

交直流调速系统

计算主要集中在前三章（老师原话，真假未知）

第四章

p122 V-M系统的四象限运行

在可逆调速系统中，

- 正转运行时可利用反组晶闸管实现回馈制动；
- 反转运行时同样可以利用正组晶闸管实现回馈制动。

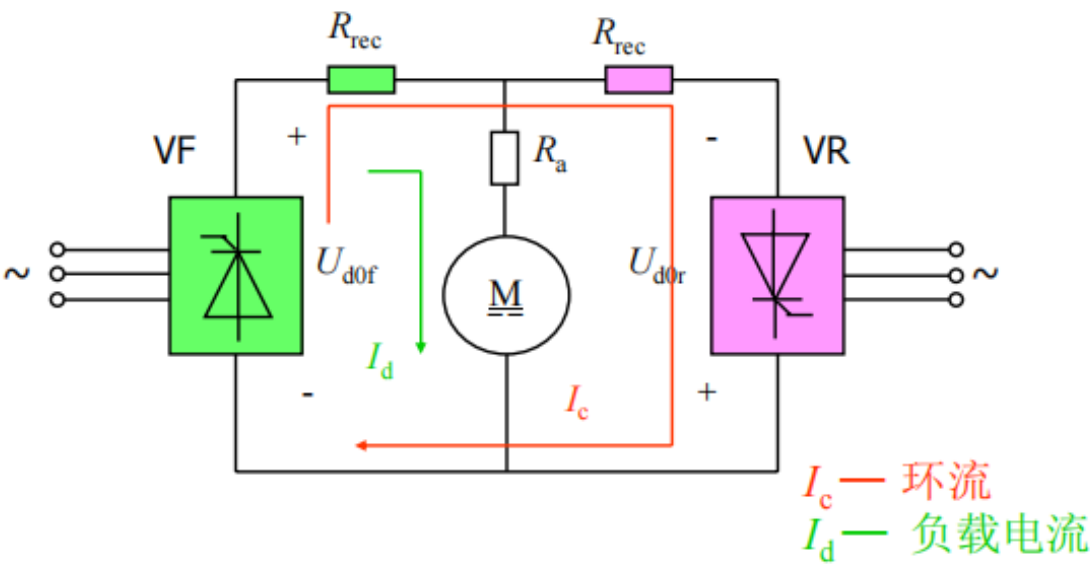
这样，采用两组晶闸管装置的反并联，就可实现电动机的四象限运行。

p124 表4-1 V-M系统反并联可逆线路的工作状态

V-M系统的工作状态	电枢端电压极性	电枢电流极性	电机旋转方向	电机运行状态	晶闸管工作的组别和状态	机械特性所在象限
正向运行	+	+	+	电动	正组整流	一
正向制动	+	-	+	回馈发电	反组逆变	二
反向运行	-	-	-	电动	反组整流	三
反向制动	-	+	-	回馈发电	正组逆变	四

p125 环流

- 环流的形成



• 环流的危害和利用

- 危害：一般地说，环流对负载无益，加重晶闸管和变压器的负担，消耗功率，环流太大时会导致晶闸管损坏，因此应抑制或消除。
- 利用：只要合理的对环流进行控制，保证晶闸管的安全工作，可以利用环流作为流过晶闸管的基本负载电流，使电动机在空载或轻载时可工作在晶闸管装置的电流连续区，以避免电流断续引起的非线性对系统性能的影响

• 环流的分类

在不同情况下，会出现下列不同性质的环流：

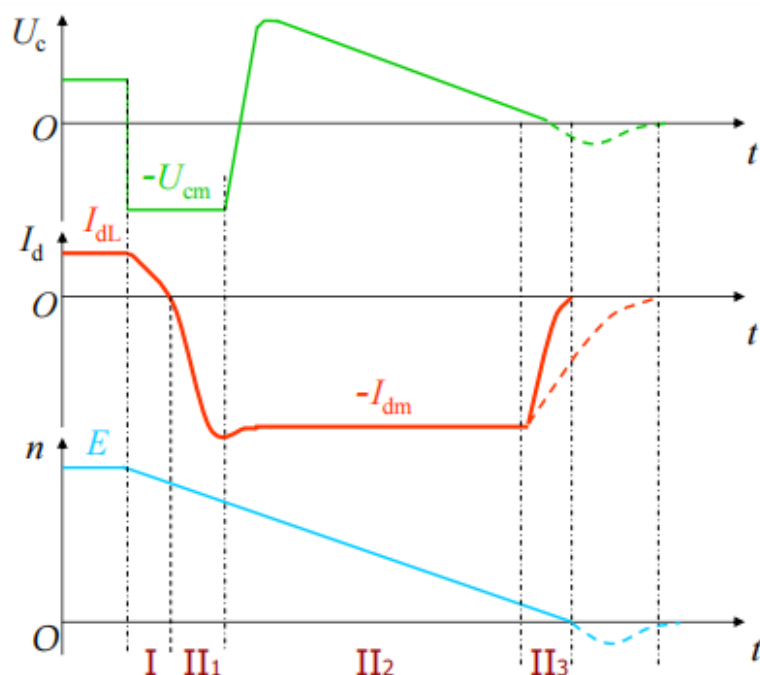
- 静态环流——两组可逆线路在一定控制角下稳定工作时出现的环流，其中又有两类：
 - 直流平均环流——由晶闸管装置输出的直流平均电压所产生的环流称作直流平均环流。
 - 瞬时脉动环流——两组晶闸管输出的直流平均电压差为零，但因电压波形不同，瞬时电压差仍会产生脉动的环流，称作瞬时脉动环流。
- 动态环流——仅在可逆V-M系统处于过渡过程中出现的环流

