

股票代码: 603859

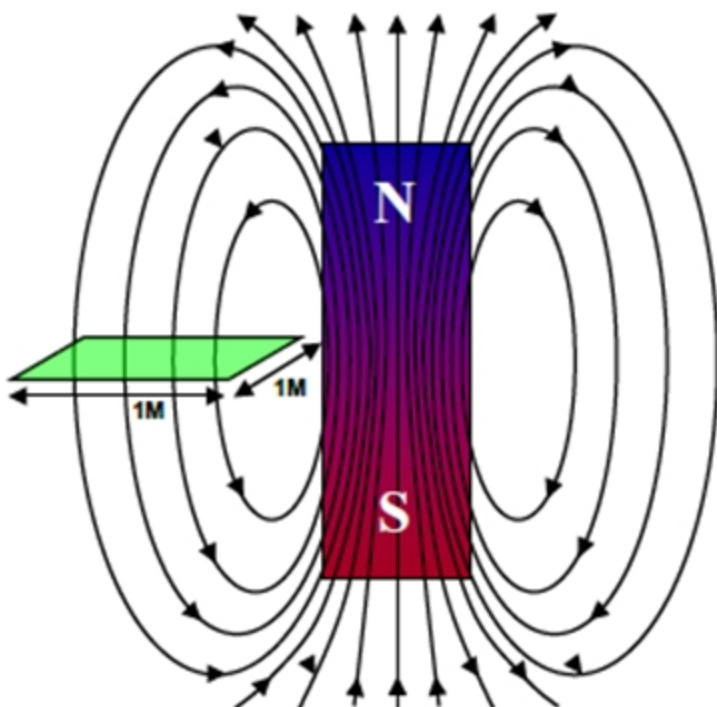
Version: 1.0 – July 2018



变频调速基础知识

能科科技股份有限公司
Nancal Technology Co., Ltd.

- 磁感应强度B，SI单位特斯拉 $B = F / I \cdot L$
- 磁通 ϕ ，SI单位韦伯，可换算为伏·秒



$$\Phi = B \cdot A$$

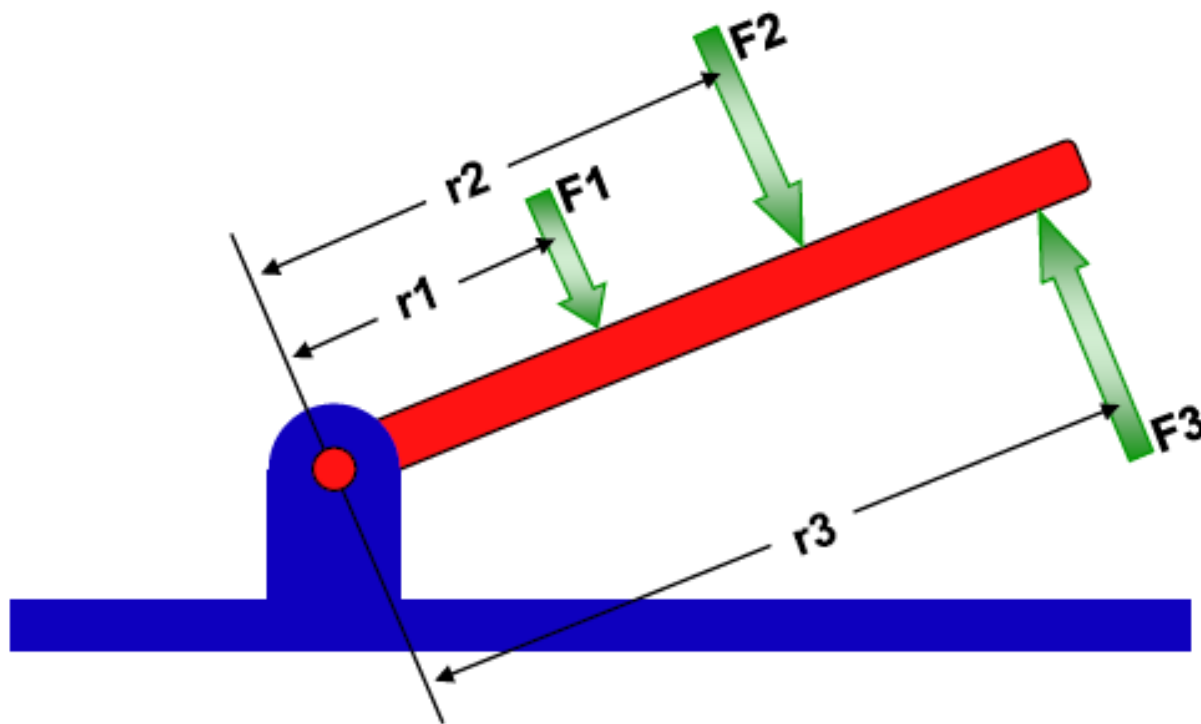
Φ is flux in Webers

A is area in meters²

磁路和电路的比拟仅是一种数学形式上的类似、而不是物理本质的相似。

电路	磁路
电流 I	磁通 Φ
电动势 E	磁动势 $F = \sum Ni$
电压降 IE	磁压降 ΦR_m
电阻 R	磁阻 R_m
电导 $g = 1/R$	磁导 $\Lambda_m = 1/R_m$
基尔霍夫第一定律 $\sum i = 0$	基尔霍夫第一定律 $\sum \Phi = 0$
基尔霍夫第二定律 $\sum U = \sum e$	基尔霍夫第二定律 $\sum HI = \sum NI$
欧姆定律 $I = U/R$	欧姆定律 $\Phi = F/R_m$

扭矩 (Torque) : 也称转矩 , SI单位Nm(牛·米)

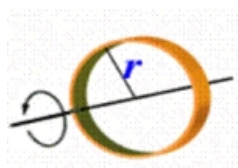


$$\text{Clockwise torque} = r_1 F_1 + r_2 F_2 - r_3 F_3$$

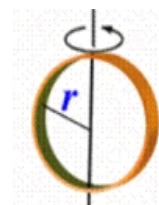
用以描述一个物体对于其旋转运动的改变的对抗，是一个物体对于其旋转运动的惯性。转动惯量在转动力学中的角色相当于线性动力学中的质量，SI单位kgm²。

