



电机知识培训
原创：游名
技术交流群：123768874



目录

- 1、电机及工作原理简单介绍
- 2、电机分类及主要应用介绍
- 3、国内主要直流无刷电机（含步进）厂家
- 4、直流无刷电机驱动电路介绍
- 5、直流无刷电机驱动相关器件原厂
- 6、为什么要做FOC控制

1、电机及工作原理简单介绍

电机（英文：Electric machinery，俗称“马达”）是指依据电磁感应定律实现电能转换或传递的一种电磁装置（电能转化为机械能）。

电机在电路中是用字母M（旧标准用D）表示，它的主要作用是产生驱动转矩，作为用电器或各种机械的动力源，发电机在电路中用字母G表示，它的主要作用是利用机械能转化为电能。

1、电机及工作原理简单介绍

电机的概念：

电能 \longleftrightarrow 机械能

电机工作原理：

左手定则： **$F=nBLI$**

F：电磁力(N)

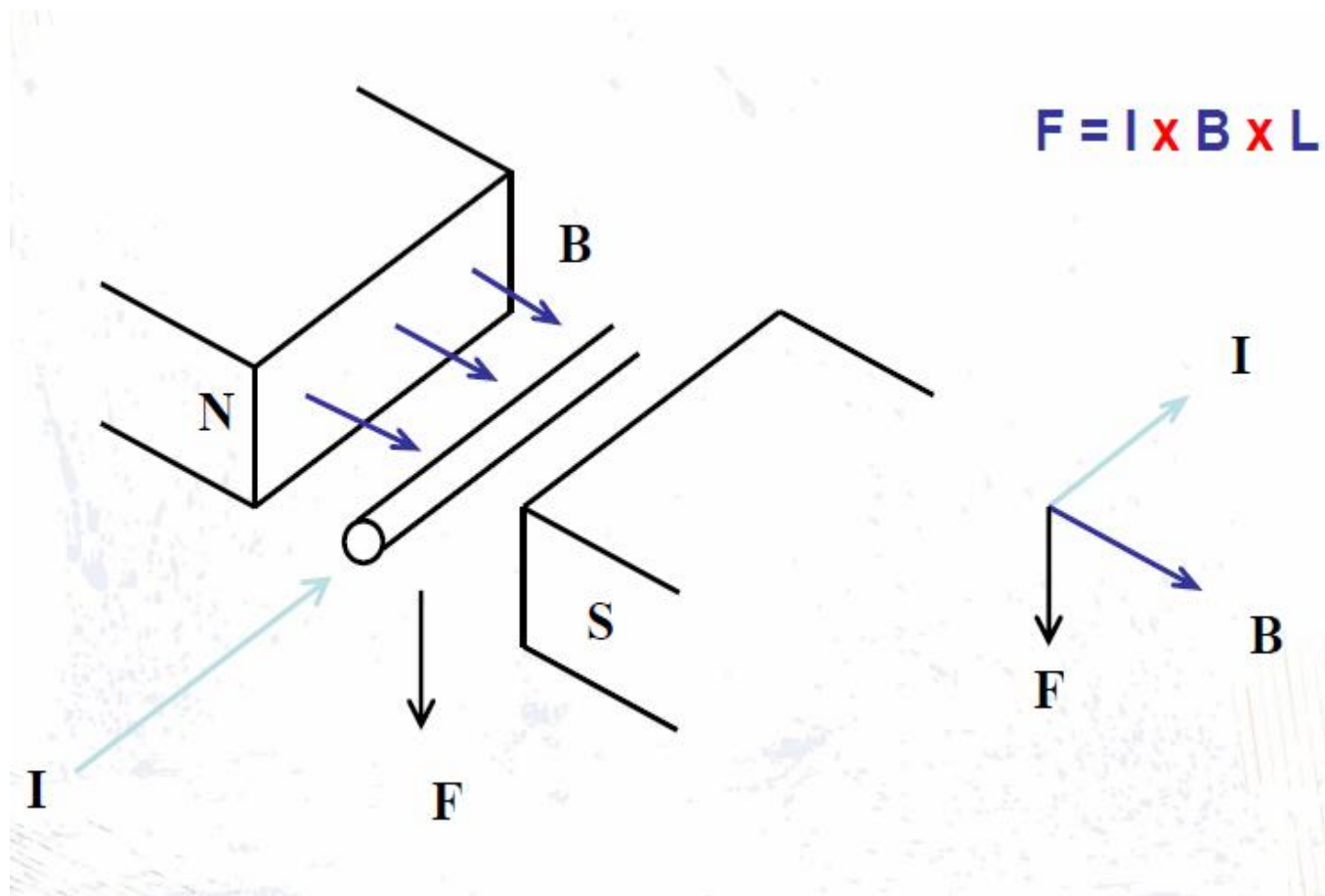
n：线圈匝数（固定）

B：气隙中的磁感应强度(T)

L：线圈的有效边长(M)

I：通过线圈的电流(A)

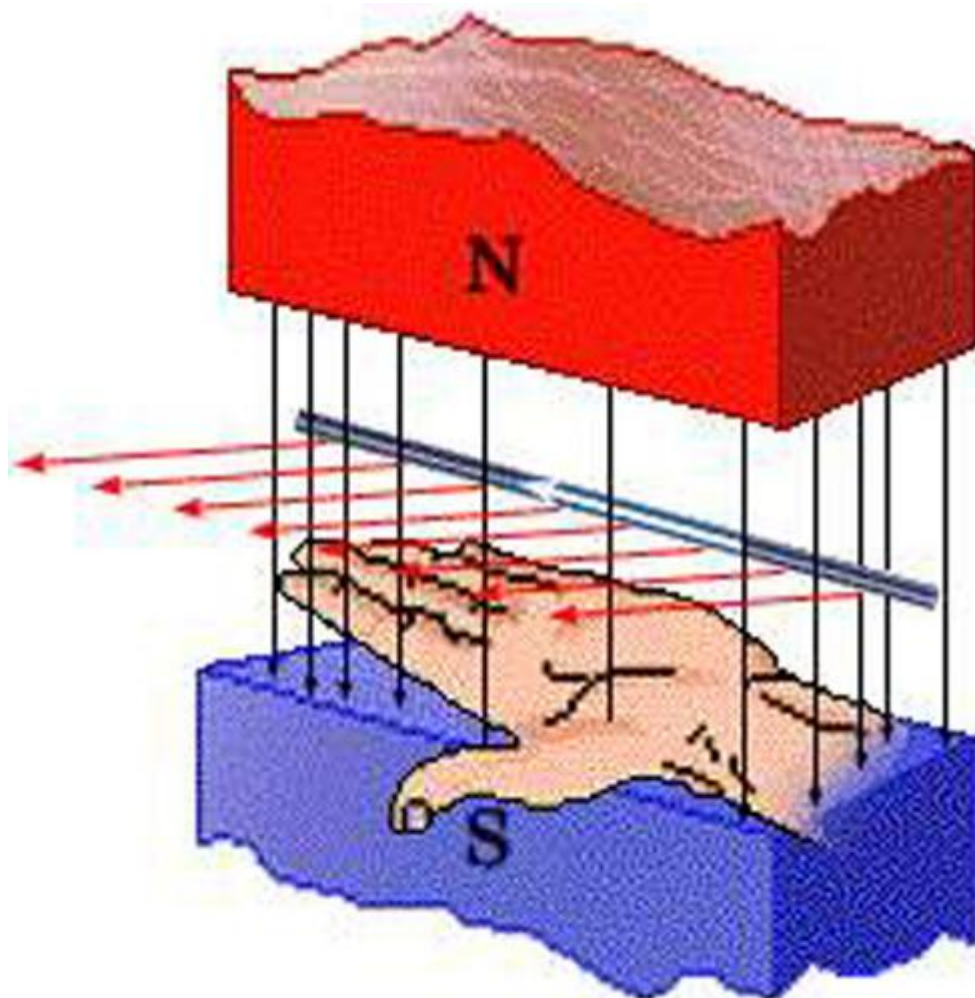
1、电机及工作原理简单介绍（左手定则）



左手定则

左手定则是判断通电导线处于磁场中时，所受安培力 F (或运动) 的方向、磁感应强度 B 的方向 以及通电导体棒的电流 I 三者方向之间的关系定律。
伸开左手，使拇指与其他四指垂直且在一个平面内，让磁感线从手心流入，四指指向电流方向，大拇指指向的就是安培力方向（即导体受力方向）。