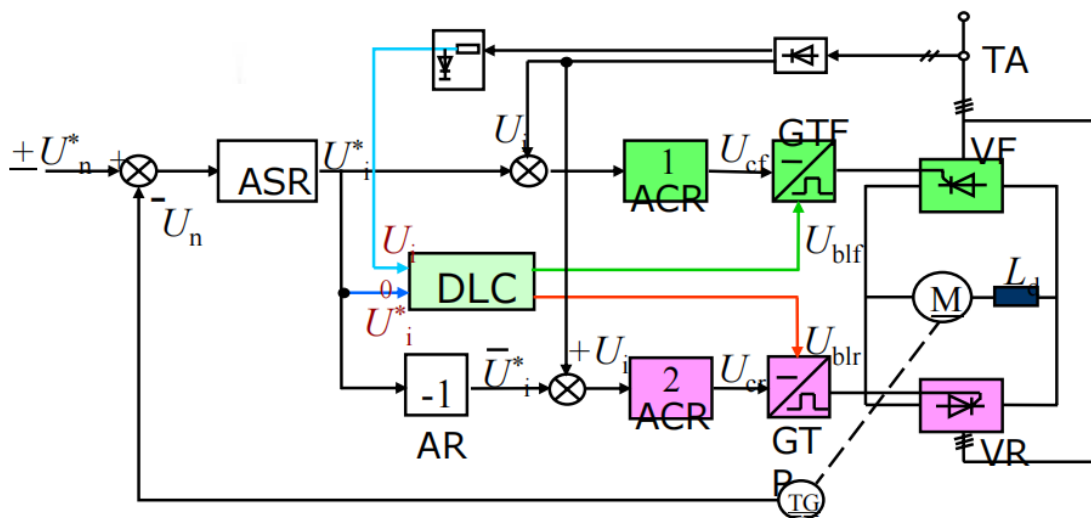
• 环流的两种抑制方法

- 直流平均环流：可用 $\alpha \geq \beta$ 配合控制消除
- 瞬时脉动环流：可在环流回路中串入环流电抗器
- 采取封锁触发脉冲的方式，使两组晶闸管不能同时工作

p128 结合图4-10搞清楚制动分为哪几个过程，3个阶段

图4-10 配合控制有环流可逆直流调速系统正向制动过渡过程波形





• DLC的输入:

- 分析V-M系统四象限运行的特性，有如下共同特征：

- 正向运行和反向制动时，电动机转矩方向为正，即电流为正；
- 反向运行和正向制动时，电动机转矩方向为负，即电流为负。

因此，应选择转矩信号作为DLC的输入信号。

由于ACR的输出信号正好代表了转矩方向，即有：

- 正向运行和反向制动时， U_i^* 为正；
- 反向运行和正向制动时， U_i^* 为负。

- 又因为 U_i^* 极性的变化只表明系统转矩反向的意图，转矩极性的真正变换还要滞后一段时间。只有在实际电流过零时，才开始反向，因此，需要检测零电流信号作为DLC的另一个输入信号。

• DLC的输出:

- 正向运行：VF整流，开放VF，封锁VR；
- 反向制动：VF逆变，开放VF，封锁VR；
- 反向运行：VR整流，开放VR，封锁VF；
- 正向制动：VR逆变，开放VR，封锁VF；
- 因此，DLC的输出有两种状态：
 - VF开放— $U_{blf} = 1$ ，VF封锁— $U_{blf} = 0$ ；
 - VR开放— $U_{blr} = 1$ ，VR封锁— $U_{blr} = 0$ 。

• 延时

- 开放延时，以确认电流已经过零，而非因电流脉动引起的误信号；
- 封锁延时，以确保被关断的晶闸管已恢复阻断能力，防止其重新导通。
- 具有逻辑连锁保护功能，以保证在任何情况下，两个信号必须是相反的，决不容许两组晶闸管同时开放脉冲，确保主电路没有出现环流的可能。

第五章

- **转差功率消耗型**

特点：全部转差功率都转换成热能消耗在转子回路中。

- 降电压调速、转差离合器调速、转子串电阻调速都属于这一类。
- 这类系统的效率最低，而且越到低速时效率越低，它是以增加转差功率的消耗来换取转速的降低的（恒转矩负载时）。
- 这类系统结构简单，设备成本最低，所以还有一定的应用价值。