$$T_E - T_L = J \frac{d\omega}{dt}$$

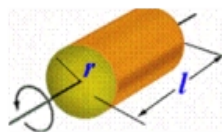
$$F - F_L = m \frac{dv}{dt}$$



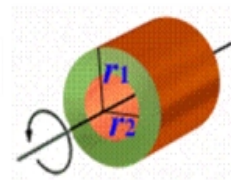
$$J = mr^2$$



$$J = mr^2 / 2$$

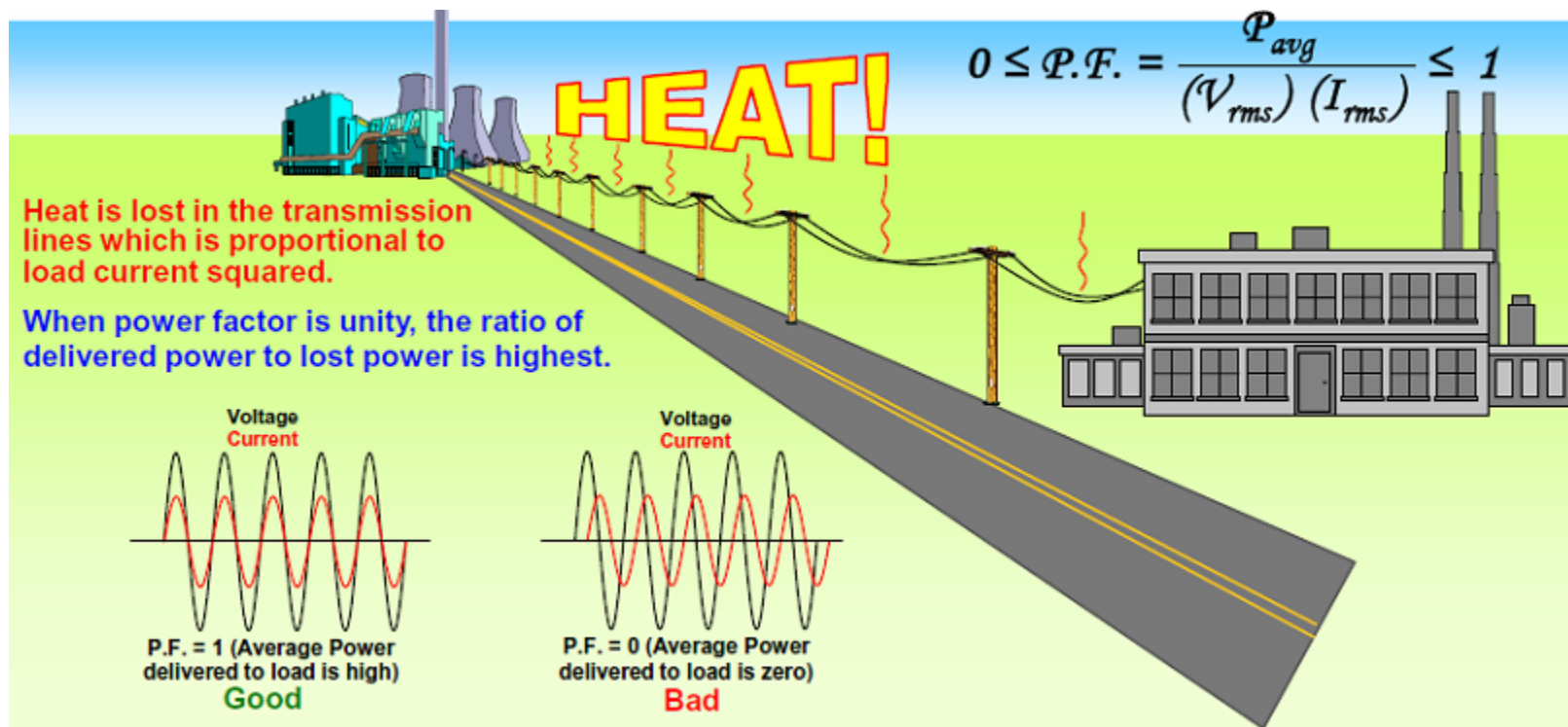


$$J = mr^2 / 2$$

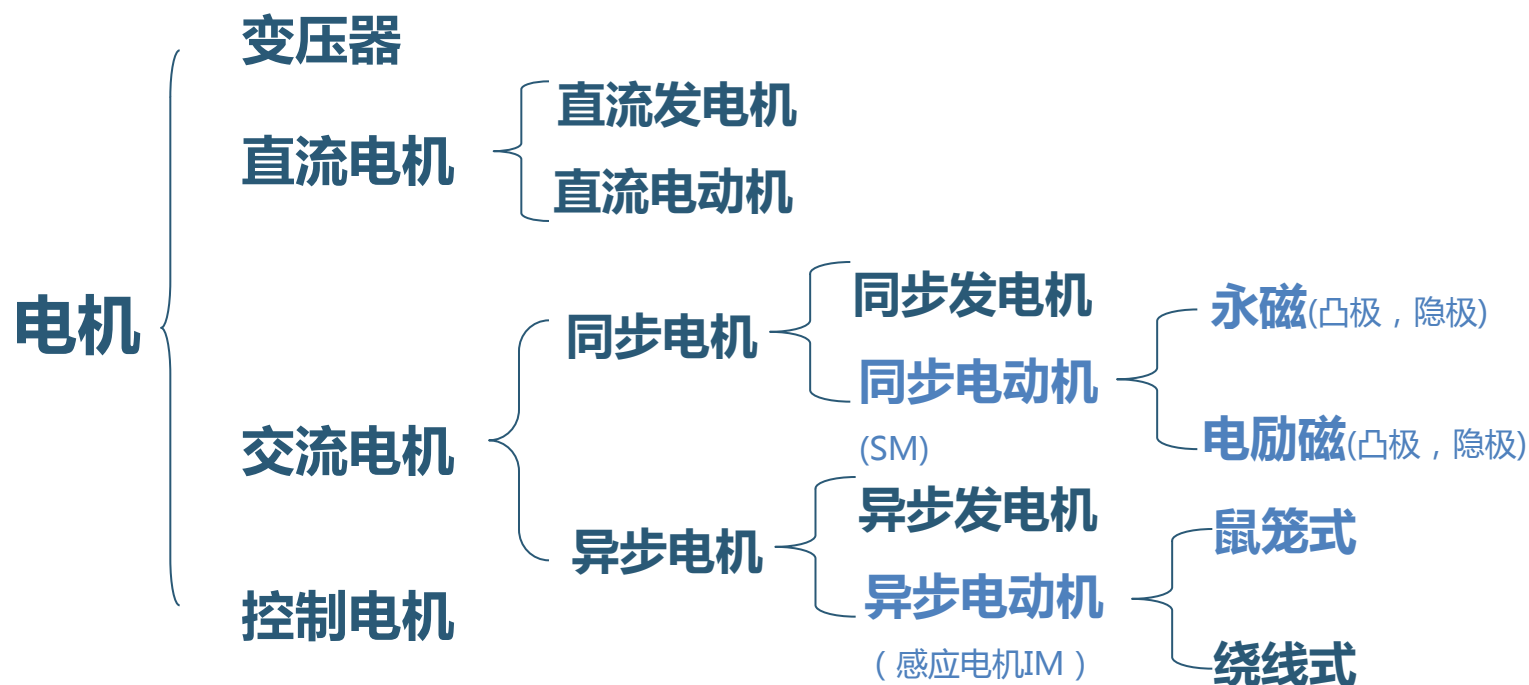


$$J = m(r_1^2 + r_2^2) / 2$$

功率因数（PF）：是交流电力系统中特有的物理量，是一负载所消耗的有功功率（P）与其视在功率（S）的比值，是0到1之间的无单位量。



电机是利用电磁感应原理工作的机械



额定电流 $I_N (A)$

在额定运行状态下流入定子绕组的线电流

额定功率 $P_N (kW)$

额定条件下转轴上输出的机械功率

额定电压 $U_N (kV \text{ 或 } V)$

额定运行状态时加在定子绕组上的线电压

额定值

额定转速 $n_N (r / min)$

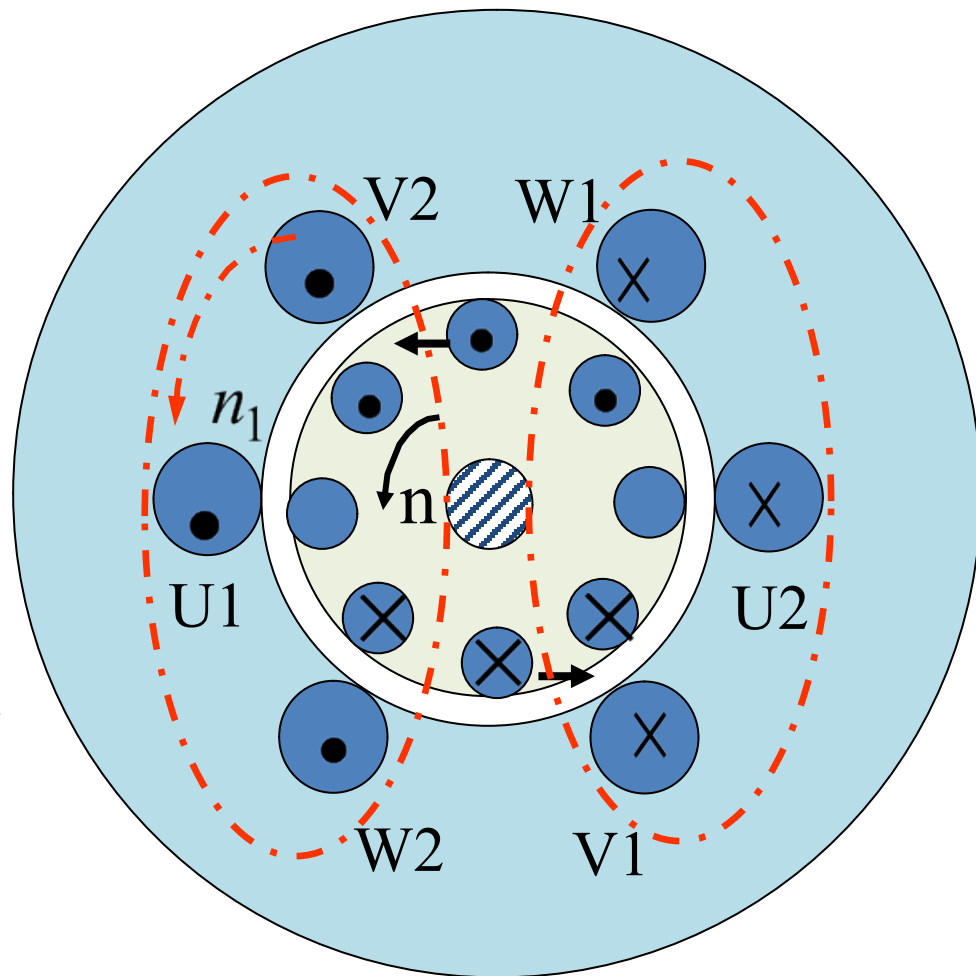
额定运行时电动机的转速

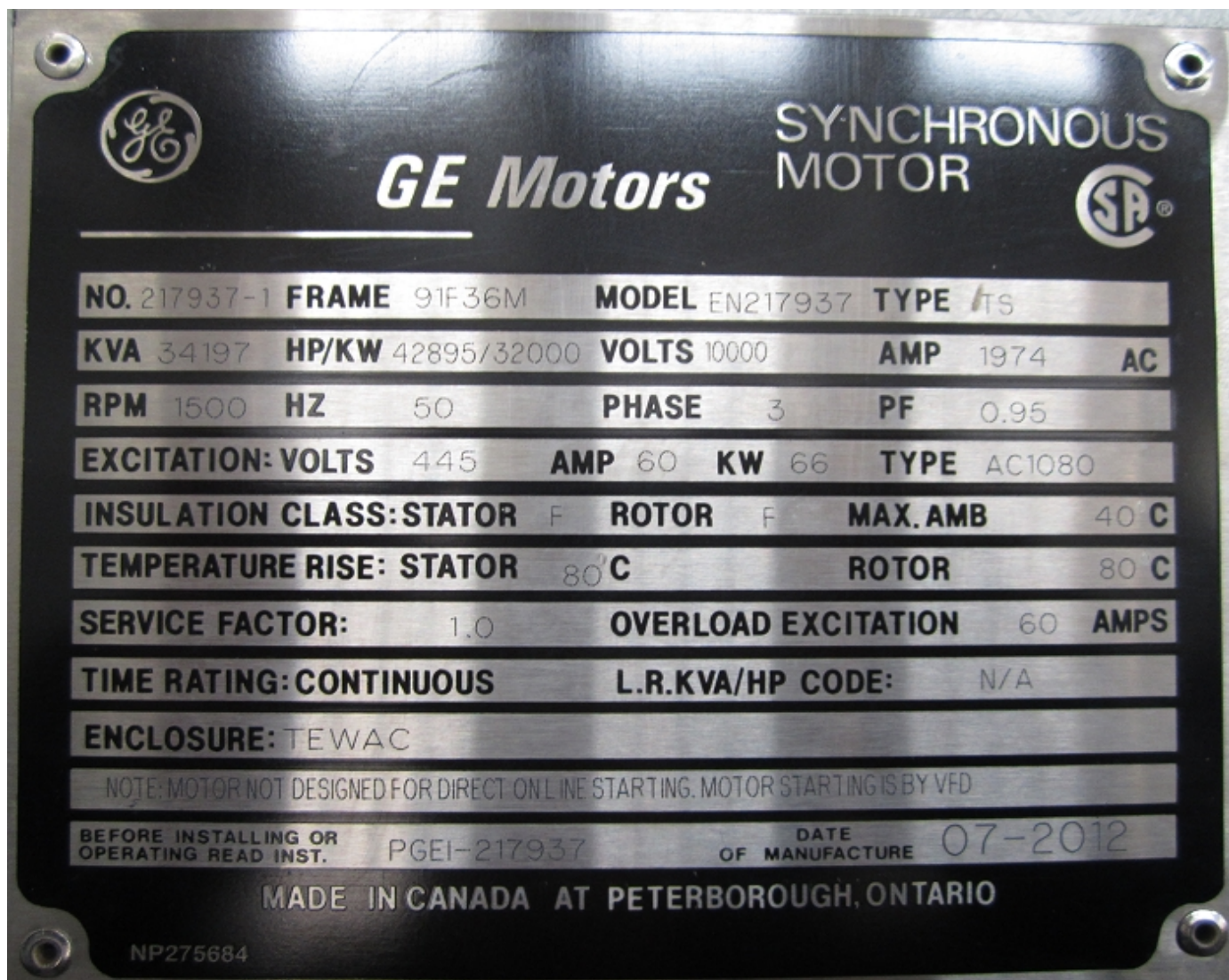
额定功率因数 $\cos \varphi_N$
额定频率 f_N
额定效率 η_N

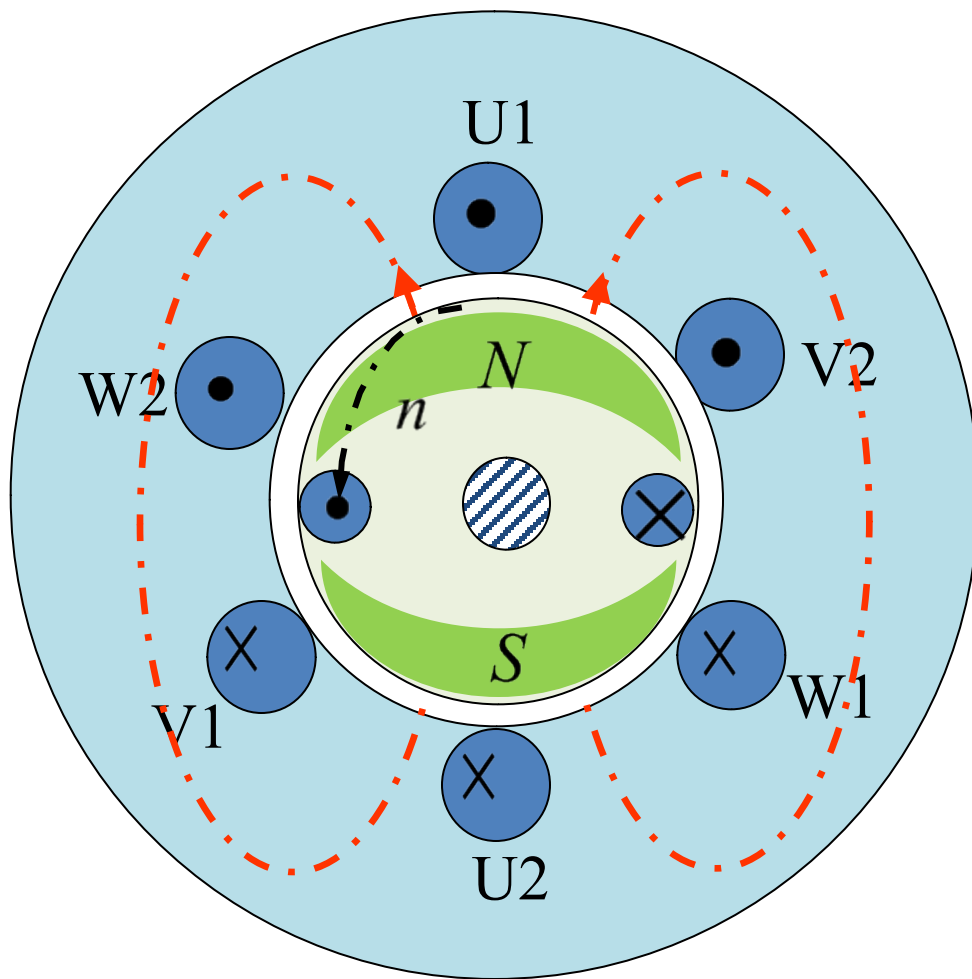
额定值关系有：
$$P_N = \sqrt{3} U_N I_N \cos \varphi_N \eta_N$$

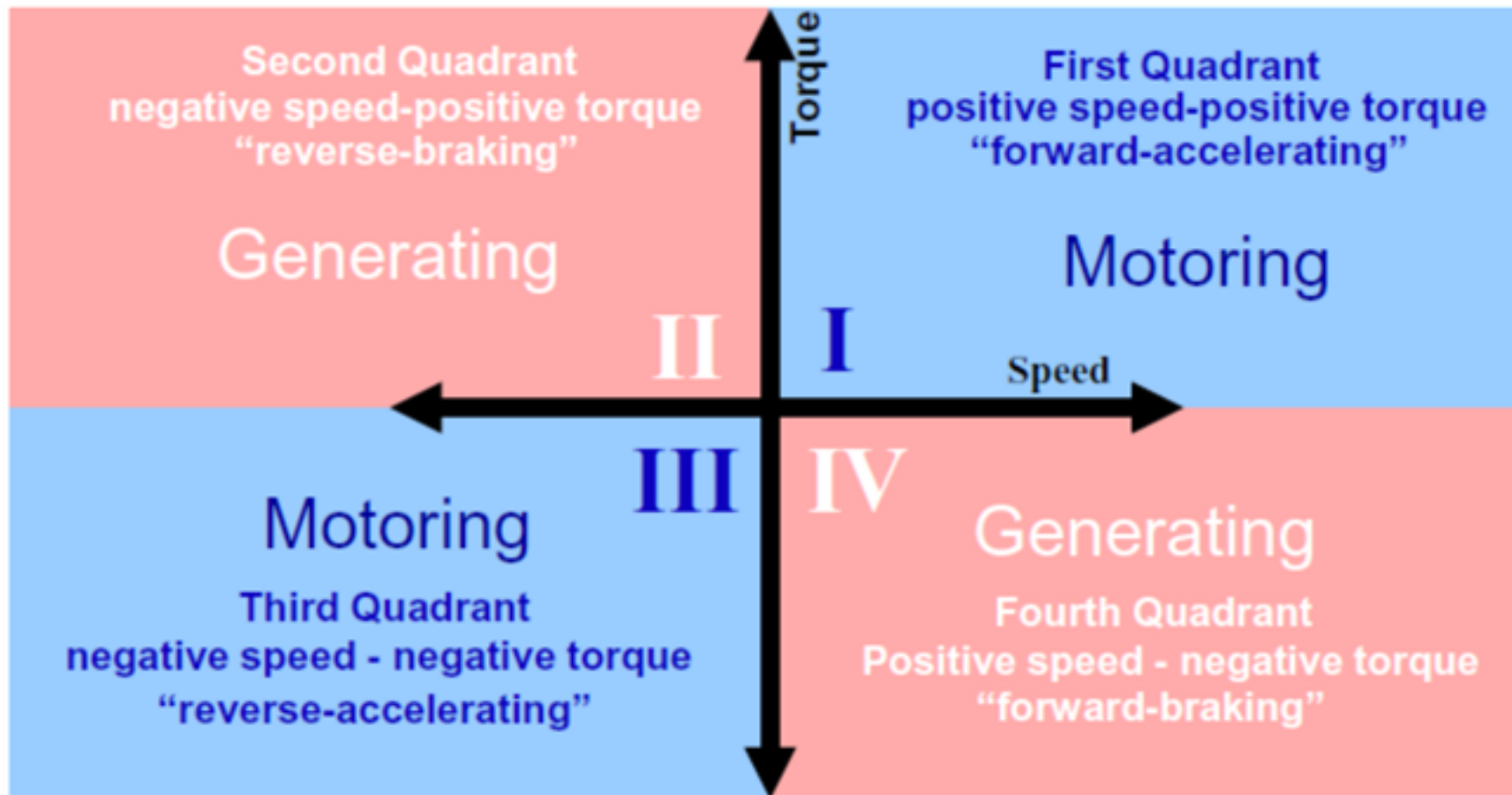


- 1、电生磁：**三相对称绕组通往三相对称电流产生圆形旋转磁场。
- 2、磁生电：**旋转磁场切割转子导体感应电动势和电流。
- 3、电磁力：**转子载流（有功分量电流）体在磁场作用下受电磁力作用，形成电磁转矩，驱动电动机旋转，将电能转化为机械能。









- 变频器：将恒压恒频的电网电压转换成幅值和频率均可变化的输出电压，实现电动机转速的连续调节。
- 习惯称作的高压变频器，实际输出电压一般为1~10kV，国内主要是3kV,6kV和10kV，和电网电压相比，只能算作中压，故国外常称为中压变频器（ Medium Voltage Drive ）

- 节能调速
- 工艺调速
- 大型同步电机软启动

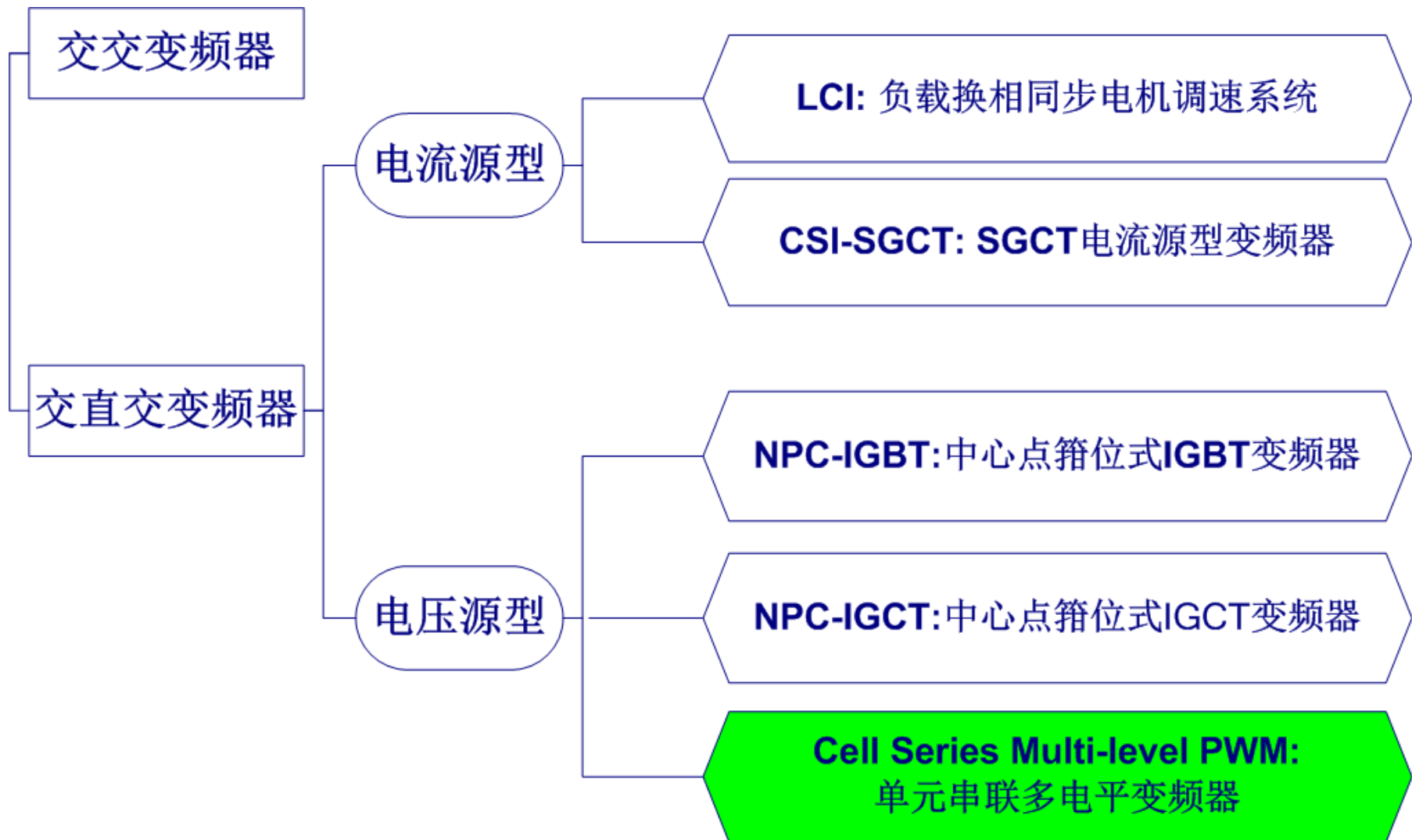
按照电机学的基本原理，交流异步电机的转速表达式为：

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

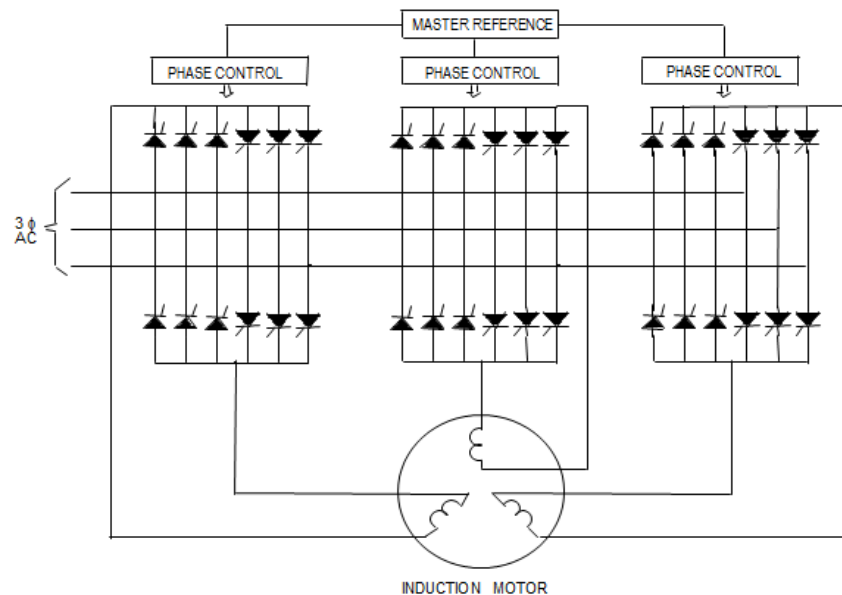
- 其中，s-转差率；p-极对数；f-电源频率
- 异步电机额定转差率很小（一般小于5%）
- 只要改变施加在电机上电源的频率，就可以改变转速