1、电机及工作原理简单介绍（左手定则）

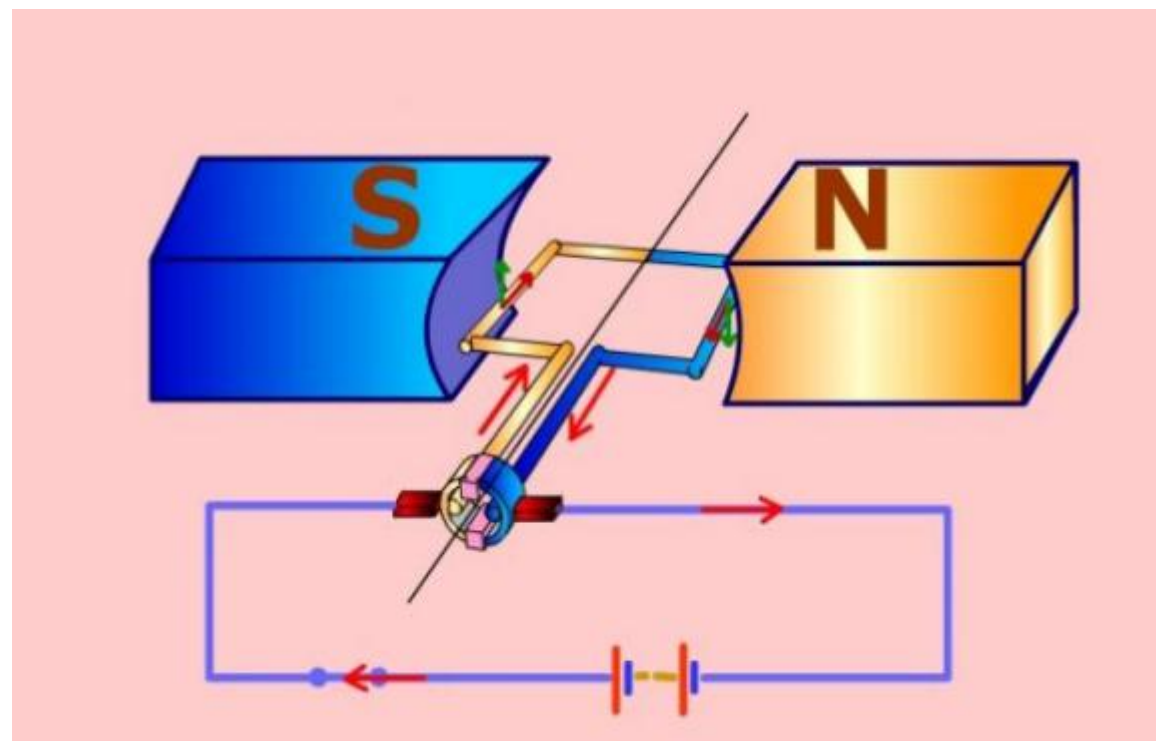
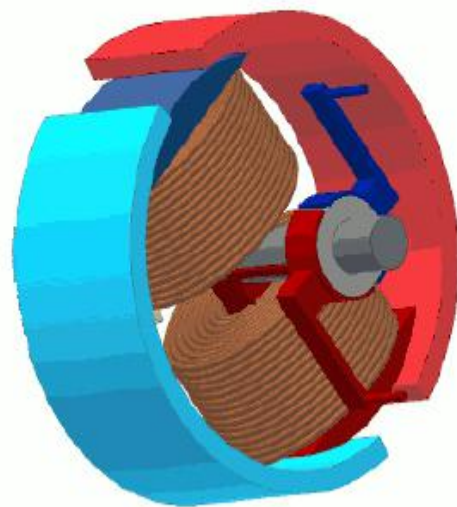
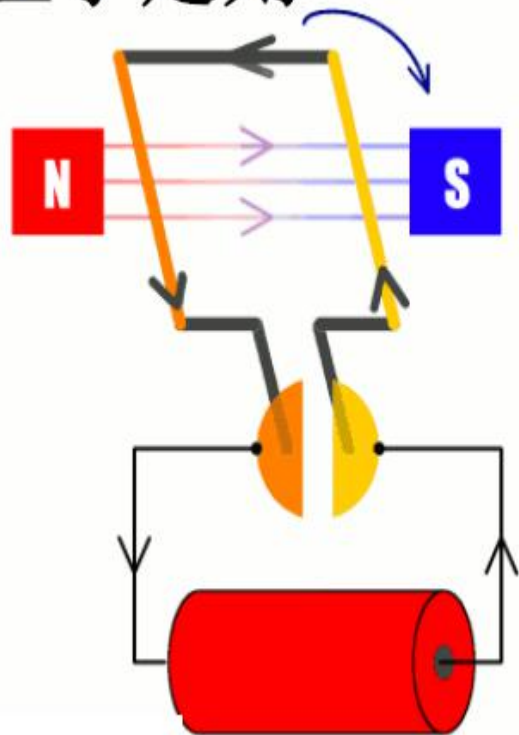


3d120百科

左手定则

1、电机及工作原理简单介绍（如何让电机转起来）

左手定则



如何让电机转起来

1、电机及工作原理简单介绍（如何让电机转起来）

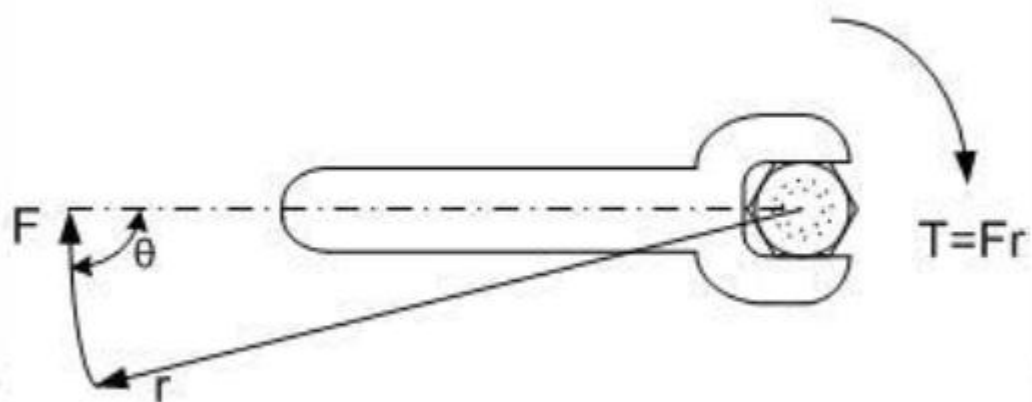
直流电动机转动起来的原理：当电枢转了 180° 后，导体 cd 转到 N 极下，导体 ab 转到 S 极下时，由于直流电源供给的电流方向不变，仍从电刷 A 流入，经导体 cd、ab 后，从电刷 B 流出。这时导体 cd 受力方向变为从右向左，导体 ab 受力方向是从左向右，产生的电磁转矩的方向仍为逆时针方向。因此，电枢一经转动，由于换向器配合电刷对电流的换向作用，直流电流交替地由导体 ab 和 cd 流入，使线圈边只要处于 N 极下，其中通过电流的方向总是由电刷 A 流入的方向，而在 S 极下时，总是从电刷 B 流出的方向。这就保证了每个极下线圈边中的电流始终是一个方向，从而形成一种方向不变的转矩，使电动机能连续地旋转。（靠换向器改变电流方向）

1、电机及工作原理简单介绍（如何让电机转起来）

三相异步电动机的工作原理:三相交流电能产生旋转磁场.三相交流电动机分为定子绕组和转子.当向三相定子绕组中通过入对称的三项交流电时,就产生了一个以同步转速 n_1 沿定子和转子内圆空间作顺时针方向旋转的旋转磁场。由于旋转磁场以 n_1 转速旋转,转子导体开始时是静止的,故转子导体将切割定子旋转磁场而产生感应电动势（感应电动势的方向用右手定则判定）。由于转子导体两端被短路环短接,在感应电动势的作用下,转子导体中将产生与感应电动势方向基本一致的感生电流。转子的载流导体在定子磁场中受到电磁力的作用（力的方向用左手定则判定）。电磁力对转子轴产生电磁转矩,驱动转子 沿着旋转磁场方向旋转。（三相交流电本身就是交流电,产生交变磁场）

