

驱动电机系统结构原理

驱动系统是电动汽车最核心的系统，其主要作用是产生动力并将动力传递到车轮，其基本构造框架如图 1 所示，主要由驱动电机控制器、驱动电机、P 档锁止器、减速器、半轴、车轮等组成。

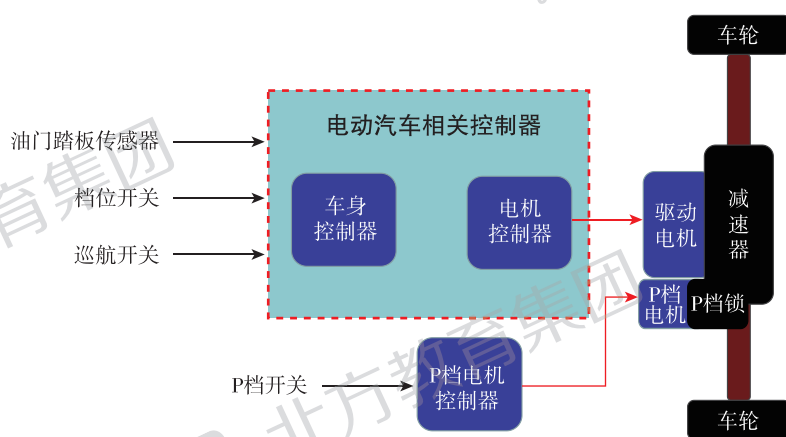


图 1 电动汽车驱动系统

驱动电机是驱动系统核心部件，其作用是将电能转化成动能。驱动电机控制器接受档位、加速踏板、巡航等信息，控制驱动电机的转动方向及扭矩。为保证驱动电机和控制器的正常温度，装有冷却系统，冷却系统中冷却液的循环由电机驱动其余方式与传统汽车相同。

车轮的转动方向由电机的转动方向确定，车轮的转动速度的转变也是由电机来确定，因此，电动汽车上一般没有变速器，电机直接将动力输出给减速器。减速器一般和驱动电机集成在一起，如图 2 所示。减速器结构如图 3 所示，一般由电机输入轴、减速装置和差速器组成，其作用是将驱动电机的动力传递给半轴，在传递过程中，进行将动力进行减速、差速处理。

一些车型上装有驻车装置，驻车装置由 P 档电机驱动，如图 4 所示。当挂挡杆挂入 P 档后，P 档电机驱动 P 档棘爪，将减速器的齿轮锁死，如图 5 所示，此时车轮不能转动。