- 改变电机的极对数
 - 变极对数调速
- 改变电机的转差率
 - 转子串电阻调速
 - 定子调压调速
 - 转子串级调速
- 改变电机的频率
 - 变频调速

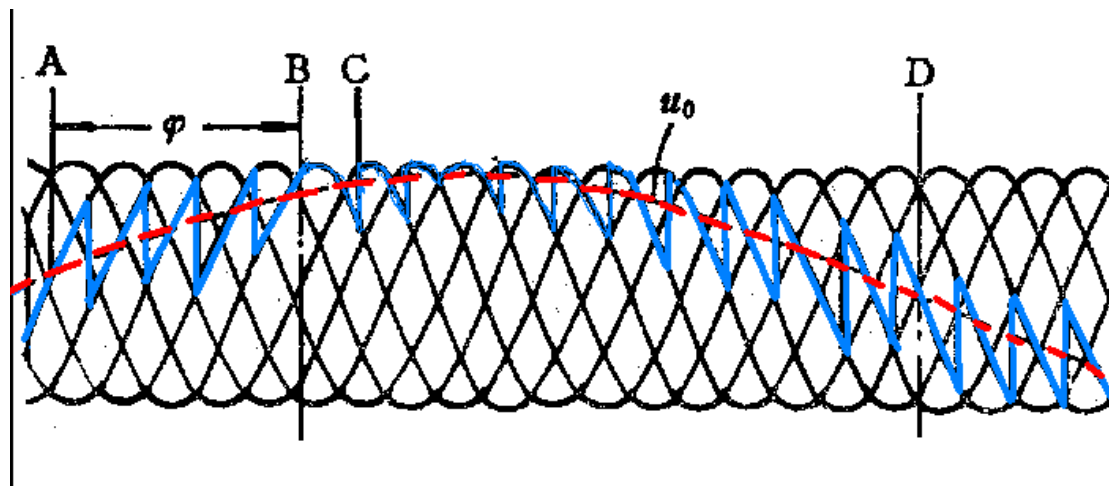
$$n = (1 - s) \frac{60f}{p}$$



也叫做周波变流器（Cycloconverter），没有直流回路，每相都由两个相互反并联的整流电路组成，正桥提供正向相电流，反桥提供负向相电流。整流桥一般都采用晶闸管进行可控整流，每个整流桥也可以工作在逆变状态，在电动机工作在发电工况时，可以实现能量向电网的直接回馈。

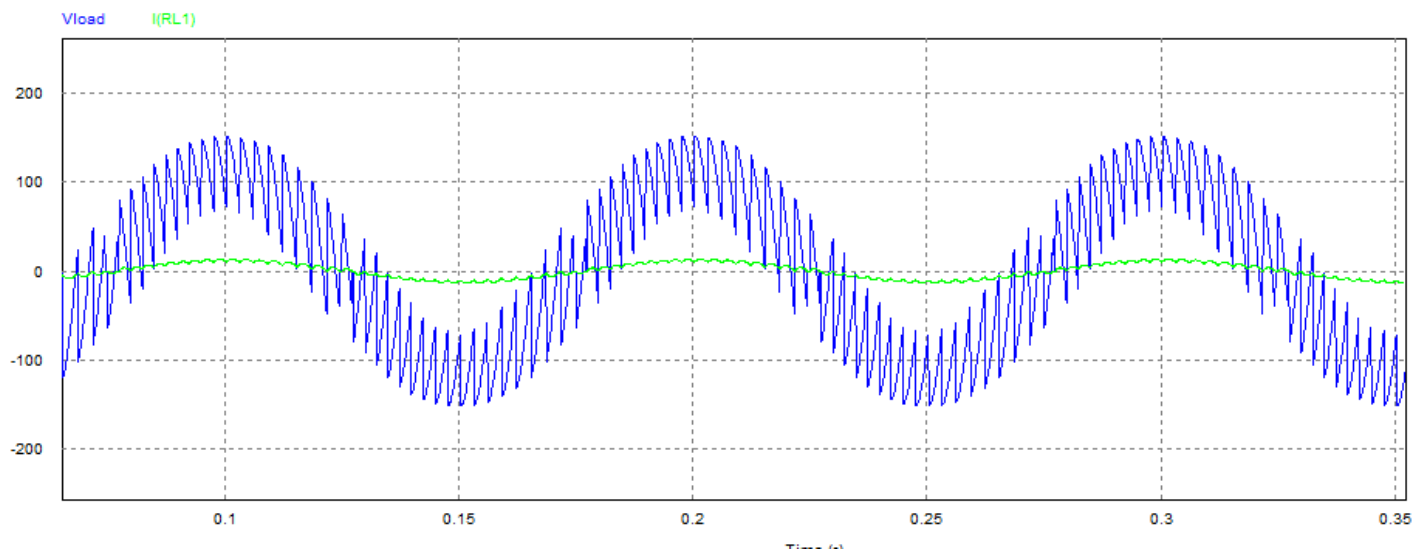


CYCLOCONVERTER INDUCTION MOTOR DRIVE

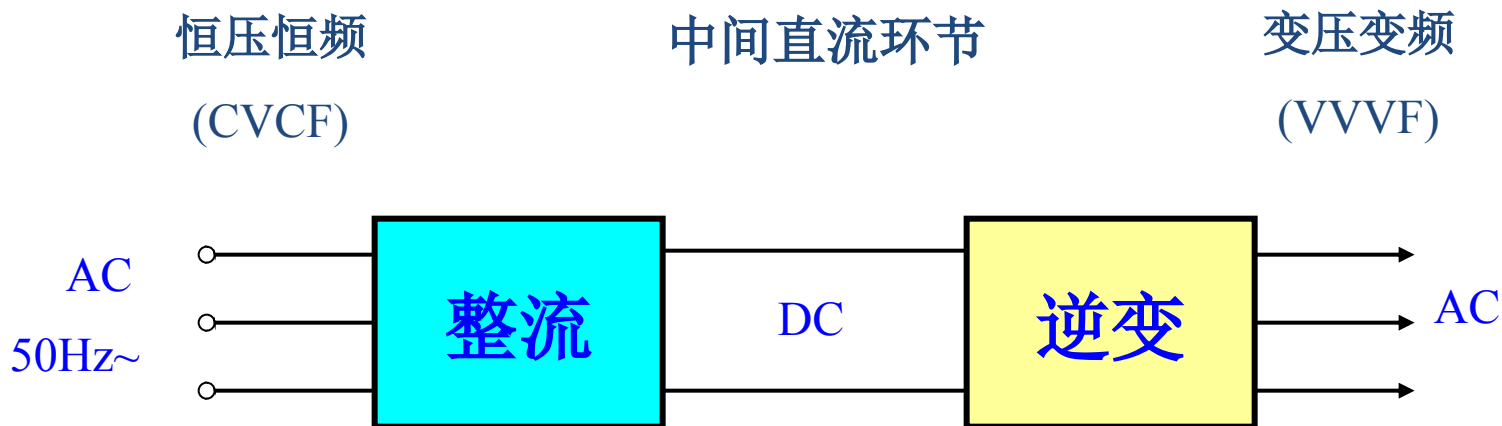


输出电压实际是由若干段电源电压拼接而成，在输出电压的一个周期内，所包含的电源电压波段越多，其波形就越接近正弦波。

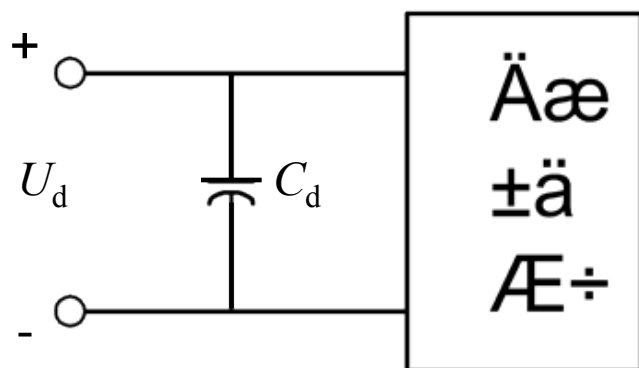
- 输出频率最高为电网频率 $1/3 \sim 1/2$
- 输入谐波大，功率因数低，需要滤波器和无功补偿装置
- 无中间换流环节，效率较高
- 应用：轧机、提升等专用场合



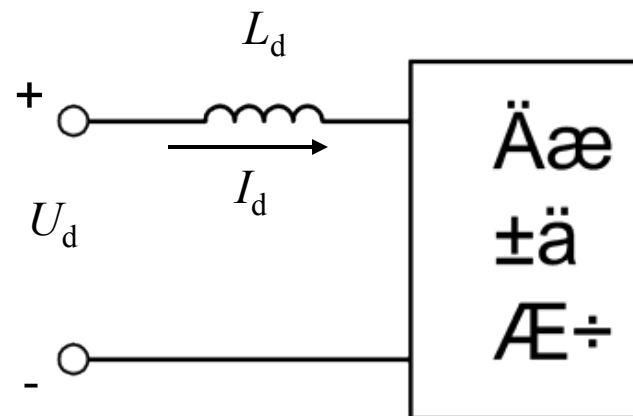
交-直-交变频器先将电网交流电用整流电路变为直流电，再用逆变电路将直流电转换为频率及电压可变的交流电。整流电路、直流回路、逆变电路是交直交变频器的三个基本组成部分。



a) 电压源逆变器

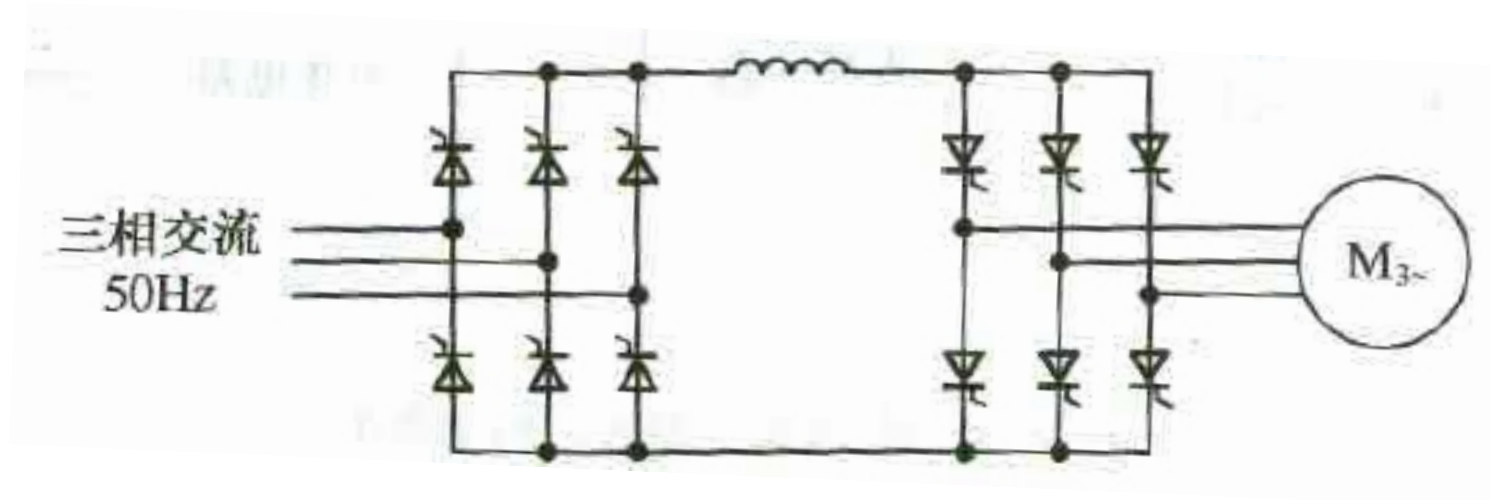


b) 电流源逆变器



储能环节使用电感

常规电流源变频器输入端采用可控整流，控制电流的大小；中间采用大电感，对电流进行平滑。逆变桥将直流电流转换为频率可变的交流电流，供给交流电动机。

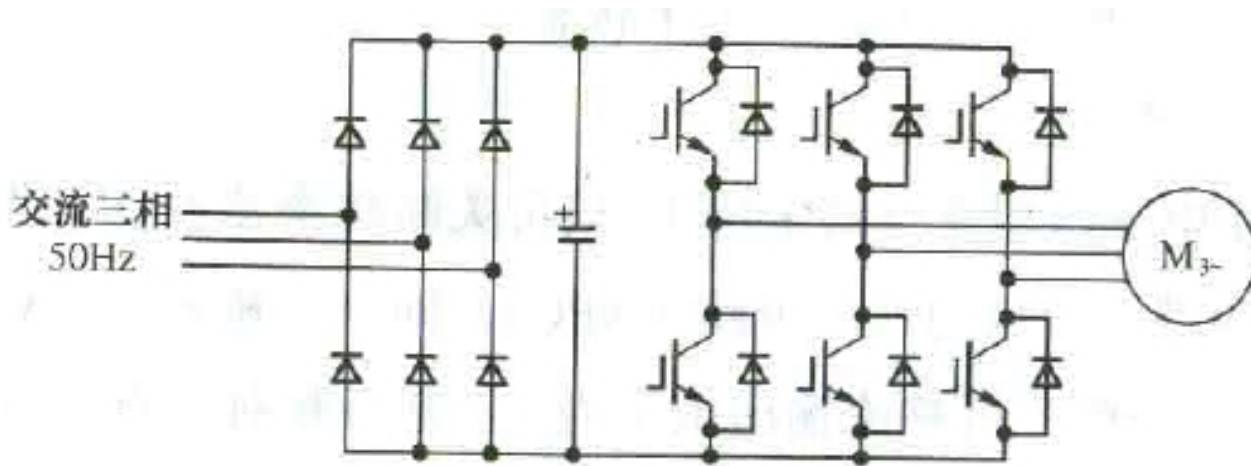


负载换流式电流源型变频器结构示意图

- 优点：能量可以回馈电网；回路中有大电感，过流保护容易
- 缺点：谐波大；网侧与输出侧须增加滤波器；系统效率随着负载的降低而降低

储能环节使用电容

输入端一般不可控，大多采用二极管进行全波整流；中间采用大电容滤波，对电压进行平滑。逆变桥采用PWM控制技术，既控制电压输出波形中交流基波的幅值大小，也控制交流基波电压的频率。按输出相电压的电平数有2电平，3电平，5电平，多电平变频器。



电压源型变频器结构示意图 (2电平)

- PWM-Pulse width modulation
- 脉冲宽度调制-通过控制电力电子器件的通、断时间及通断次序将直流电压转换为系列宽度不一的矩形脉冲电压，达到等同交流输出的效果
- PWM的类型：
 - SPWM-正弦波PWM
 - 优化PWM- SVPWM，SAPWM，SHE（指定谐波消除）PWM

