PLC/变频器/触摸屏综合应用技术

2020/2/25

第二篇、变频器

模块一 变频驱动技术基础知识

- 一、通用变频器的基本认识
- 二、通用变频器的内部基本结构
- 三、通用变频器的工作原理
- 四、变频器的控制方式

任务一 、变频系统的基本认识

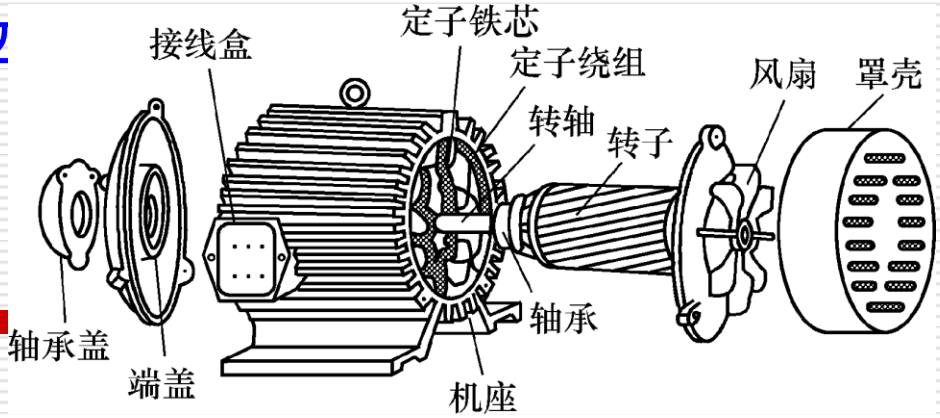
一、为什么要采用变频的方式来调速

如何调速？

↓

跟电动机转动原理有关

结构：　定子 + 转子



工作原理：

三相交流电 —通入→ 三相定子绕组 —产生→ 旋转磁场

转子在旋转磁场中 —相对运动、切割磁力线→ 感生电流 → 转子成了“通电导体”

通电导体在旋转磁场中 —受到力的作用→ 转子转动

根据电动机的工作原理，可知调速方法有哪些？

三相异步电动机的转速公式：

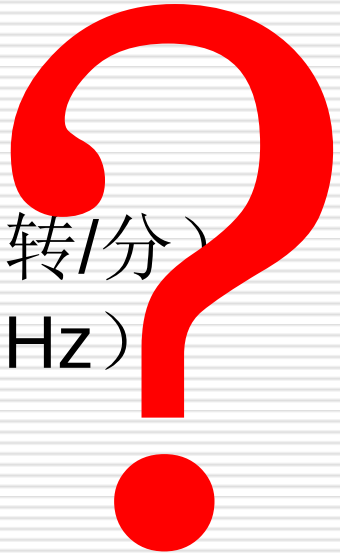
$$n = \frac{f \times 60}{p}(1-s)$$

n——电动机转速 （转/分）

f ——交流电频率 （Hz）

s——电动机转差率

p——电机磁极对数



所以调速方式有：

变极、变转差率、变频

交流电气传动系统的发展历程

控制对象	调速方式名称	特点
交流异步电动机	变极调速	“有级”调速（通常小于4段速）
	调压调速	属于“变转差率”调速， 无级调速，但调速范围窄； 电机最大输出力能力下降，效率低； 系统简单，但性能较差。
	转子串电阻调速	
交流异步电动机 交流同步电动机	变频调速	真正无级调速，调速范围宽； 电机最大出力能力不变，效率高； 系统复杂，但性能好。

早 → 发展时间 → 晚

变频如何实现？

二、通用变频器的内部基本结构

- 变频器通常有：交-交变频及交-直-交变频两种。
- 其中交-交变频就是把电网频率的交流电直接变换成可调频率的交流电，

(1)因为是直接变换，能量转换效率较高

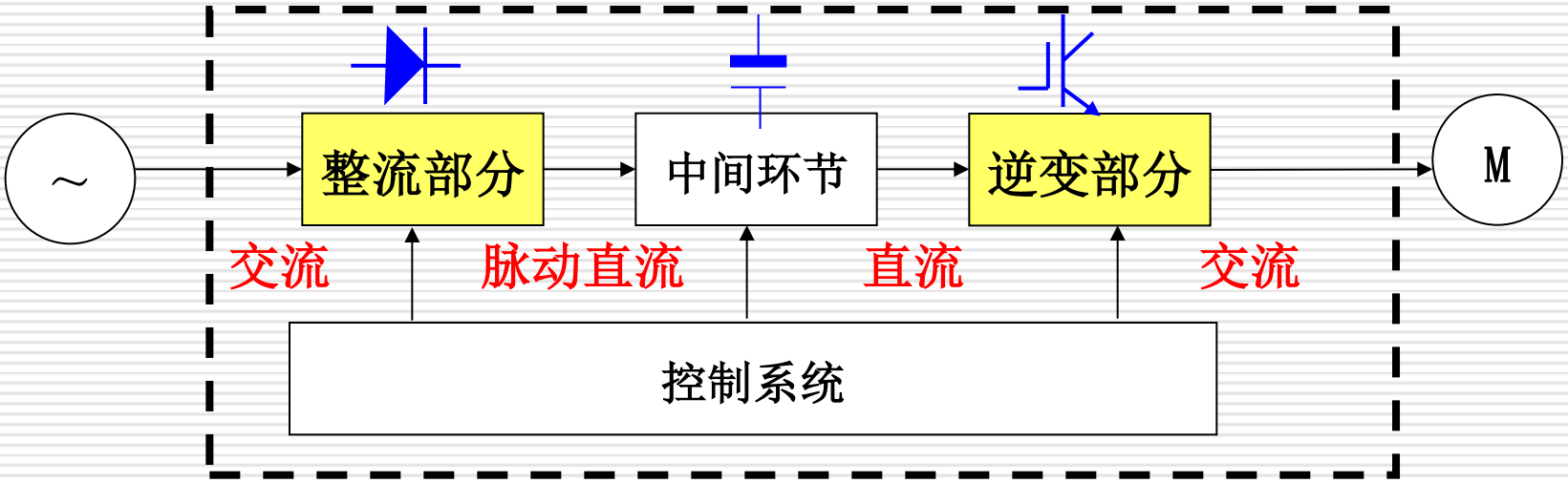
(2)由于是交-交直接变换，因而其输出频率比输入的频率低得多，输出波形较好，最高输出频率仅为电网的1/3左右。

