

Chap 9



交流调速 控制系统

§ 9.1 交流调速方法

交流调速系统的控制对象：交流电动机。

变转差率调速

串电阻调速--绕线式异步机

调压调速

串级调速--绕线式异步机

电磁转差离合器调速

变极对数调速--对鼠笼型转子

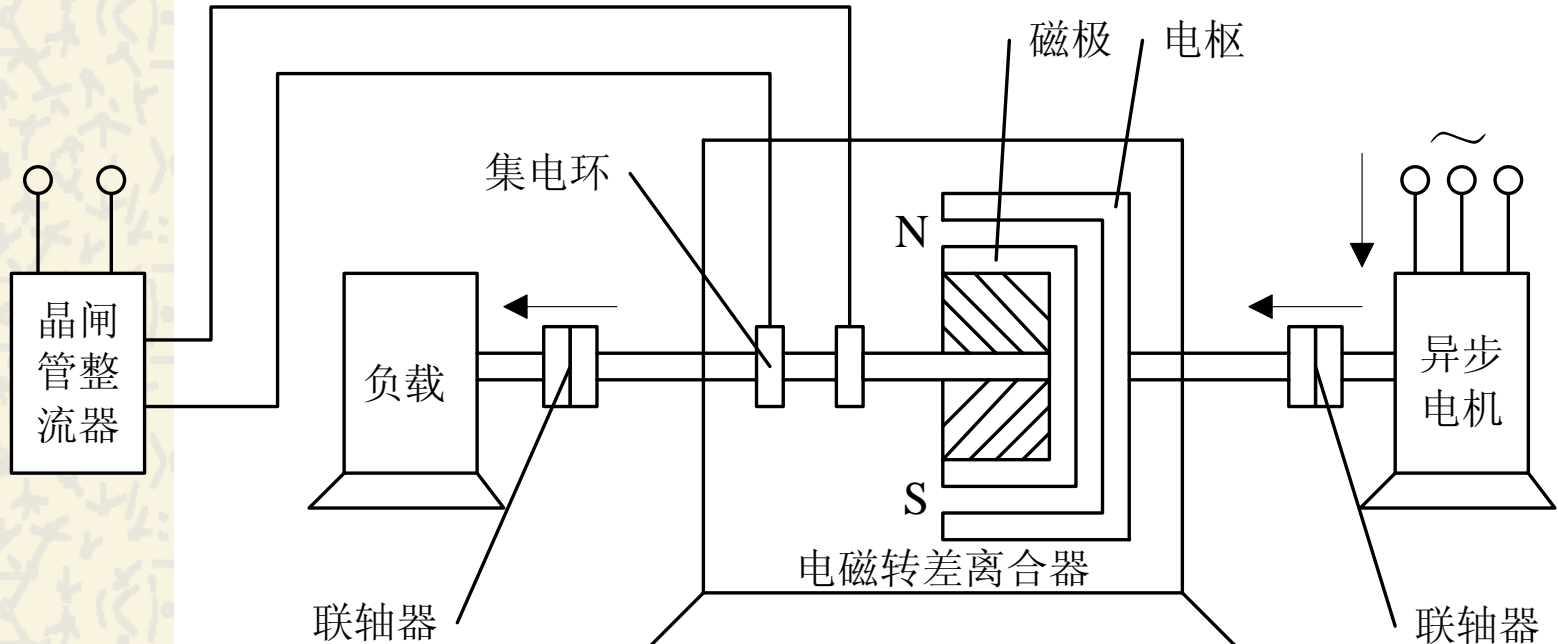
变频调速

交-交变频调速

交-直-交变频调速

一. 电磁转差离合器调速系统

电磁转差离合器调速系统是通过改变电磁离合器的励磁电流来实现调速的，对异步电动机本身并不进行调速。



电磁转差离合器调速系统的机械特性可以近似地用如下经验公式表示:

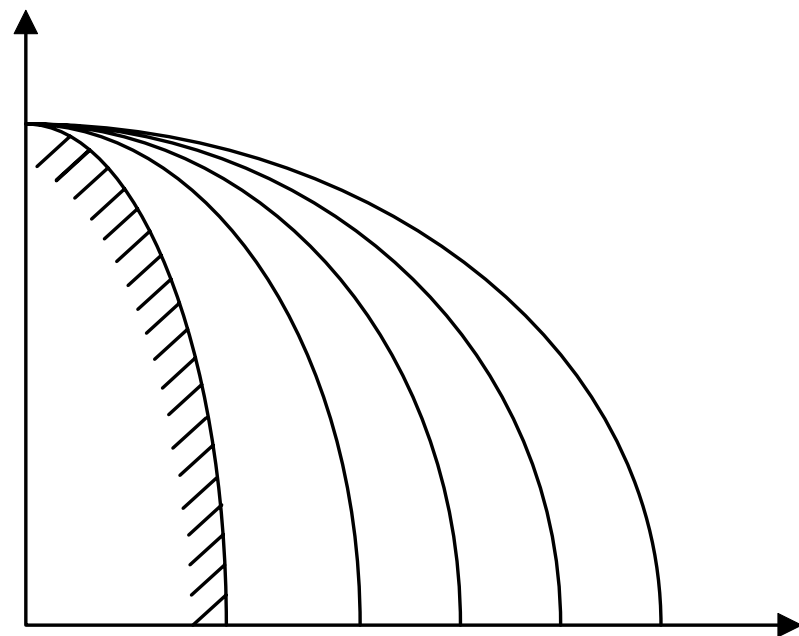
$$n_2 = n_1 - KT^2 / I_f^4$$

n_1 ——离合器主动部分的转速;

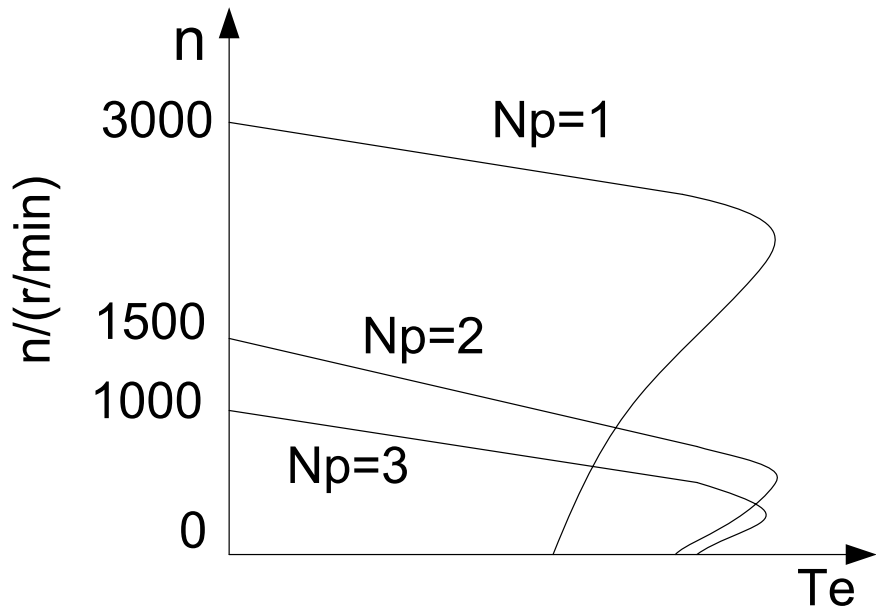
T ——离合器转矩;