- **转差功率馈送型**

特点：除转子铜损外，大部分转差功率在转子侧通过变流装置馈出或馈入，转速越低，能馈送的功率越多。

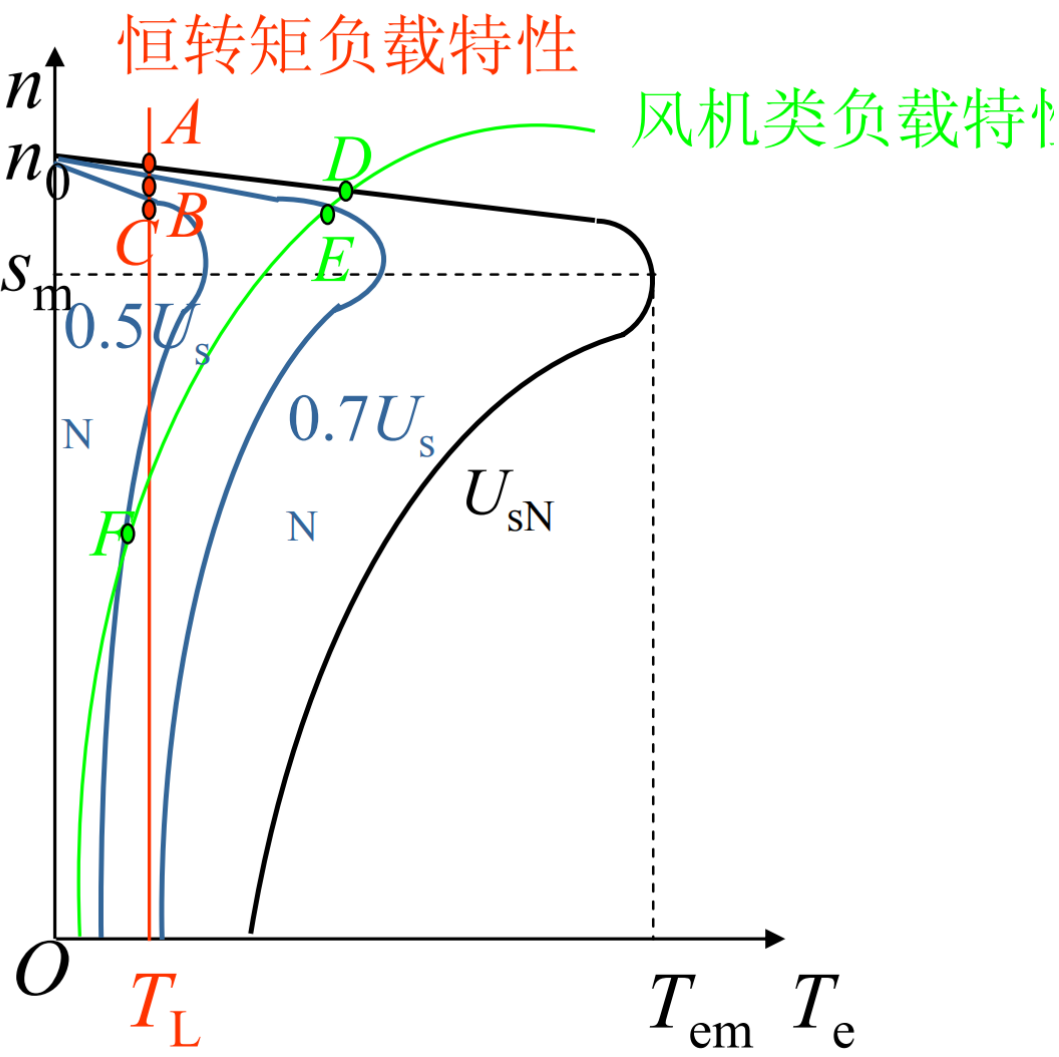
- 绕线电机串级调速或双馈电机调速属于这一类。
- 无论是馈出还是馈入的转差功率，扣除变流装置本身的损耗后，最终都转化成有用的功率，因此，这类系统的效率较高，但要增加一些设备。

- **转差功率不变型**

特点：转差功率只有转子铜损，而且无论转速高低，转差功率基本不变，因此效率更高。

- 变极对数调速、变压变频调速属于此类。
- 变极对数调速是有级的，应用场合有限。
- 只有变压变频调速应用最广，可以构成高动态性能的交流调速系统，取代直流调速；但在定子电路中须配备与电动机容量相当的变压变频器，相比之下，设备成本最高。