鉴于以上特点，交-交变频器特别适合于大容量的低速传动，在轧钢、水泥、牵引等方面有着广阔的应用前景。

- 本课程介绍的是交-直-交变频。

二、变频器的内部基本结构：

低压通用变频器通常为“交直交”变频方式，系统框图如下：



1、整流器：将交流→成直流的装置；

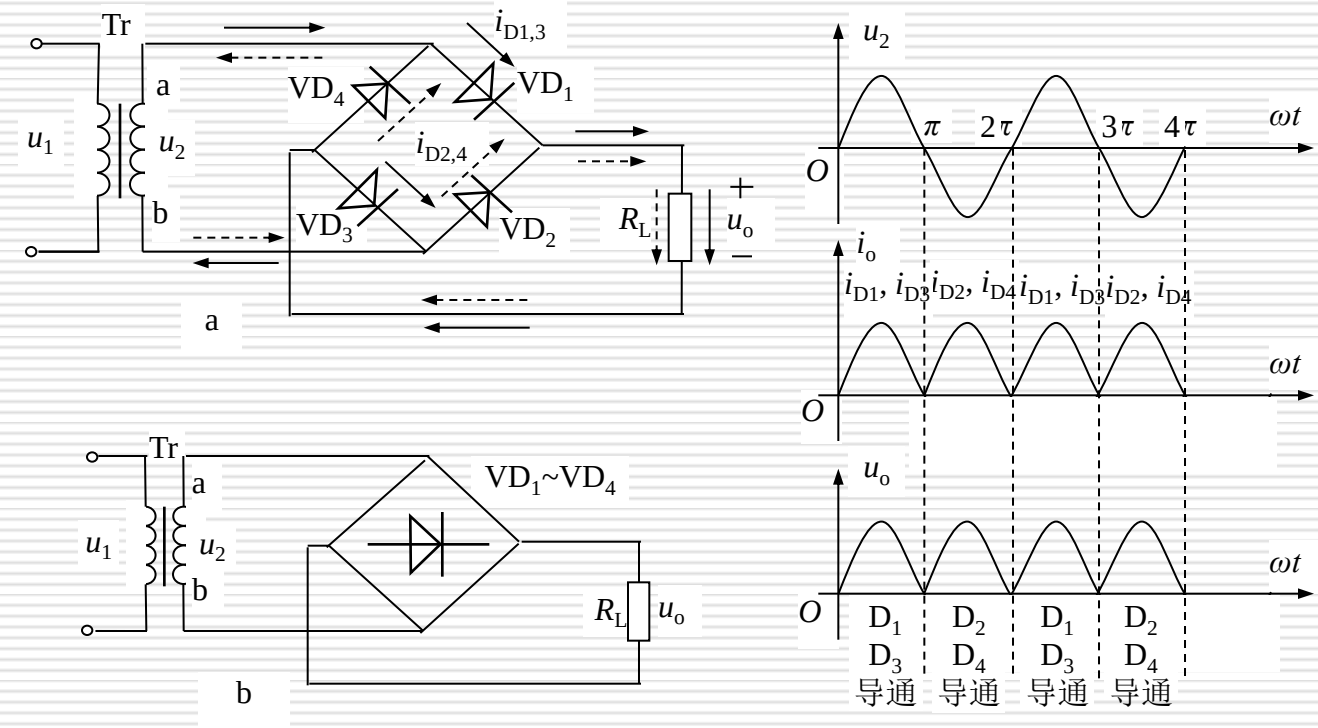
2、逆变器：将直流→交流的装置；

3、中间环节：缓冲、储能；

4、控制系统：完成对逆变器的开关控制、对整流器的电压控制及各种保护功能等。

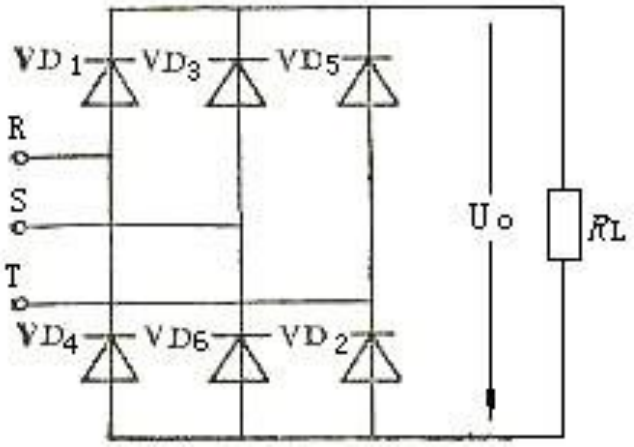
三、变频器简要工作原理：整流、中间环节、逆变

1、整流电路工作原理（单相整流为例）

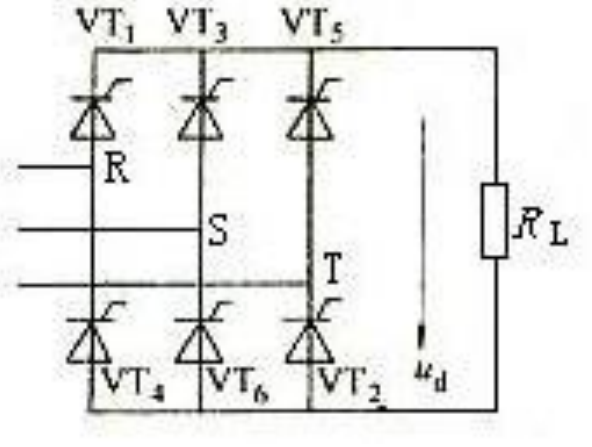