I_f ——励磁电流;

K ——与离合器结构有关的参数。



二. 变极对数调速



三. 变转差率调速

- ✿ 定子调压调速
- ✿ 绕线式异步电机转子串电阻调速
- ✿ 绕线式异步电机串级调速

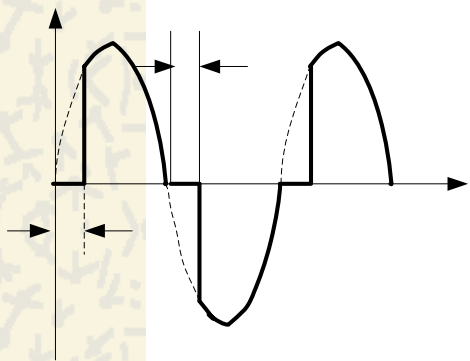
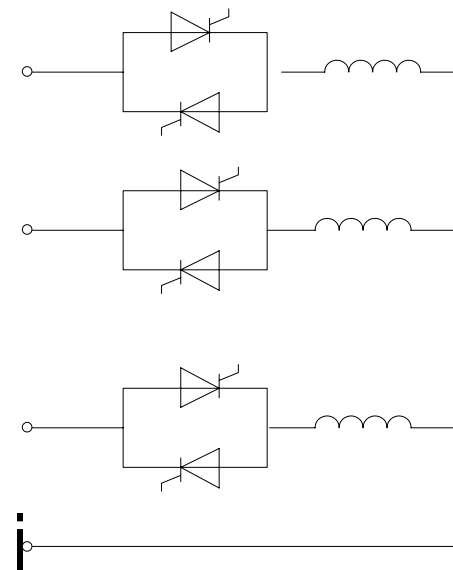
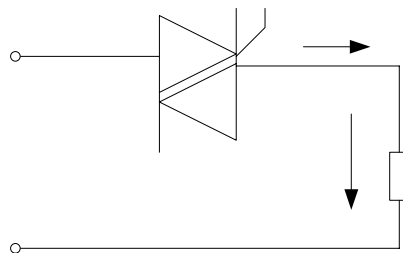
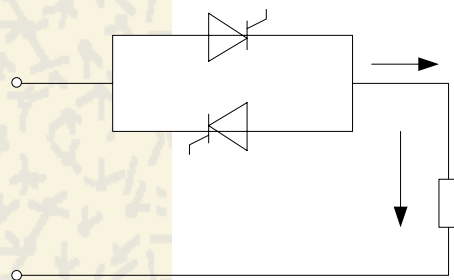
1. 定子调压调速

由异步电动机电磁转矩方程:

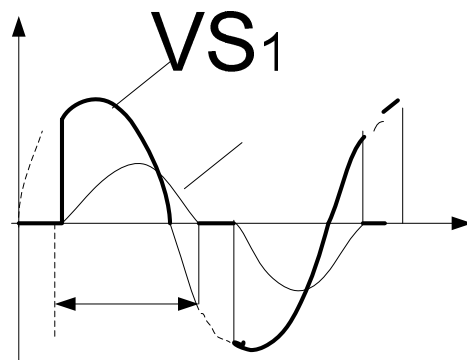
$$T = K_t \Phi I_2 \cos \varphi_2 = K \frac{S R_2 U_1^2}{R_2^2 + (S X_{20})^2} = K \frac{S R_2 U^2}{R_2^2 + (S X_{20})^2}$$