重要理论基础 —— 面积等效原理

采样控制理论中的一个重要结论：
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

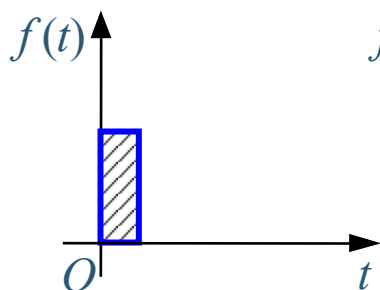


窄脉冲的面积

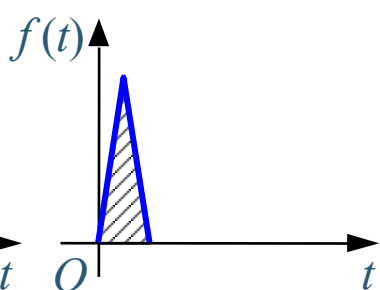
效果基本相同



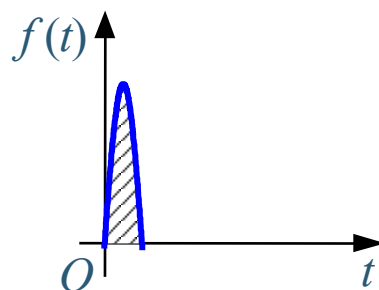
环节的输出响应波形基本相同



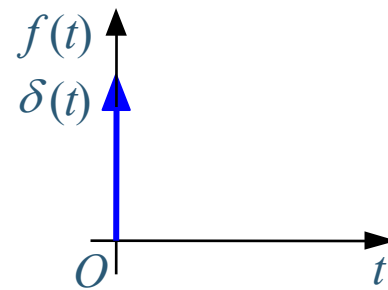
a) 矩形脉冲



b) 三角形脉冲

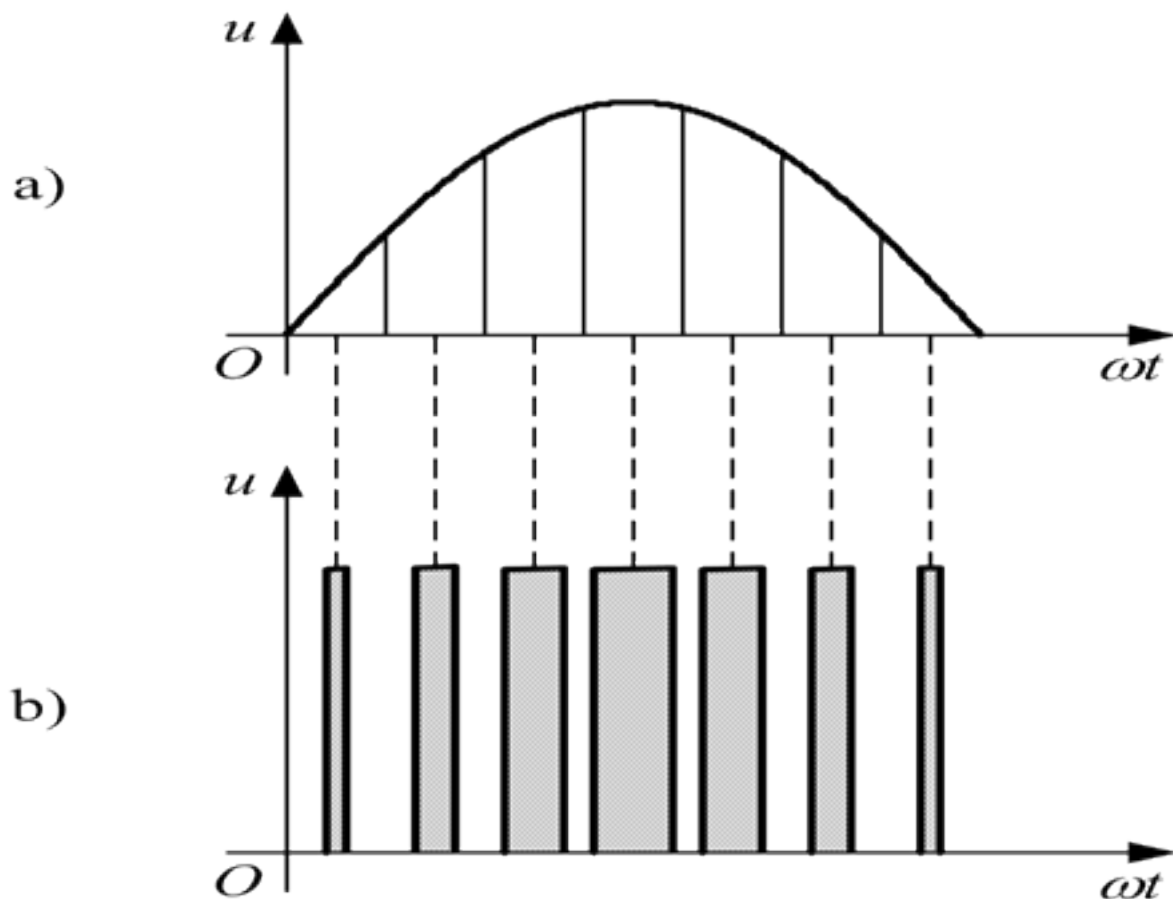


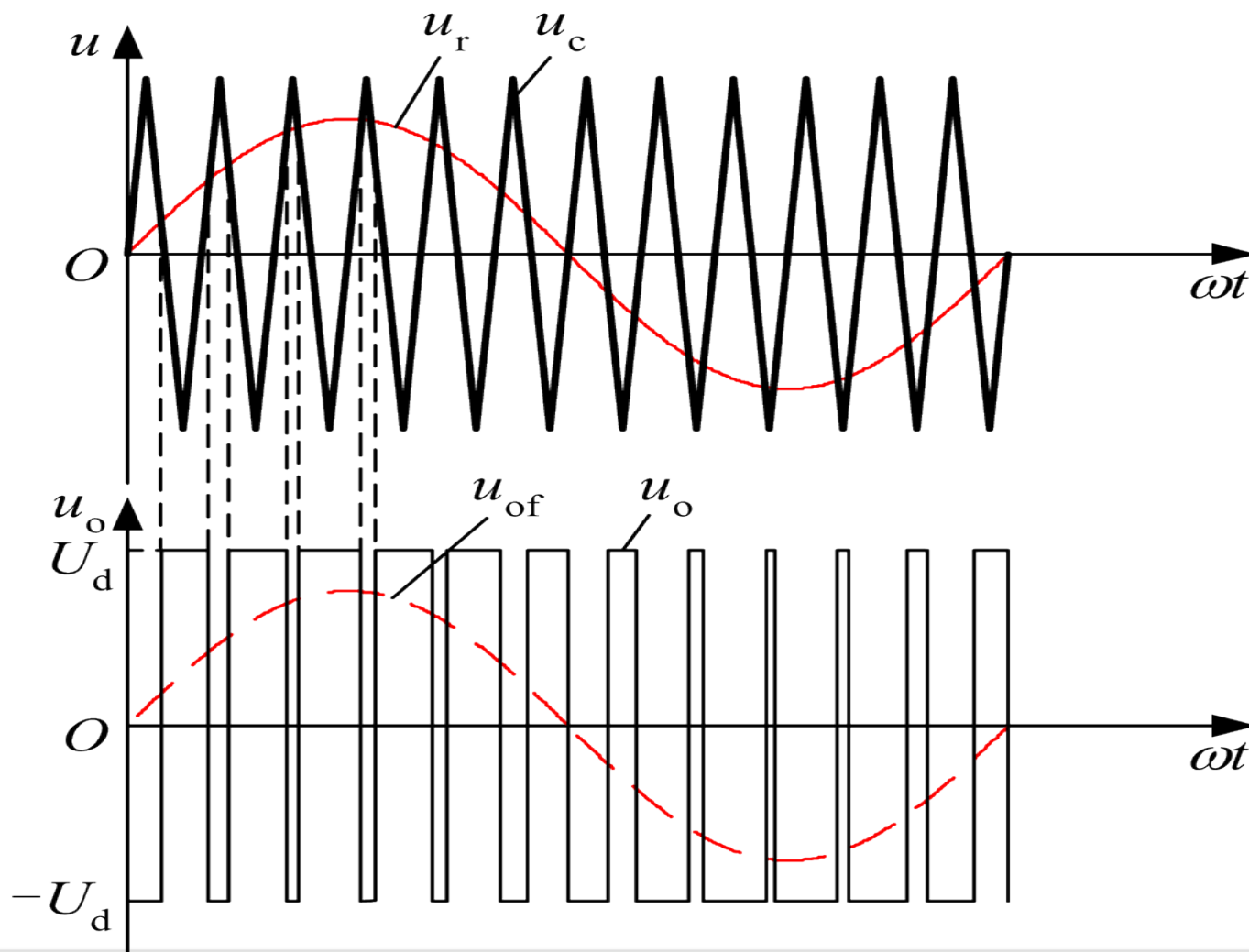
c) 正弦半波脉冲



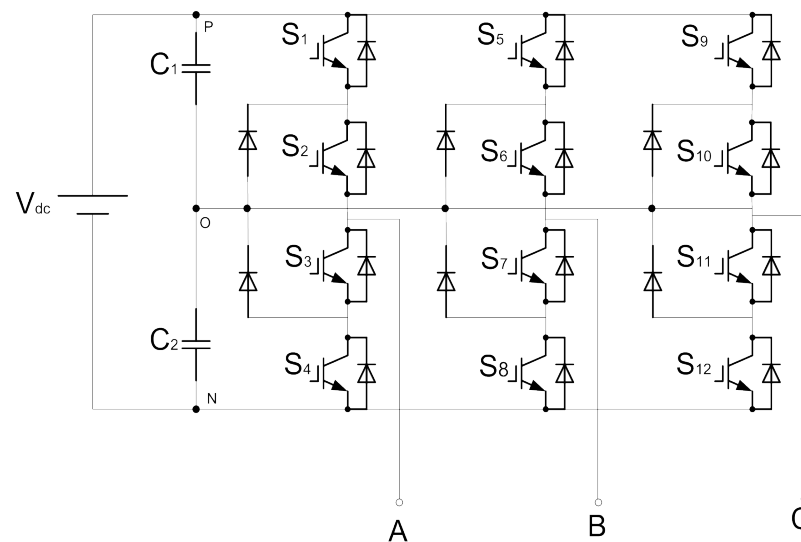
d) 单位脉冲函数

形状不同而冲量相同的各种窄脉冲





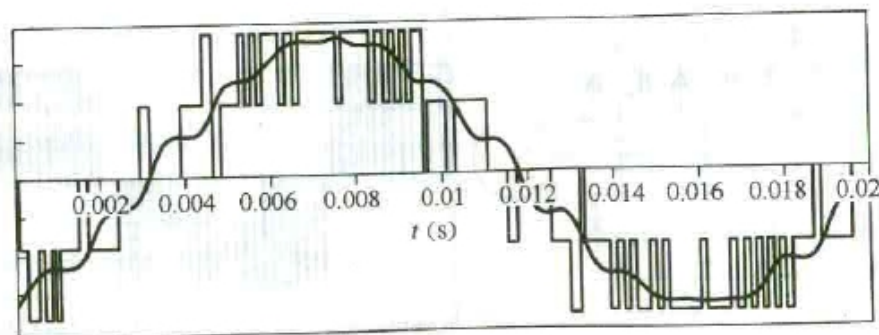
采用12只可关断功率器件，与钳位二极管构成带中性点的逆变电路（Neutral Point Clamped--NPC）。同一个桥臂中，V1和V3互补，V2和V4互补。



输出电平	S1	S2	S3	S4
P	on	on	off	off
O	off	on	on	off
N	off	off	on	on

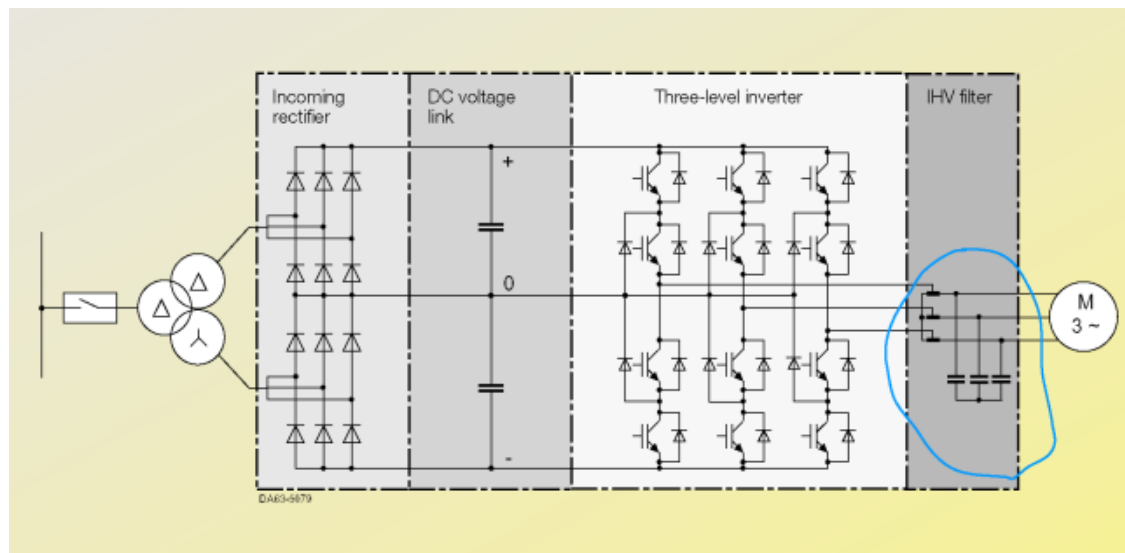
中心点钳位式三电平变频器

输出相电压有 $+E$ 、 0 、 $-E$ 共三个状态，所以称三电平。其线电压输出为5电平。

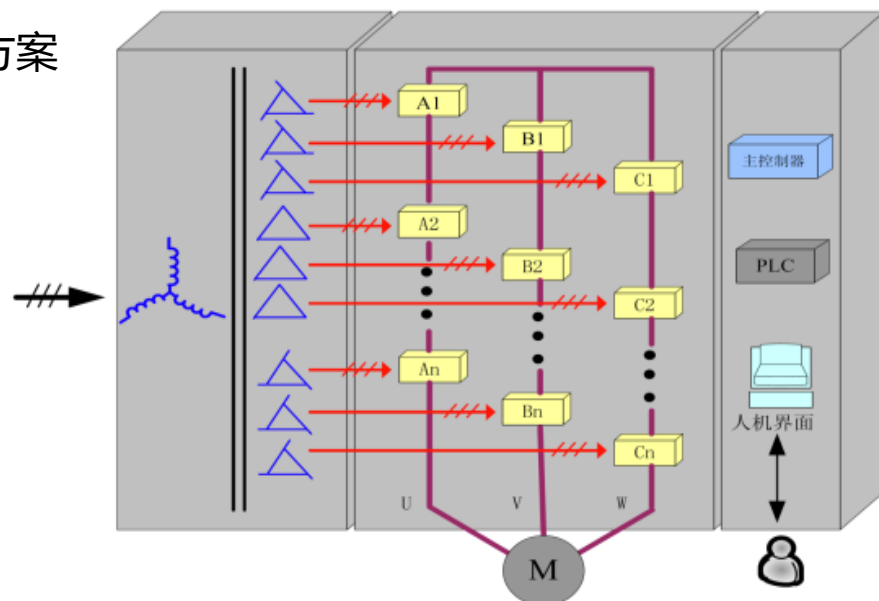


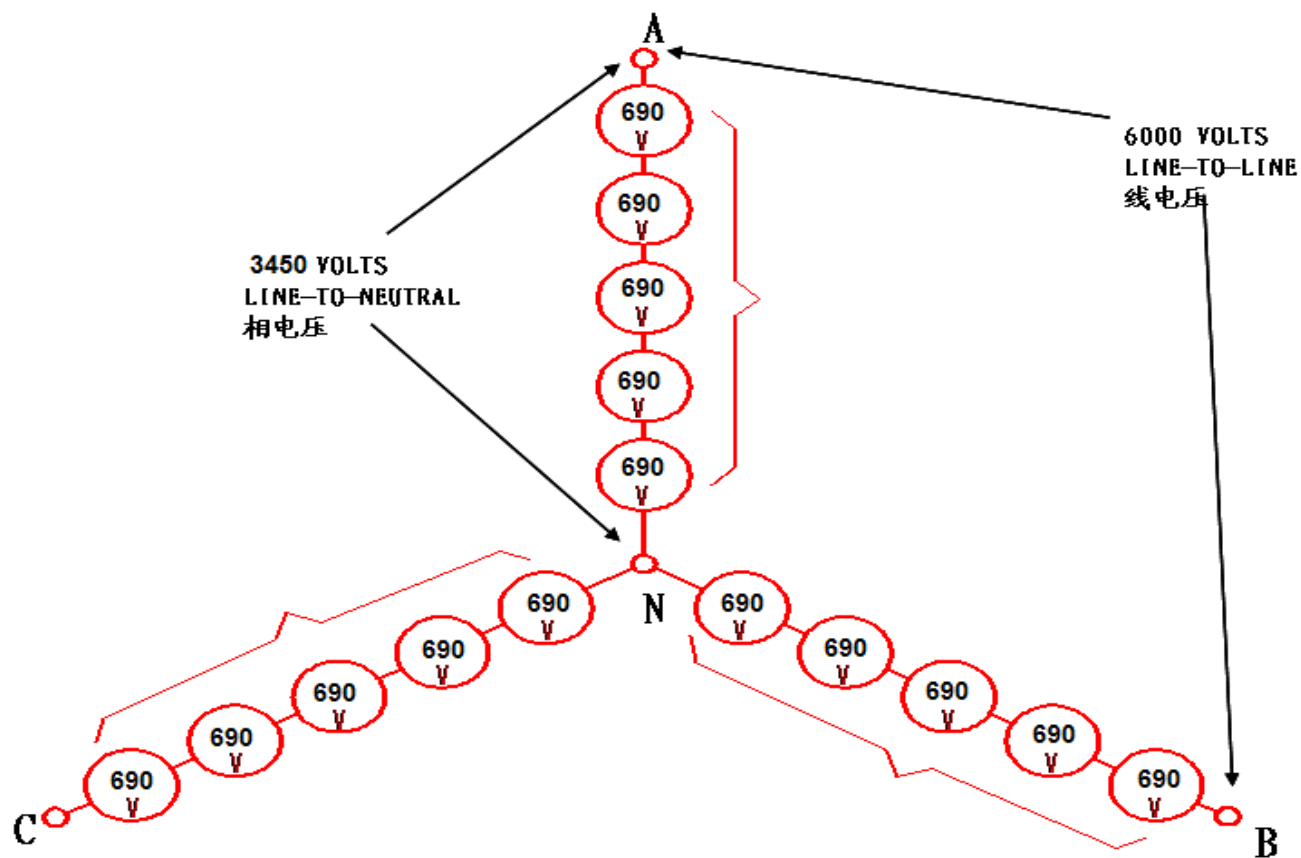
三电平变频器输出线电压波形

- 每个开关器件承受的直流侧电压值将为两电平时的一半
- 波形质量得到改善的同时降低了开关频率，电压上升率降低为两电平变流器的一半
- 与两电平变频器相比，输出电压电平数增多，线电压为5个电平。但是输出仍然需要配置滤波器
- 受开关器件电压限制，输出电压一般只能做到4.16kV。国内10kV的电机需要配置升压变压器