- 整流：“交流→单向脉动电流”
- 整流电路：利用二极管的单向导电性将交流电转换成直流电的电路。

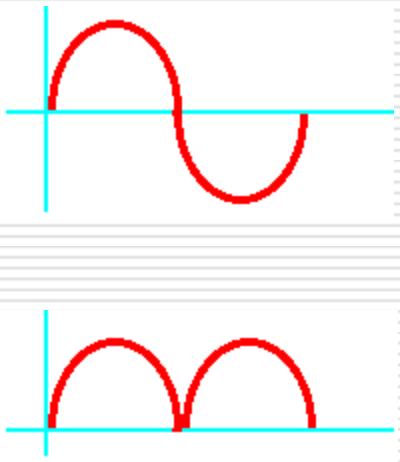
1、整流电路工作原理（三相整流）



不可控整流电路

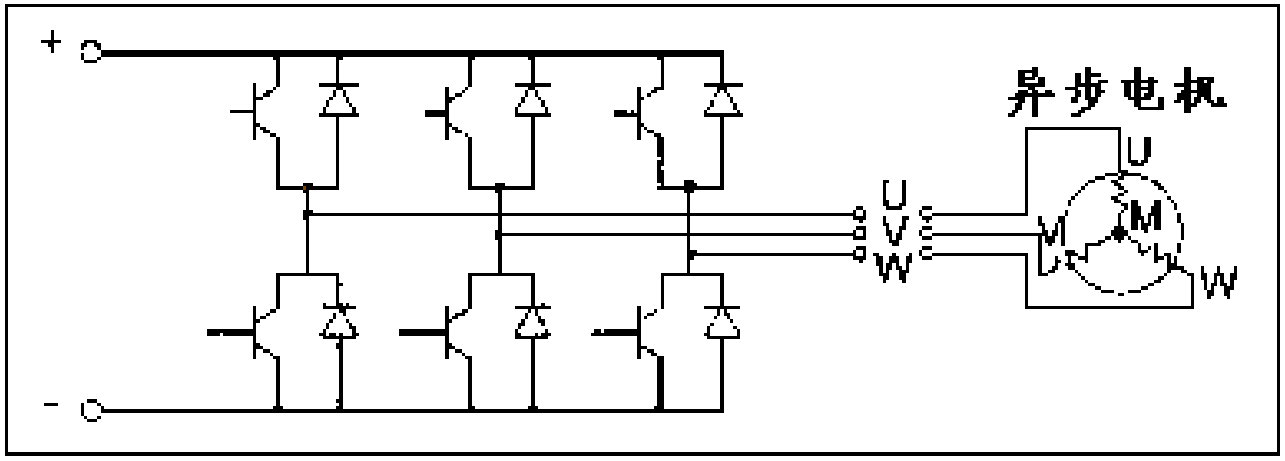


可控整流电路



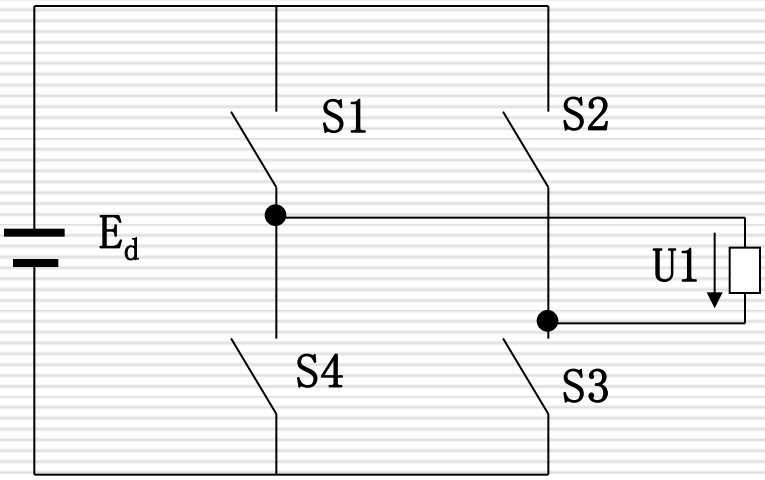
整流电路：将交流电AC转换成脉动直流电DC。

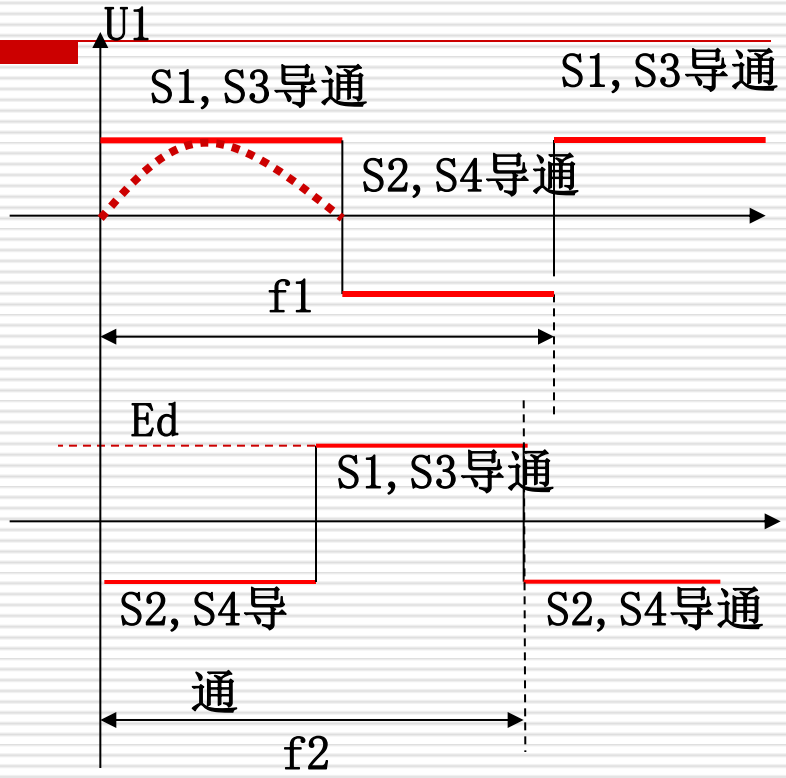
2、逆变器工作原理



- 按一定顺序接通和关断6个晶体管当中的三个，逆变器将直流回路中的直流电压变换成电压、频率都可变化的三相交流电。
- 晶体管作为开关使用，当一个晶体管关断以后续流二极管释放多余的能量。