可知，异步电动机的转矩与定子电压的平方成正比，因此，改变异步电动机的定子电压也就是改变电动机的转矩及机械特性，从而实现调速，这是一种比较简单而方便的方法。

交流调压电路



$\sim U_2$



VS_2

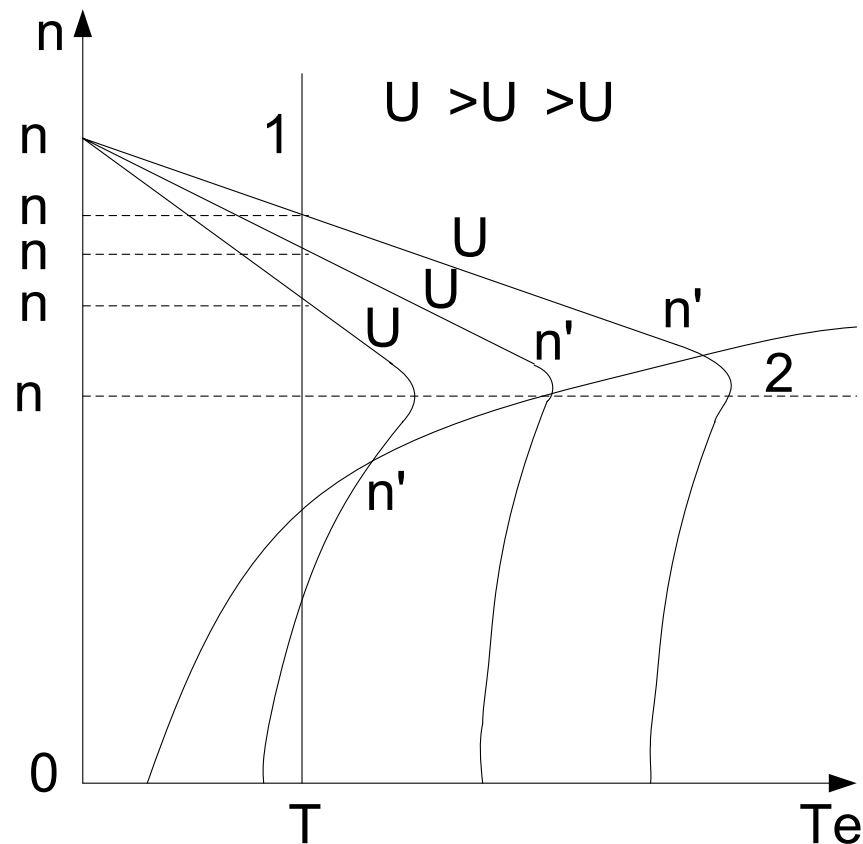
u

R

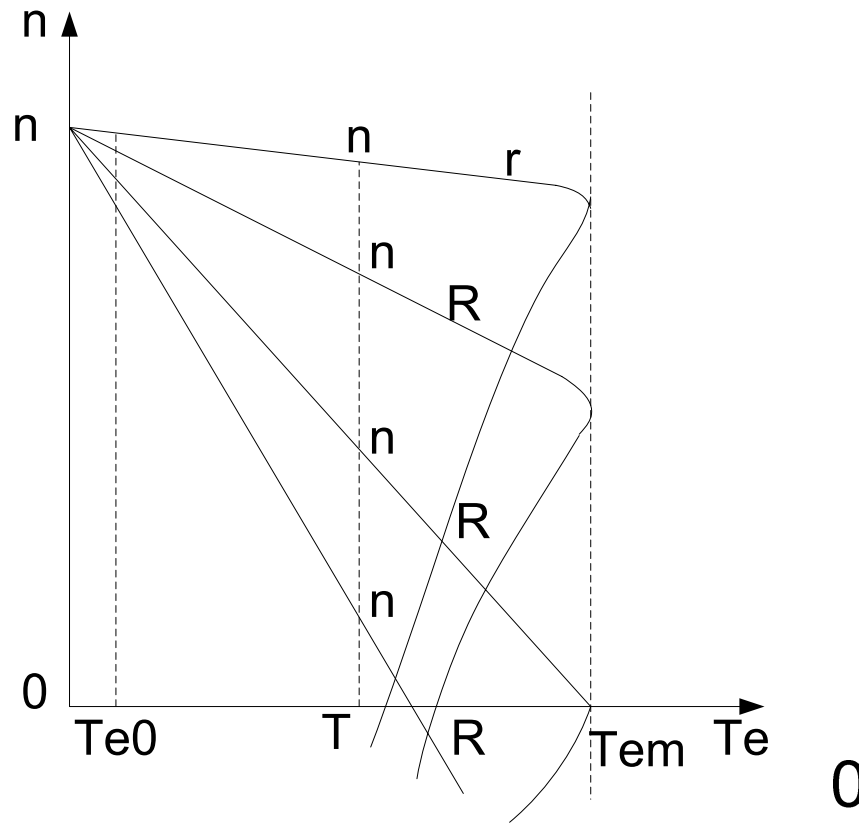
$\sim U_2$

交流调压调速特性

对于普通异步电动机，当改变定子电压 U 时，得到一组不同的机械特性，在某一恒转矩负载 T_L 的情况下，电动机的转速变化范围不大。随着电动机转速的降低会引起转子电流相应增大，可能引起过热而损坏电动机，所以**要求低速运行的恒转矩负载不适合采用交流调压调速。**



2. 绕线式异步电机转子串电阻调速



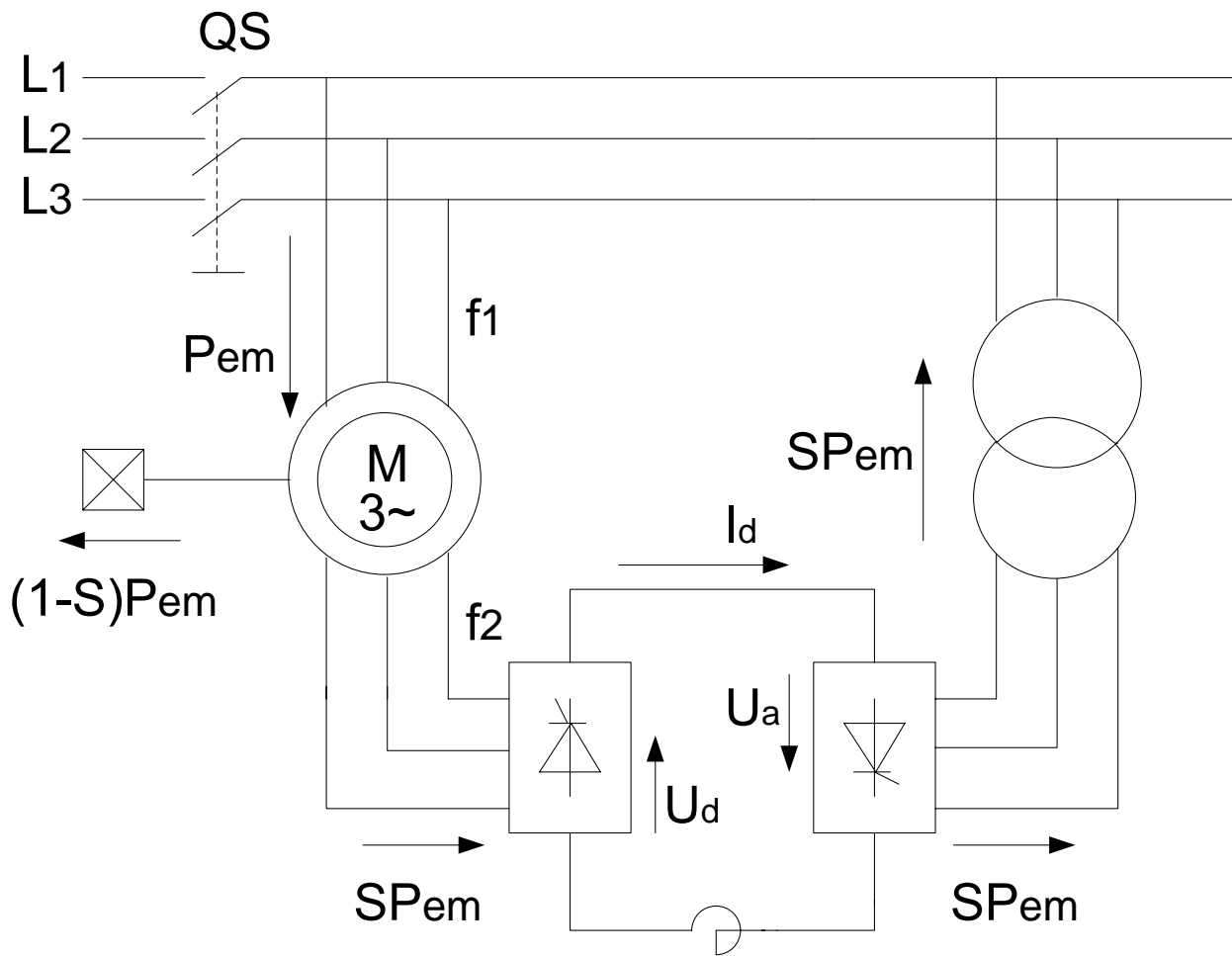
3. 绕线式异步电机串级调速

异步电动机的串级调速，就是在异步电动机转子电路内引入附加电势 E_{ad} ，以调节异步电动机的转速。引入电势的方向，可与转子电动势 E_2 方向相同或相反，其频率则与转子频率相同。