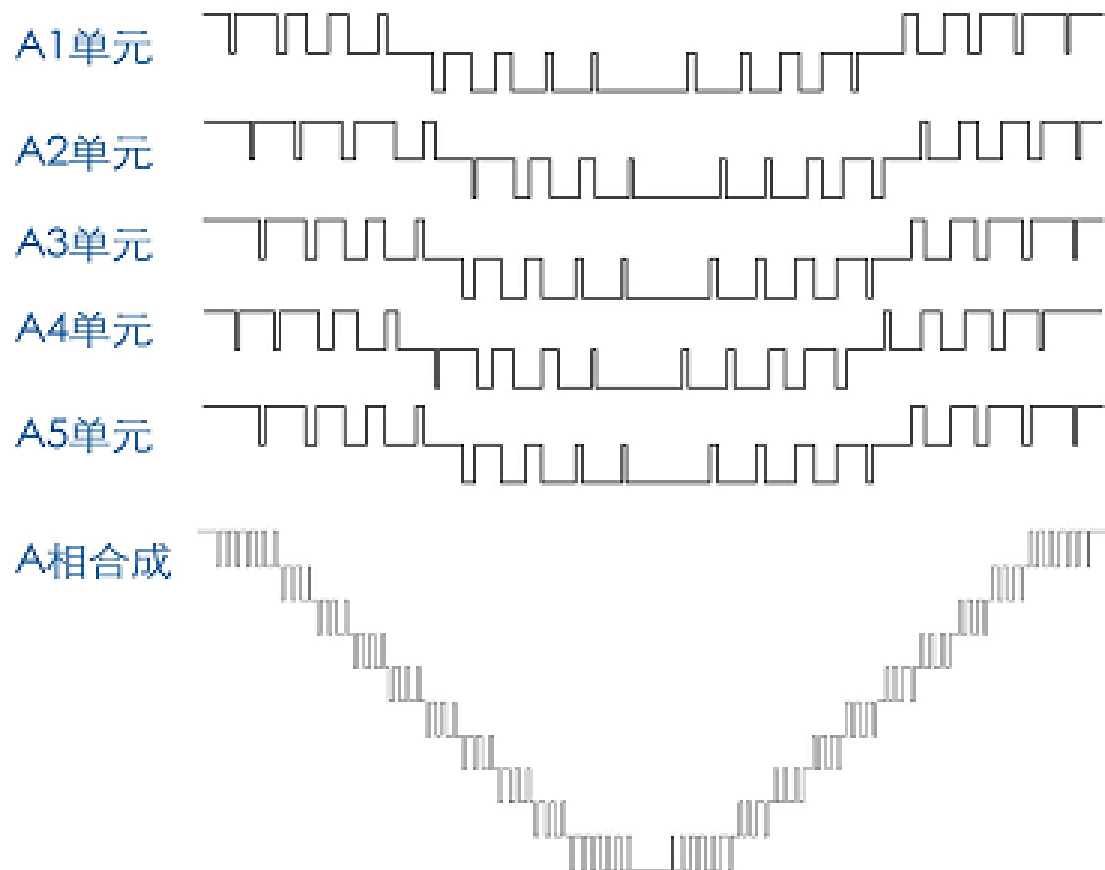


- 采用多个功率单元串联的方法来实现高压输出，彻底解决高压变频器的主回路器件均压问题
- 输出通常采用多电平移相式PWM，以实现较低的输出电压谐波较小的 du/dt 和共模电压
- 输入采用多重化隔离变压器以达到抑制输入谐波的目的
- 输出电压电平数更多，电压梯度变化更小，波形更接近正弦波
- 目前高压变频器领域具有强竞争力的技术方案

