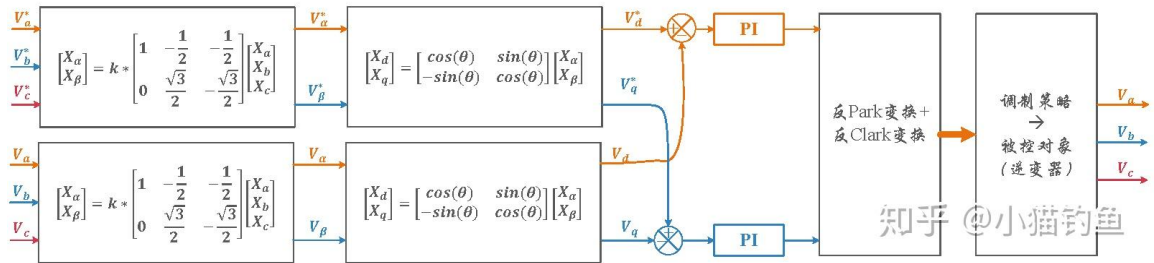
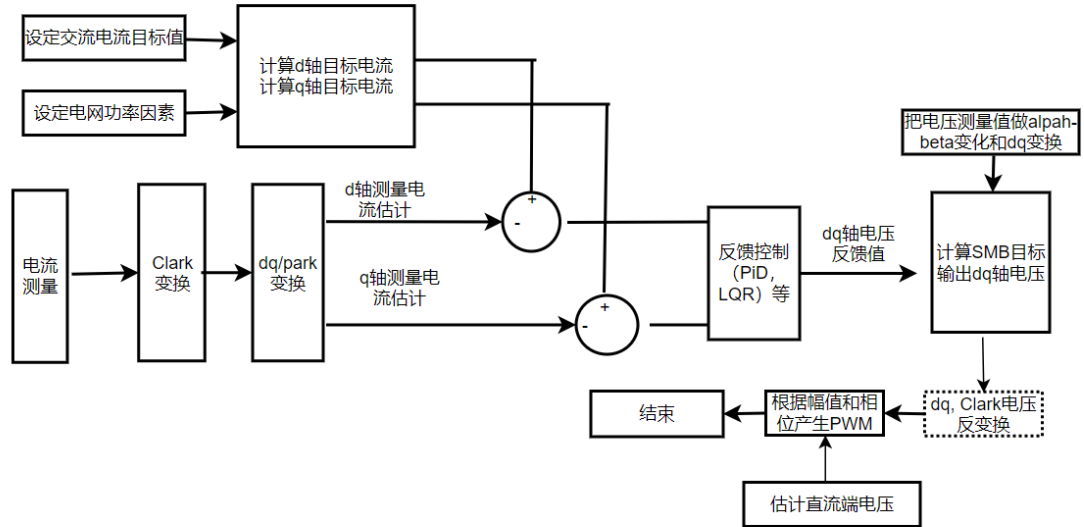