当转子电路中引入附加电势 E_{ad} 时，转子电流为

$$I_2 = \frac{SE_{20} - E_{ad}}{\sqrt{R_2^2 + S^2 X_{20}^2}}$$

串级调速系统电路



§ 9.2 异步电机变频调速原理

所谓变频调速，就是通过改变电动机定子供电频率以改变同步转速来实现调速的。在调速过程中，从高速到低速都可以保持有限的转差功率，因而，具有高效率、宽范围和高精度的调速性能。所以变频调速是异步电动机调速最理想的一种方法。由

$$n_0 = 60 f / p$$

可知改变定子电源频率就可以改变同步转速和电动机的转速。

一、变频器的基本结构

由电机原理知：

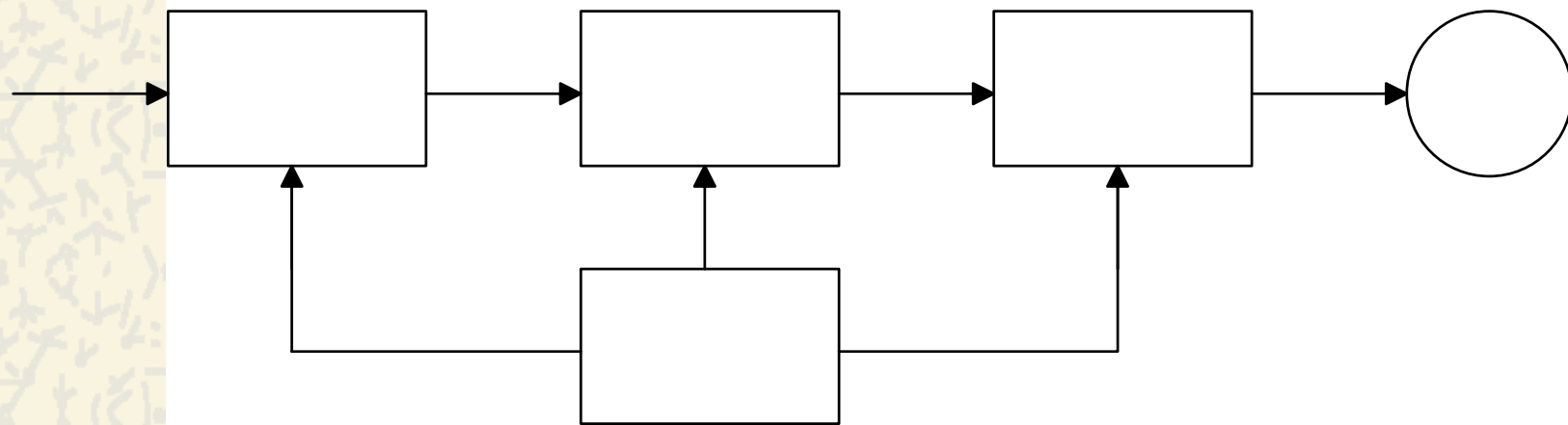
$$U_x \approx E = 4.44 f \cdot K_N \cdot N \cdot \Phi = Cf\Phi$$

由于C为常数，则

$$\Phi \propto E / f \approx U_x / f$$

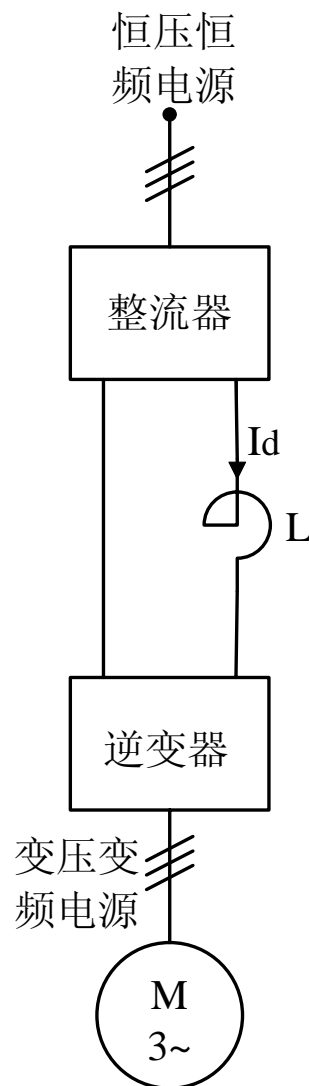
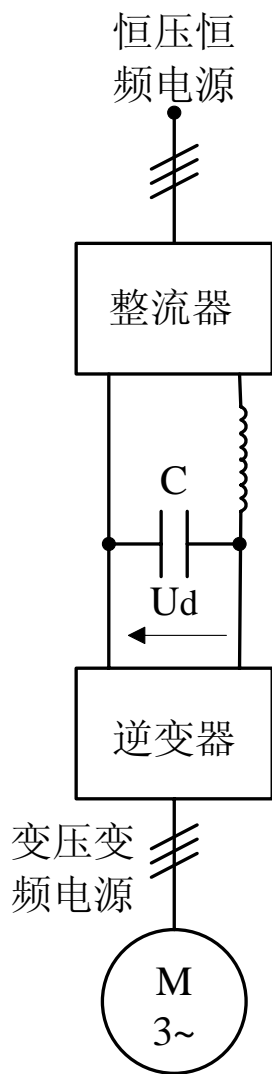
因此，若外加电压不变，则磁通随频率改变而改变，亦即频率降低，则磁通增加；频率增加，磁通降低。显而易见，前者有可能造成电动机的磁路过饱和，从而导致励磁电流的增加而引起铁心过热。为了解决这一问题，这就要求在变频调速系统中，频率与电压能协调控制，即 U_x 必须与 f 成比例地变化。