1、电机及工作原理简单介绍（电机转矩）

转矩产生



考虑F的方向, $T = Fr \sin \theta$

电机转矩

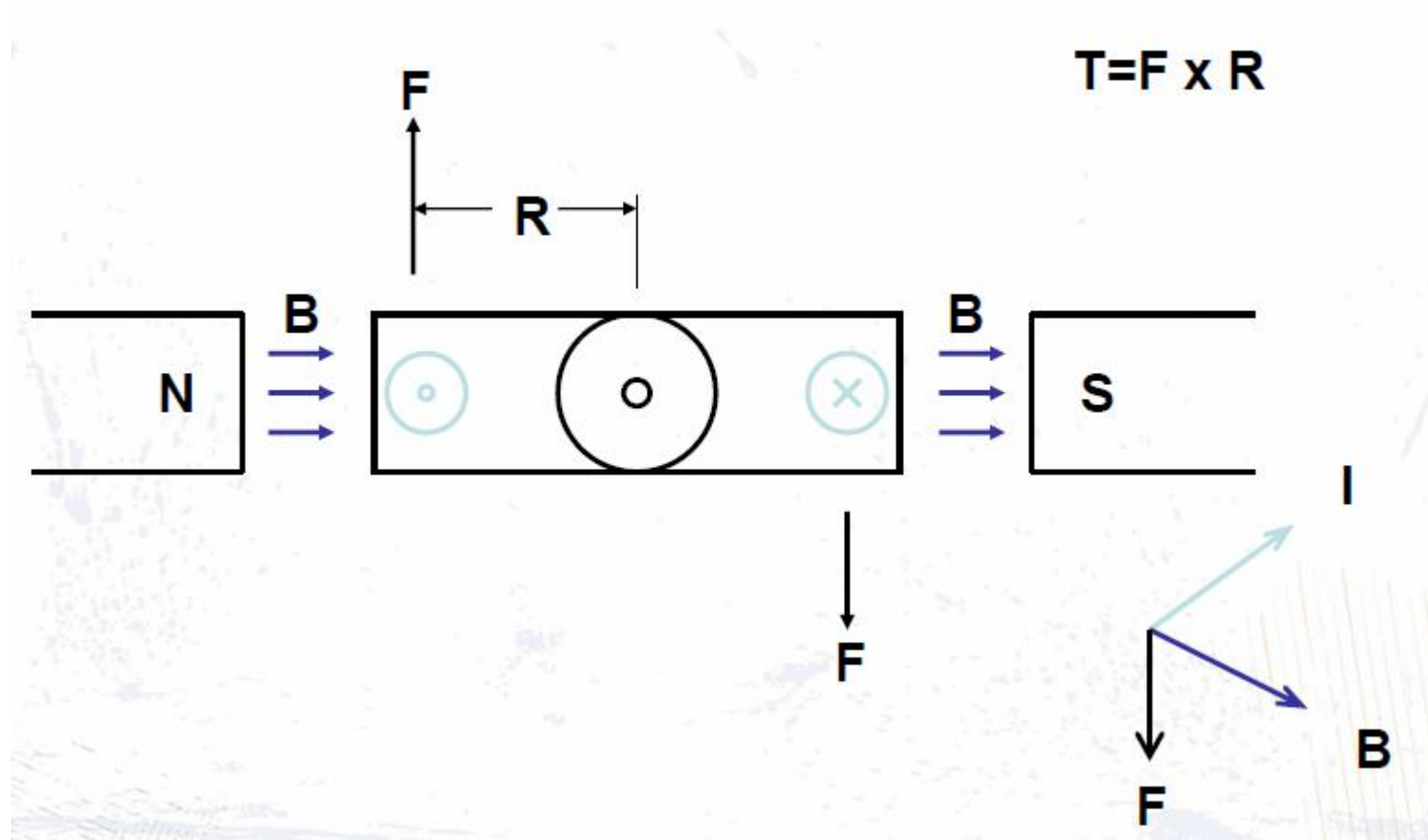
$$T = FR$$

力矩 = 力 × 力臂

这里的力臂就可以看成电机所带动的物体的转动半径。如果电机转矩太小，就带不动所要带的物体，也就是感觉电机的“劲”不够大。

电动机的转矩 = 皮带轮拖动皮带的力 × 皮带轮的半径

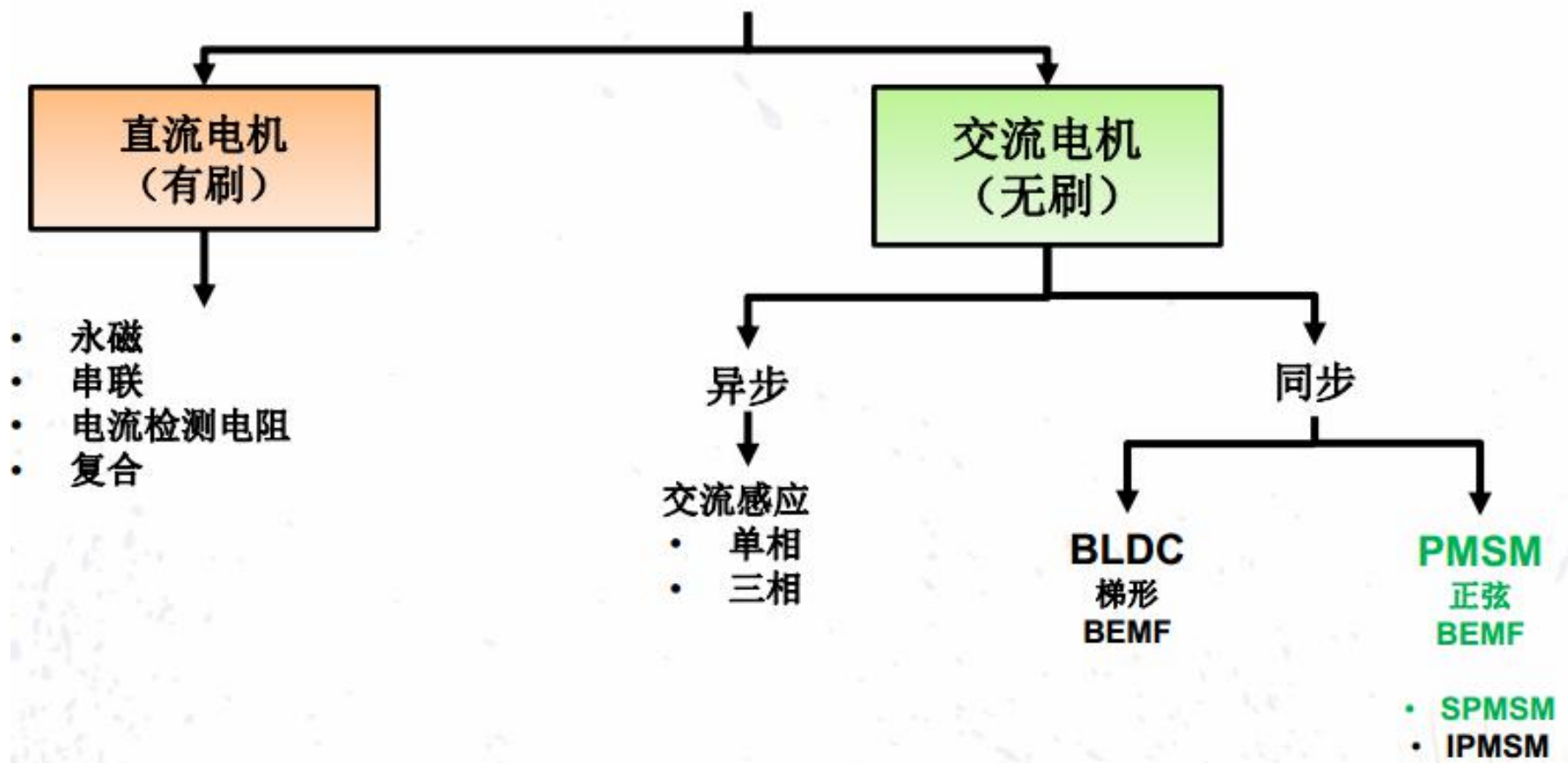
1、电机及工作原理简单介绍（电机转矩）



电机转矩

2、电机分类及主要应用介绍

电机类型



2、电机分类及主要应用介绍

驱动用电动机可划分：

电动工具（包括钻孔、抛光、磨光、开槽、切割、扩孔等工具）

用电动机；

家电（包括洗衣机、电风扇、电冰箱、空调器、录音机、录像机、影碟机、吸尘器、照相机、电吹风、电动剃须刀等）用电动机；

其它通用小型机械设备（包括各种小型机床、小型机械、医疗器械、电子仪器等）用电动机；

电动车类：电动自行车、电动三轮车、扭扭车、卡丁车、平衡车、滑板车、电动汽车、高尔夫球车等；

机器人类型：扫地机器人、无人机、服务机器人、AGV小车、示教机器人等；

创客类：舵机、平衡车等。

2、电机分类及主要应用介绍

有刷直流电机和无刷直流电机：

有刷直流电机（便宜）是一种直流电机，有刷电机的定子上安装有固定的主磁极和电刷，转子上安装有电枢绕组和换向器。直流电源的电能通过电刷和换向器进入电枢绕组，产生电枢电流，电枢电流产生的磁场与主磁场相互作用产生电磁转矩，使电机旋转带动负载。由于电刷和换向器的存在，有刷电机的结构复杂，可靠性差，故障多，维护工作量大，寿命短，换向火花易产生电磁干扰。

无刷直流电机是采用半导体开关器件来实现电子换向的，即用电子开关器件代替传统的接触式换向器和电刷。它具有可靠性高、无换向火花、机械噪声低等优点。

2、电机分类及主要应用介绍

无刷电机及伺服电机主要应用场景：

电动工具：包括钻孔、抛光、磨光、开槽、切割、扩孔、割草机等工具；

电动车类：电动自行车、电动三轮车、扭扭车、卡丁车、平衡车、滑板车、电动汽车、高尔夫球车等；

家电类：包括风机（排风扇）、洗衣机、空调压缩机等；

机器人类：无人机（特种机器人）、扫地机器人、AGV小车、服务机器人等（一般是有感带编码器或霍尔传感器）；

工业类：半导体设备、雕刻机、贴片机、机床等自动化相关应用。

其它：医疗、军工的应用。

2、电机分类及主要应用介绍（图片介绍）



步进电机（2相）



直流无刷电机(三相)