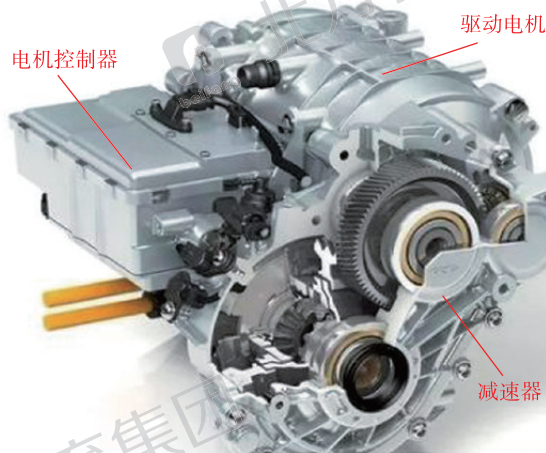


图 2 减速器

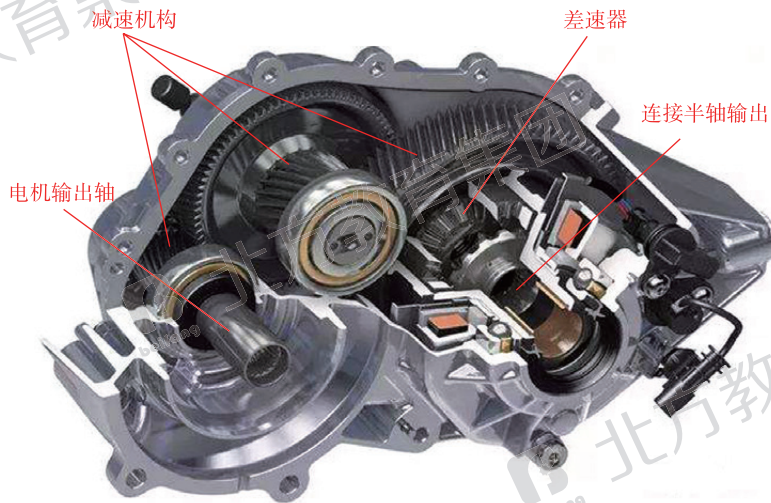


图3 减速器结构

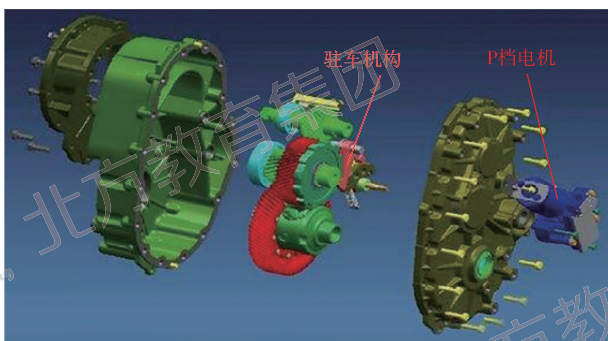


图4 驻车锁止器及P档电机

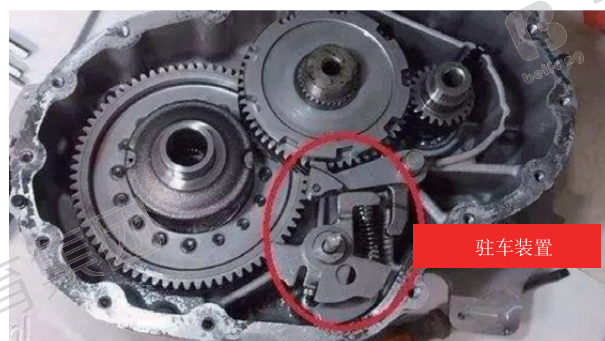


图5 驻车装置

由于驱动方式的不同，前驱汽车和后驱汽车的半轴不同。前驱汽车的半轴需要有等速万向节机构，而后驱车一般不需要，这点和传动汽车相同。

目前，电动汽车上普遍采用的驱动电机为三相异步电机和永磁同步电机，这两种电机的定子结构基本相同，均有三组线圈按照 120° 约数的间隔排列。如图6为典型的定子模型。