交-直-交变频器的基本结构

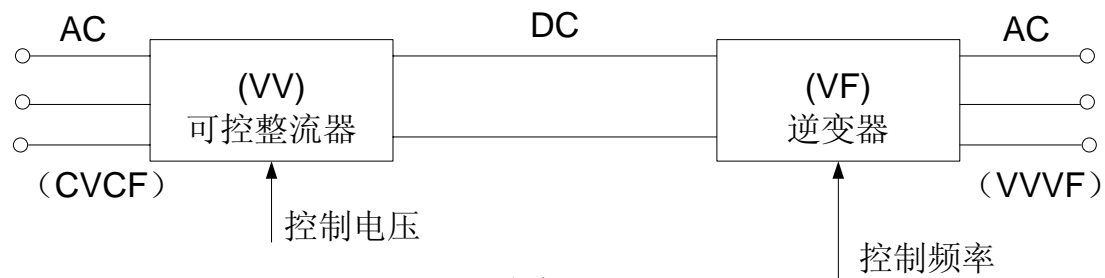


恒压恒频
交流电源

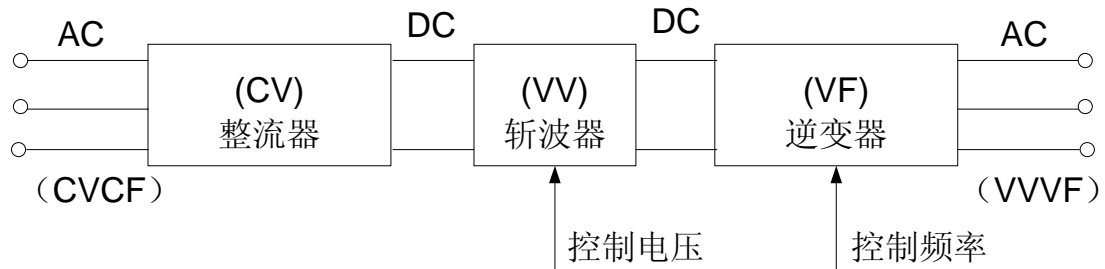
1、交-直-交变频器主电路结构



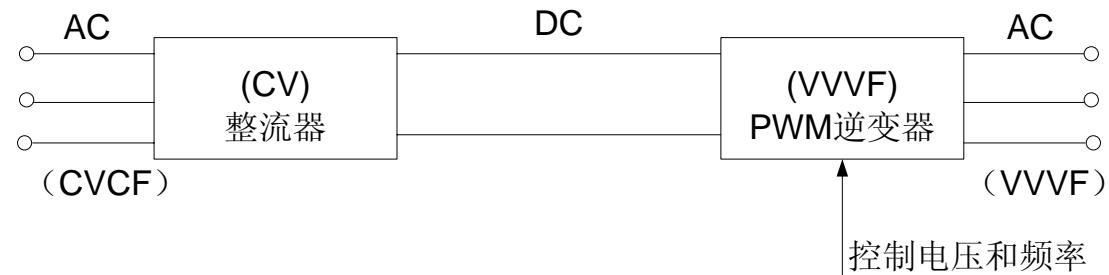
输出电压调制方式



(a)

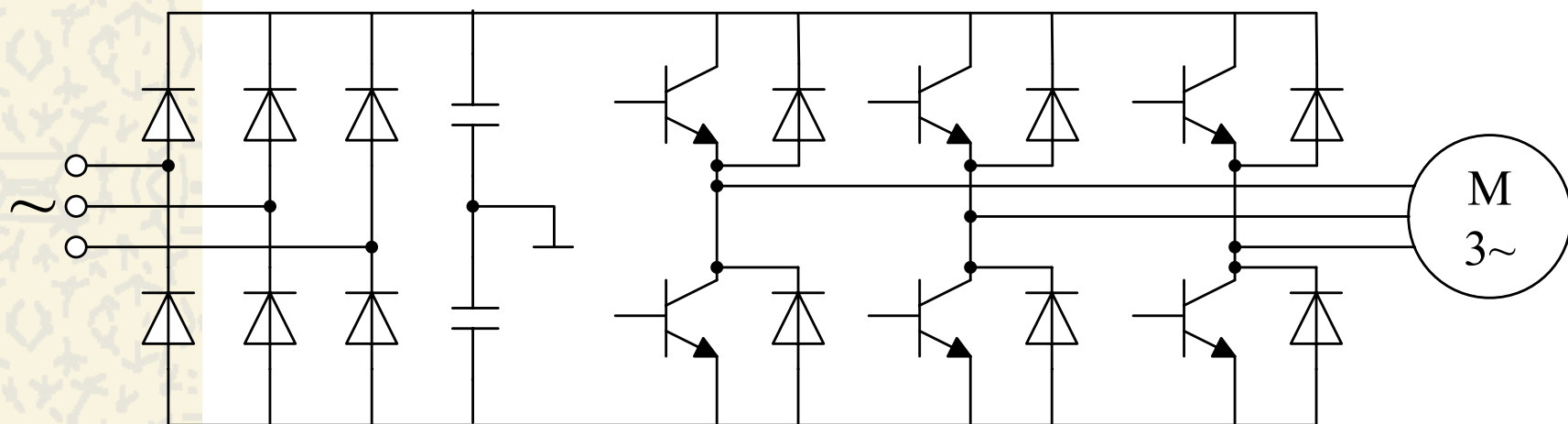


(b)



(c)

