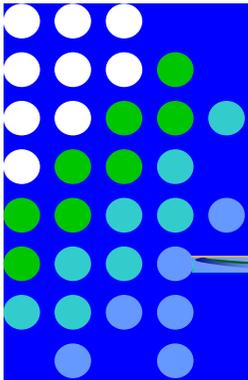
① 定位过程

- 当PLC给位控器和变频器发出启动运行命令后，位控器经运算后输出调节信号给变频器，变频器按照位控器的要求控制电机的加速、运行、减速和制动停止，最后使小车停止在预期的设定位置上。

② 控制原理

- 位置控制调节原理图。

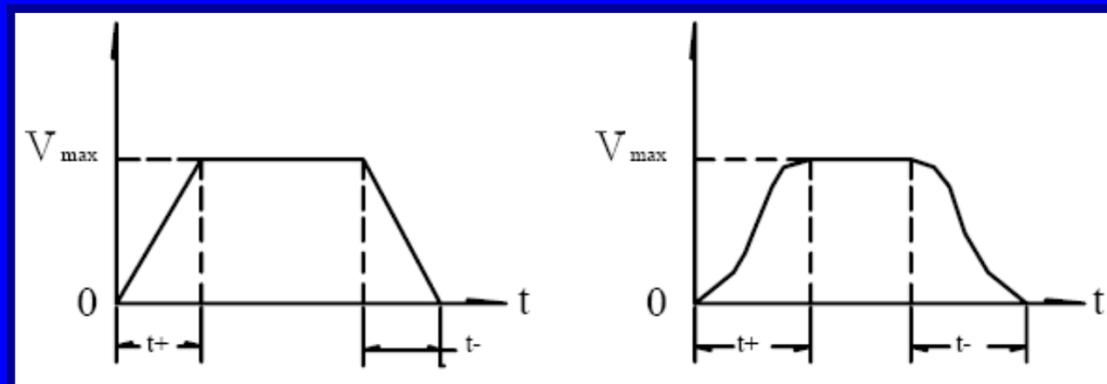




- 控制器调节过程:
- 控制器根据传动装置的机器参数、预先设定的位置和速度值，计算出速度时间特性曲线 V_t 和 S_t 。在每一周期的开始，传动装置先根据速度预设定进行速度预控制。同时，反馈回来的实际值与 S_t 进行比较计算，得出的偏差与 K_{sp} 相乘后叠加到 V_t 上，得出传动装置应该具有的速度。经速度/ 电压转换和D/A 转换向传动系统发出控制信号, 至执行机构的定位。

③ 位置控制的基本要求

电机的速度一般按梯形速度图进行控制。两种最常用的速度曲线



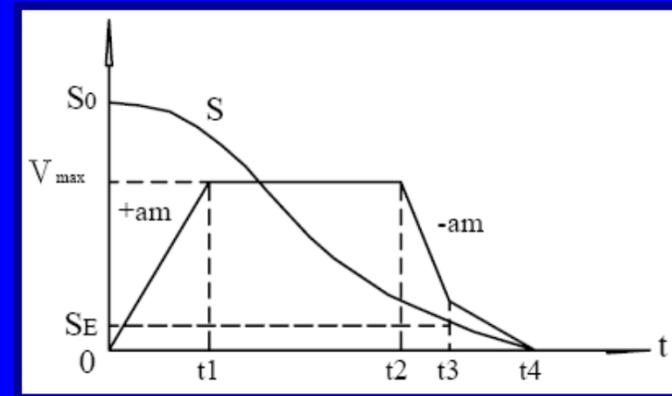
为了准确对运动设备进行位置控制，一般有如下要求：

- (a) 电机转矩不得超过电机和机械设备的最大允许值；
- (b) 能在最短时间内完成定位动作，并且定位精度符合工艺要求；
- (c) 在控制过程中不能产生超调，且系统稳定重复性好。

④ 定位过程分析

基本定位过程曲线

- $0 \sim t_1$ 为加速段，加速度为 a_m ；
- $t_1 \sim t_2$ 为最高运转段，其速度为 v_m ；
- $t_2 \sim t_3$ 为减速段，加速度是 $-a_m$ ；
- $t_3 \sim t_4$ 为自由滑行段。