2、逆变器工作原理（单相逆变电路为例）

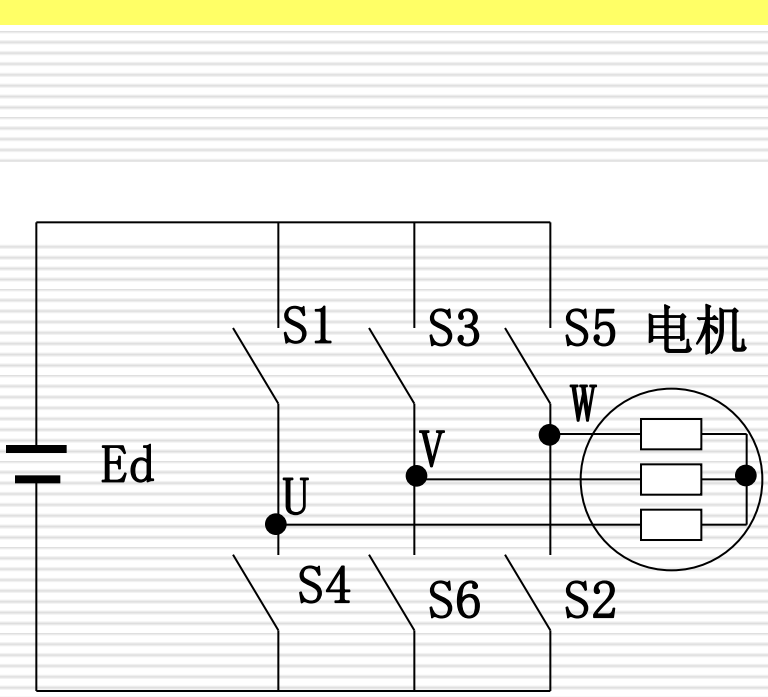


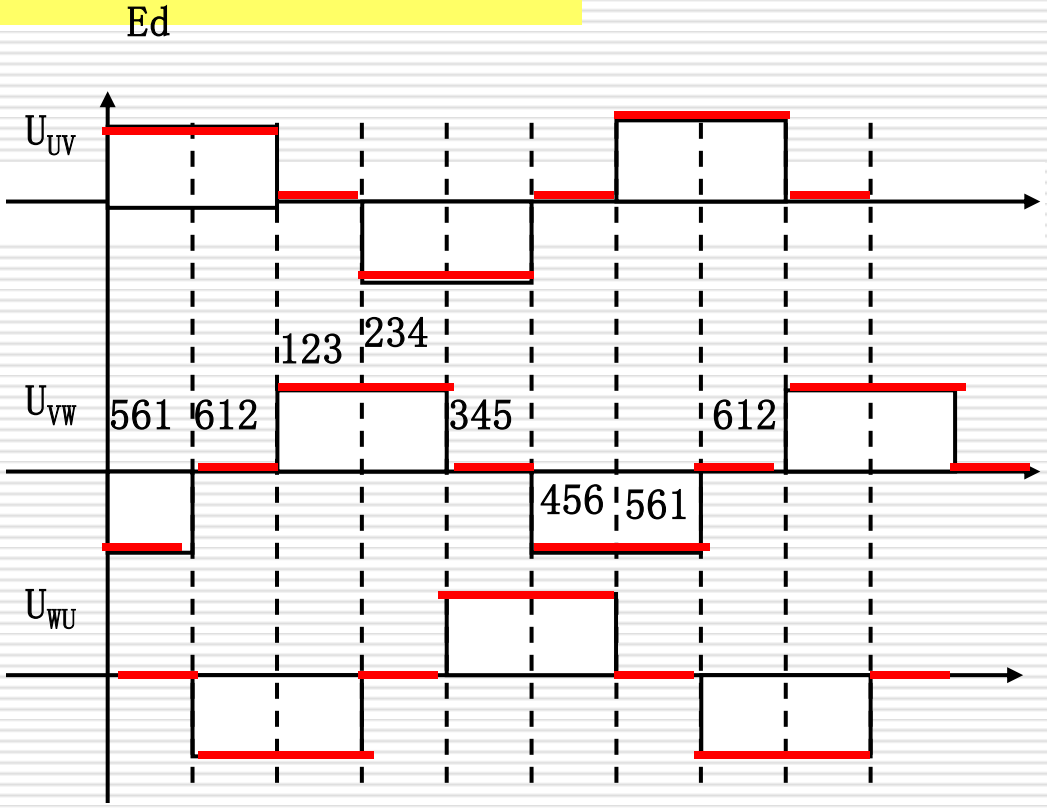


逆变器的功能：（ 直流→交流 ）

- 通过改变开关管导通时间改变输出电压的频率；
- 通过改变开关管导通顺序改变输出电压的相序。

2、逆变器工作原理（三相逆变电路）





缺点：

- 输出电压非正弦波；
- 转矩脉动较大，低速运行时影响转速的平稳
- 采用PWM调制方式大大的缓解了以上问题。

3、中间电路

变频器的中间电路有滤波电路和回馈制动电路等。

*滤波电路

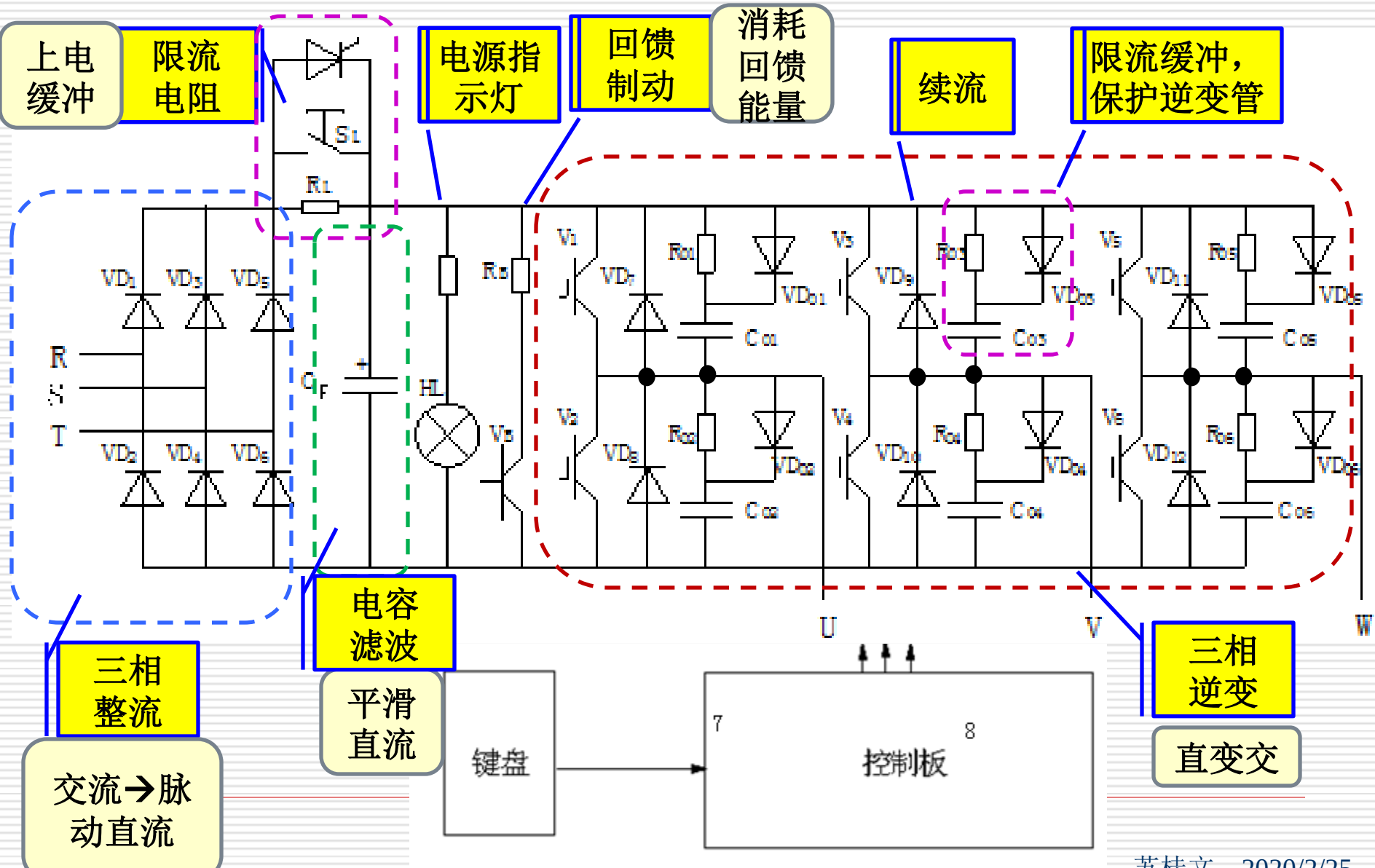
利用整流电路可以从电网的交流电源得到脉动直流。

须对整流电路的输出进行滤波，以减少电压或电流的波动。这种电路称为滤波电路（常采用电容滤波）

*回馈制动电路：

在变频调速系统中，电动机的降速和停车是通过逐渐减小频率来实现的，在频率减小的瞬间，电动机的同步转速随之下降，而由于机械惯性的原因，电动机的转子转速未变（转速变化有一定的滞后），这时会出现实际转速大于给定转速，从而产生电动机反电动势e高于变频器直流端电压u的情况,即e>u。这时电动机就变成发电机。