• 图5-4



第六章

p159图6-2

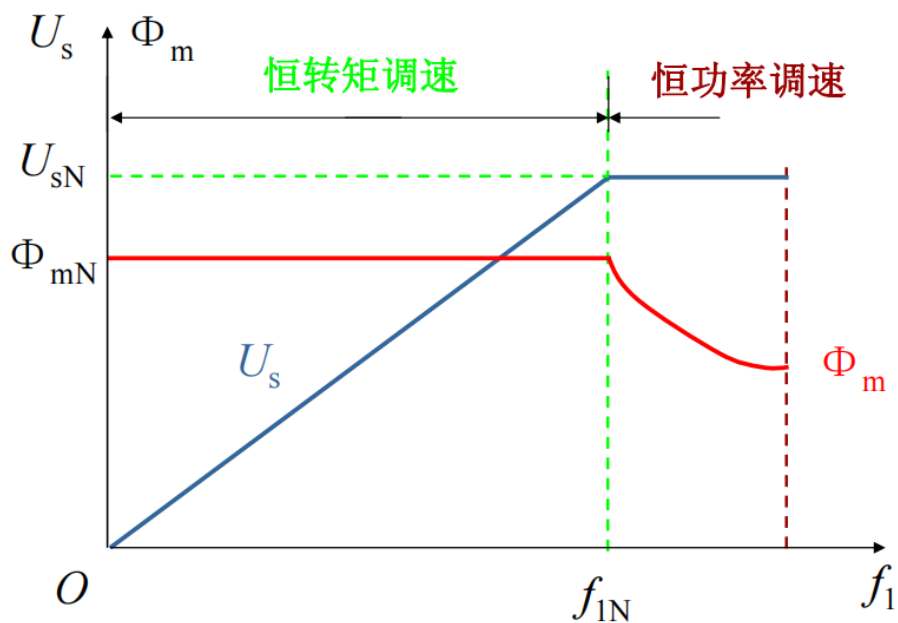


图6-2 异步电机变压变频调速的控制特性

p160 基频以下，基频以上

- 基频以下，磁通恒定时转矩也恒定，属于“恒转矩调速”性质
- 基频以上，转速升高时转矩降低，属于“恒功率调速”性质

p161图6-4 恒压频比，可能大题

机械特性曲线

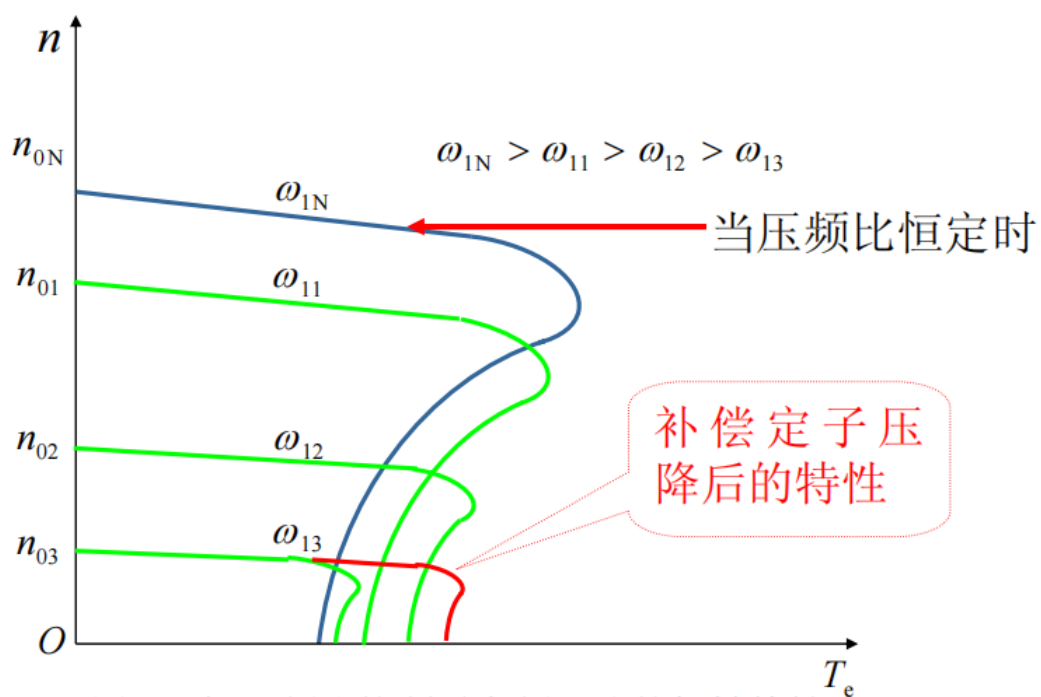


图6-4 恒压频比控制时变频调速的机械特性

几种电压—频率协调控制方式的特性比较

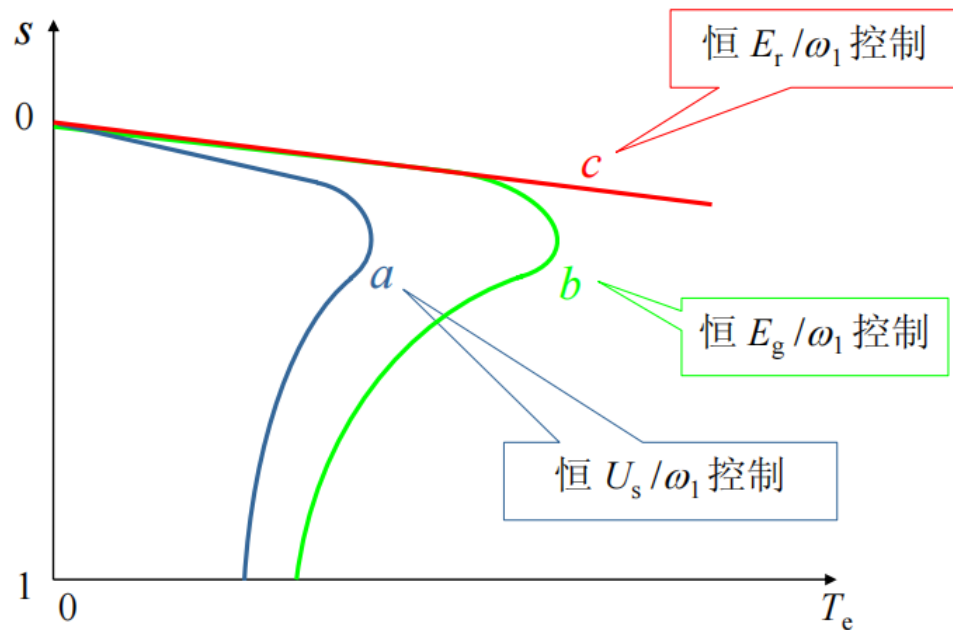


图6-6 不同电压—频率协调控制方式时的机械特性

- 恒 U_s/ω_1 控制

恒压频比 ($U_s/\omega_1 = Constant$) 控制最容易实现, 它的变频机械特性基本上是平行下移, 硬度也较好, 能够满足一般的调速要求, 但低速带载能力有些差强人意, 须对定子压降实行补偿。