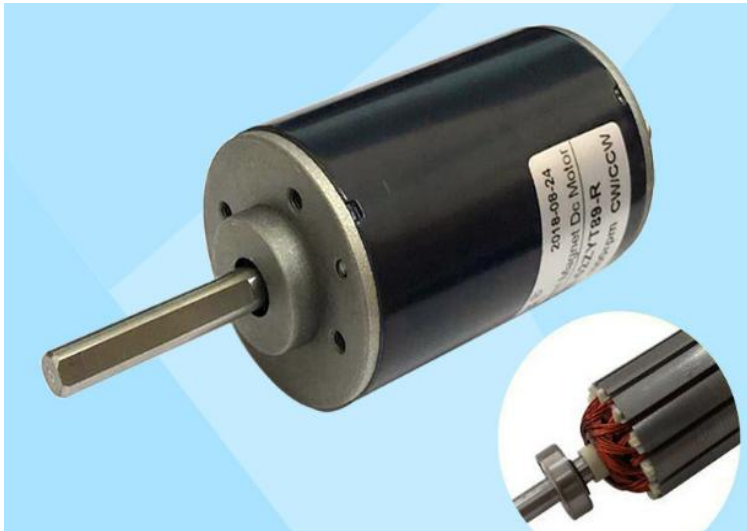
伺服电机（三相带编码器）



轮毂电机



2、电机分类及主要应用介绍（图片介绍）



直流有刷电机



直流有刷带涡轮蜗杆减速



舵机（有刷带机械机构）

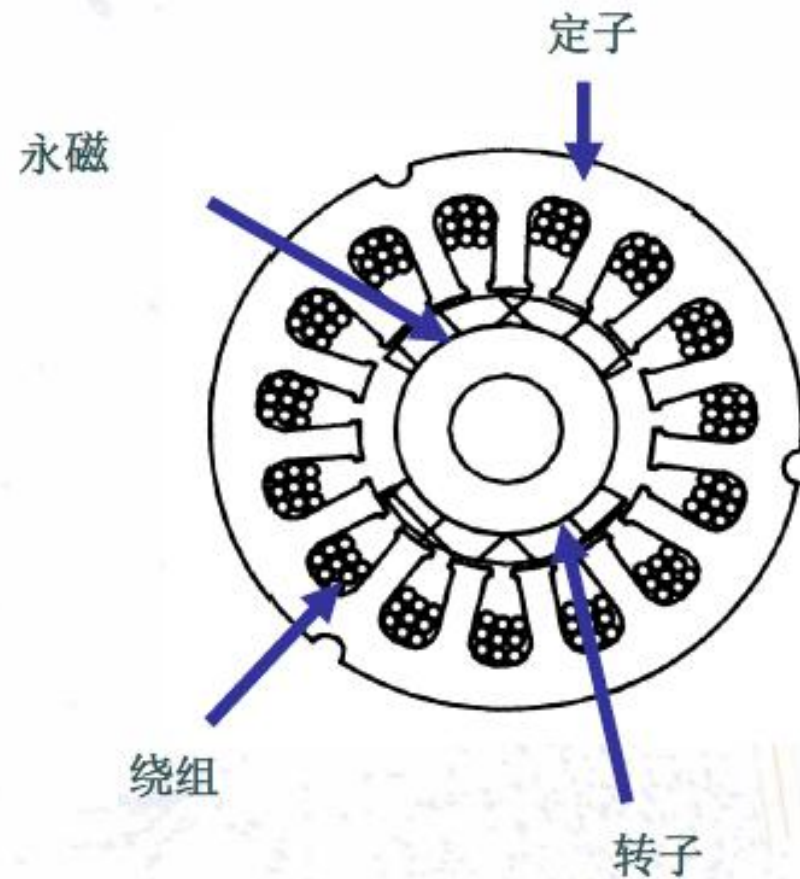


电机带驱动

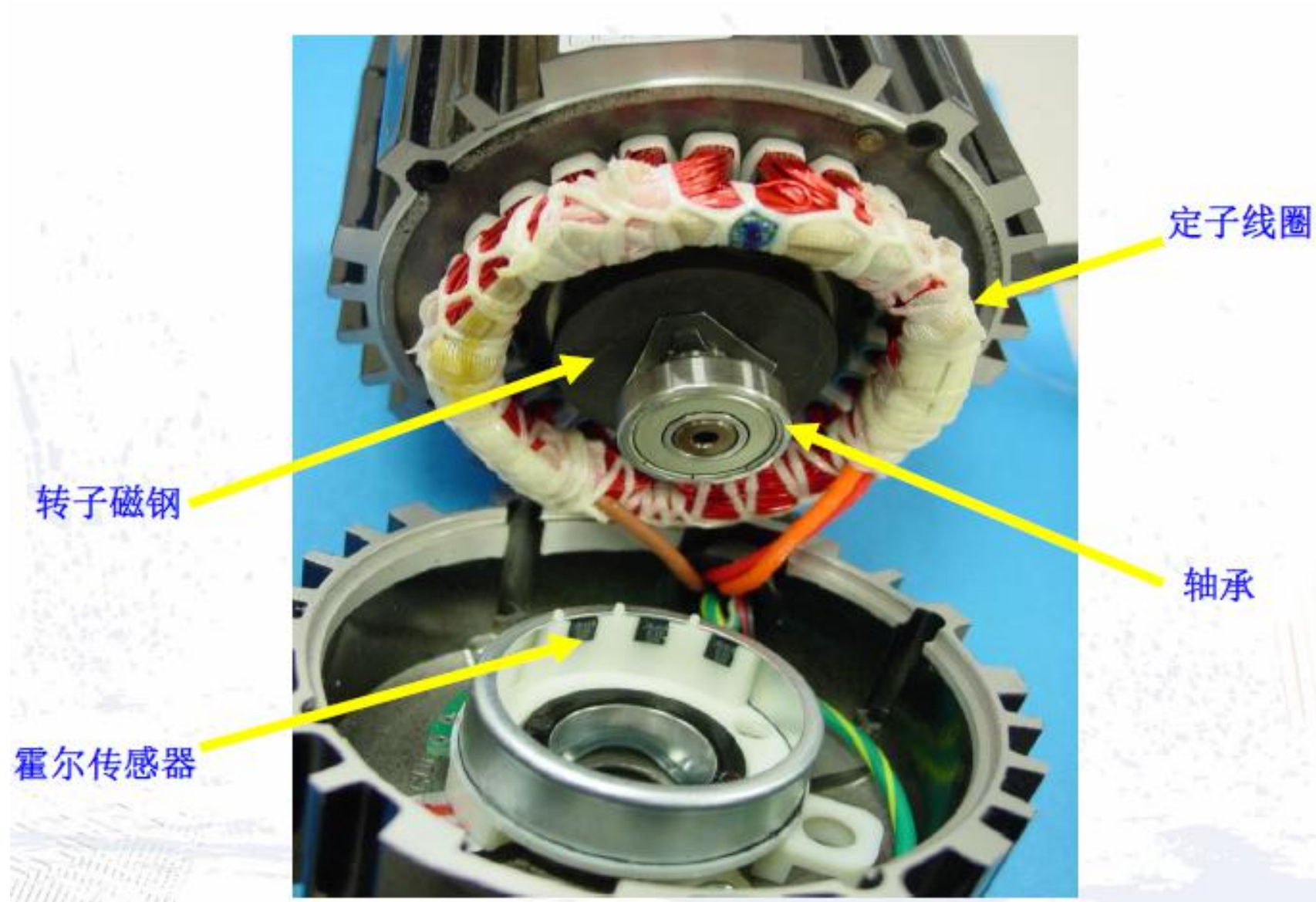


3、国内主要直流无刷电机（直流无刷电机）

基本构造



3、国内主要直流无刷电机（直流无刷电机）



3、国内主要直流无刷电机（含步进）厂家

常州合泰电机：步进电机、直流无刷电机、步进驱动器等；

上海鸣志：步进电机、直流无刷电机、驱动器、LED电源等；

深圳万至达电机：有刷、无刷、步进、减速电机等；

深圳汉德保电机：步进电机、直流无刷电机及驱动器等（代理）；

深圳恒驱电机（上市公司）：直流无刷电机、永磁同步电机等；

深圳唯真电机：有刷电机（为主--小功率）、直流无刷电机等；

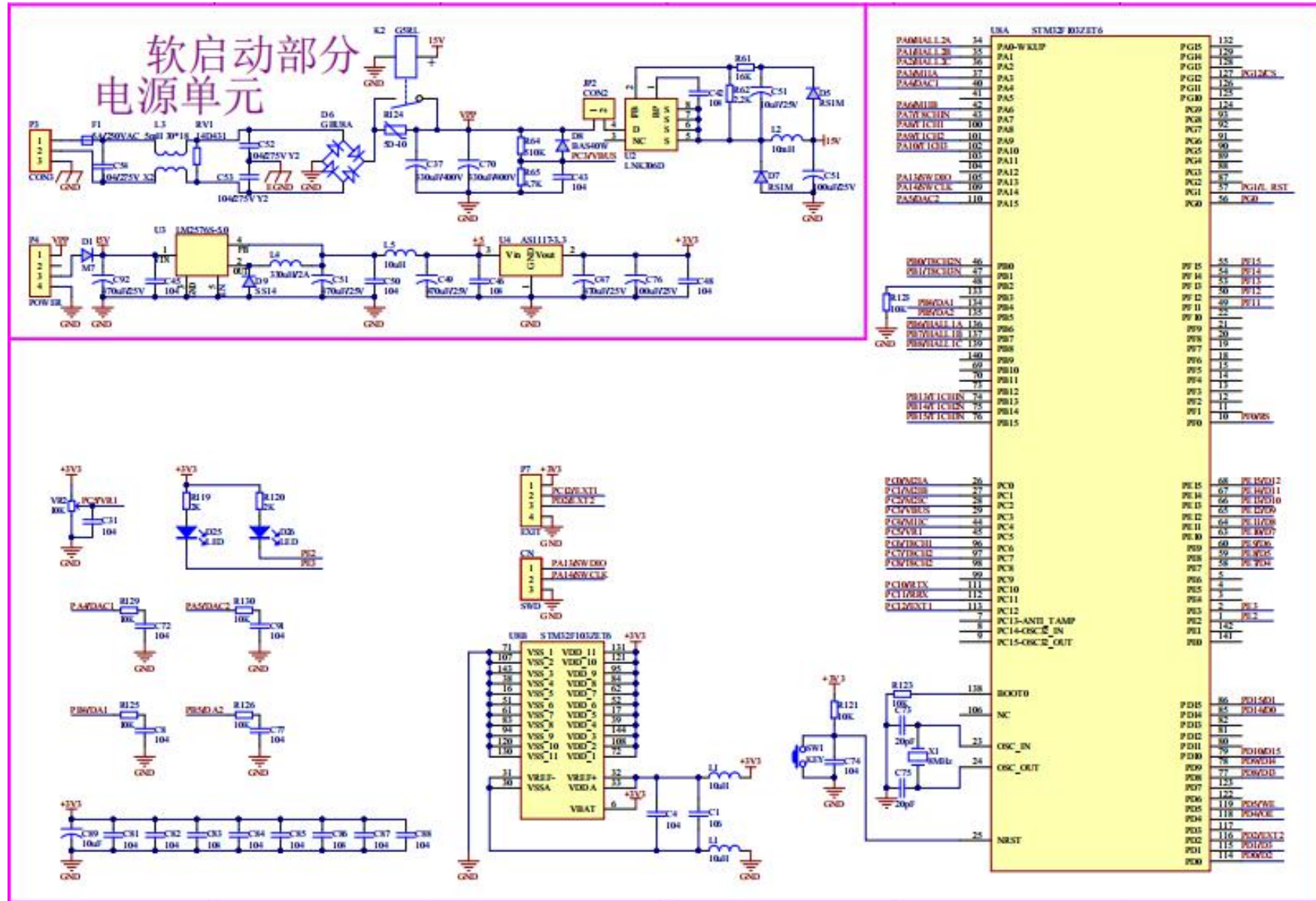
常州运控：无刷电机、步进电机、伺服电机等；

佛山乐普达电机：排水泵、风机马达等；

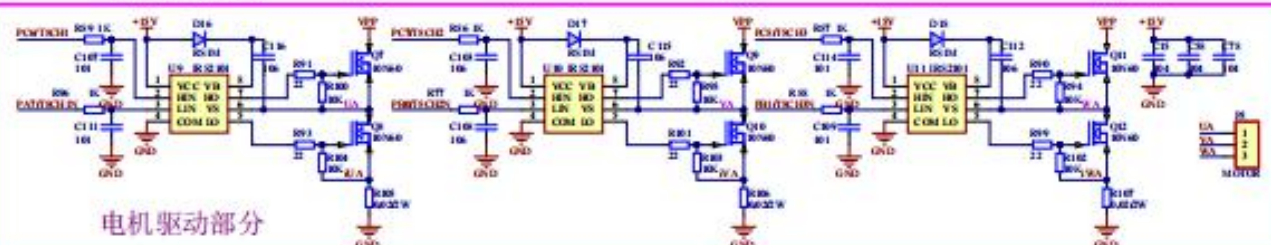
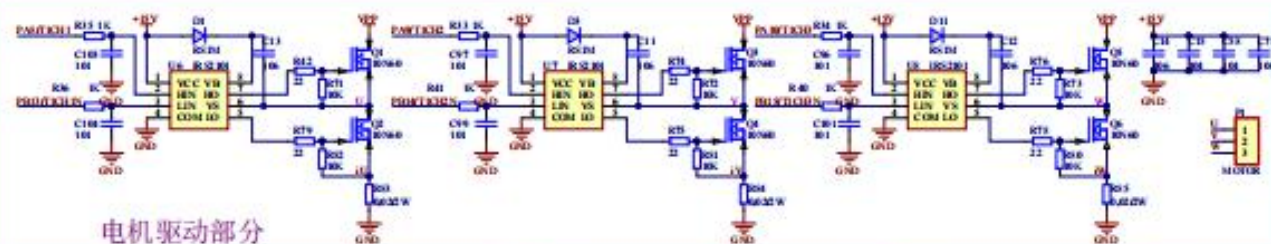
深圳东么川伺服：伺服电机；