## 1.1 基本控制原理

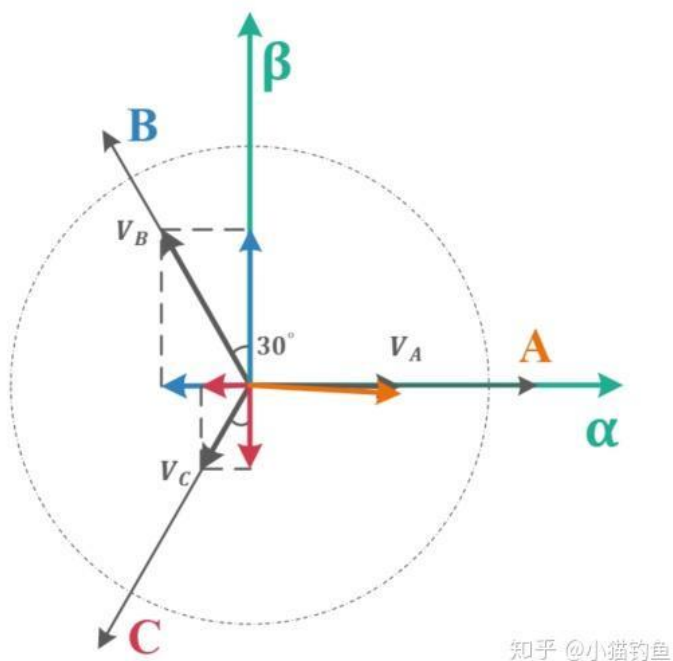
电流源系统的基本控制原理如下：



具体说明说下：

### 1. Clarke 变换

Clarke 变换是一种用于将信号从三相静止坐标系转换到两相静止坐标系的数学变换。



知乎 @小猫钓鱼

换。

具体而言，我们把三相电流映射到以 A 相为基准的坐标系平面。在空间向量分解时，我们假设向量之间的夹角相差 120 度，如图所示。这个角度是名义的固定值，不是测量值。

$$i_{\alpha} = i_a - i_b \cos\left(\frac{\pi}{3}\right) - i_c \cos\left(\frac{\pi}{3}\right)$$

$$i_{\beta} = i_b \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) - i_c \sin\left(\frac{\pi}{3}\right)$$

$i_{\alpha}$ 和 $i_{\beta}$ 为旋转变换值

在单相系统中，系统测量的电流即为 $i_{\alpha}$ ，我们并没有之计的 $i_{\beta}$ 测量。我们设计了一个如下的低通滤波器滤波函数得到一个 90 度相位差的 $i_{\beta} = LPF(i_{\alpha})$

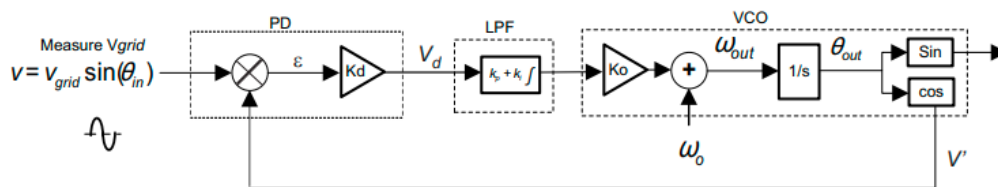


Figure 1. Phase Locked Loop Basic Structure

2. Park 变化：上述 2 相的  $i_\alpha$  和  $i_\beta$  值仍然为旋转变量。我们做 Park 变化，把一个交变的电流变换到以 A 相为基础的坐标系上来。Park 变换，本其实是一个坐标系变化，而这个坐标系是旋转的，其角度为  $\omega t$ 。

$$\begin{aligned} V_d &= V_\alpha \cos \omega t + V_\beta \sin \omega t \\ V_q &= -V_\alpha \sin \omega t + V_\beta \cos \omega t \end{aligned}$$

知乎 @Power-Employee

通过双重变换，在以 A 相为基础的电压平面我们获得了一个不旋转的，d/q 电流。

3. 计算 d/q 轴的目标电流：

简单起见，我们可以认为 q 轴的电流为 0. 这个电流设计在产品中，需要参考电池和电网的功率因素设计。

4. Clarke，和 Park 反变换：

在级联系统中，底层的控制器可以直接使用 dq 的结果，作为调制表格的输入条件。所以反变换可以省掉。

5. 与 PWM 调制的接口

在经过控制策略之后，系统得到了 SMB 所需要输出的 d 轴电压和 q 轴电压，记为  $u_d, u_q$ 。PWM 接受幅值和相位作为接口，调制占宽比。幅值为：

$$U_{smb} = \sqrt{(u_d^2 + u_q^2)}$$

$$\theta = \text{atan}\left(\frac{u_q}{u_d}\right)$$

$U_{smb}$  为需要输出波形的幅值， $\theta$  为所需要输出波形的相位相对于当前时间对应的相位，即为相位增量。

*注： $\theta$  为相对  $\omega t$  增量，如果进行 Clarke 变换，角度变为  $\theta + \omega t$ 。因为是增量，所以对控制系统时间延时敏感小。*

## 6 . 直流电压，交流电压和调制系数

在高频调制中，调制系数的计算方法如下：

调制系数  $c = k * U_{smb} / U_{dc}$ ，其中  $U_{dc}$  为有效接入电池的直流电压之和。

调制系数  $c$  和  $\theta$  为 PWM 调制的输入参数。具体 PWM 怎么接受这个参数完成调制，参见 2.3 节。