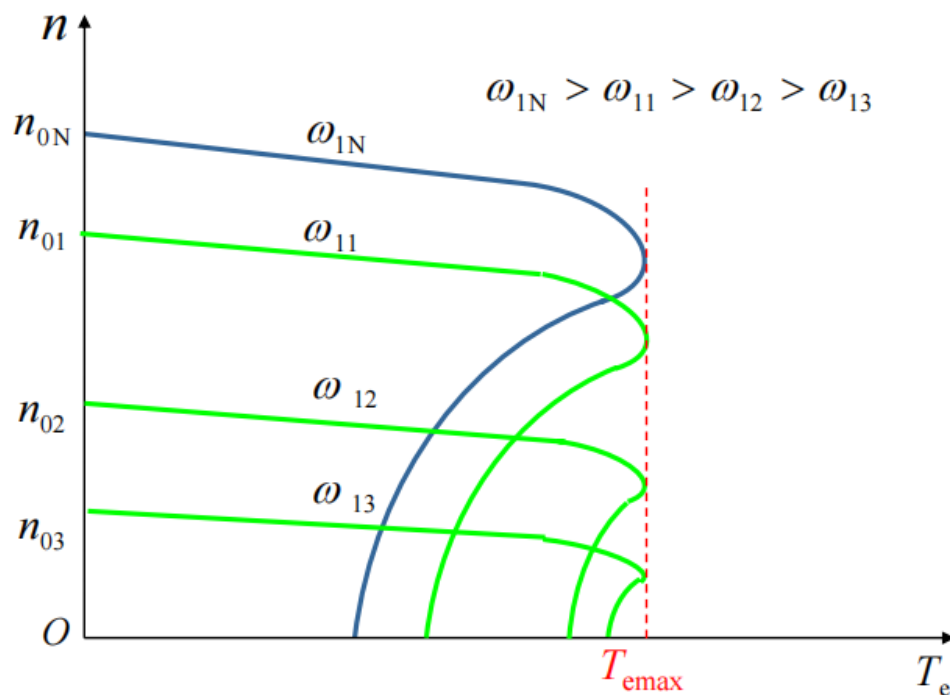
- 恒 E_g/ω_1 控制

恒 E_g/ω_1 控制是通常对恒压频比控制实行电压补偿的标准, 可以在稳态时达到 $\Phi_{rm} = Constant$, 从而改善了低速性能。但机械特性还是非线性的, 产生转矩的能力仍受到限制。

- 恒 E_r/ω_1 控制

恒 E_r/ω_1 控制可以得到和直流他励电机一样的线性机械特性, 按照转子全磁通 Φ_{rm} 恒定进行控制, 即得 $E_r/\omega_1 = Constant$, 而且, 在动态中也尽可能保持 Φ_{rm} 恒定是矢量控制系统的目标, 当然实现起来是比较复杂的。

机械特性曲线



恒 E_g/ω_1 控制时变频调速的机械特性

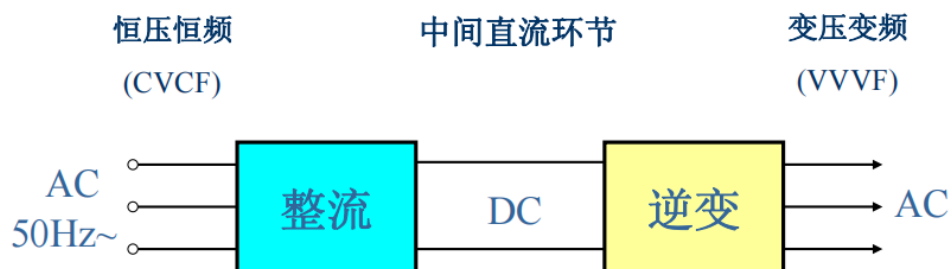
p165、p167、p169几种逆变器

- 交-直-交 和 交-交 变压变频器

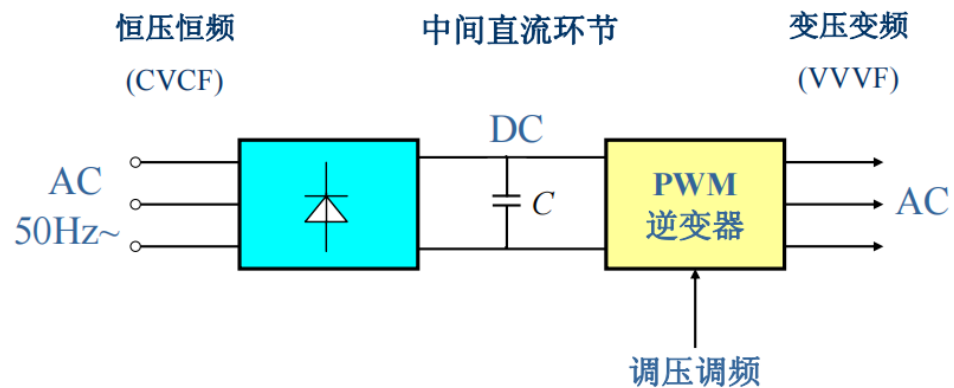
- 交 - 直 - 交变压变频器先将工频交流电源通过整流器变换成直流，再通过逆变器变换成可控频率和电压的交流