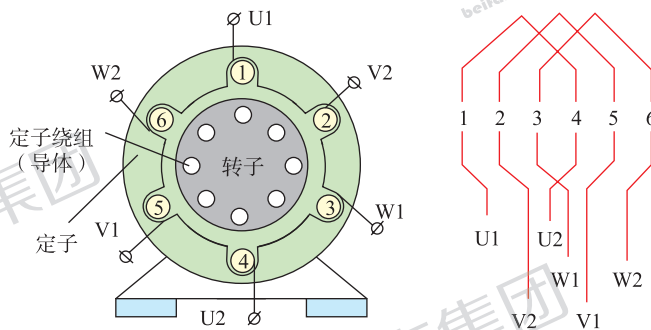


图6 定子结构模型

一、三相交流电和旋转磁场

给以一个线圈通上单相交流电后，这个线圈就会产生磁场，这个磁场的方向和大小会随着时间的变化而变化，如图7所示。

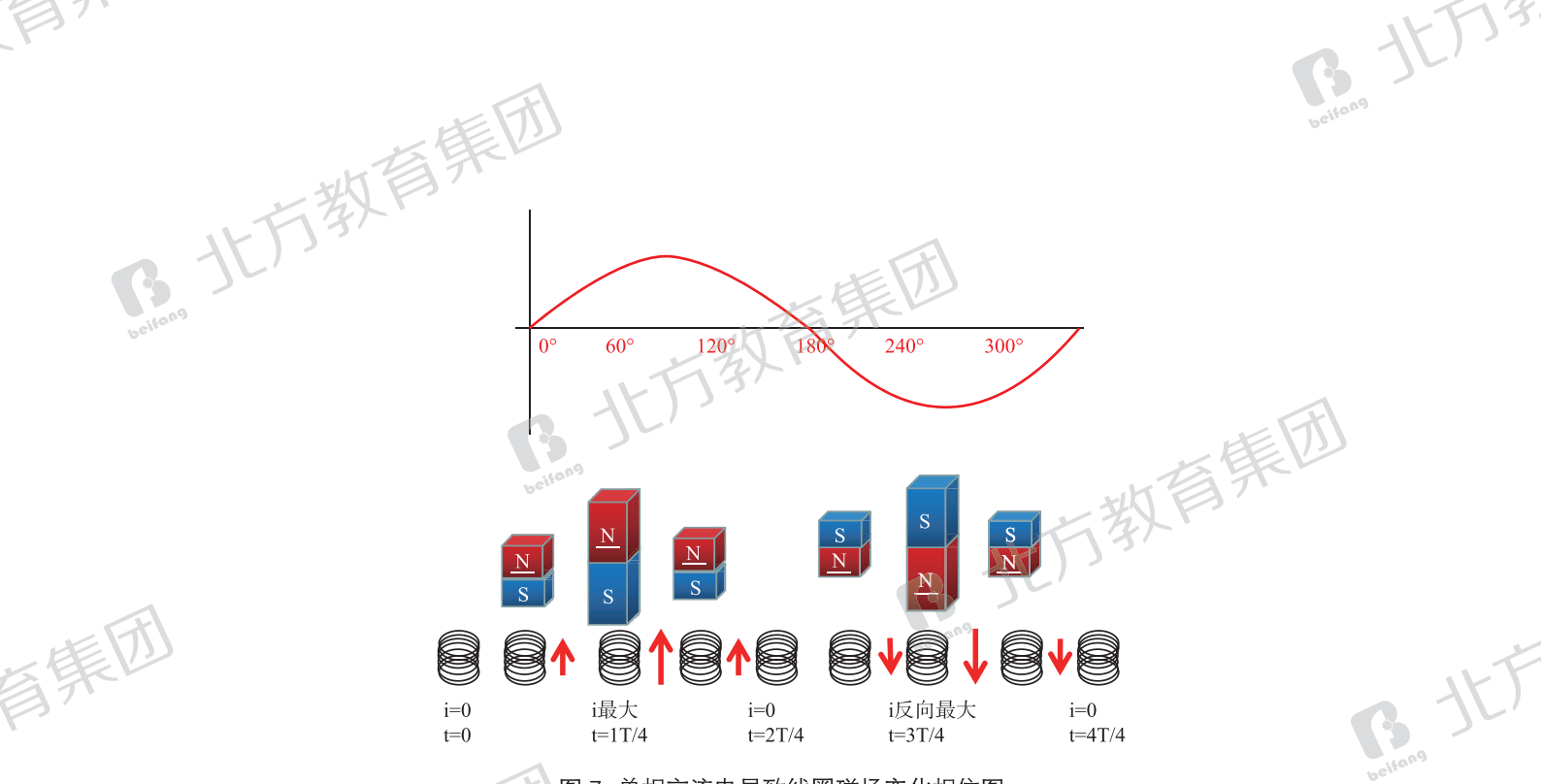


图 7 单相交流电导致线圈磁场变化相位图

当给定子的三组线圈提供三相交流电后，三组线圈各自按照一定的规律产生磁场，这三个线圈的磁场就会合成一个磁场，这个合成磁场的变化规律如图 8 所示。

从图中可以看出，这个合成的磁场是随着时间的变化在定子的空间内转动的，如果三相交流电一直接通，这个合成的磁场就会一直像图 9 所示转动下去，这个磁场就称为旋转磁场。