深圳力辉电机：交直流小型电机、微型电机等，家电、机器人、电动工具等领域电机定制。

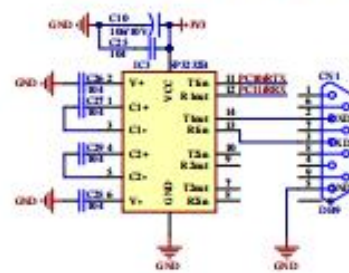
4、直流无刷电机驱动电路介绍(总图1)



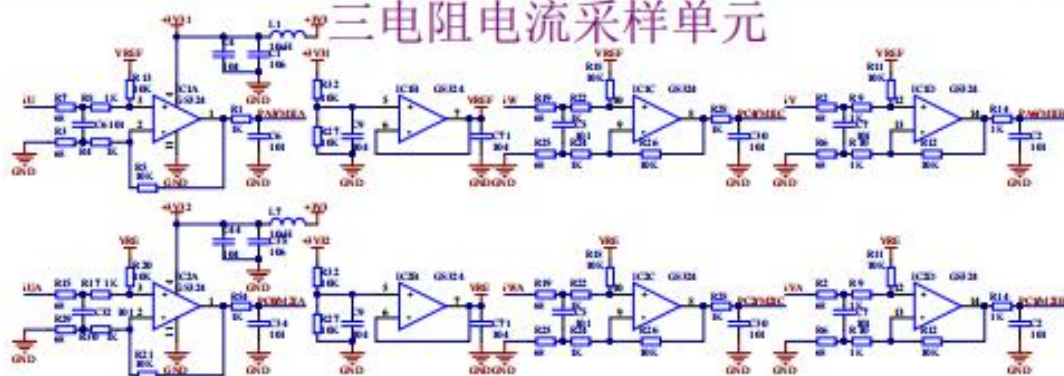
4、直流无刷电机驱动电路介绍(总图2)



232通讯单元



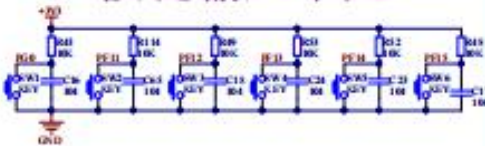
三电阻电流采样单元



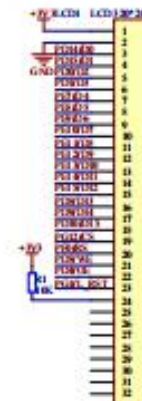
霍尔/编码器接口



按键输入单元



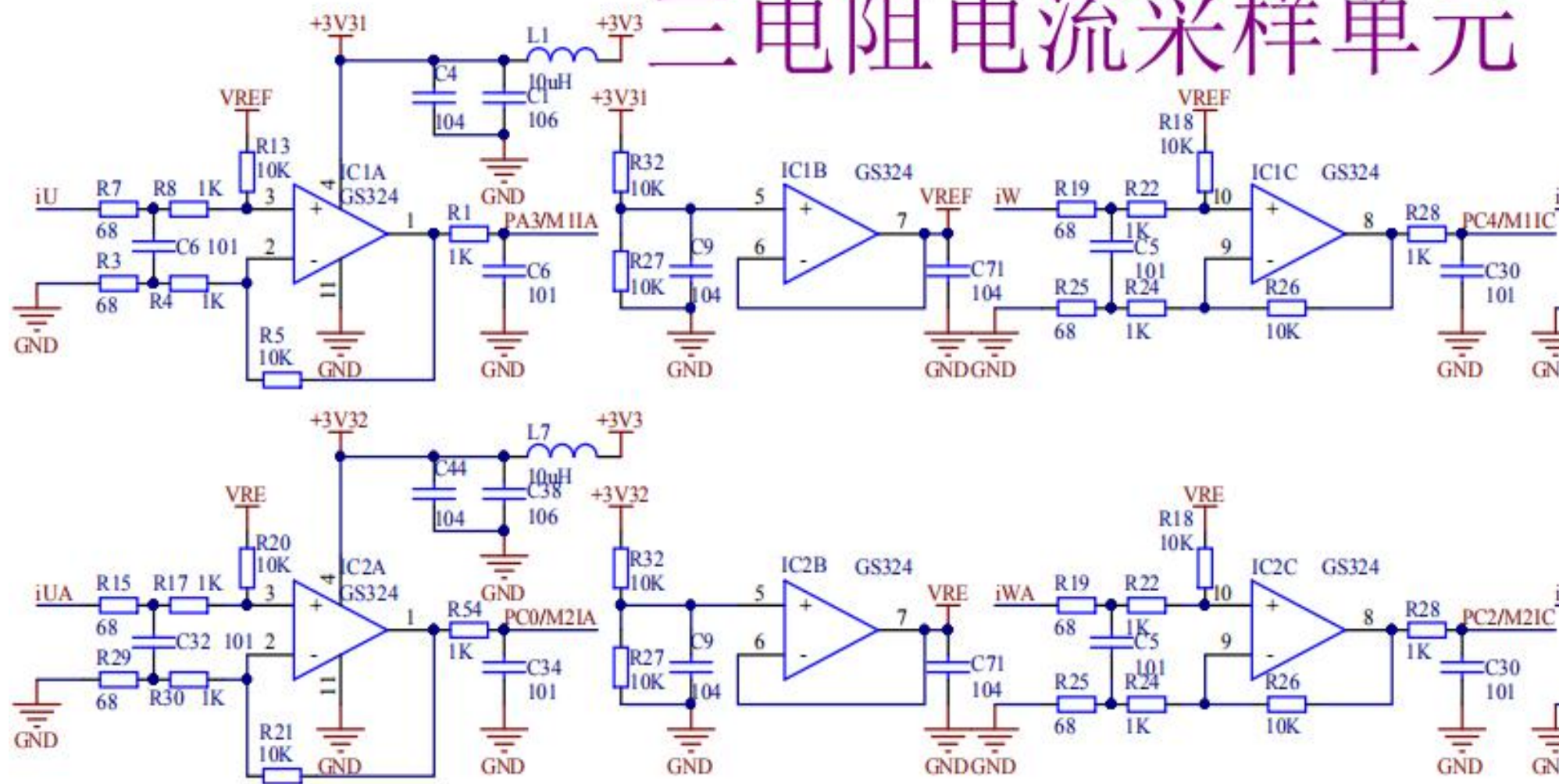
LCD显示单元



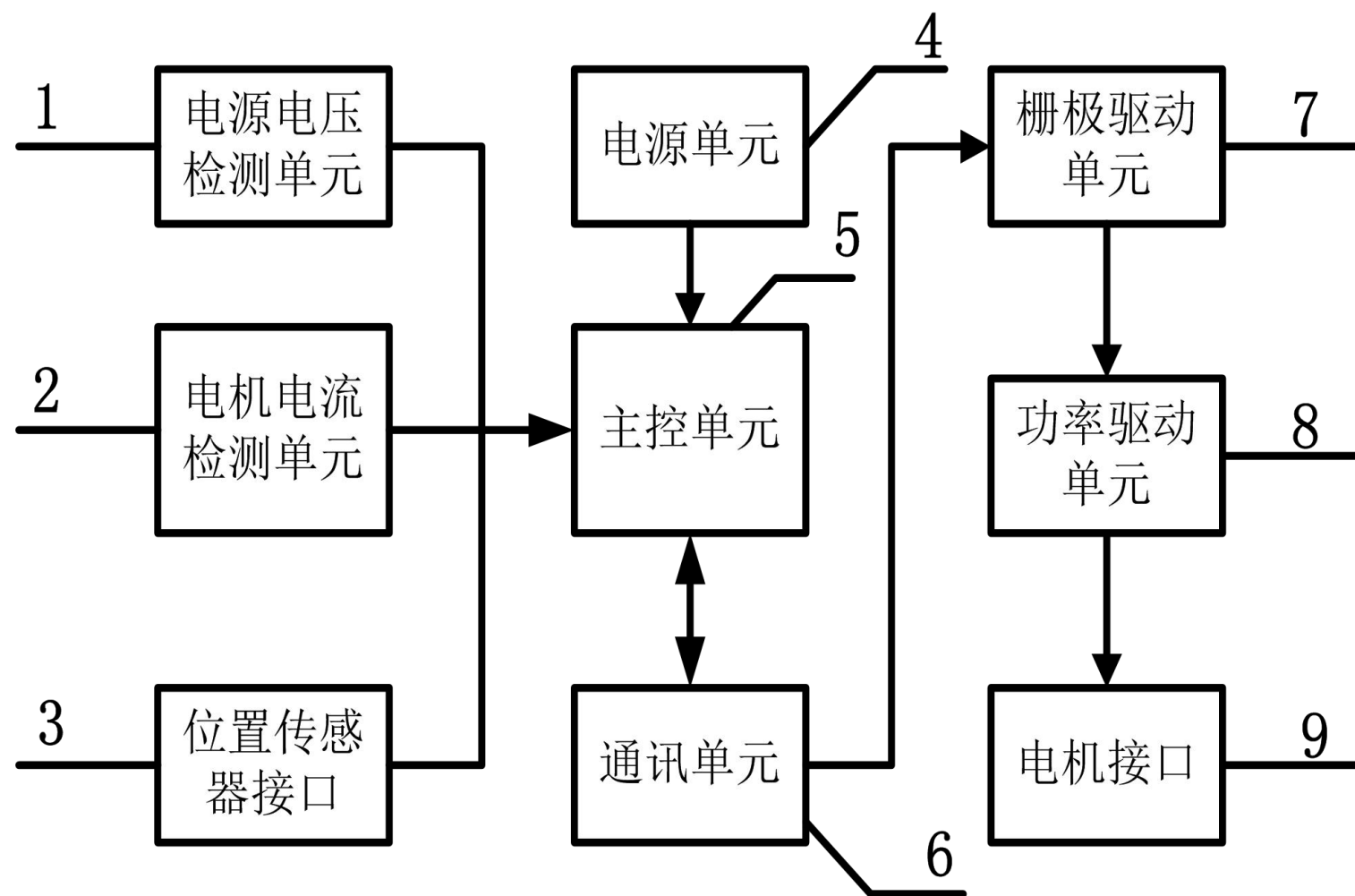


4、直流无刷电机驱动电路介绍(电流采样)