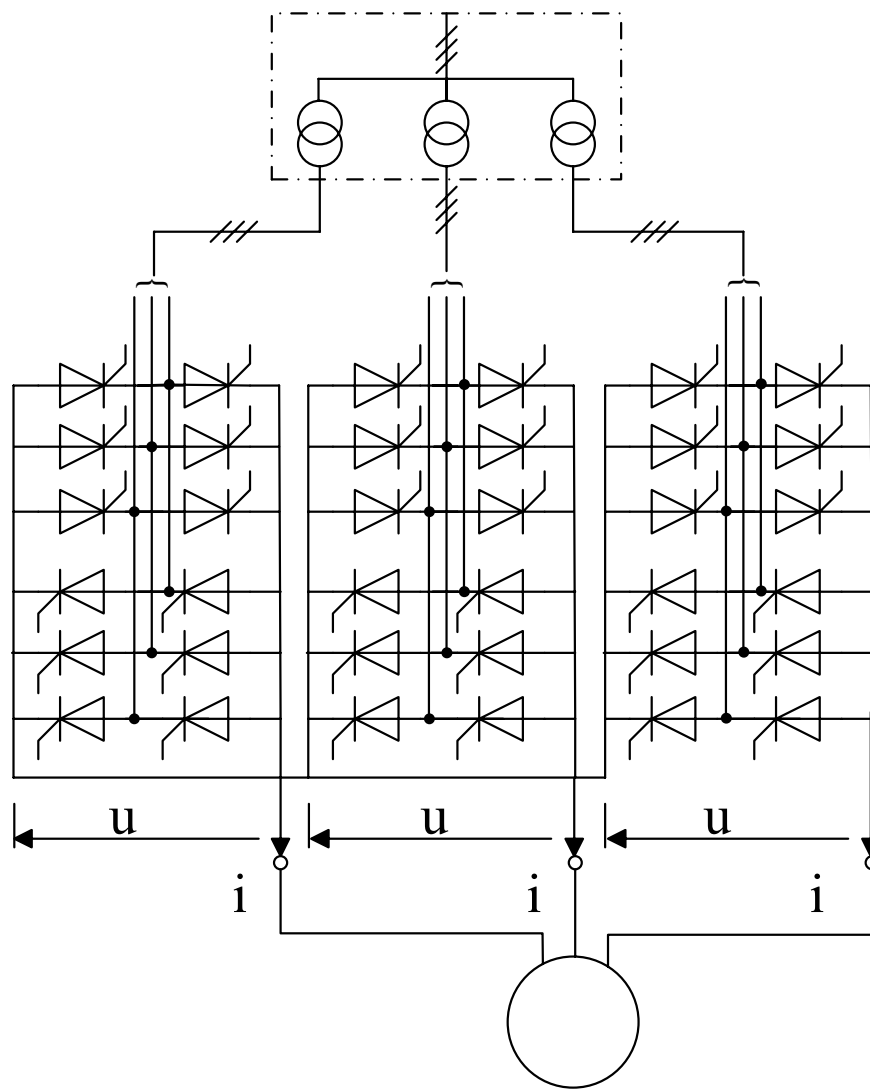
PWM逆变器同时调压调频的交—直—交变频器主电路



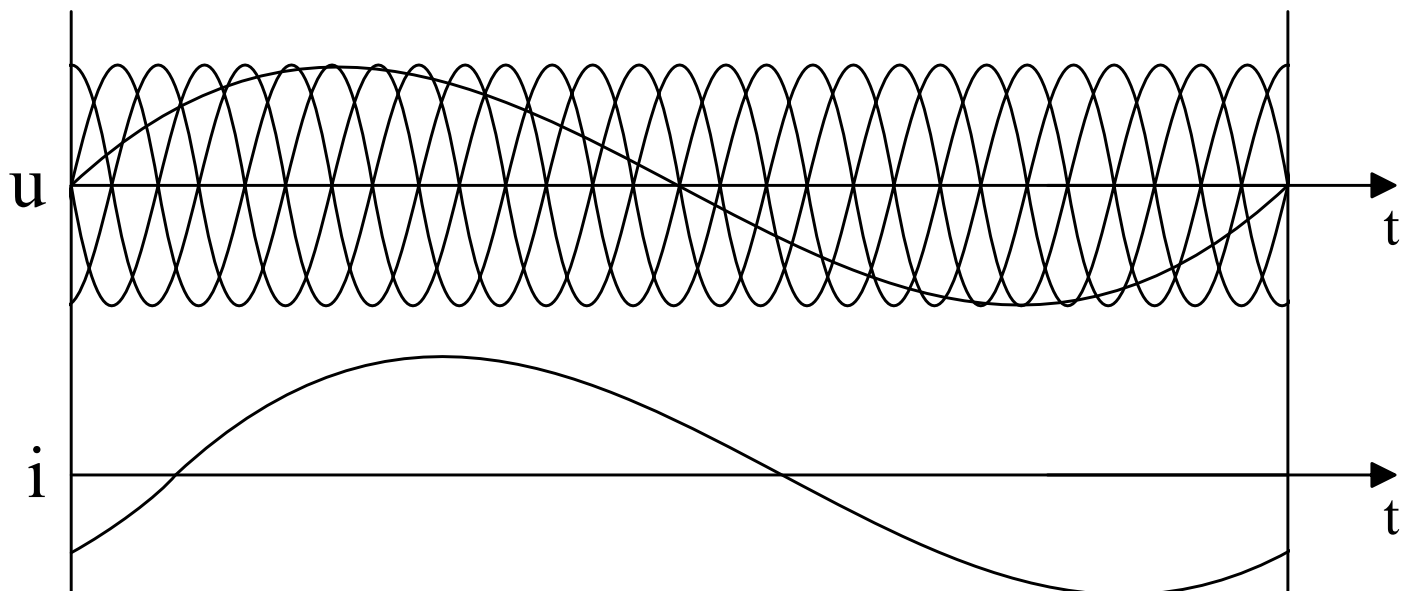
VT

$U_d/2$

2、交-交变频器主电路结构



交—交变频器输出电压波形



交—交变频器主要特点

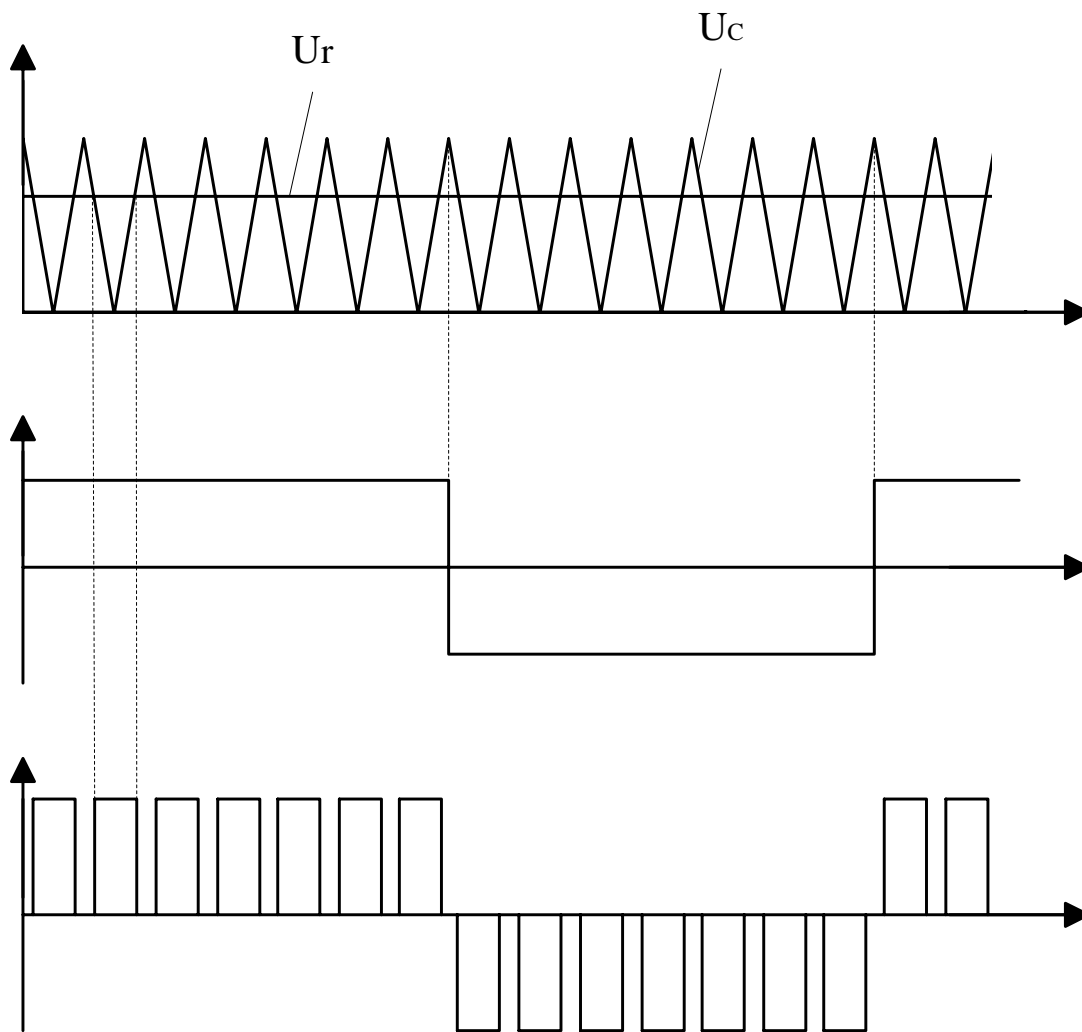
- (1) 原理主要基于可逆整流，可直接引用成熟的直流可逆调速的技术和经验。
- (2) 输出到电动机的电流近似于三相正弦电力，附加损耗小，转矩脉动量小。
- (3) 采用元器件的数量较多，如果采用三相桥式接法，需要36个晶闸管。
- (4) 由于输出电压波形是由电源波形的区段组成的，为了使波形畸变不至于过大，输出频率不能高于电网频率的 $1/3 \sim 1/2$ 。当电源频率为50赫兹时，作大输出频率不超过20赫兹。
- (5) 拖动的电机一般属于普通电机，价格便宜，但是转速低。对于4极电机，最高速小于600r/min.