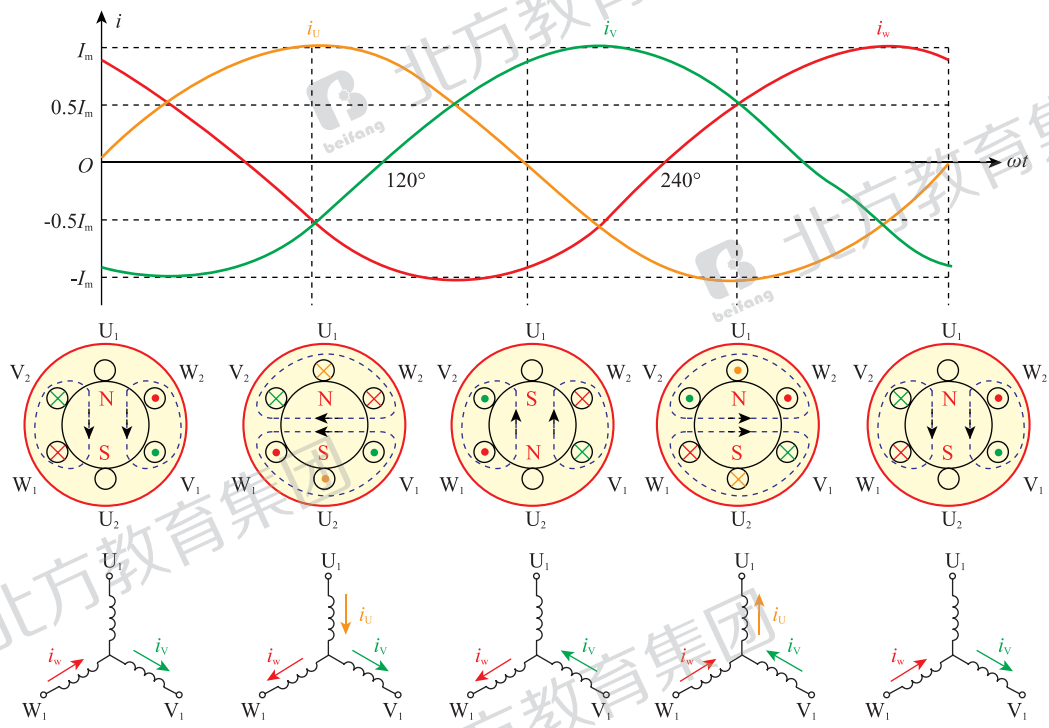


图 8 定子线圈合成磁场变化图解

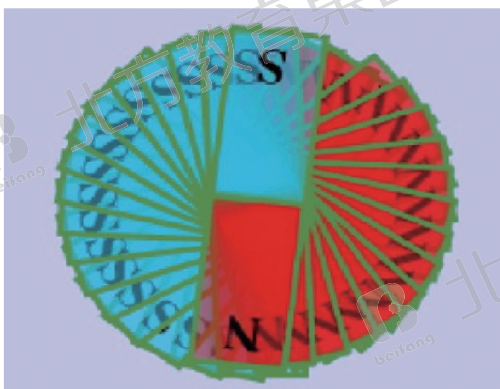
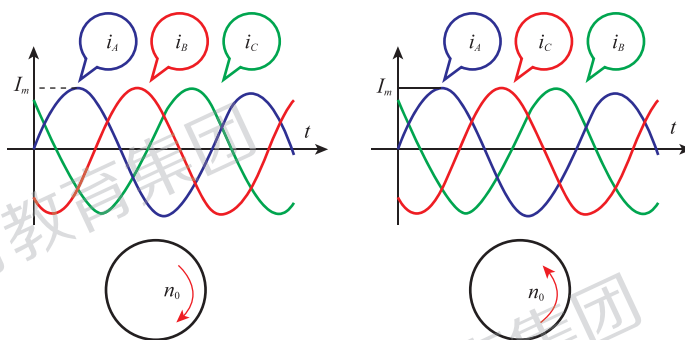


图9 合成磁场的旋转示意图



取决于三相电流的相序（交换任意两项）

图10 合成磁场的旋转方向的改变

合成磁场旋转的方向取决于三相交流电的时序，如果改变了三相交流电的时序，也就改变了旋转磁场的转动方向，如图10所示。

二、变频器的基本原理

1. 变频器的作用

由旋转磁场产生的原理可以看出，旋转磁场变化的速度与三相交流电的频率与定子绕组的极对数（所谓极对数简单来说就是定子绕组中一组线圈中所包括的线圈数量）有关。对于固定的定子绕组具有固定的极对数。则影响旋转磁场转速的只有三相交流电的频率。而日常用电中，交流电的频率是固定的，这就导致了电机旋转磁场的转速是一定的。

若要改变固定电机旋转磁场的转速，要做的只能是改变三相交流电的频率，因此我们就需要把常用的固定频率的三相交流电变成频率可调的三相交流电，能完成这项工作的设备成为变频器。

变频器的基本原理是将三相交流电整流成直流电，再将直流电变成三相交流电，三相交流电整流成直流电的原理这里不再阐述，这里只阐述直流电变成交流电的原理。

2. IGBT

IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor），绝缘栅双极型晶体管，如图11所示，是由BJT（双极型三极管）和MOS（绝缘栅型场效应管）组成的复合全控型电压驱动式功率半导体器件，兼有MOSFET的高输入阻抗和GTR的低导通压降两方面的优点。GTR饱和压降低，载流密度大，但驱动电流较大；MOSFET驱动功率很小，开关速度快，但导通压降大，载流密度小。IGBT综合了以上两种器件的优点，驱动功率小而饱和压降低。非常适合应用于直流电压为600V及以上的变流系统如交流电机、变频器、开关电源、照明电路、牵引传动等领域。

从功能上来说，IGBT就是一个电路开关，优点就是用电压控制，饱和压降小，耐压高。用在电压几十到几百伏量级、电流几十到几百安量级的强电上的。而且IGBT不用机械按钮，它是由计算机控制的。

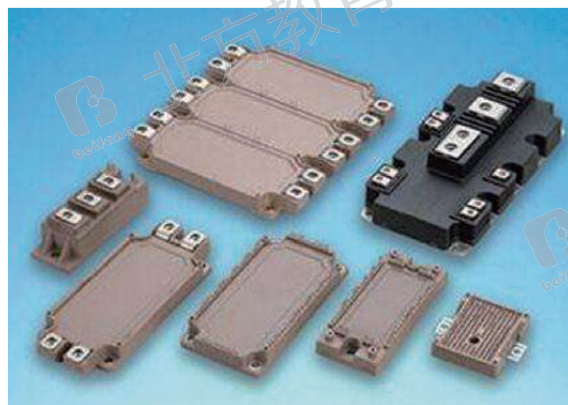


图11 IGBT

3. 变频器原理

变频器原理如图12所示。微机通过控制不同IGBT的导通的占空比从而控制三相定子线圈的电流走向及电流的强弱，使三个线圈电流方向和大小的改变符合三相交流电的规律，从而在三相定子线圈的空间内形成旋转磁场。