三电阻电流采样单元



4、直流无刷电机驱动电路介绍(框图)



补充：还有温度传感器、电流过流保护等

5、直流无刷电机驱动相关器件原厂

名称	主要原厂
电机驱动专用芯片	TI、ST、英飞凌、东芝、ROHM、德国TMC等
主控芯片MCU	TI、ST、microhcip、瑞萨、国内峰昭等
MOS及IGBT	英飞凌、ST、三菱及国内的华润微、士兰等
半桥驱动芯片	TI、以前的IR等
采样电阻	用合金电阻或康铜丝，国内一些差即可
运放及比较器等	TI、ST、圣邦微、3PEAK等
TVS、保险丝保护等	力特、君耀等
通讯芯片	美信、ADI、TI、microchip等
电解电容、接插件等	国内外原厂都可以
补充说明	主要是算法

6、为什么要做FOC控制

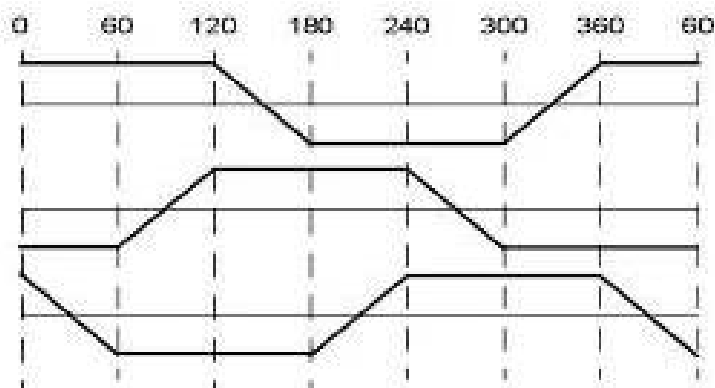
为什么要做FOC控制？

FOC控制技术在工业领域应用的相对成熟，常见到的产品有伺服控制器、矢量变频器等；现在的话电动工具、风机等各行业和三相电机相关的都开始都有FOC进行控制。

主流的无刷直流电机的控制方式有3种：FOC（又称为矢量变频、磁场矢量定向控制）、方波控制（也称为梯形波控制、120°控制、6步换向控制）和正弦波控制。那么这3种控制方式都各有什么优缺点呢？

6、为什么要做FOC控制

方波控制



方波控制使用霍尔传感器或者无感估算算法获得电机转子的位置，然后根据转子的位置在 360° 的电气周期内，进行6次换向（每 60° 换向一次）。每个换向位置电机输出特定方向的力，因此可以说方波控制的位置精度是电气 60° 。由于在这种方式控制下，电机的相电流波形接近方波，所以称为方波控制。

方波控制方式的优点是控制算法简单、硬件成本较低，使用性能普通的控制器便能获得较高的电机转速；缺点是转矩波动大、存在一定的电流噪声、效率达不到最大值。方波控制适用于对电机转动性能要求不高的场合。

无刷电机霍尔传感器六步换相图

	1	6	5	4	3	2
sensor A	H					
	L					
sensor B	H					
	L					
sensor C	H					
	L					
传感器信号	101(5)	001(1)	011(3)	010(2)	110(6)	100(4)
A	+V					
	Float					
	-V					
B	+V					
	Float					
	-V					
C	+V					
	Float					
	-V					
电流方向(正转)	A — B	A — C	B — C	B — A	C — A	C — B

6、为什么要做FOC控制

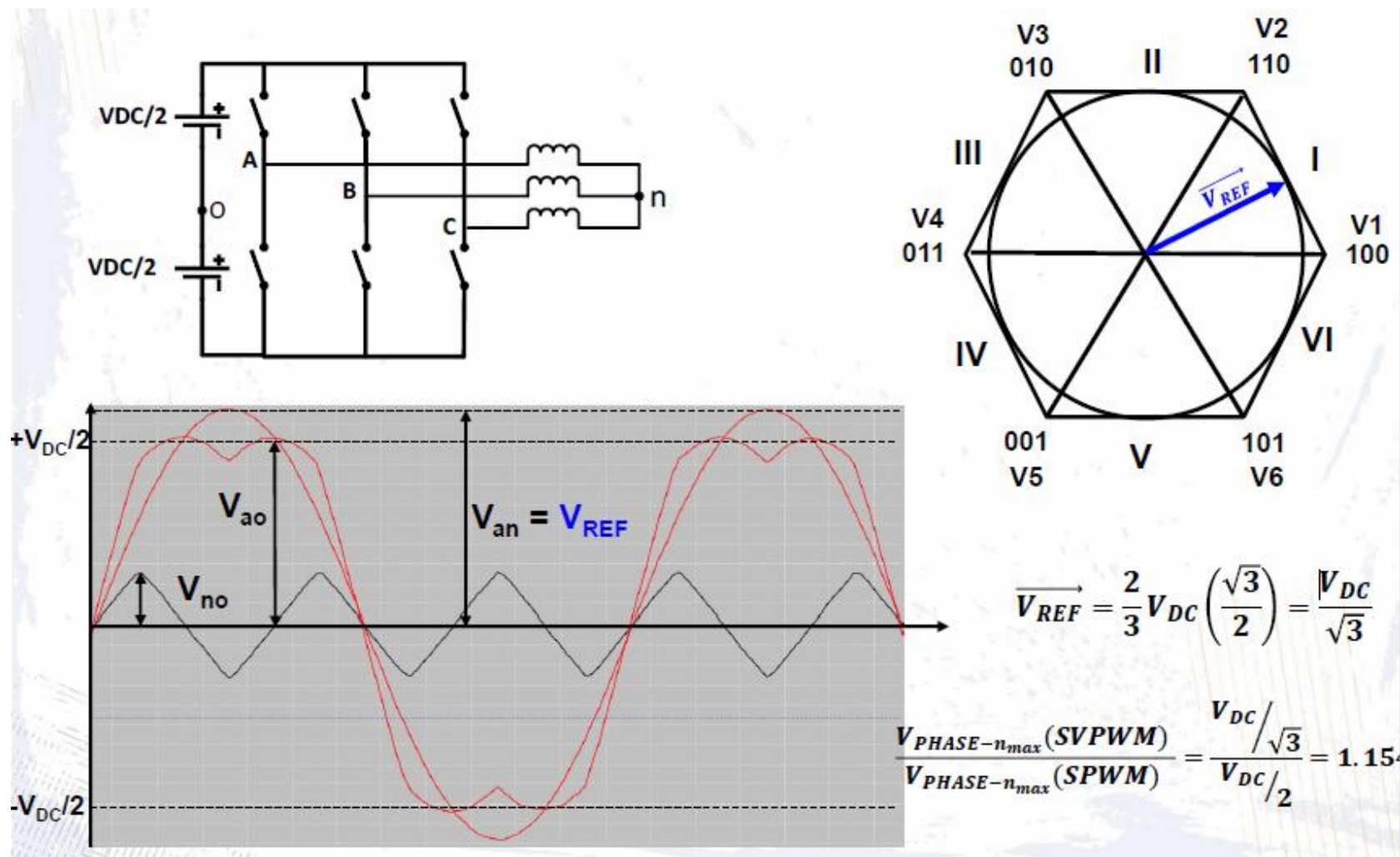
正弦波控制

正弦波控制方式使用的是SVPWM波，输出的是3相正弦波电压，相应的电流也是正弦波电流。这种方式没有方波控制换向的概念，或者认为一个电气周期内进行了无限多次的换向。显然，正弦波控制相比方波控制，其转矩波动较小，电流谐波少，控制起来感觉比较“细腻”，但是对控制器的性能要求稍高于方波控制，而且电机效率不能发挥到最大值。

FOC控制（SPWM）

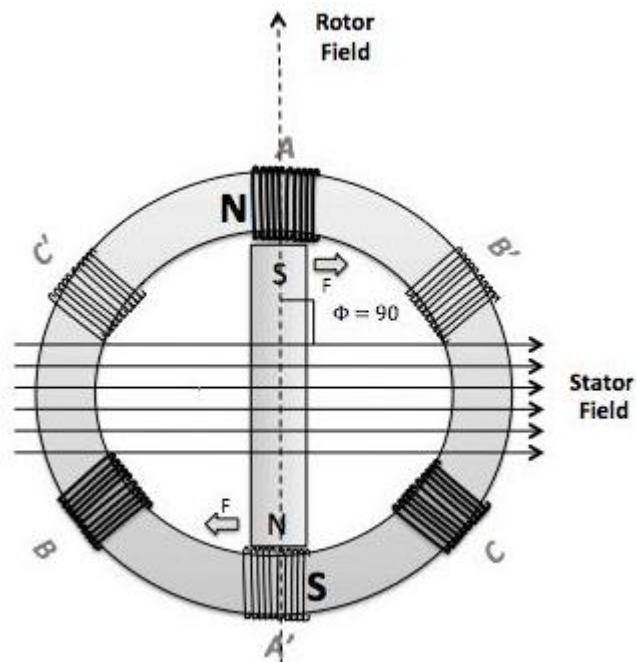
正弦波控制实现了电压矢量的控制，间接实现了电流大小的控制，但是无法控制电流的方向。FOC控制方式可以认为是正弦波控制的升级版本，实现了电流矢量的控制，也即实现了电机定子磁场的矢量控制。