4、变频器的构成及工作原理——框图



变频器内部电路各部分作用

一、交－直变换部分

1、VD1～VD6组成三相整流桥，将交流变换为直流。

如三相线电压为**UL**，则整流后的直流电压**UD**为：

UD＝1.35UL

2、滤波电容器**CF**作用：

（**1**）滤除全波整流后的电压纹波；

（**2**）当负载变化时，使直流电压保持平衡。

因为受电容量和耐压的限制，滤波电路通常由若干个电容器并联成一组，又由两个电容器组串联而成。如图中的**CF1**和**CF2**。由于两组电容特性不可能完全相同，在每组电容组上并联一个阻值相等的分压电阻**RC1**和**RC2**。

3、限流电阻**RL**和开关**SL**

RL作用：变频器刚合上闸瞬间冲击电流比较大，其作用就是在合上闸后的一段时间内，电流流经**RL**，限制冲击电流，将电容**CF**的充电电流限制在一定范围内。

SL作用：当**CF**充电到一定电压，**SL**闭合，将**RL**短路。一些变频器使用晶闸管代替（如虚线所示）。

4、电源指示**HL**作用：除作为变频器通电指示外，还作为变频器断电后，变频器是否有电的指示（灯灭后才能进行拆线等操作）。

变频器内部电路各部分作用

二、能耗制动电路部分

1、制动电阻**RB**　　变频器在频率下降的过程中，将处于再生制动状态，回馈的电能将存贮在电容**CF**中，使直流电压不断上升，甚至达到十分危险的程度。**RB**的作用就是将这部分回馈能量消耗掉。一些变频器此电阻是外接的，都有外接端子（如**DB**＋，**DB**－）。

2、制动单元**VB**　　由**GTR**或**IGBT**及其驱动电路构成。其作用是为放电电流**IB**流经**RB**提供通路。

三、直－交变换部分

1、逆变管**V1**～**V6**

组成逆变桥，把**VD1**～**VD6**整流的直流电逆变为交流电。这是变频器的核心部分

2、续流二极管**VD7**～**VD12**

作用：（**1**）电机是感性负载，其电流中有无功分量，为无功电流返回直流电源提供“通道”；

（**2**）频率下降，电机处于再生制动状态时，再生电流通过**VD7**～**VD12**整流后返回给直流电路；

（**3**）**V1**～**V6**逆变过程中，同一桥臂的两个逆变管不停地处于导通和截止状态。在这个换相过程中，也需要**VD7**～**VD12**提供通路。

变频器内部电路各部分作用

四、缓冲电路

逆变管在导通和判断的瞬间，其电压和电流的变化率是比较大的，可能全逆变管受到损害。因此，每个逆变管旁边还就接入缓冲电路，其作用就是减缓电压和电流的变化率。

1、C01～C06

逆变管**V1～V6**每次由导通到截止的判断瞬间，集电极**C**和发射极**E**间的电压将迅速地由**0V**上升为直流电压**UD**。过高的电压增长率将导致逆变管的损坏。**C01～C06**的作用就是减小逆变管由导通到截止时过高的电压增长率，防止逆变损坏。

2、R01～R06

逆变管**V1～V6**由导通到截止的瞬间，**C01～C06**所充的电压（等于**UD**）将**V1～V6**放电。此放电电流的初值很大，并且叠加在负载电流上，导致逆变管的损坏。**R01～R06**的作用就是限制逆变管在导通瞬间**C01～C06**的放电电流。

3、VD01～VD06 **R01～R06**的接入，又会影响到**C01～C06**在**V1～V6**关断时减小电压增长率的效果。**VD01～VD06**接入后，在**V1～V6**关断过程中，使**R01～R06**不起作用；而在**V1～V6**接通过程中，又迫使**C01～C06**的放电电流流经**R01～R06**。

为什么调频的同时要调压？

- 通常变频调速叫**VVVF**，
  - **VVVF——Variable Voltage and Variable Frequency**，即是调频调压调速。
  - 在调速的时候，改变频率**F**的同时要相应的改变电压**V**，使**V/F**成一定的比。

1、U / f控制

U / *f* 控制是使变频器的输出在改变频率的同时也改变电压，通常是使*U* / *f*为常数，这样可使电动机磁通量保持一定，在较宽的调速范围内，电动机的转矩、效率、功率因数不下降。

U / f控制目的：保持电动机磁通量恒定

怎样能保持磁通恒定？

Φ=E/（4.44*K*N*F）　→　Φ= 常数*(E/F)

为什么要保持磁通恒定?

$$\Phi=E/(4.44*K*N*F) \rightarrow \Phi=\text{常数}*(E/F)$$

- 从公式可得：如果减小频率**F**，而电源电动势**E**不变，那么磁通量**Φ**必然变大（**F**减少，感抗变小，**I**增大）
- **1)**、因为电机的磁路设计都是按照一定的磁通量设计的，如果**Φ**增大→磁路进入饱和状态→励磁电流过大→绕组过热→烧坏电机。
- **2)**、磁通太弱-电机铁芯利用不充分，输出力矩下降
- 所以须保证磁通**Φ**为恒定，即保证**E/F**为一个常量。

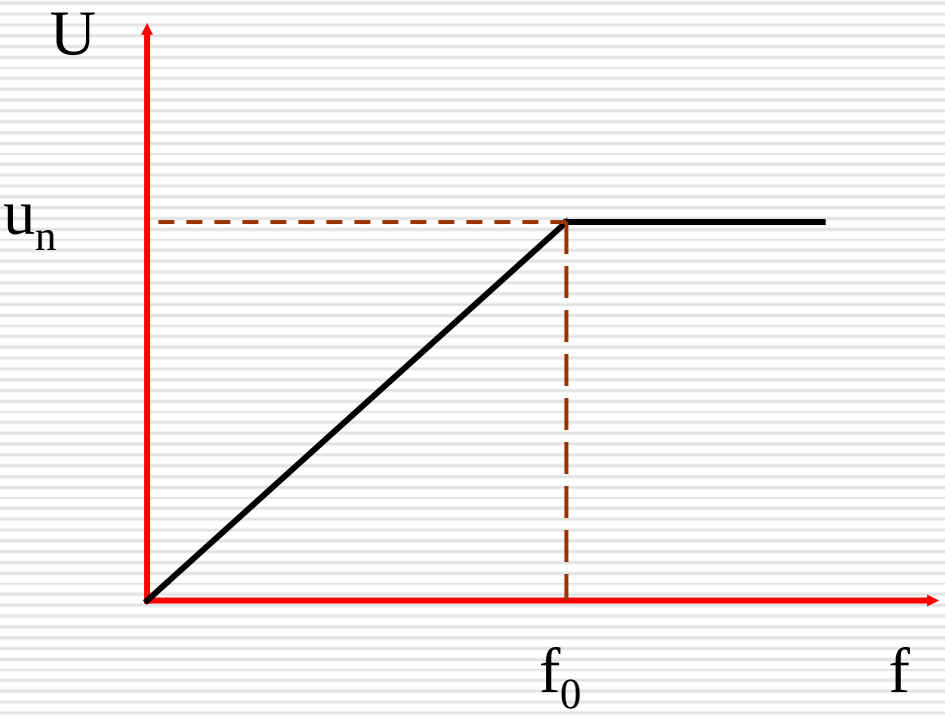
概括：保持磁通恒定的必要性(即E/F成比例)