由于IGBT的导通受电脑的控制，因此旋转磁场频率可以按需求调节。

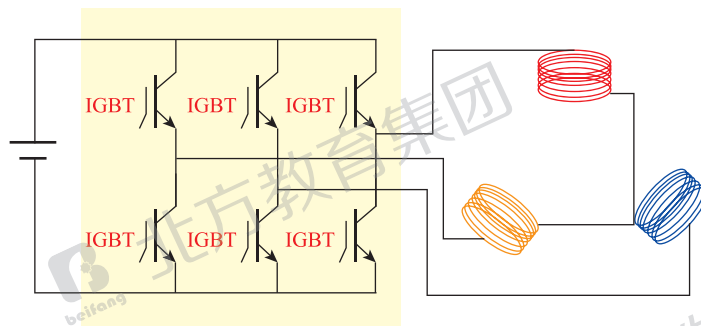


图 12 变频器原理图

另外，还可以通过对不同 IGBT 的控制实现定子合成磁场的方向及强度。

三、永磁同步电机基本原理

永磁同步电机原理如图 13 所示。其控制电路由控制开关、逆变器、定子线圈、永磁转子、电流传感器、转子位置传感器等组成。其转子为永久磁铁。永磁同步电机的效率可达 90% 以上。

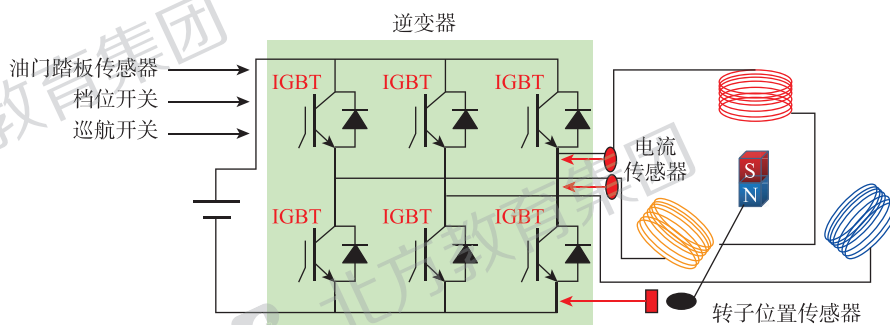


图 13 永磁同步电机原理图

1. 电机转动原理

逆变器收到油门踏板传感器信号和档位信号后，首先通过转子位置传感器检测转子所处位置（即转子磁场位置），再根据档位信（前进挡或倒退挡）号确定转子的转动方向，以此即可确定定子所要产生的合成磁场位置。逆变器电脑控制不同 IGBT 导通的占空比使定子定子三组线圈产生的合成磁场符合计算的位置，根据同极相斥异极相吸的原理，驱动转子转动。当转子位置传感器检测到转子转动的新位置后，再将位置信息传递给逆变器，逆变器再计算合成磁场应该出现的位置，据此调整不同 IGBT 导通的占空比，以此循环。