⑤ 位置检测

定位控制中位置的检测一般用增量式光电编码器。

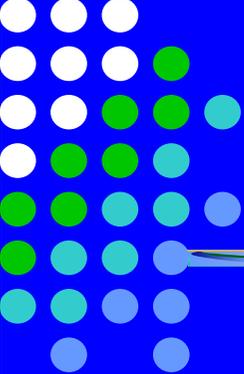
3) 变频器的主要参数

- 变频器的主要参数设置

| | 主要调节参数 |
|-------------|-----------------------------|
| P003=3 | 参数访问等级 |
| P0100=0 | 设置变频器为 50HZ, 额定功率以 KW 设定 |
| P0304=380 | 工作地区 |
| P0305=13.2 | 电机额定电流 |
| P0307=5.5 | 电机额定功率 |
| P0310=50 | 电机额定频率 |
| P0311=960 | 电机额定速度 |
| P1080=0 | 最小速度 =0HZ |
| P1082=50 | 最大速度 =50HZ |
| P0700=6 | 变频命令源于通讯 |
| P1000=6 | 变频工作频率源于通讯 |
| P0719=66 | 通讯参数 |
| P0918=1~125 | 变频器站号 |

4) 实物照片





(2) 生产线

1) 系统配置

① 自动控制设备

(a) 驱动设备

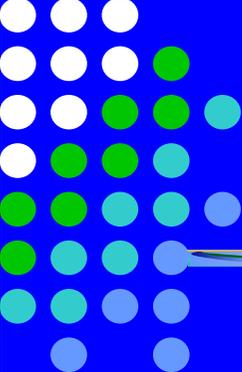
生产线驱动设备采用直流电机调速或变频调速设备。

(b) 测温仪表

在加热段出口及回火段出口设置非接触式测温仪表，观察监视加热段出口及回火段出口的温度。

(c) 生产线集中控制设备

生产线采用PLC集中控制，将生产线各分部的信号集合到PLC 完成全线自动化控制，继电联锁及故障检测。



② 机械设备

设备组成: (a) 放料架 (b) 导向笼

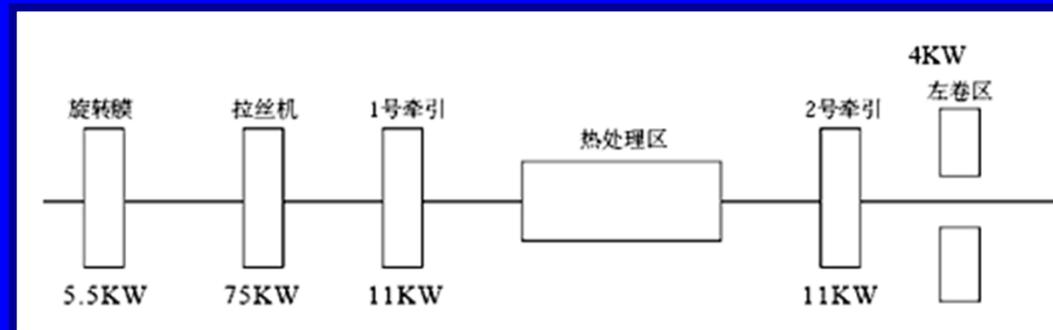
(c) 刻痕机组 (d) 矫直机 (e) 牵引机1 (f) 水冷淬火槽

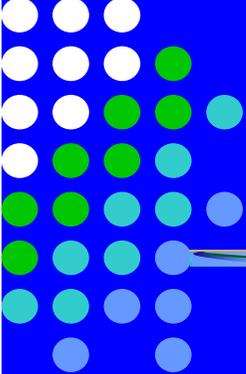
(g) 牵引机2 (h) 液压冲剪机 (i) 收料盘

- 在此生产线中共选用了西门子MM440系列变频器六台。
- 在此系统中采用了CPU315-2DP 用PROFIBUS-DP串行总线来控制MICROMASTER440 变频器。

2) 系统原理图

- 系统原理图

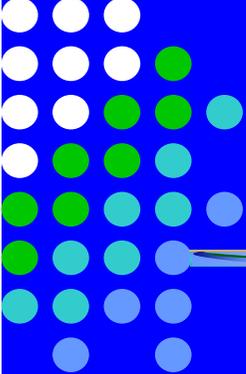




3) 变频器的主要调节参数

用PROFIBUS-DP 串行总线来控制MICROMASTER440变频器，主要有以下几个参数需要设置：

- ① 改变用户访问级P003=3,
- ② 确定变频命令源P0700=6,
- ③ 确定变频运行的主设置值P1000=6,
- ④ 参数P719 一定要设置成66,
- ⑤ 确定变频站地址P918=1~125。