- 基本结构图

- 交-直-交变压变频器基本结构



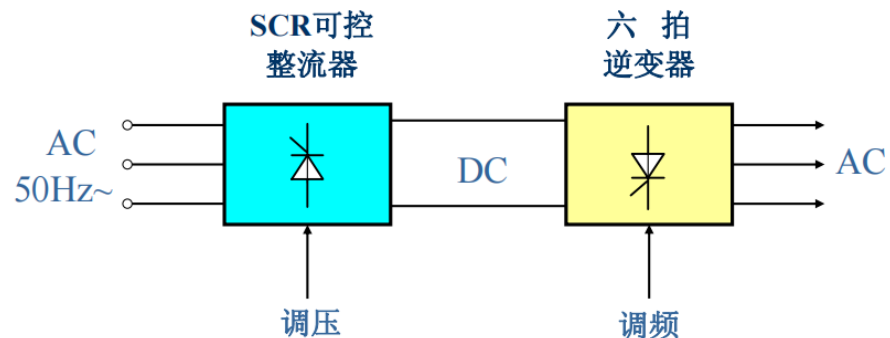
• 交-直-交PWM变压变频器基本结构



■ PWM变压变频器的优点

- 只有逆变单元是可控的，同时调节电压和频率，结构简单
- 通过采用恰当的PWM控制技术，输出的波形正弦基波比重较大
- 逆变器同时实现调压和变频
- 采用不可控的二极管整流，电源侧功率因数高，且不受逆变器输出电压大小影响

■ 晶闸管整流器调压六拍逆变器交-直-交变压变频器



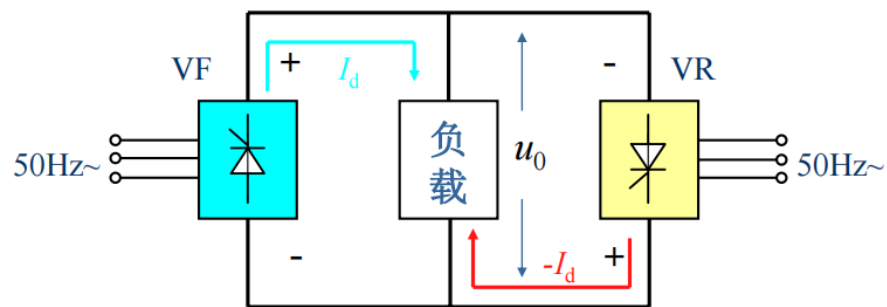
○ 交-交 变压变频器

■ 基本结构

• 交-交变压变频器的基本结构



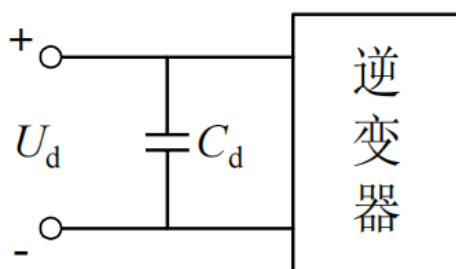
•交-交变压变频器的基本电路结构



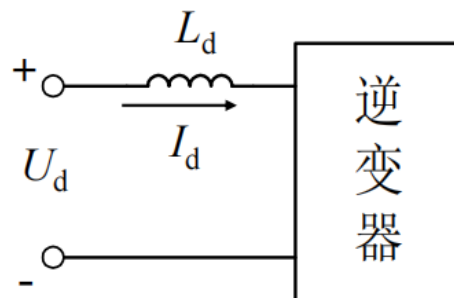
- **电压源型和电流源型逆变器**

在交-直-交变压变频器中，按照中间直流环节直流电源性质的不同，逆变器可以分成电压源型和电流源型两类，两种类型的实际区别在于直流环节采用怎样的滤波器。

a) 电压源逆变器



b) 电流源逆变器



- 电压源型逆变器 (VSI)

直流环节采用大电容滤波，因而直流电压波形比较平直，在理想情况下是一个内阻为零的恒压源，输出交流电压是矩形波或阶梯波，有时简称电压型逆变器。

- 电流源型逆变器 (CSI)

直流环节采用大电感滤波，直流电流波形比较平直，相当于一个恒流源，输出交流电流是矩形波或阶梯波，或简称电流型逆变器。

○ 性能比较

1. 无功能量缓冲

在调速系统中, 逆变器的负载是异步电机, 属感性负载。在中间直流环节与负载电机之间, 除了有功功率的传送外, 还存在无功功率的交换。滤波器除滤波外还起着对无功功率的缓冲作用, 使它不致影响到交流电网。