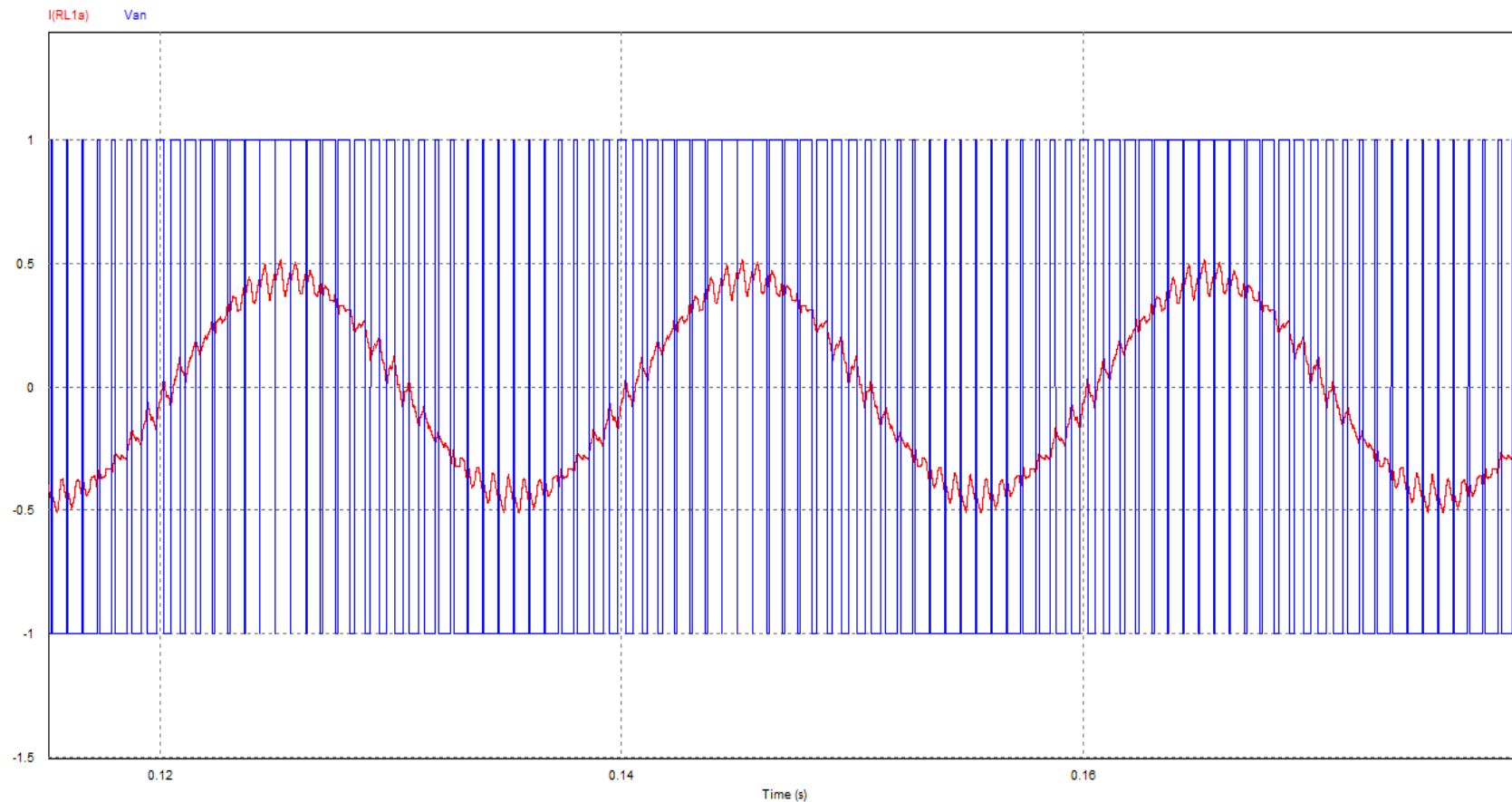




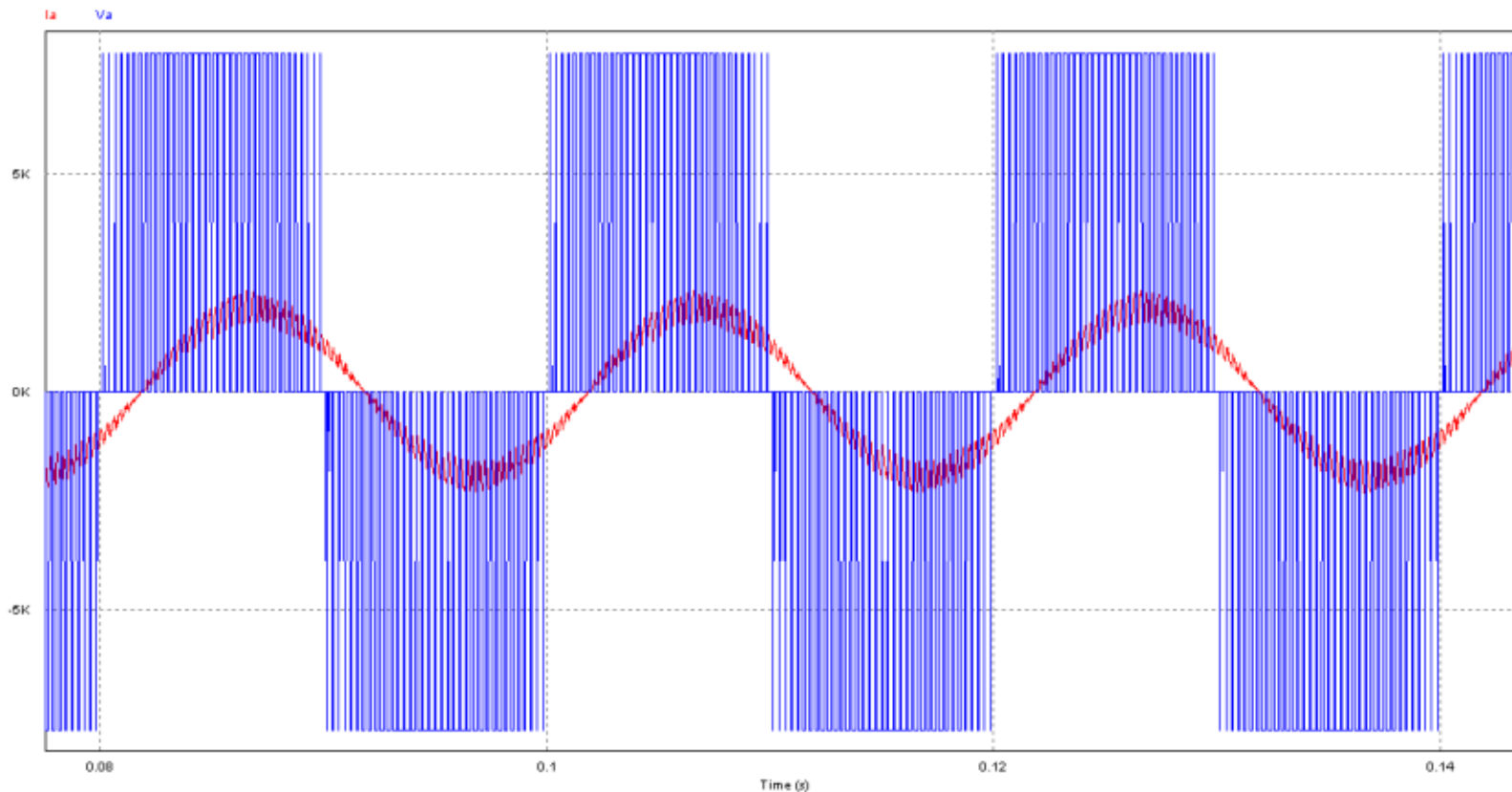
多电平移相式PWM：5个单元为例



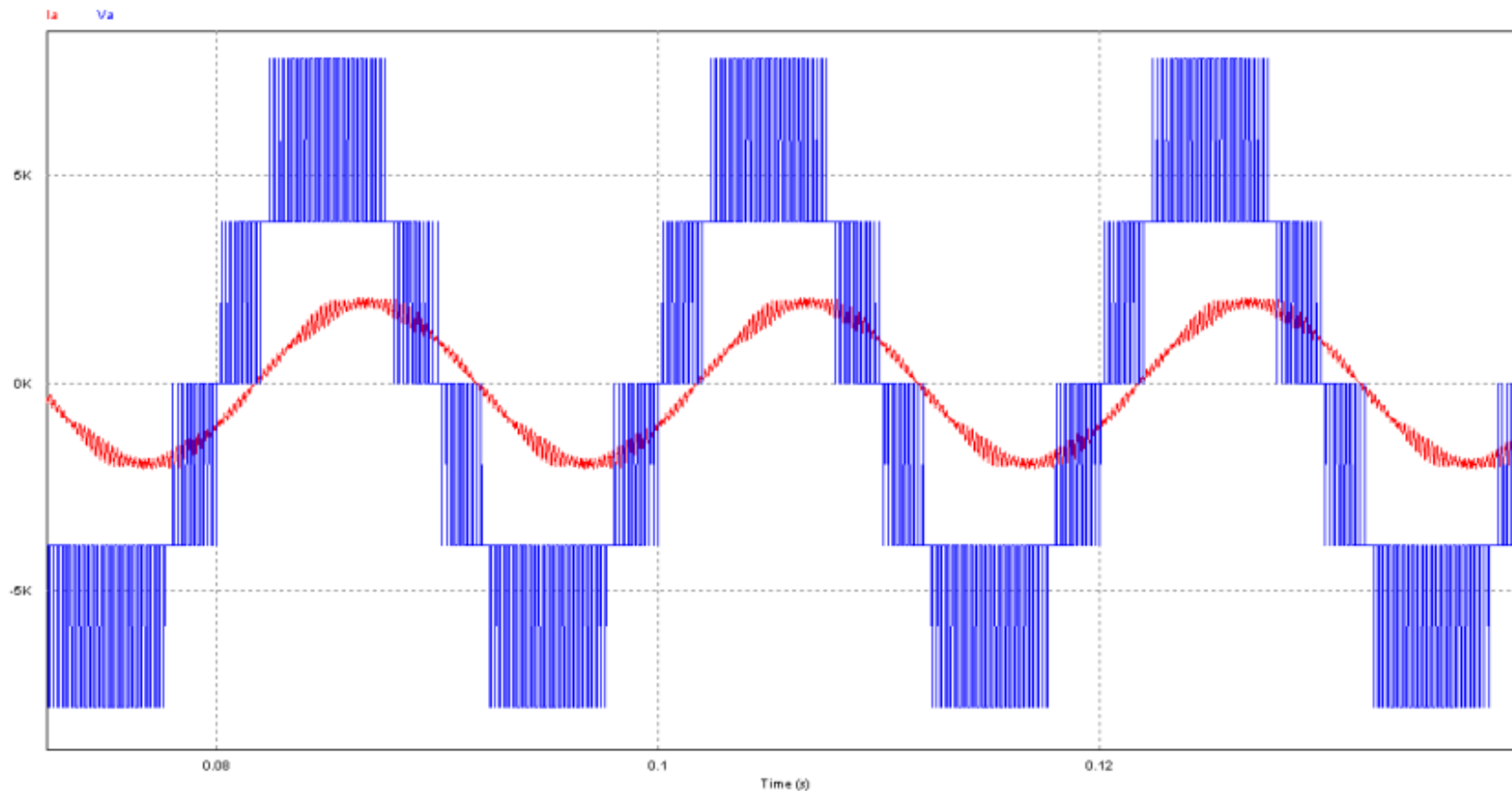
多电平波形迭加原理



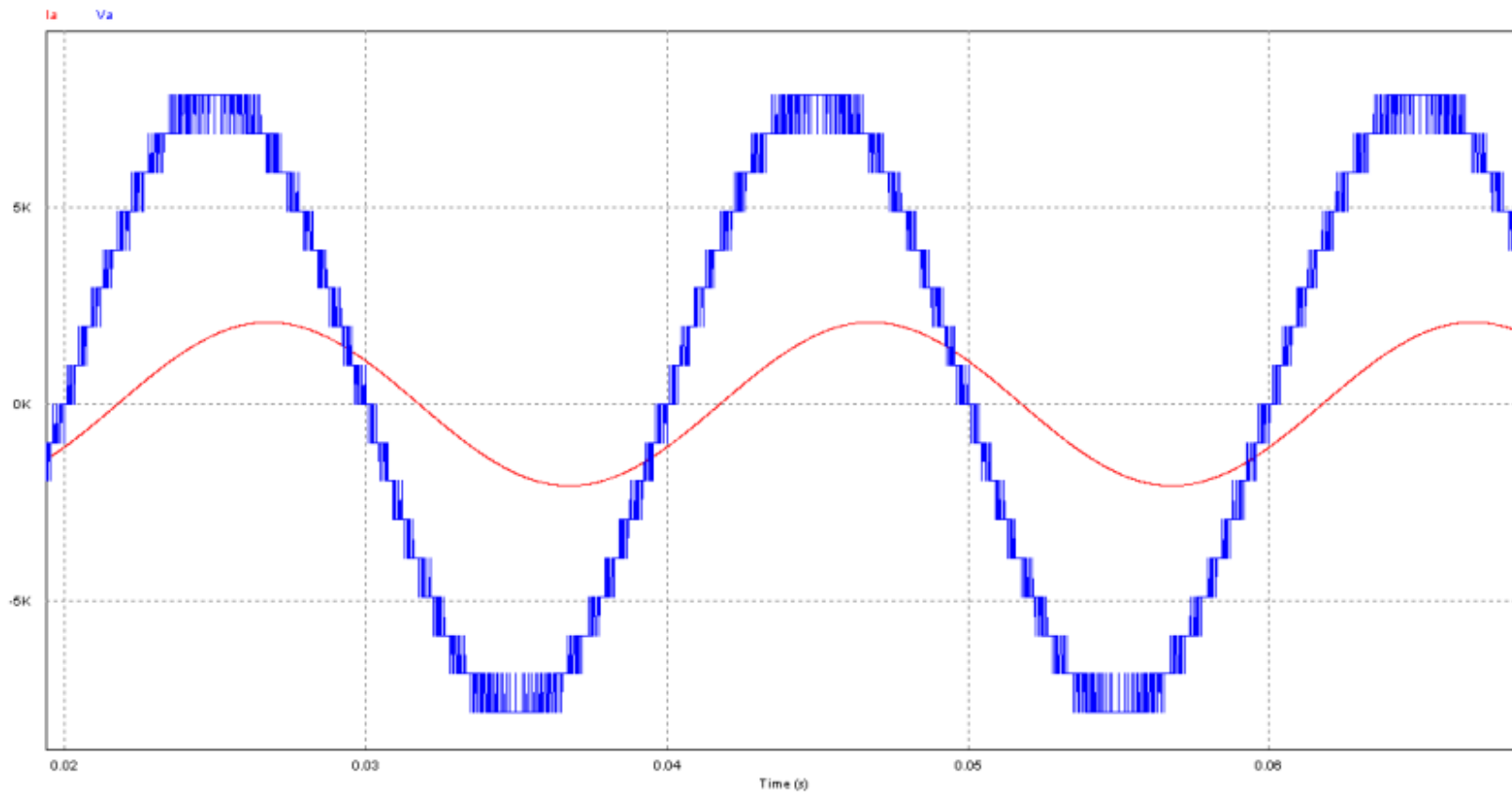
2电平变频器输出相电压、电流波形图



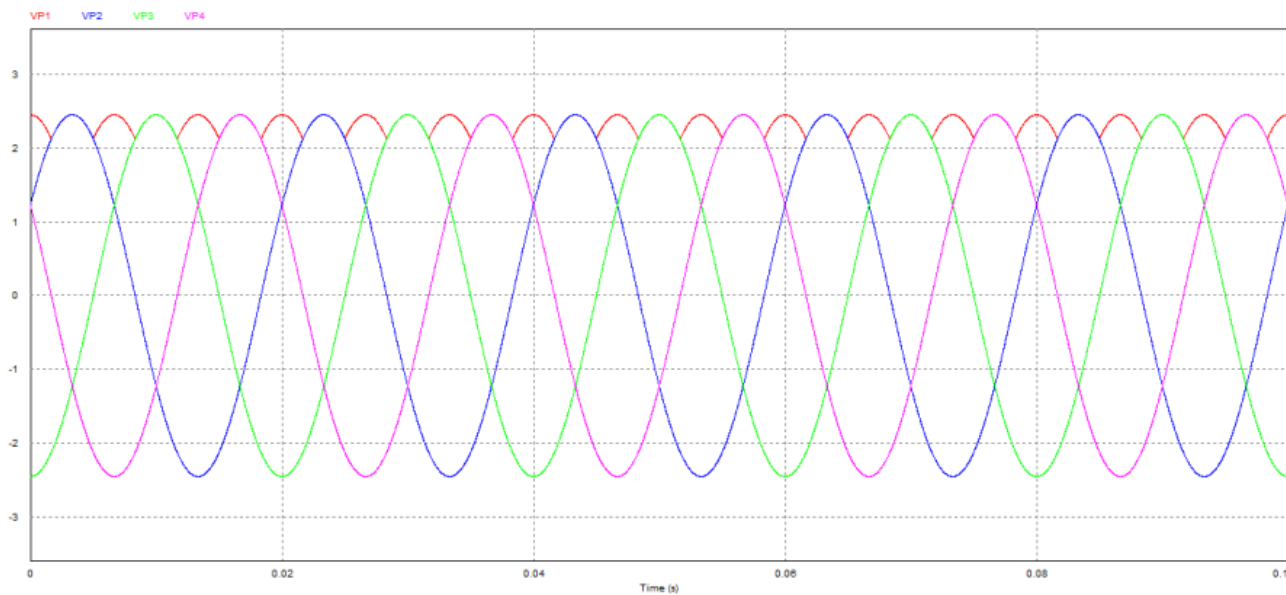
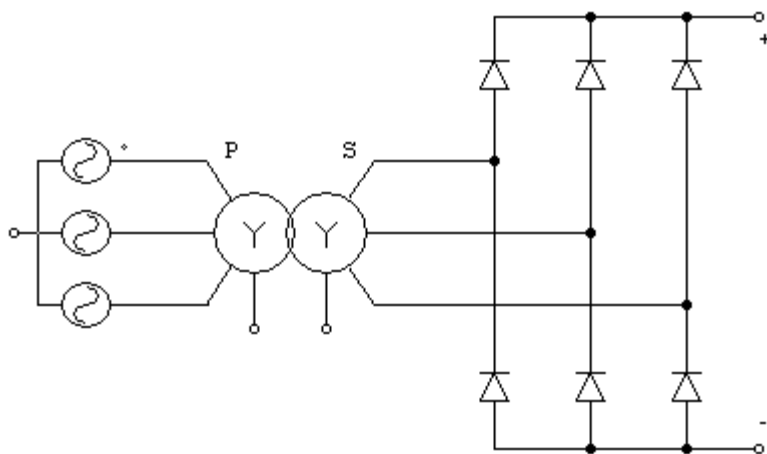
3电平变频器输出相电压、电流波形图

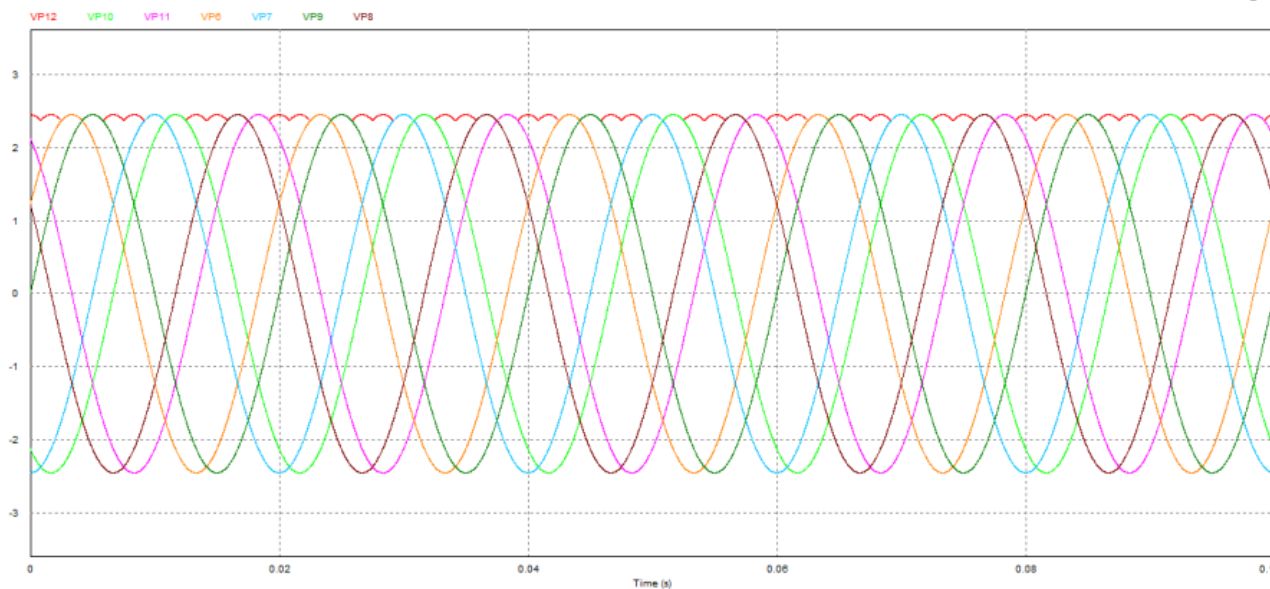
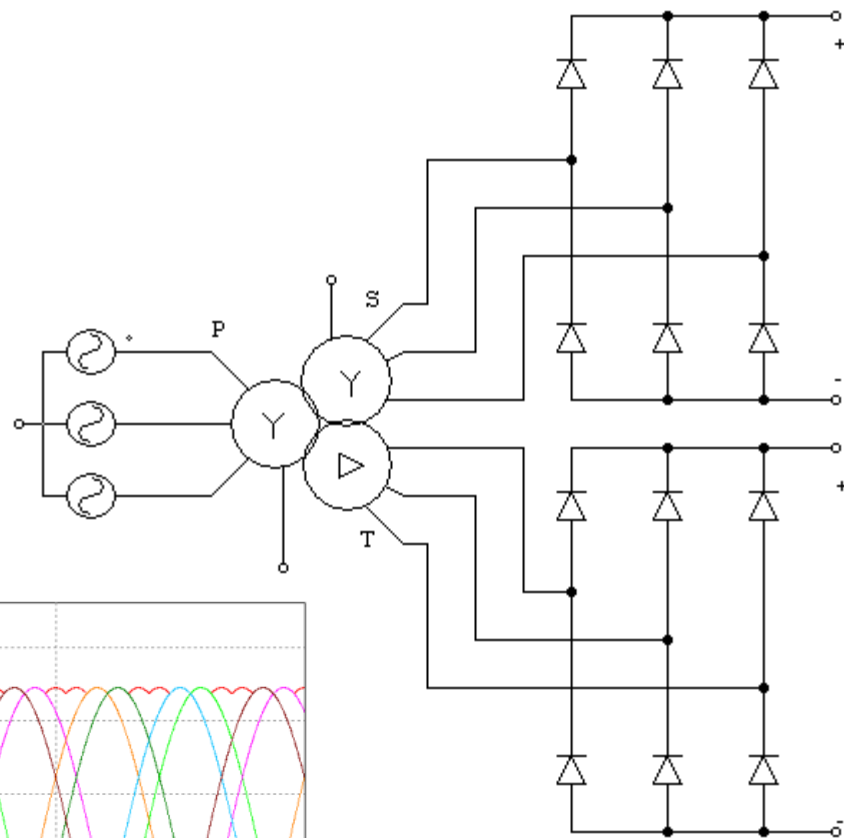