6、为什么要做FOC控制



同样的电机方波控制转速是最高的，如果需要提高转速，FOC（SPWM）控制要做弱磁控制提高转速。

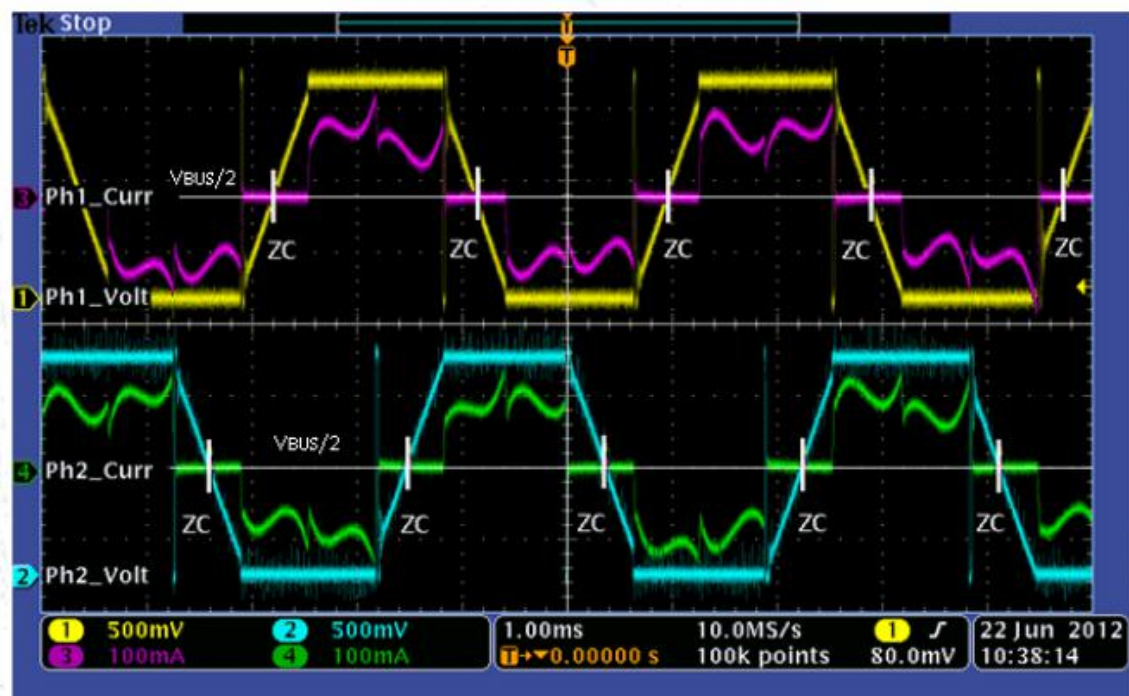
6、为什么要做FOC控制



FOC控制由于控制了电机定子磁场的方向，所以可以使电机定子磁场与转子磁场时刻保持在 90° （定子领先转子 90° ），实现一定电流下的最大转矩输出。FOC控制方式的优点是：转矩波动小、效率高、噪声小、动态响应快；缺点是：硬件成本较高、对控制器性能有较高要求，电机参数需匹配等。

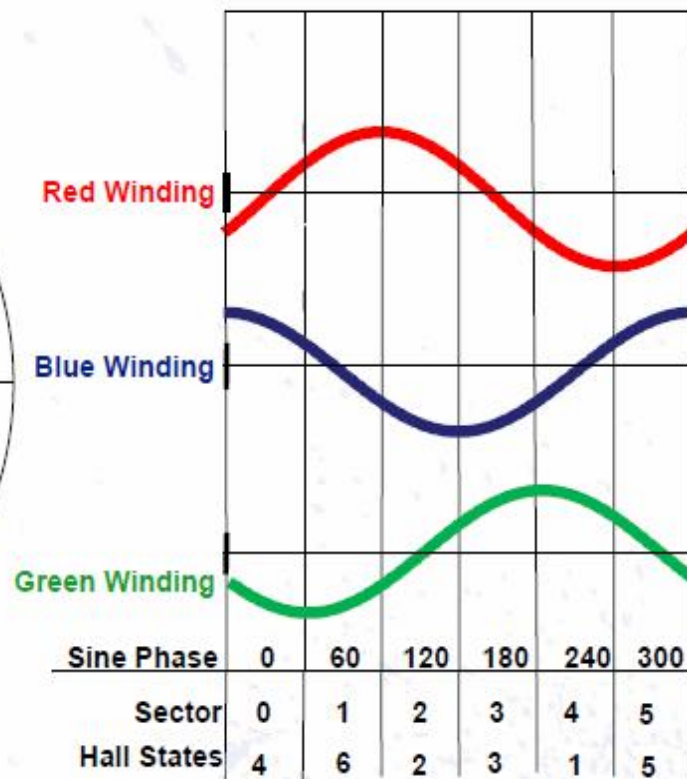
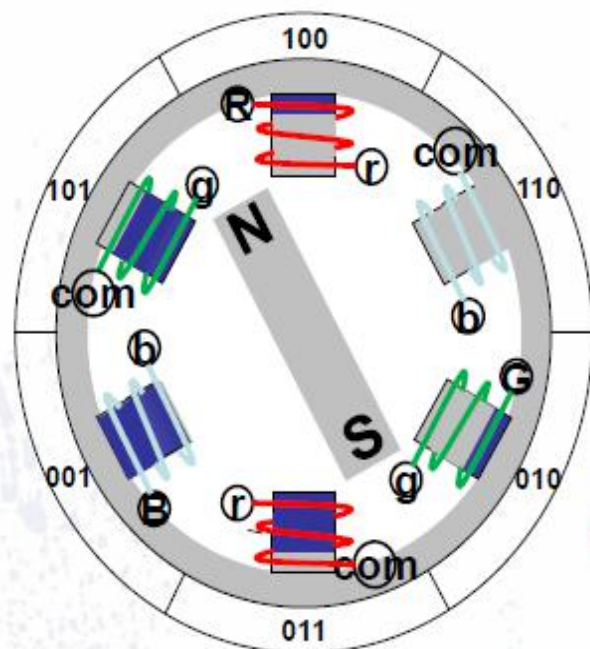
6、为什么要做FOC控制

方波控制



相电压和相电流波形

正弦控制

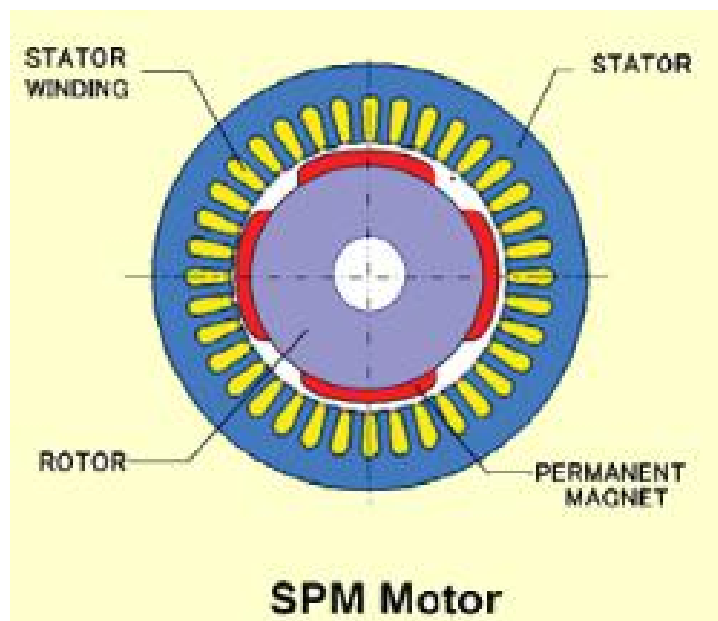


6、为什么要做FOC控制：什么是PMSM？

PMSM——永磁同步电机

转子磁通由永磁体产生——无转子涡流和铜损

转子以同步速度——定子磁通速度旋转

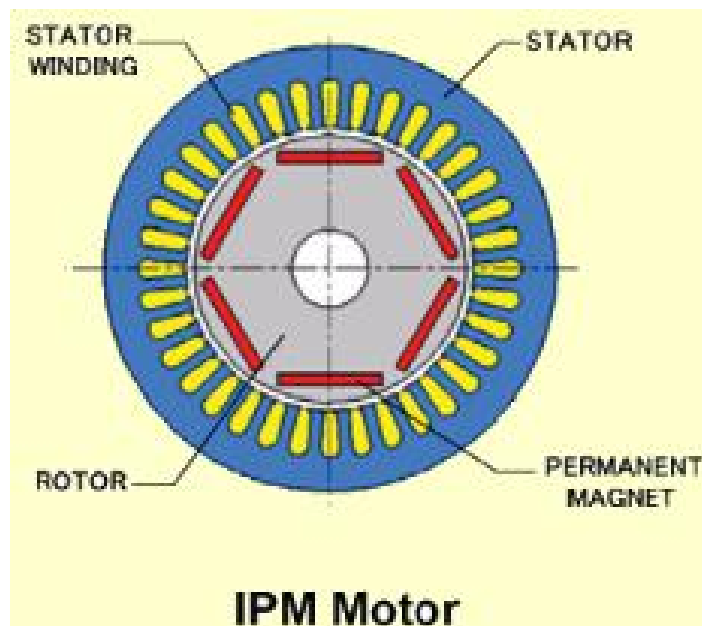


表面PMSM

安装在转子表面的磁体

$L_D \approx L_Q$ 。无凸极性

转子具有同步转矩



内部PMSM

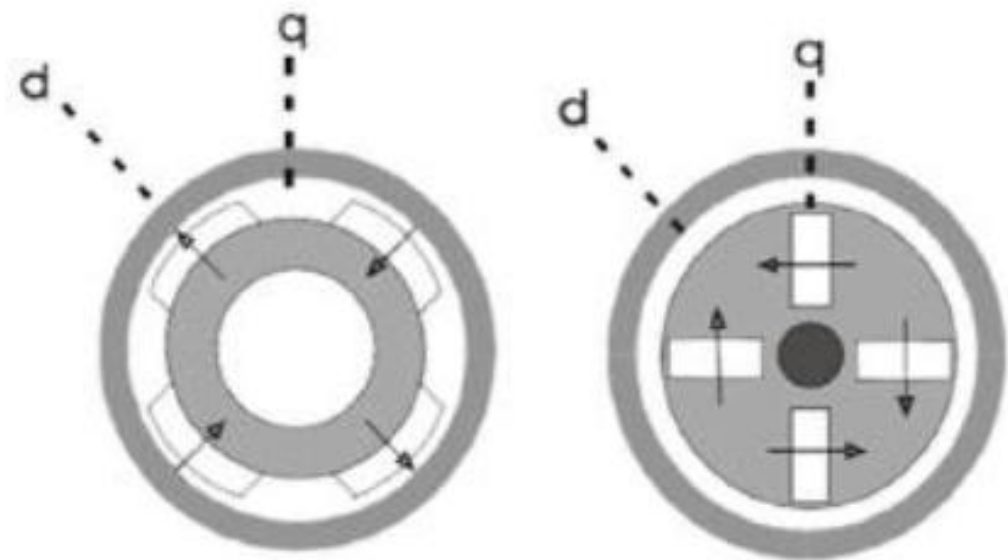
埋入转子的磁体

$L_D < L_Q$ 。展示出凸极性

转子具有同步和磁阻转矩

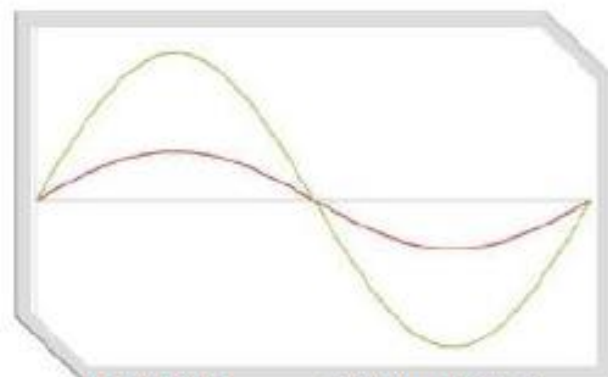
6、为什么要做FOC控制：什么是PMSM？

PMSM 永磁同步电机



SM-PMSM: 表面贴式磁钢 ($L_d=L_q$) .

