



SVPWM 调制原理

SVPWM 的基本思想:是根据在对三相定子对称电动机输入三相对称正弦电压时的理想磁链圆为基准,三相逆变器采用不同开关的模式使得得到实际磁链矢量跟踪基准磁链圆。在此过程中,适当切换逆变器的开关模式,形成 PWM 波。采用空间电压矢量算法的逆变器输出线电压幅值最大可达到,比常规 SPWM 提高了约 15.47%。SVPWM 有多种调制方式,选取适当的调制方式可以减少逆变器功率器件开关次数,降低功率器件的开关损耗,提高控制性能。随着交流变频调速技术的不断发展,SVPWM 将因谐波电流成分含量少、正弦波形好、脉动转矩小而逐渐取代 SPWM 模式。

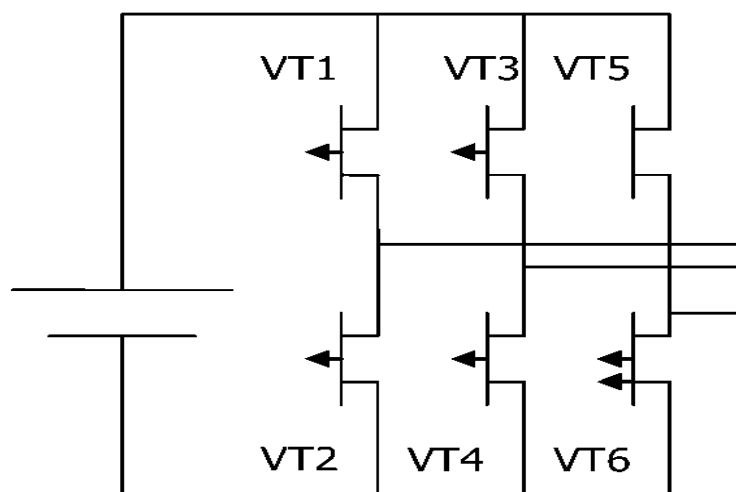
常见的脉宽调制原理有:电压空间矢量脉宽调制技术(SVPWM)、电流跟踪型 PWM 控制和经典的正弦脉宽调制(SPWM)。经典的 SPWM 控制目的是使电流不会因为电路参数和电流的改变而变化,并且逆变器的输出结果接近于正弦形状。但实际的逆变器电压为脉冲电压,电流不仅连续性很差且带有很多谐波。

SVPWM 调制原理产生的 PWM 波更具高效性,电磁转矩脉动降低,而且很易于实现数字化,是现代伺服系统调制技术。当永磁同步电机正常工作时,定子磁链矢量幅值恒定,并且以恒定的角速度旋转,形成空间磁链圆。

通过逆变器开关开闭的不同的组合模式产生逼近基准磁通圆的



实际磁通，实现更好的控制效果。逆变器的内部开关（MOSFET）结构图。



图中 VT1, VT1, VT2, VT3, VT4, VT5 和 VT6 是六个大功率晶体管，选用的是场效应晶体管（MOSFET）。

六路 PWM 信号的输出控制着相应开关的状态，通过控制这些开关的状态可以使直流母线电压转化成交流电压给电机。并且逆变器的上下桥臂开关的通断状态是相反的，并且转换之间带有一定的延时，避免同时出现二者均导通而短路烧坏器件。

设 a、b、c 的值分别对应于三组桥臂中上桥臂的开关工作状态。以 a=0 表示关断，a=1 表示闭合来表示第一组。

因此，上桥臂三个功率开关状态共有八种组合。八种开关状态组合如下所示：V(000)，V(001)，V(010)，V(011)，V(100)，V(101)，V(110)，V(111)。

这八种状态的组合得到八个基本矢量，其中两个的矢量和为零。



线电压的输出和相电压的输出可以用开关的输出状态来表示,如式所示:

$$\begin{bmatrix} U_A \\ U_B \\ U_C \end{bmatrix} = \frac{1}{3} U_{dc} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$$