交—交变频器通常用于大功率（500kw或1000kw以上）、低速（600r/min以下）的场合，如扎钢机、球磨机、水泥回转窑等。

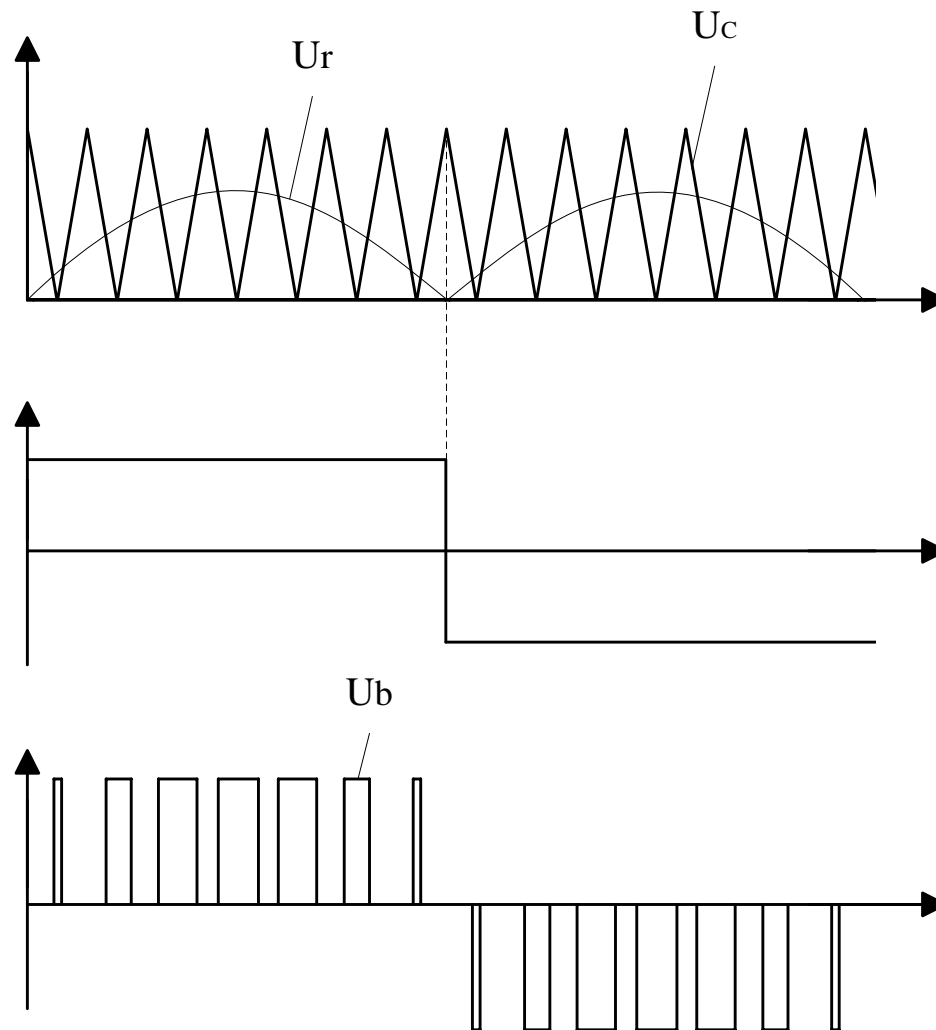
二、变频器的输出调制方式

- ✿ PAM方式
- ✿ 简单PWM方式
- ✿ SPWM方式

1、简单PWM方式



2、SPWM方式



三、变频调速的控制方式

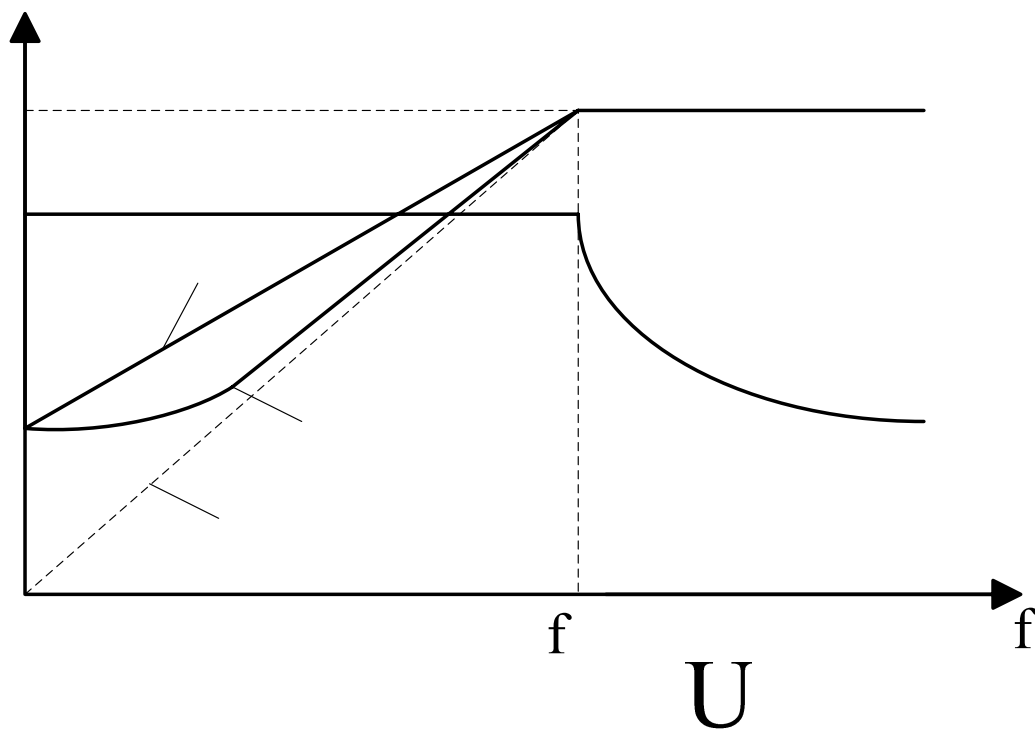
- ✿ 电压频率协调控制
- ✿ 转差频率控制
- ✿ 矢量控制
- ✿ 直接转矩控制