因此，两类逆变器的区别还表现在采用什么储能元件（电容器或电感器）来缓冲无功能量。

2. 能量回馈

用电流源型逆变器给异步电机供电的电流源型变压变频调速系统有一个显著特征，就是容易实现能量的回馈，从而便于四象限运行，适用于需要回馈制动和经常正、反转的生产机械。

3. 动态响应

正由于交-直-交电流源型变压变频调速系统的直流电压可以迅速改变，所以动态响应比较快，而电压源型变压变频调速系统的动态响应就慢得多。

4. 输出波形

电压源型逆变器输出的电压波形为方波，电流源型逆变器输出的电流波形为方波

5. 应用场合

电压源型逆变器属恒压源，电压控制响应慢，不易波动，所以适于做多台电机同步运行时的供电电源，或单台电机调速但不要求快速起制动和快速减速的场合。采用电流源型逆变器的系统则相反，不适用于多电机传动，但可以满足快速起制动和可逆运行的要求。

- 180°导通型和120°导通型逆变器

- 主电路结构

- 三相桥式逆变器主电路结构

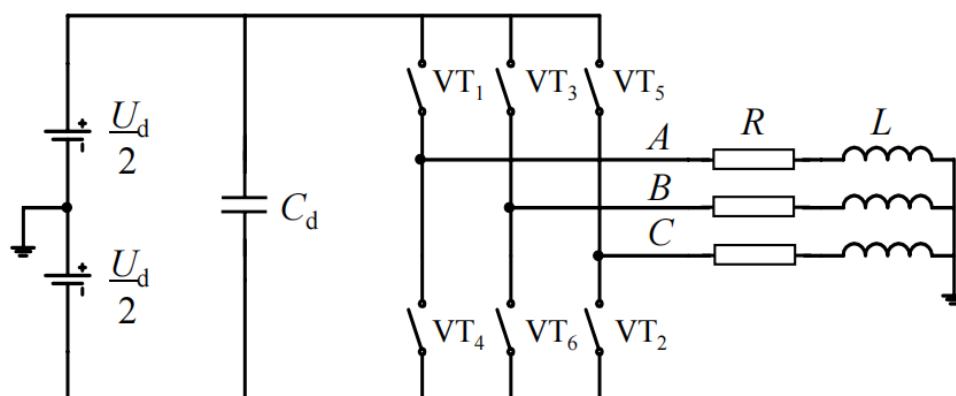


图6-17 三相桥式逆变器主电路

- 控制方式

控制各开关器件轮流导通和关断，可使输出端得到三相交流电压。在某一瞬间，控制一个开关器件关断，同时使另一个器件导通，就实现了两个器件之间的换流。在三相桥式逆变器中，有180°导通型和120°导通型两种换流方式。

- 180°导通型

同一桥臂上、下两管之间互相换流的逆变器称作180°导通型逆变器。

例如，当VT1关断后，使VT4导通，而当VT4关断后，又使VT1导通。这时，每个开关器件在一个周期内导通的区间是180°，其他各相亦均如此。由于每隔60°有一个器件开关，在180°导通型逆变器中，除换流期间外，每一时刻总有3个开关器件同时导通。

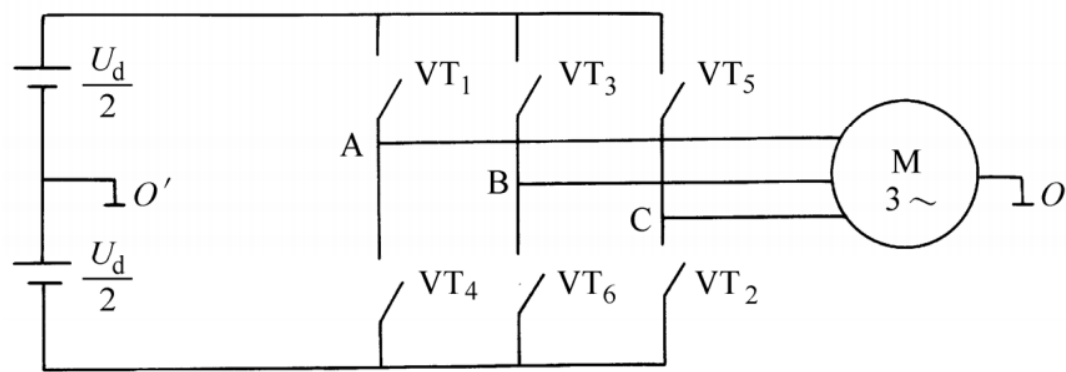
- 120°导通型

120°导通型逆变器的换流是在不同桥臂中同一排左、右两管之间进行的。

例如，VT1关断后使VT3导通，VT3关断后使VT5导通，VT4关断后使VT6导通等等。这时，每个开关器件一次连续导通120°，在同一时刻只有两个器件导通，如果负载电机绕组是Y联结，则只有两相导电，另一相悬空。

p177 p178六拍阶梯波逆变器、SVPWM

• 主电路原理图



• 开关状态表

序号	开 关 状 态	开关代码
1	VT ₆ VT ₁ VT ₂	100
2	VT ₁ VT ₂ VT ₃	110
2	VT ₂ VT ₃ VT ₄	010
4	VT ₃ VT ₄ VT ₅	011
5	VT ₄ VT ₅ VT ₆	001
6	VT ₅ VT ₆ VT ₁	101
7	VT ₁ VT ₃ VT ₅	111
8	VT ₂ VT ₄ VT ₆	000