IPM-SM: 内嵌式磁钢($L_d<L_q$).



T典型的反

最佳的电流波形

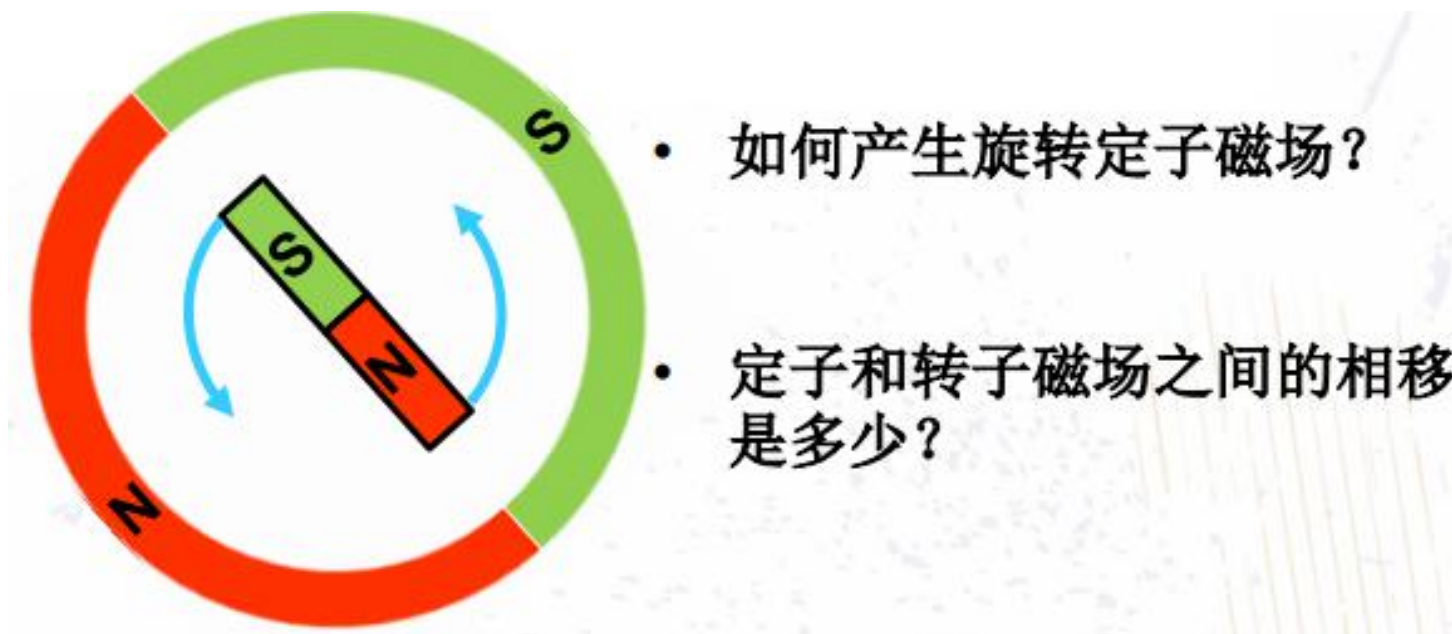
6、为什么要做FOC控制 “PMSM的工作原理



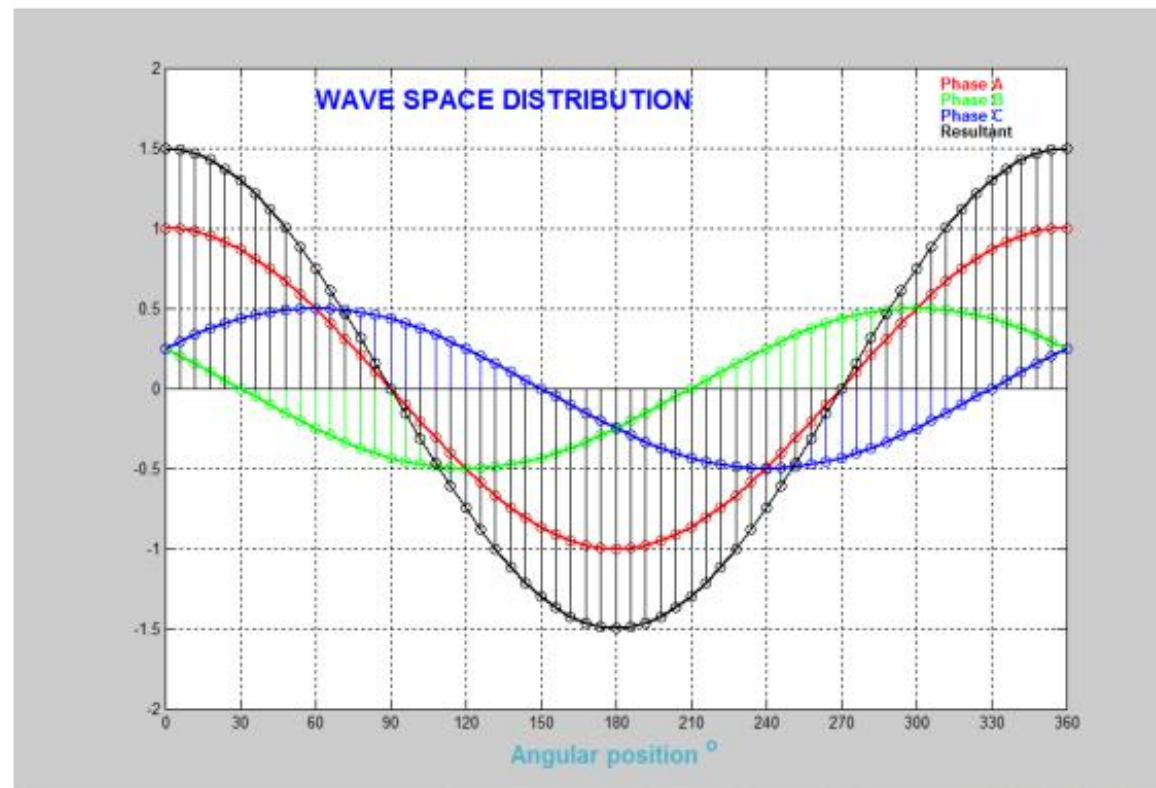
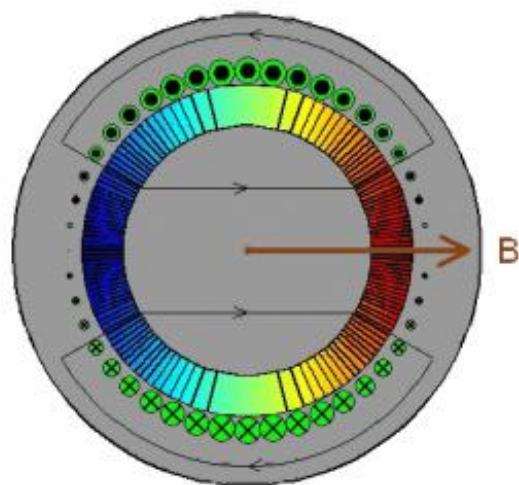
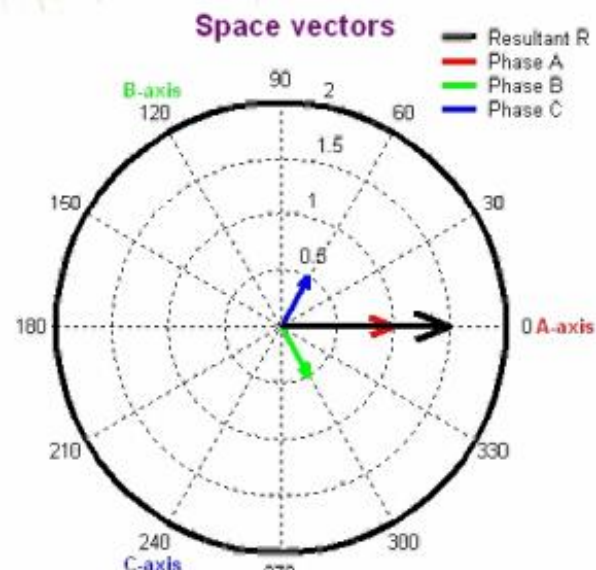
时刻领先转子磁场的旋转的定子磁场
将在定子和转子之间产生“永无止境的追逐”

定子磁场的旋转在转子上产生磁拉力，从而产生转矩
转子试图重新对准定子磁场
定子和转子磁场之间的相移将导致转子旋转

6、为什么要做FOC控制：如何产生旋转磁场



6、为什么要做FOC控制：产生旋转磁场



由平衡正序 三相正弦电流产生的交流电机中磁动势分布的空间矢量表示。每个ABC (R G B) 空间矢量沿其各自的轴脉动。1.5幅度的合成矢量（黑色）以激发频率旋转。



谢谢！