9.3 标量控制的变频调速系统

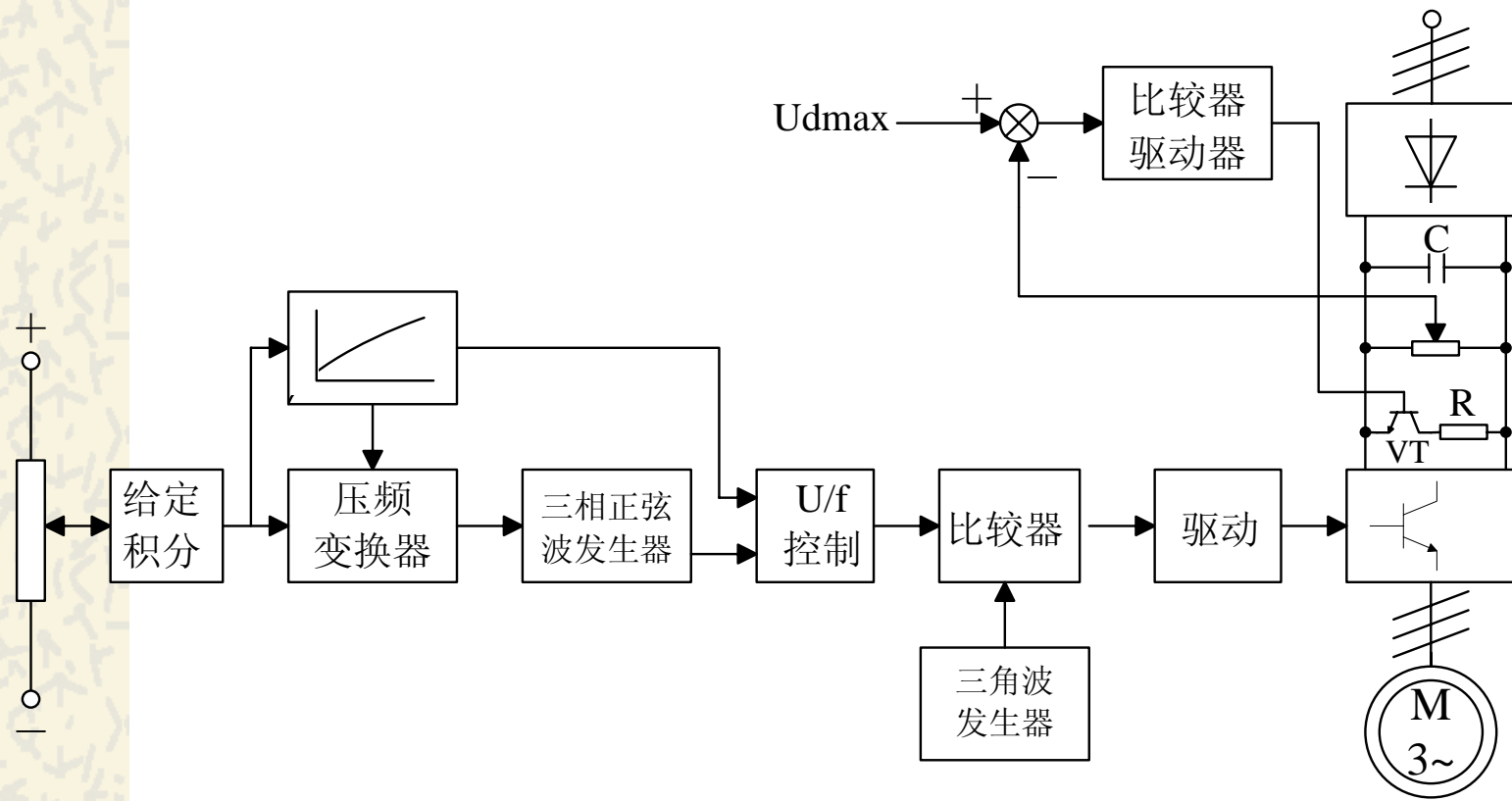
一、电压频率协调控制

U/f控制是改变频率的同时控制变频器的输出电压，使电机磁通保持一定，在广范围内调速运转时电动机的效率、功率因数不下降。

电压频率协调控制特性



电压频率协调控制电路框图

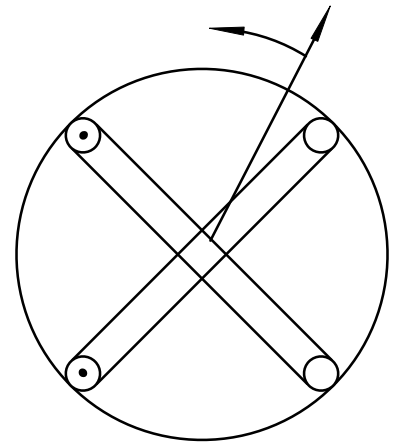
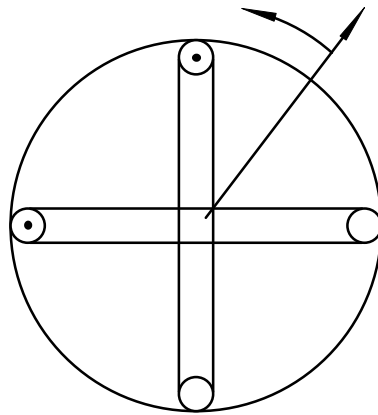
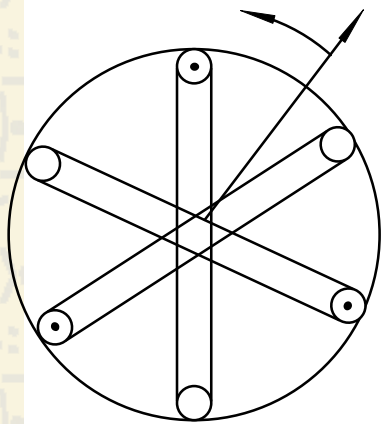


9.4 矢量控制的变频调速系统

矢量变换控制的基本思路，是以产生同样的旋转磁场为准则，建立三相交流绕组电流、两组交流绕组电流和在旋转坐标上的正交绕组直流电流之间的等效关系。

矢量控制方式的特征是：它把交流电动机解析成直流电动机一样的转矩发生机构，按照磁场与其正交电流的积就是转矩这一基本的原理，从理论上将电动机的一次电流分离成建立磁场的励磁分量和磁场正交的产生转矩的转矩分量，然后进行控制。其控制思想就是从根本上改造交流电动机，改变其产生转矩的规律，设法在普通的三相交流电动机上模拟直流电动机控制转矩的规律。

不同绕组下的等效旋转磁场



$A \omega_0$

Φ

9.5 直接转矩控制的变频调速系统

这是交流调速控制理论的又一突破。它可以直接在定子坐标上计算电机的转矩和磁通，并能使转矩响应时间控制在一个节拍以内，且无超调。这就避开了矢量控制系统的复杂计算，又比矢量控制优越。所以，这是一个颇有发展前途的控制新概念。

直接转矩控制的特点：

- (1) 在定子坐标系下分析交流机的数学模型，直接控制磁链和转矩，不需与直流机做比较、等效、转化等，省去了复杂的计算。
- (2) 直接转矩控制以定子磁场定向，只需定子参数，而不需随转速变化的，难以测定的转子参数，大大减少了参数变化对系统性能的影响。
- (3) 采用电压矢量和六边形磁链轨迹，直接控制转矩
- (4) 转矩和磁链都采用两点调节器（带滞环的band-band控制），把误差限制在容许的范围内，控制直接又简化。
- (5) 控制信号的物理概念明确，转矩响应迅速，而且无超调，具有较高的动静态性能。