- 磁通太强-电机励磁电流过大，过热，损耗增加；
- 磁通太弱-电机铁芯利用不充分，输出力矩下降。

- 由于电动势E不方便测量，便把其看作近似于电压U，实际控制中，使U/F成比例变化。
- 由于E和U不完全相等：
  - 在频率F较高时， 输出电压U也变大，电动机定子阻抗引起的压降影响较小，可近似认为E=U,
  - 但是，在频率F较小时，U也变小，此时电动机定子阻抗压降不能忽略，最终导致输出转矩下降。

∴ 需设定△U→转矩提升（△U一般不超过Ue*15%）

V/F 控制的原则



- 在额定频率（**50Hz**）以下，变频器的输出电压随频率同步变化。
- 在额定频率以上，变频器的输出电压不再能随频率的上升而上升，在这种情况下，**U/f**比值将下降，磁通减小，处于弱磁运行状态。
- 通常把转折点称为弱磁点。

V/F 控制的原则

- 在额定频率以下调速（f<=f_N）：

  调节时保持**V/F**恒定→磁通Ø恒定→转矩恒定

  - 恒转矩控制

- 在额定频率以上调速（f>=f_N）：

  f增大，**U**不变，磁通下降→转速上升，转矩下降

  - 恒功率控制

END

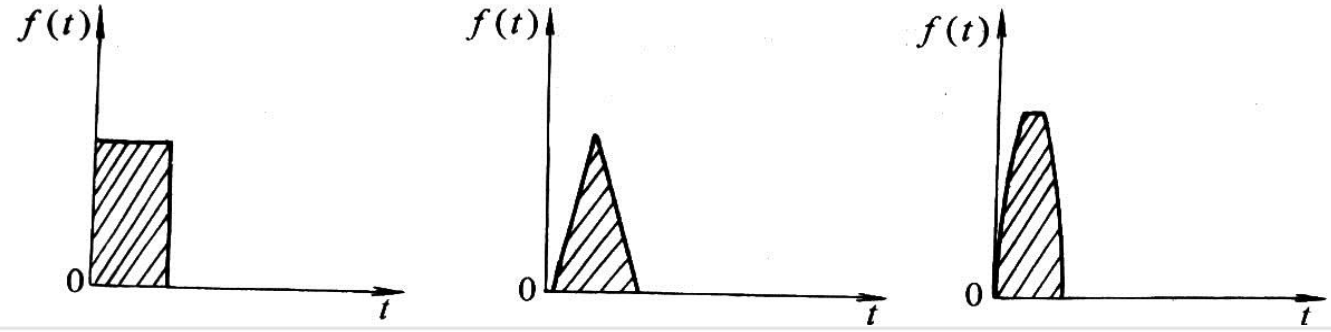
SPWM控制技术简介（略）

- **PWM (Pulse Width Modulation)** 脉宽调制型，是靠改变脉冲宽度来控制输出电压，通过改变调制周期来控制其输出频率。

- **SPWM（Sinusoidal PWM）**正弦波脉宽调制型，**SPWM**控制方式就是对逆变电路开关器件的通断进行控制，使输出端得到一系列幅值相等而宽度不等的脉冲，用这些脉冲来代替正弦波所需要的波形。

SPWM控制的基本原理

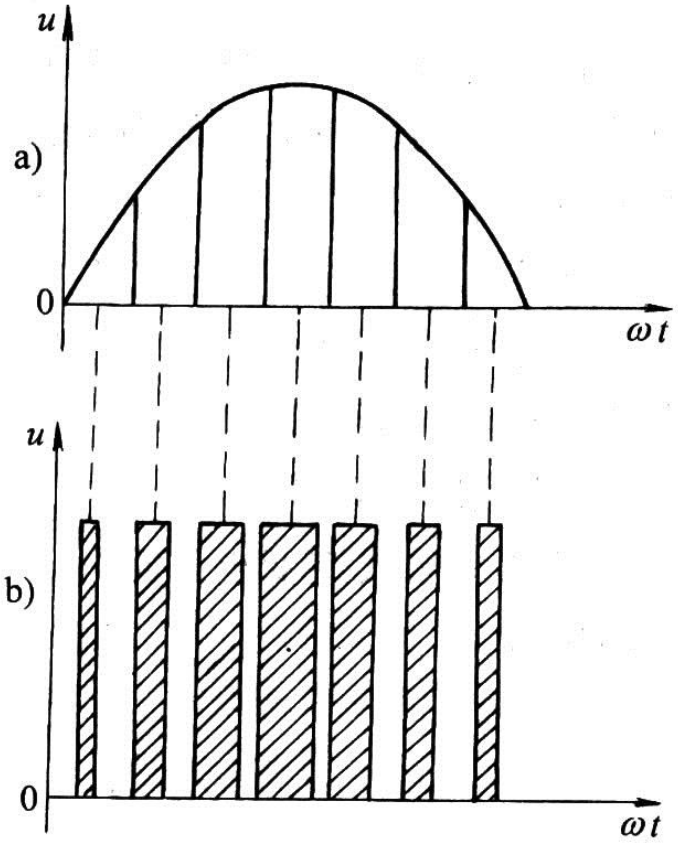
- 采样控制理论有这样一个结论：冲量相等而形状不同的窄脉冲加在具有惯性的环节上时，其效果基本相同。
- 冲量即指窄脉冲的面积，效果基本相同是指环节的输出响应波形基本相同。
- 下图所示，三种窄脉冲形状不同，但面积相同。当它们分别加在同一个惯性环节上时，其输出响应基本相同。且脉冲越窄，其输出差异越小。