在电机运转过程中，电流传感器检测逆变器输送给电机的电流强度，逆变器以此判定电机的扭矩。

2. 能量回收原理

在车辆减速或制动时，IGBT 停止工作。此时，定子线圈感应转子磁场变化而产生三相交流电，三相交流电经过由二极管组成的整流器整流成直流电向电池充电。

四、永磁电机

1. 永磁电机结构

永磁电机一般有永磁转子（如图 14）、定子、电机温度传感器（如图 15）、旋变传感器（如图 16）组成。



图 14 永磁转子

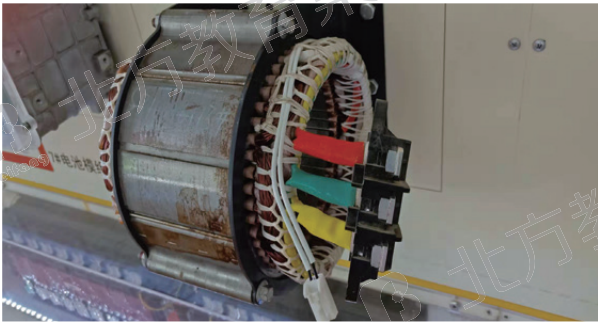


图 15 定子、电机温度传感器

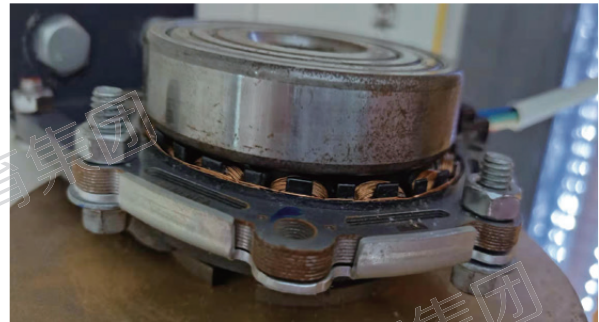


图 16 旋变传感器

2. 旋变传感器

旋转变压器又称为解析器，用于检测转子磁极的位置，逆变器只有得到转子磁极的位置才能控制定子线圈的电流，控制转子的转动方向。

(1) 旋转变压器的结构旋转变压器是可靠性极高且结构紧凑的传感器，可精确检测磁极位置。旋转变压器的定子包括三种绕组：励磁绕组 A、检测绕组 S 和检测绕组 C，其结构如图 17 所示。

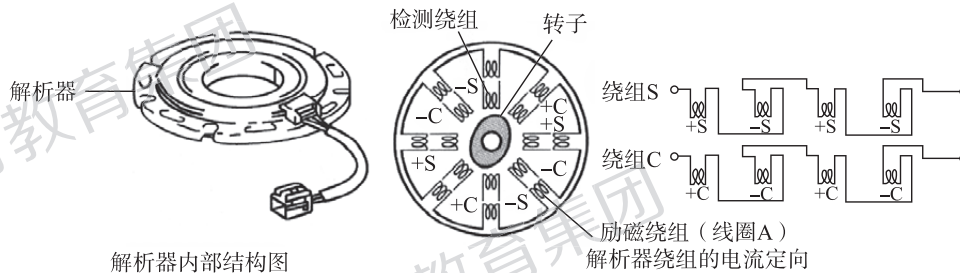


图 17 旋转变压器的结构与工作原理

旋转变压器的转子为椭圆形，定子与转子间的距离随转子的旋转而变化。交流电流入励磁绕组 A，产生频率恒定的磁场。使用该频率恒定的磁场，绕组 S 和绕组 C 将输出与转子位置对应的值。因此，电机控制器根据绕组 S 和绕组 C 输出值之间的差异检测出绝对位置。此外，电机控制器根据规定时间内位置的变化量计算转速。

(2) 旋转变压器的工作原理检测绕组 S 的 + S 和 -S 错开 90° ，+ C 和 -C 也以同样的方式错开，绕组 C 和 S 之间相距 45° 检测绕组的电流定向，如图 17 所示。

由于旋转变压器的励磁绕组中为频率恒定的交流电，因此无论转子转速如何，频率恒定的磁场均会输出至绕组 S 和绕组 C。励磁绕组的磁场由转子送至绕组 S 和绕组 C。转子为椭圆形，旋转变压器的定子与其转子之间的间隙随转子的旋转而变化。由于间隙的变化，绕组 S 和绕组 C 输出波形的峰值随转子位置的变化而变化。电机控制器持续监视这些峰值，并将其连接形成虚拟波形。电机控制器根据绕组 S 和绕组 C 值之间的差异计算转子的绝对位置。其根据绕组 S 的虚拟波形和绕组 C 的虚拟波形的相位差判定转子的方向。此外，电机控制器根据规定时间内转子位置的变化量计算转速。转子旋转 180° 时绕组 A、绕组 S 和绕组 C 的输出波形如图 18 所示。

