

BLDC电机控制

梯形反电动势BLDC电机控制技术

三相BLDC电机

无刷直流(BLDC)电机也被称作电子换相电机。在转子上没有电刷，换相在特定转子位置上以电子的方式执行。定子磁路通常是由磁性钢片制成。通过设定永久磁铁的磁化方式和在转子上的分布使得定子上的反电动势为梯形波(因转子运动而在定子绕组上产生的感应电压)。这允许使用矩形的三相电压系统(参见图1)，以便创建一个具有低扭矩波动的旋转磁场。

六步BLDC电机换相

施加的电压呈矩形可确保控制和驱动的简便性。BLDC电机旋转由一个六步换相技术控制(有时称为60、120度控制)。六步技术创建了一个如图1所示的电子旋转。施加的电压需要具有与反电动势一致的幅值和相位。因此，BLDC电机控制器必须：

- 控制施加的幅值
- 根据转子位置进行六步换相

必须知道转子的某些特定位置，以便施加与反电动势(因永磁体相对绕组运动在定子上感应的电压)相位一致的电压。在该条件下，BLDC电机可实现最少的扭矩纹波和最大的功效控制。

图1：六步换相

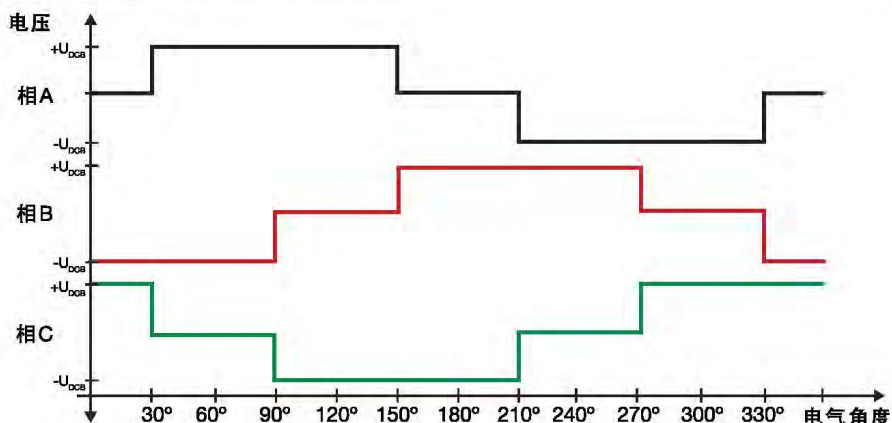
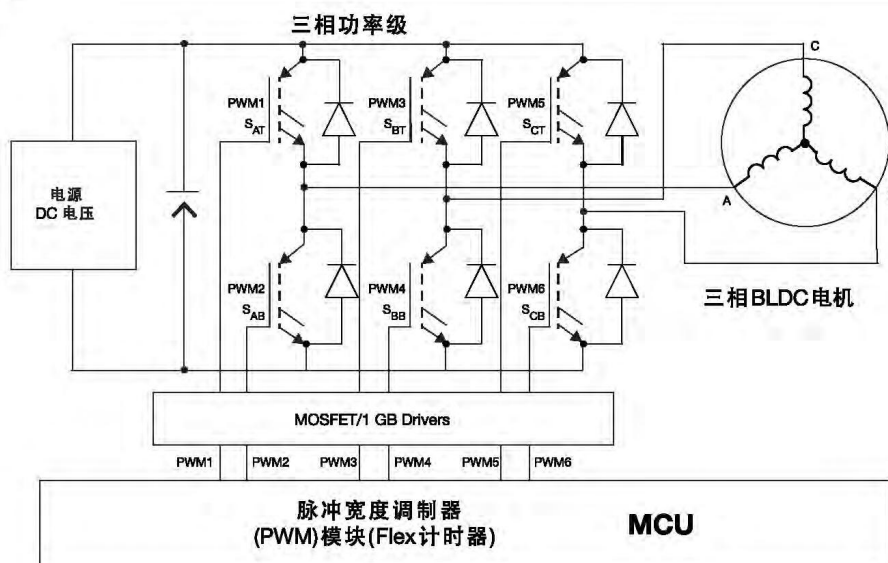