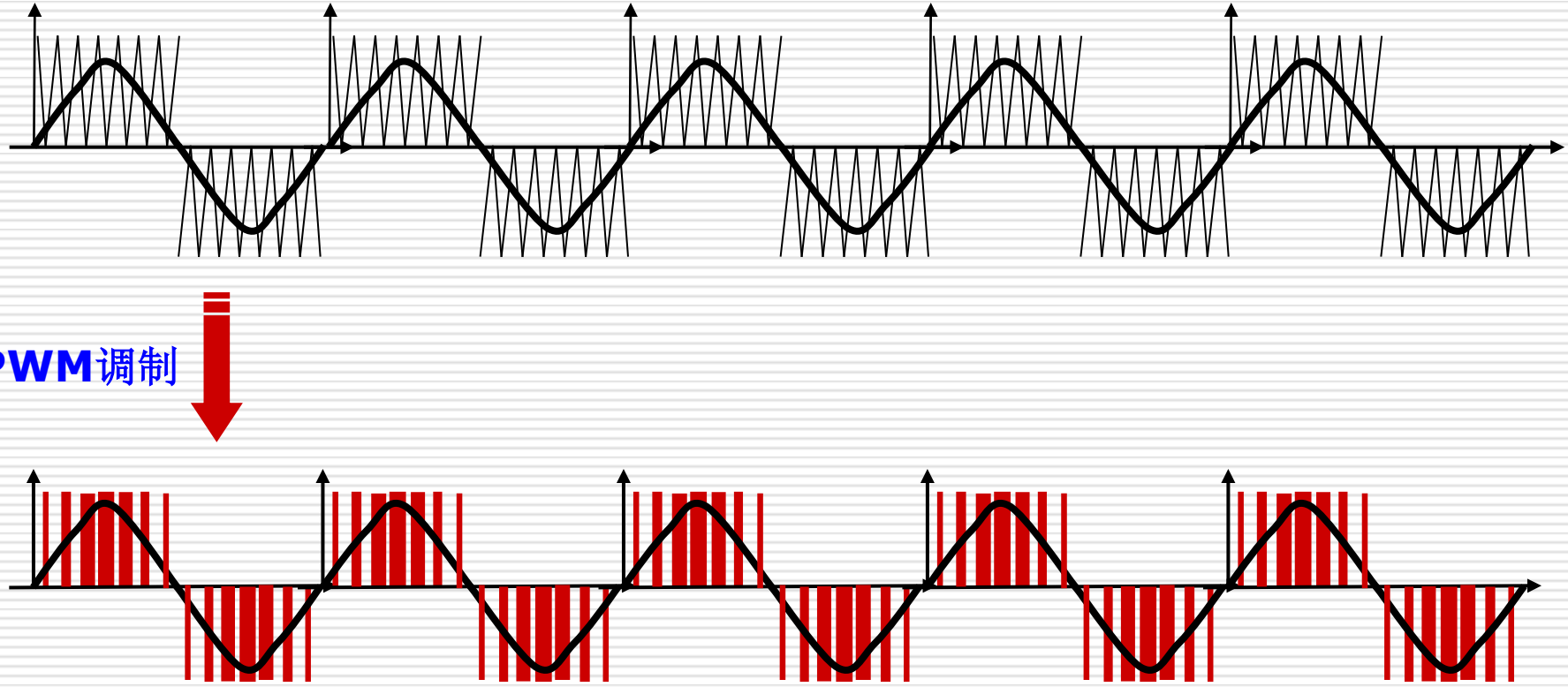
冲量相等形状不同的三种窄脉冲

SPWM控制的基本原理

- 逆变电路只能产生由“等幅不等宽”的脉冲，不能产生“正弦波”；
- 然而，我们希望得到“正弦交流电”的效果；
- 根据上述理论，正弦波可用一系列等幅不等宽的脉冲来代替。
- 因此变频器大多采用SPWM方式进行逆变控制（有SPWM专用集成芯片）