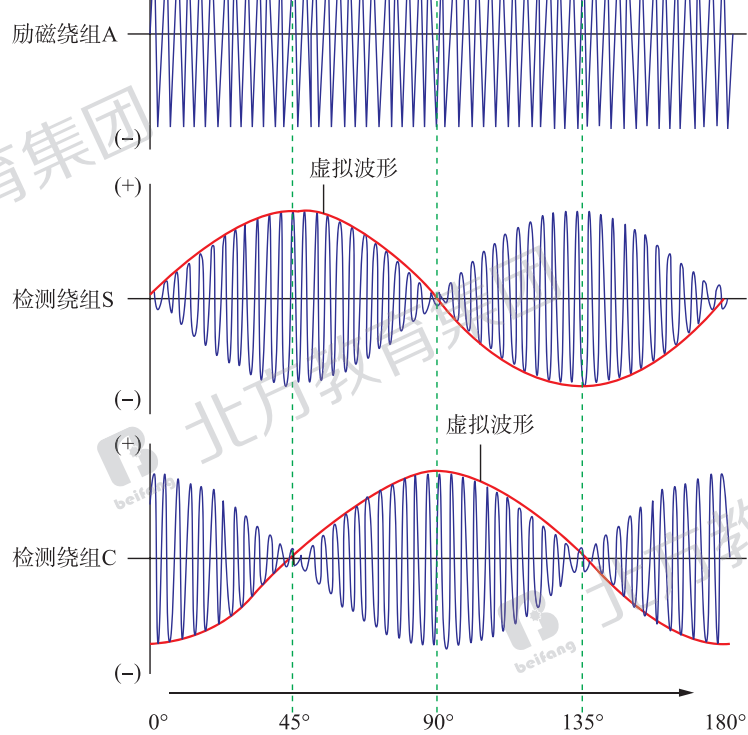


图 18 绕组 A、绕组 S、绕组 C 的输出波形

3. 温度传感器

温度传感器安装在定子内部，用于定子的温度，电机控制器根据各温度传感器的信号对电机进行优化控制。冷却系统据此信息进行控制。

五、结构形式

轮毂电机驱动系统根据电机的转子型式主要分成两种结构型式：和内转子式外转子式。

1. 外转子式

外转子式结构如图 19 所示。

其中外转子式采用低速外转子电机，外转子电机原理如图 20 所示。电机的最高转速在 1000-1500r/min，无减速装置，车轮的转速与电机相同。

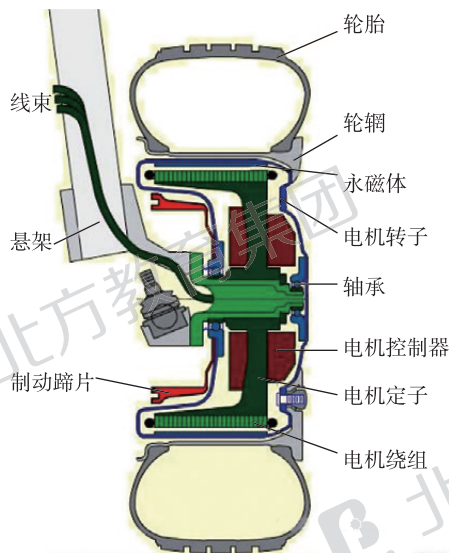


图 19 外转子式轮毂电机结构

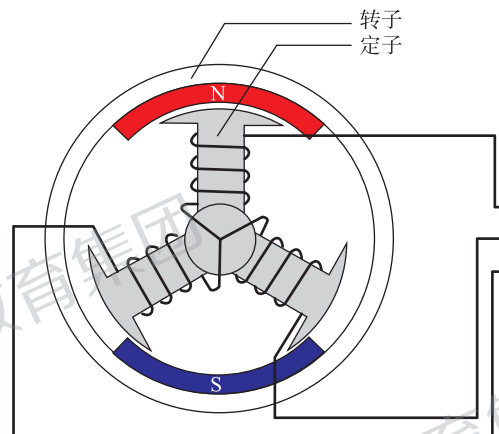


图 20 外转子电机原理图

2. 内转子式

内转子式则采用高速内转子电机，如图 21 所示。配备固定传动比的减速器，为获得较高的功率密度，电机的转速可高达 10000r/min。随着更为紧凑的行星齿轮减速器（如图 22）的出现，内转子式轮毂电机在功率密度方面比低速外转子式更具竞争力。