(3) 机床

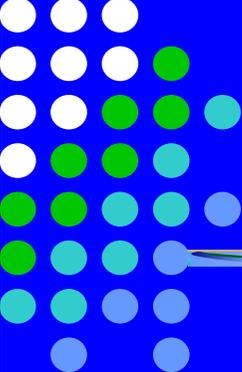
西门子MICROMASTER440在某公司铣床上的应用实例。

1) 工艺过程

铸锭由天车平放到受料辊道→辊道送至垂直起落架→铸锭旋转90度送床面夹具上→夹具夹紧床面开始前进→由主轴电机带动的刀盘铣面→床机后退至起架位置→放平铸锭→辊道将铸锭送入翻锭机内→铸锭旋转180度→辊道将铸锭送到起落架→再次铣另一面→放回辊道→天车吊起。

2) 方案选取

本系统中采用了两台西门子的MICROMASTER 440变频器对两台电机进行变频调速。两台铣床共用了四台变频器。

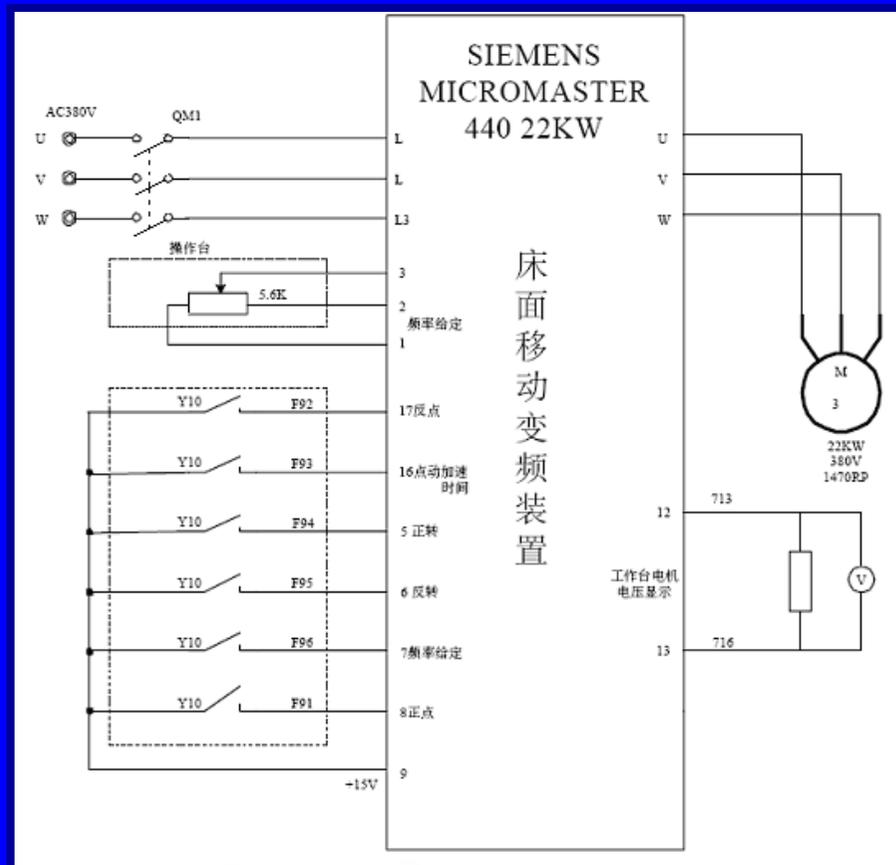


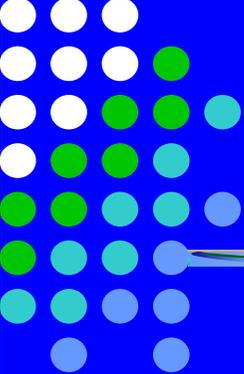
方案的优点:

- ① 易于安装，参数设置和调试；
- ② 具有多个数字和模拟的输入、输出接口；
- ③ 模块化设计，配置非常灵活；
- ④ 脉宽调制的频率高，因而电机运行的噪声低；
- ⑤ 具有多种运行控制方式，可实现无传感器的矢量控制和各种V/f控制；
- ⑥ 内置的直流注入制动，制动快速；
- ⑦ 具有PID控制功能的闭环控制，控制器的参数可自动整定；
- ⑧ 控制线路简单，变频器各种保护功能完善，便于使用和维护；
- ⑨ 内置几组设定参数可以互相切换，一台变频器可以控制几个交替工作的电机。