SPWM 方式--------脉冲宽度调节方式



附：U / f控制方式的机械特性（简介）

1、 变频后电动机的机械特性

机械特性曲线的特征如下：

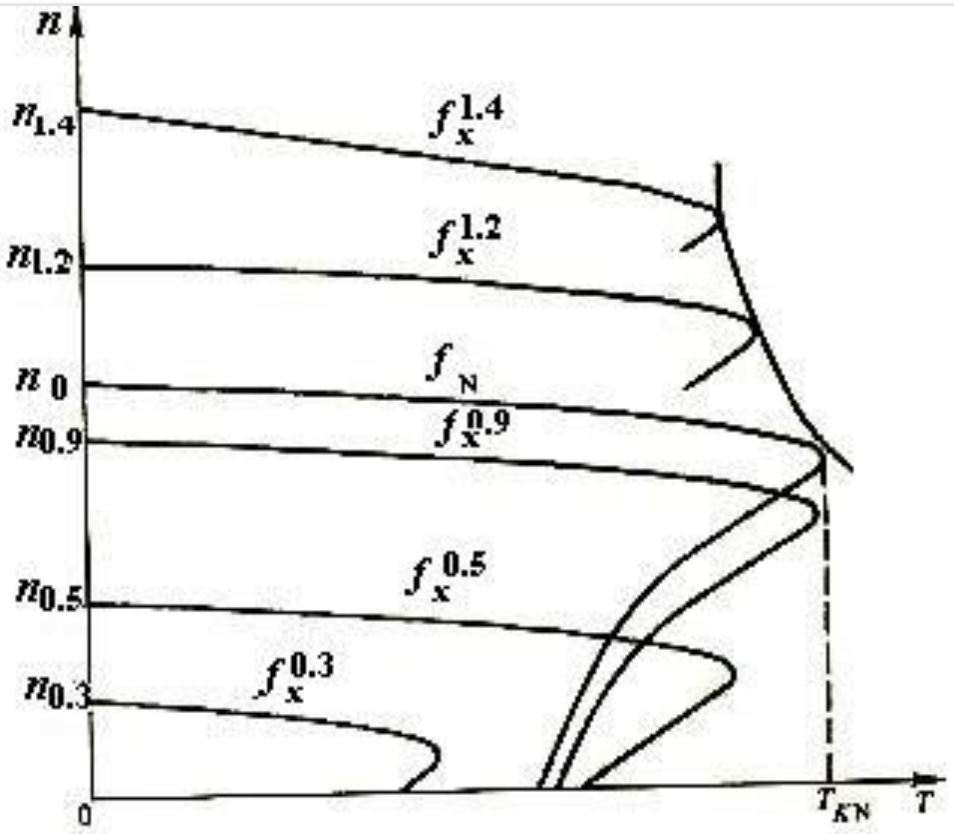
① 从f_N向下调频时，n_{0x}平行下移，T_{Kx}逐渐减小。

② f_x在f_N附近下调时：

$k_f = k_u \rightarrow 1$，T_{Kx}减小很少，可近似认为$T_{Kx} \approx T_{KN}$，

f_x调的很低时：$k_f = k_u \rightarrow 0$，T_{Kx}减小很快。

③ 稳定工作区的机械特性基本是平行的，即机械特性较硬。



2、 对额定频率f_N以下变频调速特性的修正

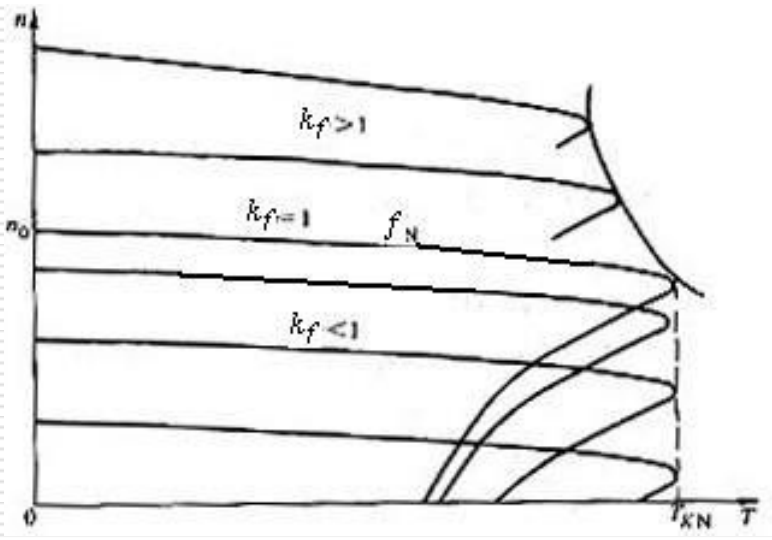
1）． T_{Kx}减小的原因分析

$$k_f \downarrow (k_u = k_f) \rightarrow \frac{\Delta U_x}{U_x} \uparrow \rightarrow \frac{E_x}{U_x} \downarrow \rightarrow \Phi_M \downarrow \rightarrow T_{Kx} \downarrow$$

2）．解决的办法

适当提高调压比k_u，使$k_u > k_f$，即提高U_x的值，使得E_x的值增加。从而保证E_x / f_x＝常数 。这样就能保证主磁通Φ_M基本不变。最终使电动机的临界转矩得到补偿。

$f_x > f_N$时，电动机近似具有恒功率的调速特性

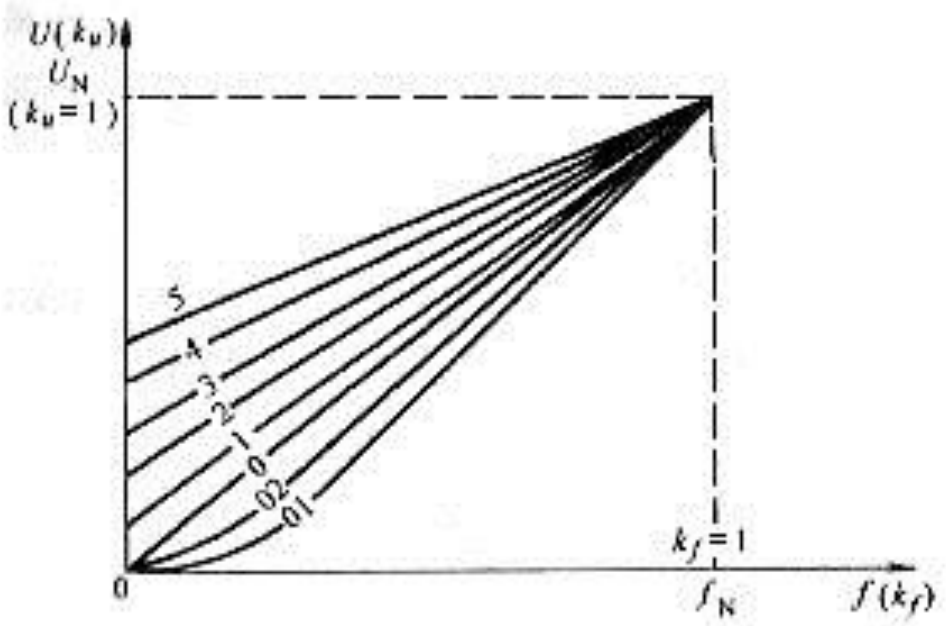


*U/ f*采用电压补偿后机械特性

1.4 U/f控制的功能

1）. 转矩提升

转矩提升是指通过提高U/f比来补偿f_x下调时引起的T_{Kx}下降。但并不是U/f比取大些就好。补偿过分，电动机铁心饱和厉害，励磁电流I_0的峰值增大，严重时可能会引起变频器因过电流而跳闸。



2）. U/f控制功能的选择

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，让用户选择的。

3）.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）根据所带的负载的性质，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。依此类推，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I_1的大小，如果I_1过大，或者变频器跳闸，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。

附：变频器的控制方式（略）

U/F控制、转差频率控制、矢量控制、直接转矩控制

三、变频器的控制方式

1、*U/f*控制变频器

*U/f*控制变频器的方法是在改变频率的同时控制变频器的输出电压，通过使*U/f*（电压和频率的比）保持一定或按一定的规律变化而得到所需要的转矩特性。采用*U/f*控制的变频器结构简单、成本低，多用于要求精度不是太高的通用变频器。

2、转差频率控制变频器

转差频率控制方式是对*U/f*控制的一种改进。这种控制需要由安装在电动机上的速度传感器检测出电动机的转速，构成速度闭环。速度调节器的输出为转差频率，而变频器的输出频率则有电动机的实际转速与所需转差频率之和决定。由于通过控制转差频率来控制转矩和电流，与*U/f*控制相比，其加减速特性和限制过电流的能力得到提高。

3、矢量控制变频器

矢量控制是一种高性能异步电动机控制方式，它的基本思路是将电动机的定子电流分为产生磁场的电流分量（励磁电流）和与其垂直的产生转矩的电流分量（转矩电流），并分别加以控制。由于在这种控制方式中必须同时控制异步电动机定子电流的幅值和相位，即定子电流的矢量，因此这种控制方式被成为矢量控制方式。

4、直接转矩控制变频器

直接转矩控制与矢量控制不同，它不是通过控制电流、磁链等量来间接控制转矩，而是把转矩直接作为被控矢量来控制。其特点为转矩控制是控制定子磁链，并能实现无传感器测速。

小结

变频器的控制方式有：*U*/ *f*控制、转差频率控制、矢量控制、直接转矩控制和单片机控制等。

U/ *f*控制是使变频器的输出在改变频率的同时也改变电压，通常是使*U*/ *f*为常数，这样可使电动机磁通保持一定，在较宽的调速范围内，电动机的转矩、效率、功率因数不下降。

转差频率控制就是检测出电动机的转速，构成速度闭环，速度调节器的输出为转差频率，通过控制转差频率来控制转矩和电流，使速度的静态误差变小。

矢量控制是通过控制变频器输出电流的大小、频率及相位，用以维持电动机内部的磁通为设定值，产生所需的转矩。是一种高性能的异步电动机控制方式。

直接转矩控制是直接分析电动机的模型，控制电动机的磁链和转矩。

现在的变频器基本上都是以高性能单片机和数字信号处理器(DSP)等为控制核心构成的系统。专用于变频器控制的单片机的出现，使得系统的体积减小，功能及可靠性大大提高。

变频器的作用

（1）控制电动机的启动电流。
（2）降低电力线路电压波动。
（3）启动时需要的功率更低。
（4）可控的加速功能。
（5）可调的运行速度。
（6）可调的转矩极限。
（7）受控的停止方式。
（8）节能。
（9）可逆运行控制。
（10）减少机械传动部件。

END