图 21 内转子式轮毂电机结构

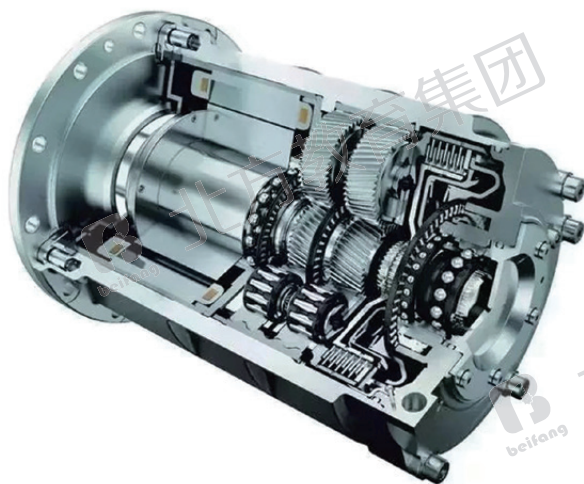


图 22 行星齿轮减速器

六、轮毂电机的控制

以下以双轮驱动型轮毂电机控制为例说明轮毂电机的控制原理。

双轮驱动型轮毂电机控制系统如图 23 所示，主要由电机控制、再生制动控制、高压电池管理、双轮驱动控制、人机交互等组成。

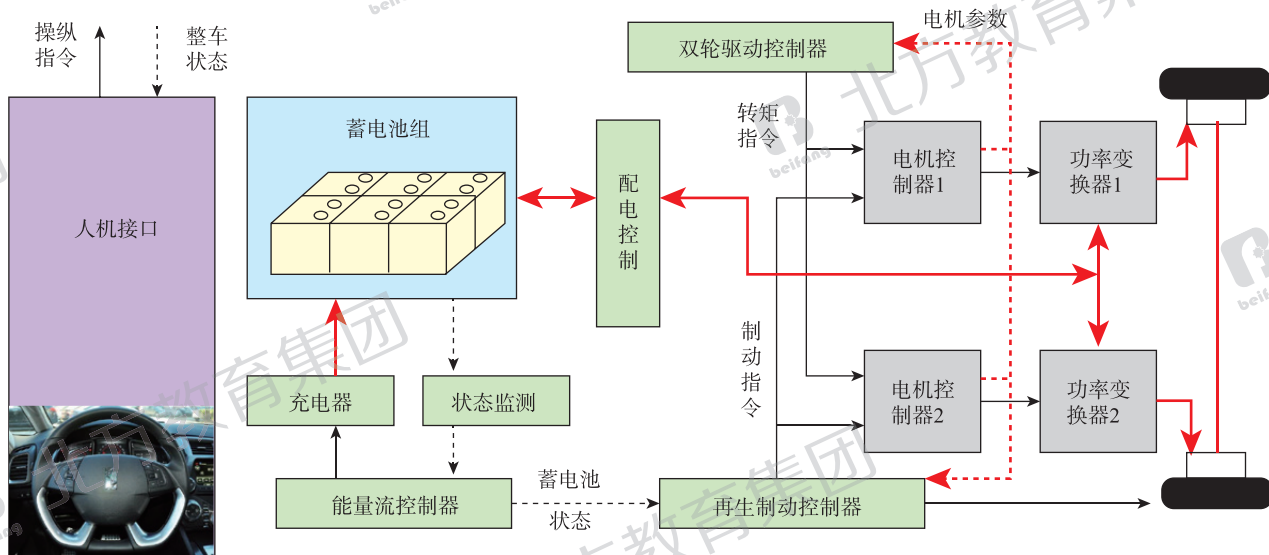


图 23 双轮驱动型轮毂电机控制系统图

相对差速器电动汽车而言，双轮驱动型轮毂电机增加了双轮驱动控制。双轮驱动控制框架如图 24 所示，其原理左右轮转速估算出其加速度、再根据行车速度进行车轮路面接触情况判别，然后根据转向轮方向角、电机当前状态等信号对驱动轮电机的输出转矩实时调节，以达到改善整车动力学性能和节约

能源的双重目的。

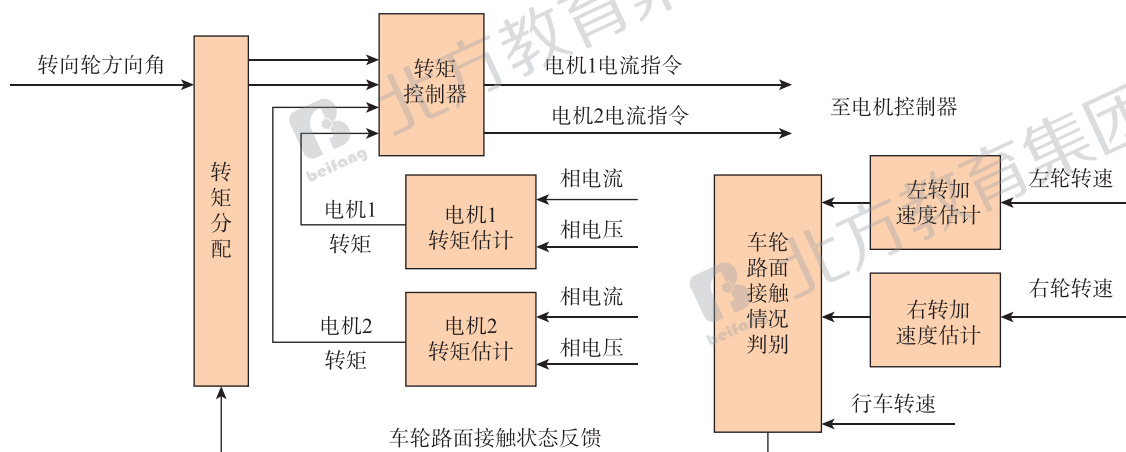


图 24 双轮驱动控制框架

七、轮毂电机的缺点

由于将精密的电机放到轮毂上，因此，电机要经受长期剧烈上下振动及恶劣的工作环境（水、尘等）。由于轮毂部分是交通事故中很容易受损的部位，因此维修成本偏高。另外由于电机和制动都会产生热量，因此存在散热问题。