5电平变频器输出相电压、电流波形图

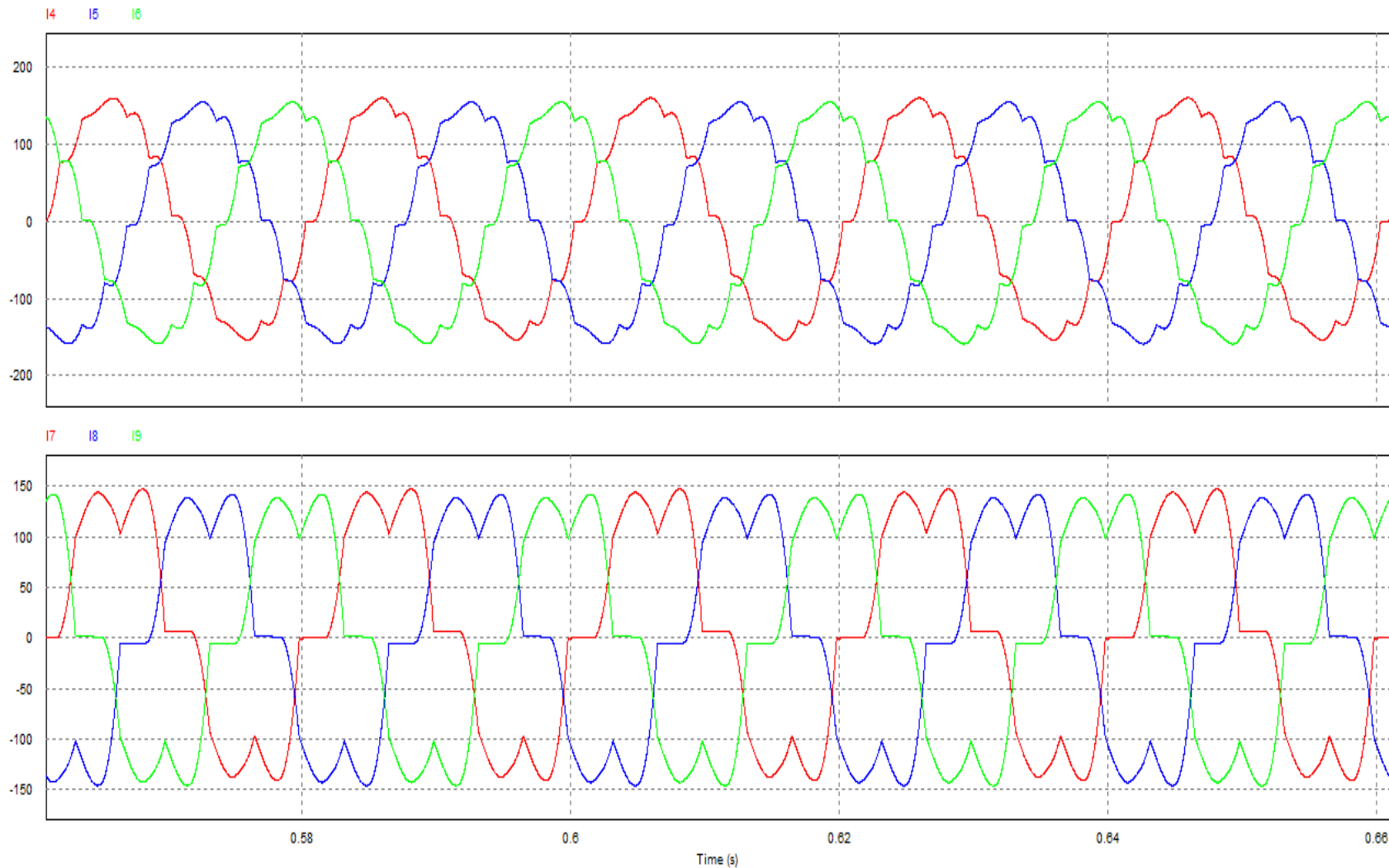


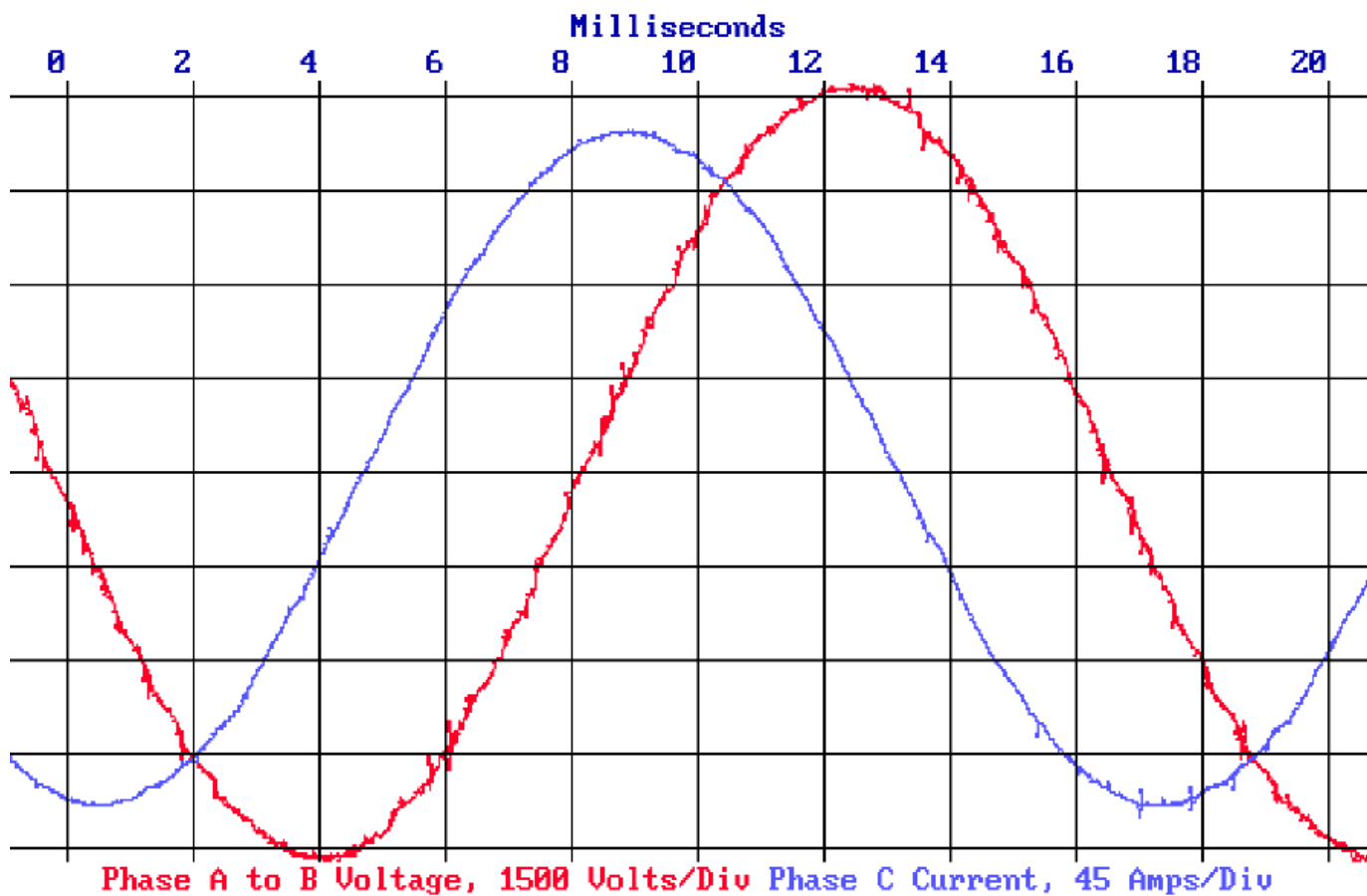
17电平变频器输出相电压、电流波形图





减小输入谐波电流





绝缘栅双极型晶体管（IGBT）

- 是现在变频器领域使用较为广泛的电力电子器件，产品成熟，采购渠道众多
- 开关速度快、损耗小
- 驱动电路简单，应用灵活
- 厂家众多，发展迅速，现在已经做到最高电压6500V，最大电流3000A。



集成门极换流晶闸管 (IGCT)

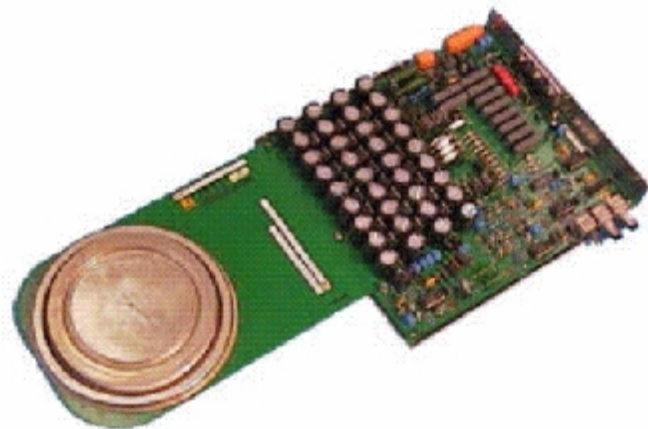
- 1997年由ABB公司提出，将GCT芯片与反并联二极管和门极驱动电路集成在一起，再与其门极驱动器在外围以低电感方式连接
- 高电压、大电流、低导通压降
- 驱动电路非常复杂，且与功率器件集成，二次开发较难



RC-IGCT

电子注入增强栅晶体管 (IEGT)

- 日本东芝公司的专利产品，通过采取增强注入的结构实现了低通态电压
- 采用平板压接式电极引出结构，现达到4.5KV/1500A的水平
- 全世界仅有的供货商，采购不方便
- 驱动电路复杂，国内厂家均采用集成的驱动模块，二次开发较难



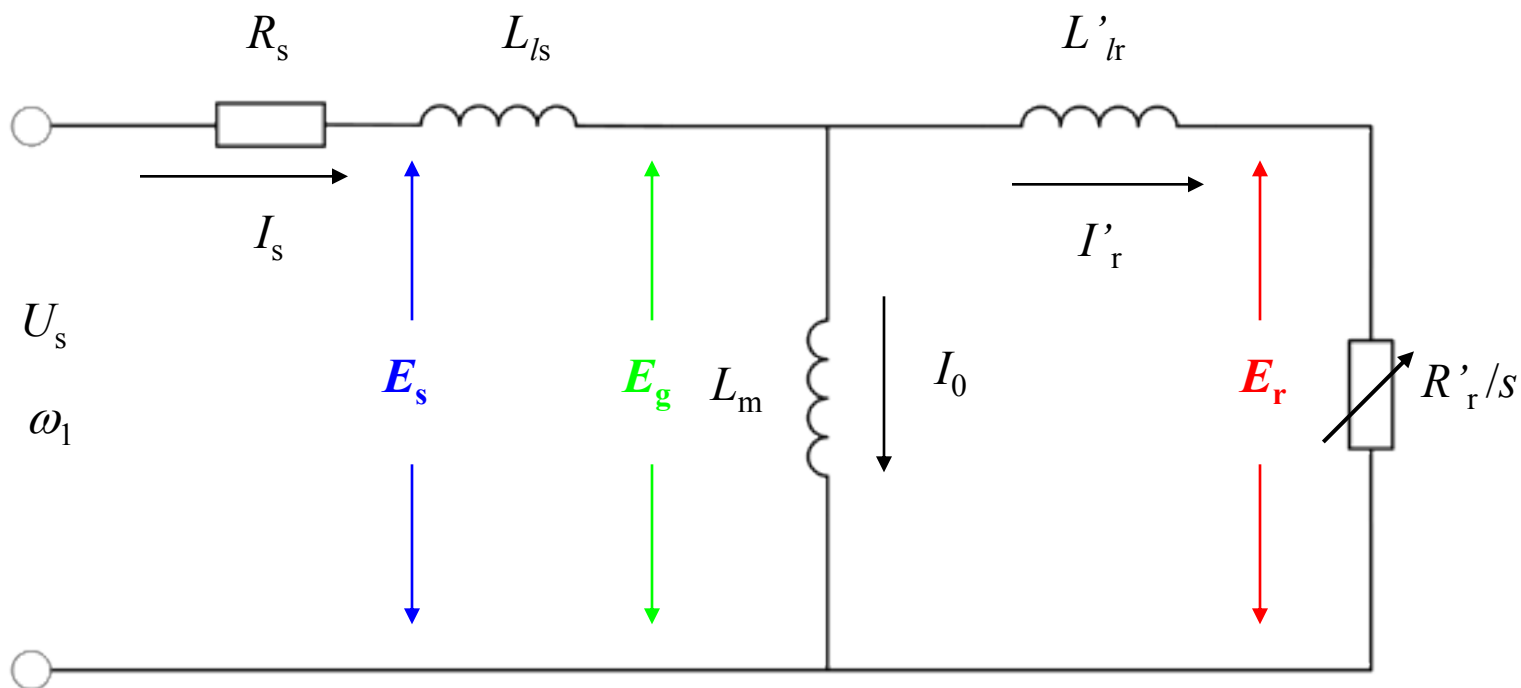
- 变频器的电机控制方法分两类：一类是基于交流电动机稳态数学模型的标量控制技术；另一类是基于交流电动机动态数学模型的控制技术。标量控制技术中，大都采用的是压频比控制方案，风机、水泵等通用负载大都采用此技术
- 高性能的变频器采用的控制方式为：矢量控制、直接转矩控制

$$T_M - T_L(n) = \frac{GD^2}{375} \times \frac{dn}{dt} \quad (1)$$

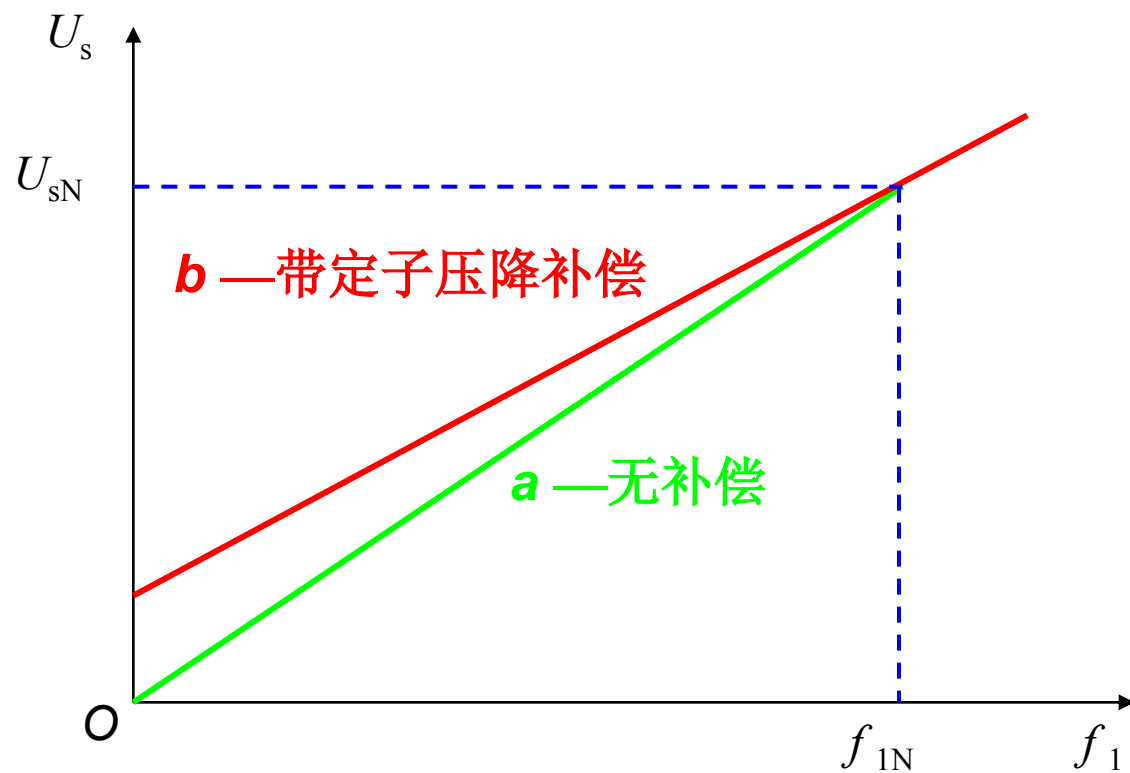
$$T_M = 9550 \frac{P}{n} \quad (2)$$

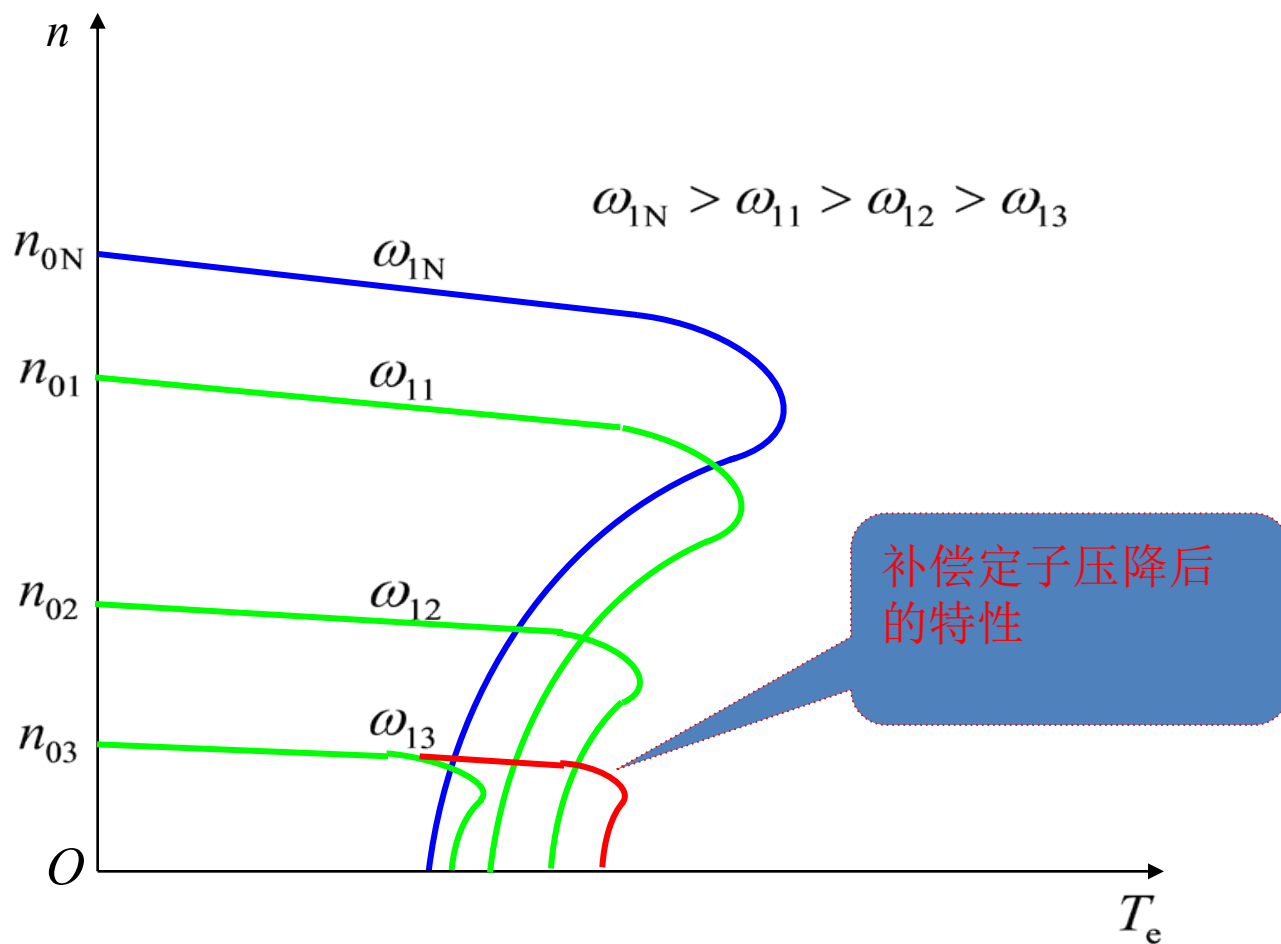
$$T_M = K_m \varphi I_a \quad (3)$$

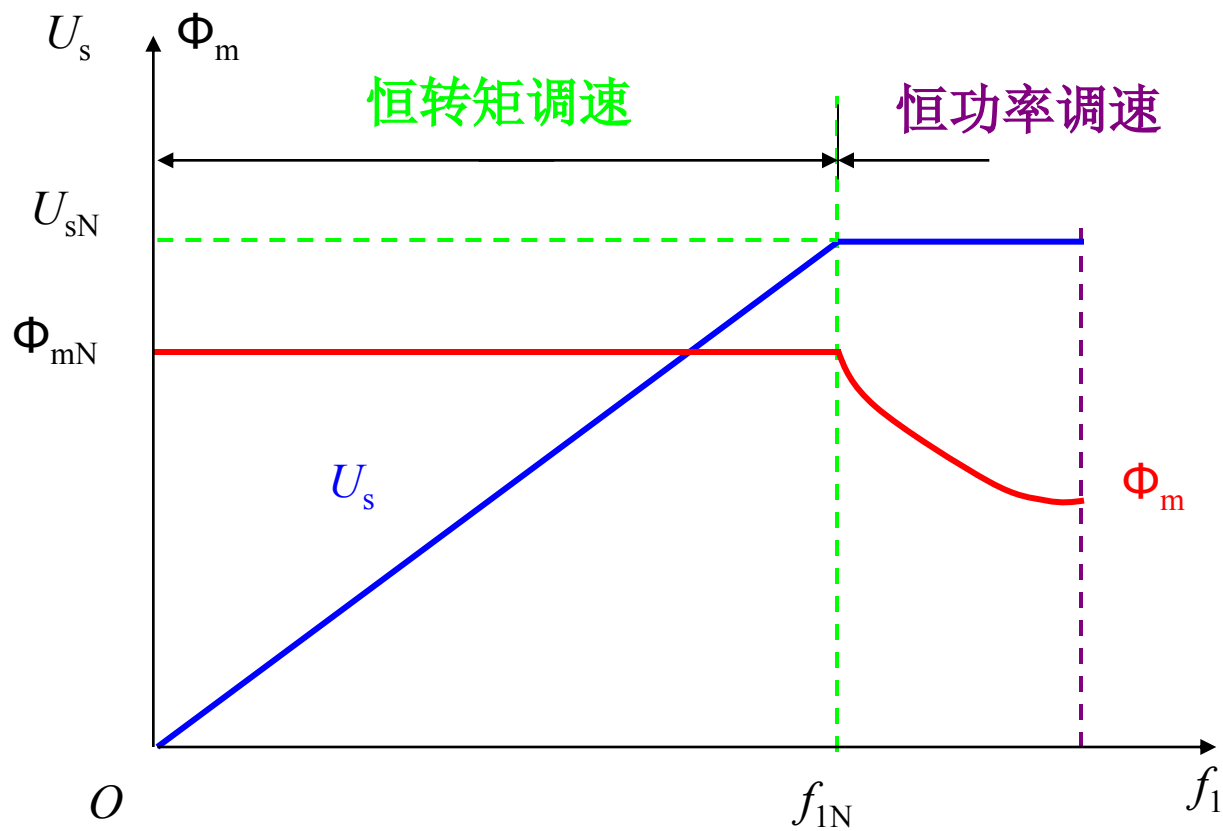
$$E = 4.44 f N_s k_{N_s} \varphi \quad (4)$$