• 开关控制模式

对于六拍阶梯波的逆变器，在其输出的每个周期中6种有效的工作状态各出现一次。逆变器每隔π/3时刻就切换一次工作状态（即换相），而在这π/3时刻内则保持不变。

• 电压空间矢量运动轨迹

在常规的PWM变压变频调速系统中，异步电动机由六拍阶梯波逆变器供电，这时的电压空间矢量运动轨迹在一个周期中6个电压空间矢量共转过2π弧度，形成一个封闭的正六边形：

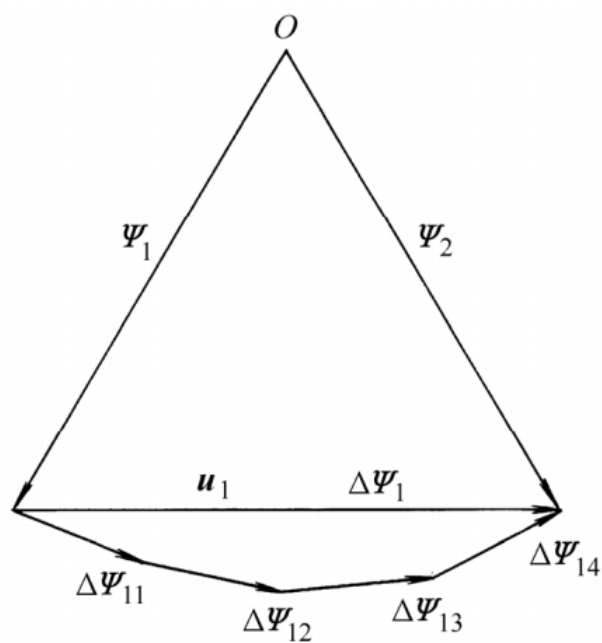


图6-31 逼近圆形时的磁链增量轨迹

■ 线性组合的方法

由电压空间矢量和的线性组合构成新的电压矢量。

设在一段换相周期时间 T_0 中，可以用两个矢量之和表示由两个矢量线性组合后的电压矢量 u_s ，新矢量的相位为 θ 。

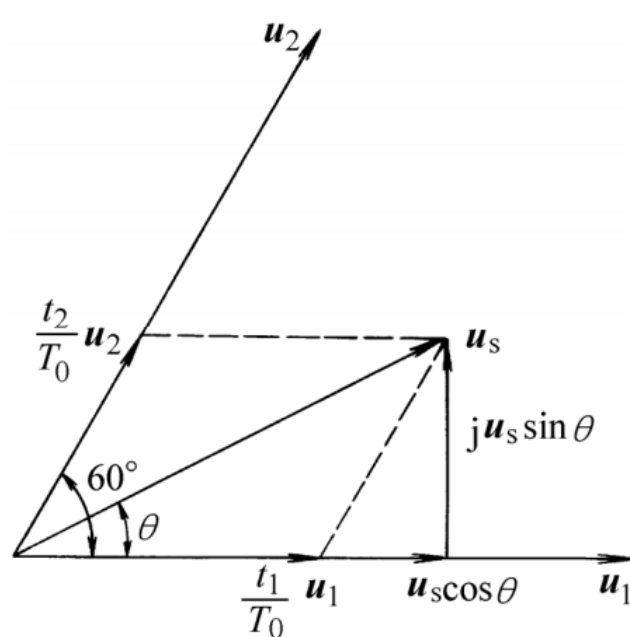


图6-32 电压空间矢量的线性组合

■ 线性组合公式

$$u_s = \frac{t_1}{T_0} u_1 + \frac{t_2}{T_0} u_2 = u_s \cos \theta + j u_s \sin \theta$$

■ 相电压合成公式

$$u_s = u_{A0}(t) + u_{B0}(t)e^{j\gamma} + u_{C0}(t)e^{j2\gamma}, \quad \gamma = 120^\circ$$

■ 线电压合成公式

$$u_s = u_{AB}(t) - u_{BC}(t)e^{-j\gamma}$$

当各功率开关处于不同状态时，线电压可取值为 U_d 、0 或 $-U_d$ ，比用相电压表示时要明确一些。

p187 188 黑体字

控制转差频率就是代表控制转矩，这就是转差频率控制的基本概念。

p190 最上面、作业题

- 转速闭环转差频率控制的交流变压变频调速系统的静、动态性能还不能完全达到直流双闭环系统的水平，存在差距的原因有以下几个方面：
 1. 在分析转差频率控制规律时，是从异步电动机稳态等效电路和稳态转矩公式出发的，所谓“保持磁通 Φ_m 恒定”的结论也只在稳态情况下才能成立。在动态中 Φ_m 如何变化还没有深入探究，但肯定不会恒定，这就会影响系统的实际动态性能。
 2. 在 $U_s = f(\omega_1, I_s)$ 函数关系中只抓住了定子电流的幅值，没有控制到电流的相位，而在动态中电流的相位也是影响转矩变化的因素。
 3. 在频率控制环节中，取 $\omega_1 = \omega_s + \omega$ ，使频率 ω_1 得以与转速 ω 同步升降，这本是转差频率控制的优点。然而，如果转速检测信号不准确或存在干扰，就会直接给频率造成误差，因为所有这些偏差和干扰都以正反馈的形式毫无衰减地传递到频率控制信号上来了。

p196 黑体字

不同电动机模型彼此等效的原则是：在不同坐标下所产生的磁动势完全一致。