式中 U_{dc} 为输入的直流母线电压的值。

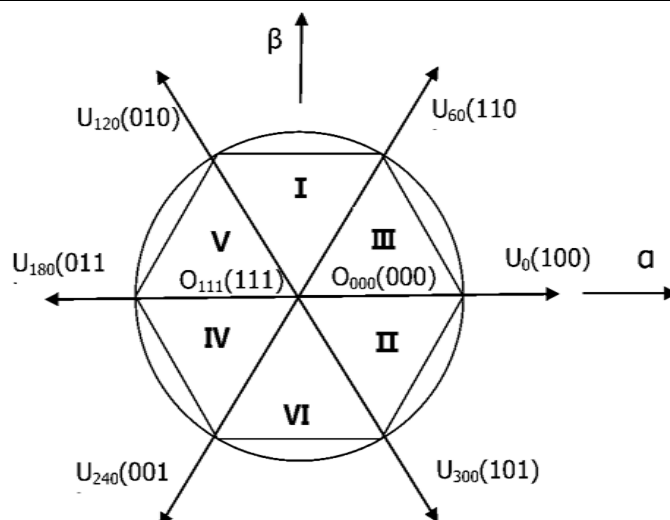
同时,输出的电压矢量在 $\alpha\beta$ 坐标系下可以用电压分量 U_α 、 U_β 表示,如式所示:

$$\begin{bmatrix} U_{AB} \\ U_{BC} \\ U_{CA} \end{bmatrix} = U_{dc} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$$

可以得出 U_α 、 U_β 和各相电压之间的数学关系如式:

$$\begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_A \\ U_B \\ U_C \end{bmatrix}$$

三组开关的状态把平面分成六个扇区,基本空间矢量开关变量(a, b, c)的对应关系如图所示:



SVPWM的目标是把一个给定的定子参考电压矢量 U_{out} 用六组基本空间矢量中的两个进行矢量合成，输出电压的占空比。 U_{α} 、 U_{β} 为合成电压矢量 U_{out} 在 $\alpha\beta$ 坐标系下的坐标值。

空间矢量算法作用就是将通过数学变换得到的两个坐标值 U_{α} 和 U_{β} 为输入，通过扇区的选择，用相应基本电压空间矢量进行组合，得到各开关的开断时间，将各开关开断时间所占周期的比例作为占空比的比较单元，通过 PWM 单元的作用输出 PWM 波，将 PWM 波输入给三相电压逆变器，分别控制其六个开关的工作状态，实现逆变原理，输出三相对称的电压给三相永磁同步电机，让电机正常工作。根据其原理，可以得到 SVPWM 算法脉宽调制步骤如下：

(1)判断参考值所在扇区

在此， a 、 b 、 c 为定义的中间变量，令：



$$\begin{cases} a = U_{\beta} \\ b = \frac{1}{2}(\sqrt{3}U_{\alpha} - U_{\beta}) \\ c = -\frac{1}{2}(\sqrt{3}U_{\alpha} + U_{\beta}) \end{cases}$$

再根据 a、b、c 的极性之和来判断合成矢量所在的扇区，根据扇区选用相邻两个基本电压空间矢量作为参考矢量进行组合，扇区 N (sector) 的判断方法如式所示：

$$N = \text{sign}(a) + 2\text{sign}(b) + 4\text{sign}(c)$$

式中 $m = \text{sign}(n)$ 为符号判断函数。

(2) 两组基本开关矢量工作时间的确定

分别用 t_1 、 t_2 表示所选扇区中两个组成矢量的工作时间， t_1 和 t_2 的值可以用式进行计算：

$$\begin{cases} X = U_{\beta} \\ Y = \frac{1}{2}(\sqrt{3}U_{\alpha} + U_{\beta}) \\ Z = \frac{1}{2}(-\sqrt{3}U_{\alpha} + U_{\beta}) \end{cases}$$

各个扇区非零矢量作用时间的关系如表所示：



扇形区	I	II	III	IV	V	VI
t_1	Z	Y	-Z	-X	X	-Y
t_2	Y	-X	X	Z	-Y	-Z

(3) 计算比较单元的输入值

为了得出比较器的切换时间值 CMPR1、CMPR2、CMPR3，设三个过渡变量 t_{aon} 、 t_{bon} 、 t_{con} 如下：

$$\begin{cases} t_{aon} = (T - t_1 - t_2) / 2 \\ t_{bon} = t_{aon} + t_1 \\ t_{con} = t_{bon} + t_2 \end{cases}$$

在各个扇区内，切换时间 CMPR1、CMPR2、CMPR3 不扇区的关系如表所示。

扇形号	I	II	III	IV	V	VI
CMPR1	t_{bon}	t_{aon}	t_{aon}	t_{con}	t_{con}	t_{bon}
CMPR2	t_{aon}	t_{con}	t_{bon}	t_{bon}	t_{aon}	t_{con}
CMPR3	t_{con}	t_{bon}	t_{con}	t_{aon}	t_{bon}	t_{aon}