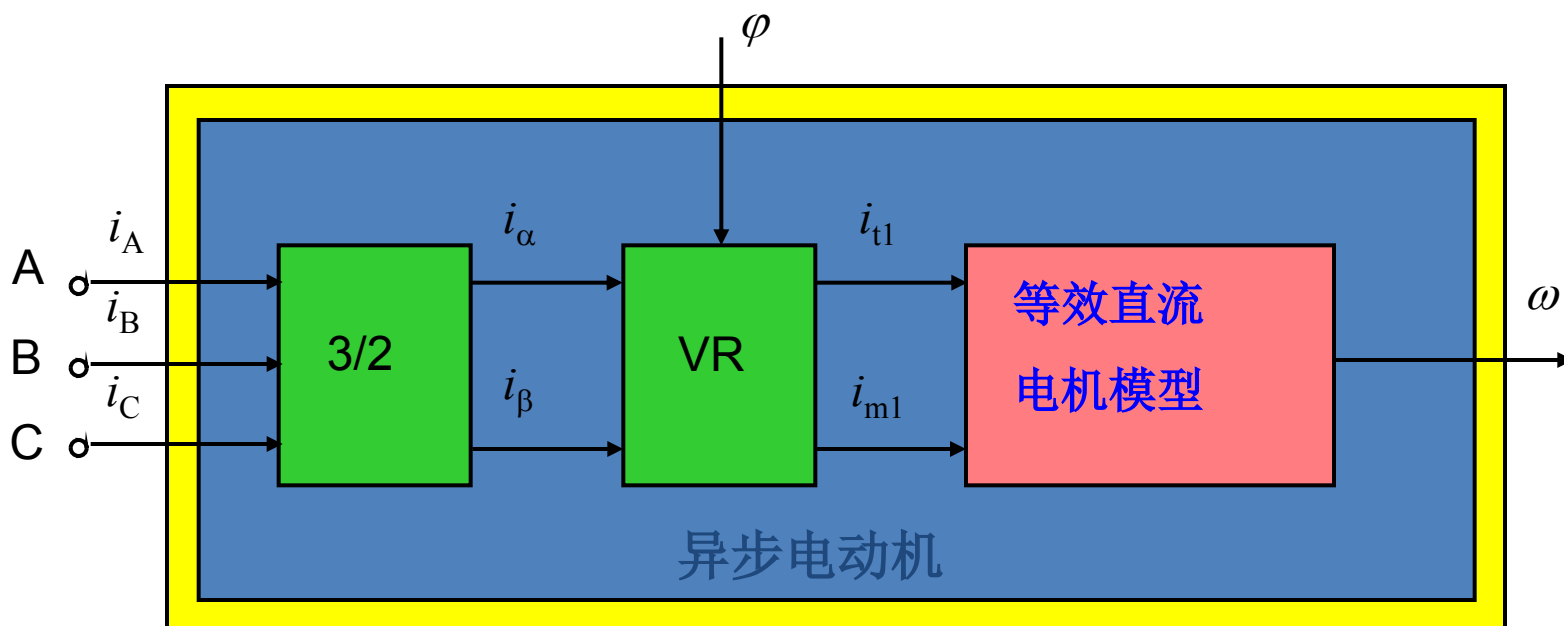


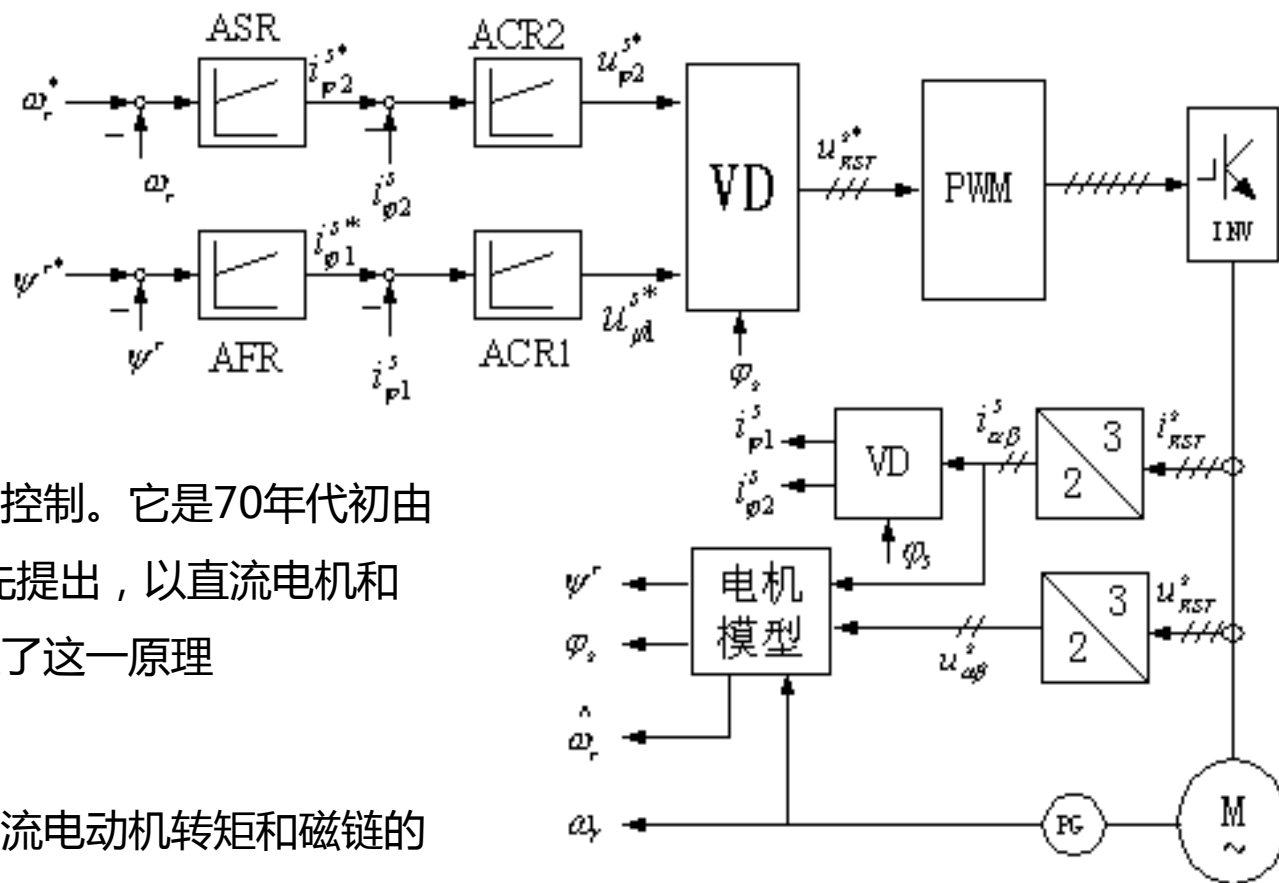
- 在进行电机调速时，希望保持电机的磁通量为额定值不变。如果磁通太弱，没有充分利用电机的铁心，是一种浪费；如果过分增大磁通，又会使铁心饱和，从而导致过大的励磁电流，严重时会使绕组过热而损坏电机
- 由前述公式可知，若需要保持磁通为额定值不变，则 E/f 需要为定值。绕组中的感应电动势 E 是难以直接控制的，当电动势值较高时，可以忽略定子绕组的漏磁阻抗压降，而认为定子相电压 $U \approx E$ ，即有 U/f 为定值。这就是恒压频比控制方式的基本原理
- V/F控制属于标量控制，其动态性能较差，低频性能也不好





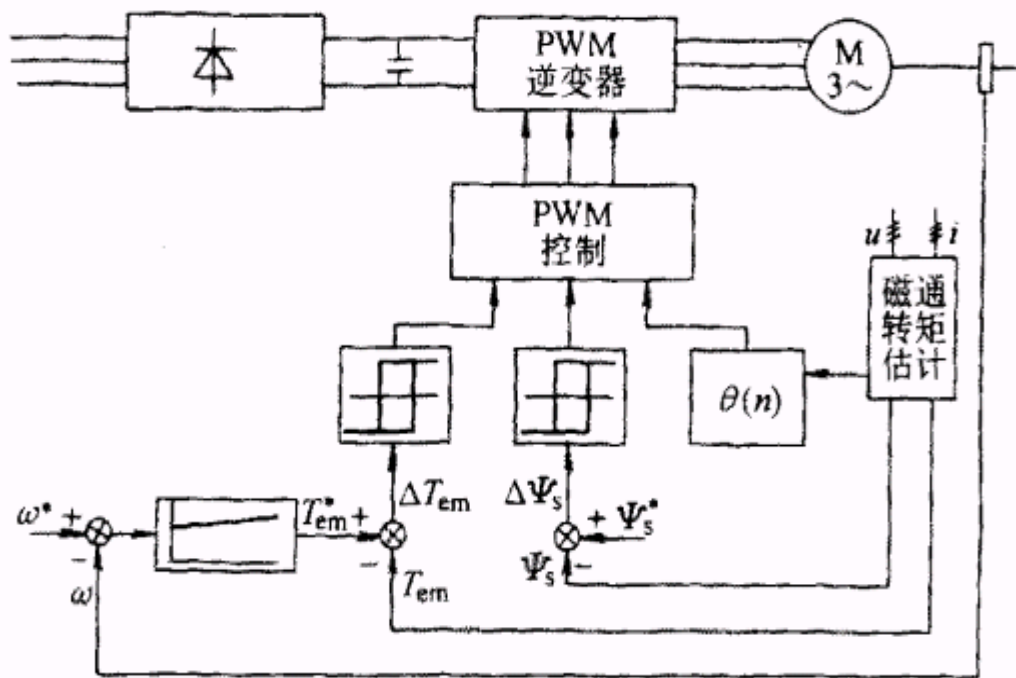




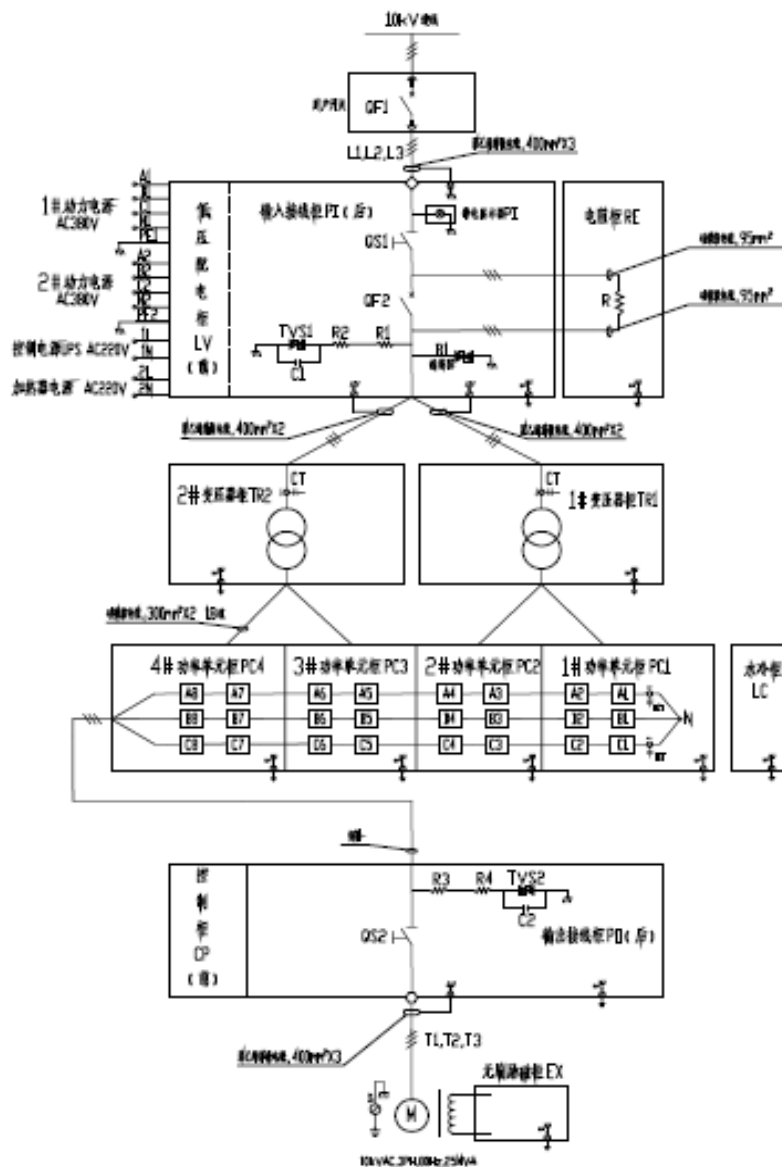


- 矢量控制，也称磁场定向控制。它是70年代初由西德F.Blasschke等人首先提出，以直流电机和交流电机比较的方法阐述了这一原理
- 矢量控制技术实现了对交流电动机转矩和磁链的单独控制（或者说解耦控制），调速精度高，动态响应快，在高速和低速情况下都有比较好的控制性能

- 由德国鲁尔大学的Depen Brock教授在1985年首次提出，与矢量控制不同，它不是通过控制电流，磁链等量间接控制转矩，而是把转矩直接作为被控量来控制
- 直接转矩控制系统避开了复杂的旋转坐标变换，控制定子磁链，不受转子参数的影响；但是由于直接进行转矩砰-砰控制，不可避免地产生转矩脉动



- 输入谐波及功率因数
- 输出波形质量， du/dt
- 可靠性
- 效率
- 调速范围、转矩响应及稳速精度



- **能科科技股份有限公司**总部位于北京，上交所主板上市公司，股票代码603859
- **上海能传电气有限公司**为能科股份控股子公司，专业从事电力电子产品的研发和制造；研发中心位于上海张江高科，制造基地位于上海临港
- 能传电气的技术团队作为国内早期从事高压变频器的团队，具有罗宾康、西门子、GE 等公司多年经验，曾主导参与了20MW级电驱压缩机组高压变频调速装置的国产化研制，核心研发人员于2015年获得中国机械工业科学技术“特等奖”

● 电气传动：

- 高压变频器
- 工程型变频器
- 软启动器

● 电能质量

- APF
- SVG
- SPC

● 岸电电源



业务咨询：021-50410009

客服电话：13761229697

邮箱：sales.sh@nanci.com

办公地址：上海市张江高科技园区中科路699号惠生中心B座702室

工厂地址：上海市临港奉贤产业园区正博路1881号5号厂房

能传电气微信公众号

ID: Nancal_Electric