3) 系统硬件的组成

- 系统的硬件以西门子变频调速器MICROMASTER 为传动控制设备，其硬件结构如图





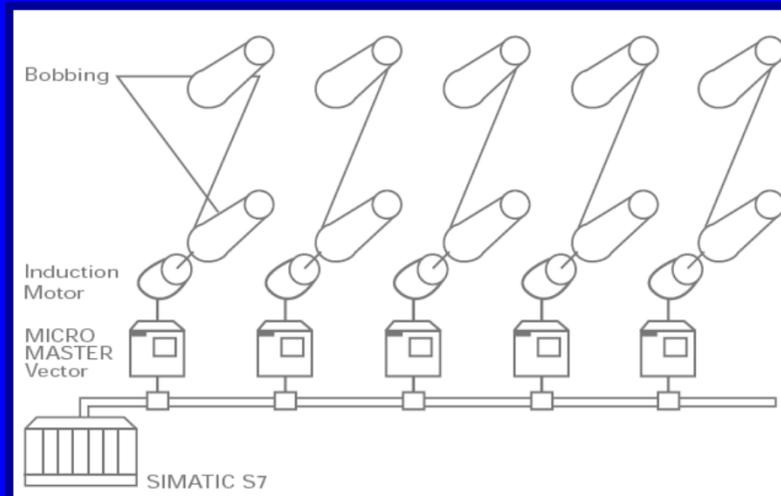
4) 系统控制

- 变频器的控制接线端接收PLC的输出信号。根据实际操作需要，在不同工作模式下，变频器的速度按不同方式进行：
 - ① 调整方式时：PLC输出正点和反点信号到变频器的8#和17# 端，变频器以固定频率进行点动。
 - ② 正常工作时：分为床面前进和退回。

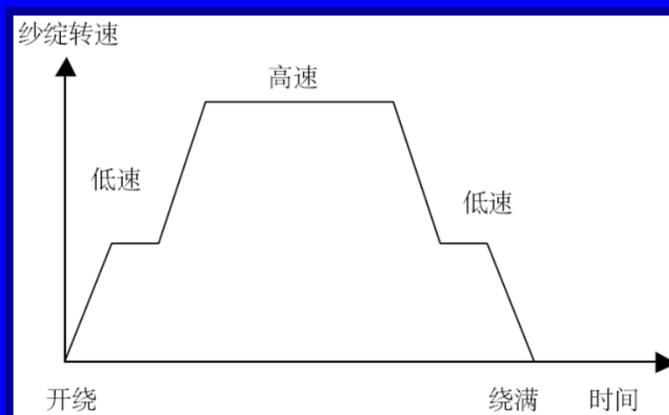
(4) 纺织

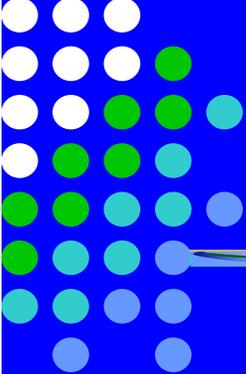
1) 系统配置和运行模式

- 本系统采用了20台250W 单相230V 内置EMC滤波器MM420变频器以及20台三相250W电机。控制系统采用SIMATIC S7—200 PLC。
- 系统控制框图如图



- 细纱机的运行模式分为高、低速两档。在启动开绕与绕满停车时，为了防止断纱实行软起动和停车。
- 运行模式曲线





2) 系统描述

- 该系统采用了西门子MM420变频器来控制纱锭电机。MM420 变频器可以控制电机在负载变化时从静止到输出650HZ平稳地运行。
- 变频器都是由S7 PLC通过RS485串行通讯口使用USS协议来控制的。
- 由于MM420 优良的速度控制性能, 纺纱质量得到提高。减少了由于断纱而产生的故障时间, 减少了系统运行成本, 提高了纺机产量。优化的网络控制性能, 所有变频器和电机参数均可以通过串口来访问。减少了工程成本和维护费用。

感谢亲观看此幻灯片，此课件部分内容来源于网络，
如有侵权请及时联系我们删除，谢谢配合！