图2：功率级拓扑



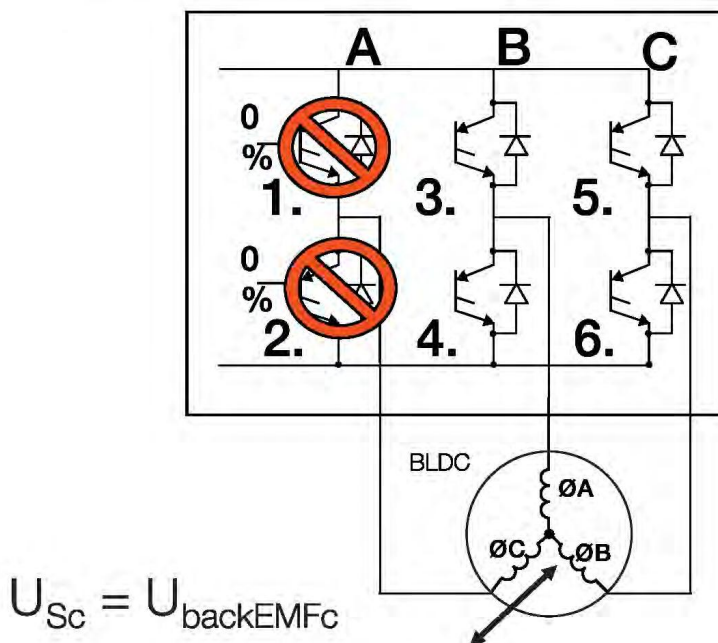
三相功率模块

三相六步电压系统由一个由MCU片上PWM模块控制的6个IGBT (MOSFET)功率模块创建。

由PWM控制的电压幅值

控制三相六步电压幅值的一种可能性是具有可变直流电压电源。该解决方案需要采用非常复杂的拓扑控制直流母线

图3：六步换相详解图



此类解决方案的优点是在BLDC电机绕组中没有高频电流纹波，这样损耗更低(尤其是电动机磁路损耗)。

对于大多数的电机和应用，这不是至关重要的，可以使用一个恒定电压的直流电源。然后，三相平均电压幅值由电机导通两相桥臂晶体管(第三相不导通)上的PWM技术控制。六步控制器使用下面两种PWM技术：

- 双极性PWM开关
- 单极性PWM开关

这两种PWM开关技术有一些衍生技术。根据功率模块中电压和电流的运行象限：

- 适用于电动和发电模式的四象限控制
- 只适用于电动模式的两象限控制

单极性/双极性开关和运行象限控制由所有六个晶体管开关决定(Sat-Scb)，如图2所示。

四象限控制需要互补的PWM。互补PWM表示底部开关(晶体管)和顶部开关晶体管的控制信号相反。两象限控制无需逆变器开关的互补控制。因为更低的损耗，单极性PWM互补开关应用更普遍。在一个PWM周期中施加的电压矢量具有相同的极性。矢量幅值从DC母线电压变为零。当采用双极性PWM开关时，施加的电压矢量极性在PWM周期中发生改变，因此施加的电压矢量幅值从正DC母线电压变为负DC母线电压。

PWM频率通常恒定在>10 kHz。但是，PWM开关技术的一种衍生技术可以用于非常高的电机速度范围。在这种情况下，一个换向期间只有一个PWM脉冲。这也表示PWM频率会根据电机速度发生改变。

位置反馈

要驱动BLDC电机必须知道转子位置。这个信息通过以下方式提供：

- 位置传感器或
- 无传感器

具有位置传感器的解决方案通常利用霍尔传感器。主要缺陷是：

- 在位置传感器和控制单元之间需要额外的连接
- 传感器和布线成本

因此，无传感器技术目前更加普及。有两种主要的无传感器技术类别：

- 基于反电动势检测
- 低速技术

基于反电动势检测的无传感器技术专门面向中速(>5%的额定转速)和高速范围，因为这种技术需要较大的反电动势值。该电压与转子速度成正比。

低速技术主要基于电机电感会随转子位置的变化而改变，因此这不需要反电动势，并且可以在低速或零速控制范围内使用。其中一些技术需要复杂的硬件，这会提高系统成本。在高速时，反电动势比电感的变化量更明显，因此大多数控制器将低速控制技术与基于反电动势的技术结合使用。或者，它们仅使用反电动势技术。



基于反电动势过零的无传感器技术

转子位置估计是基于因转子磁通(永久磁铁)的旋转而在定子相绕组中产生的反电动势电压。这个反电动势电压的相位反应了转子与定子之间的相对位置。

六步换相的特点是每次换向时三相中的一相都是不导通的。

经过换相瞬间之后(非导通相的电流在换相瞬间由续流二极管流走)，x相的电流为：

$$IS_x = 0, \text{ 因此 } US_x = BEMFC$$

可以测量该相的反电动势过零点。

反电动势过零检测可以使用控制器内部的ADC或比较器。

速度控制器

电机转速通常使用发送到速度调节器的转子位置反馈信息来控制。速度调节器控制三相PWM(施加的电压幅值)。

具有PLL换向的BLDC电机控制

与标准DC电机相比，BLDC电机控制的一个优点是可以通过六步换相频率精确地确定速度。这允许进行非常精确的速度控制。精确的BLDC电机速度控制的一个优点是换相期是恒定的，并且六步幅度反馈是基于估计的反电动势过零点与所需要的反电动势过零点之间的相差。



飞思卡尔支持工具

BLDC通常需要具有PWM、ADC和PDB的MCU或DSC器件，以及支持BLDC电机控制的其他模块。飞思卡尔电机控制器件支持BLDC电机控制。

如需了解用于BLDC电机控制设备的参考设计、应用笔记和软件解决方案的信息，请参见

freescale.com/motorcontrol。