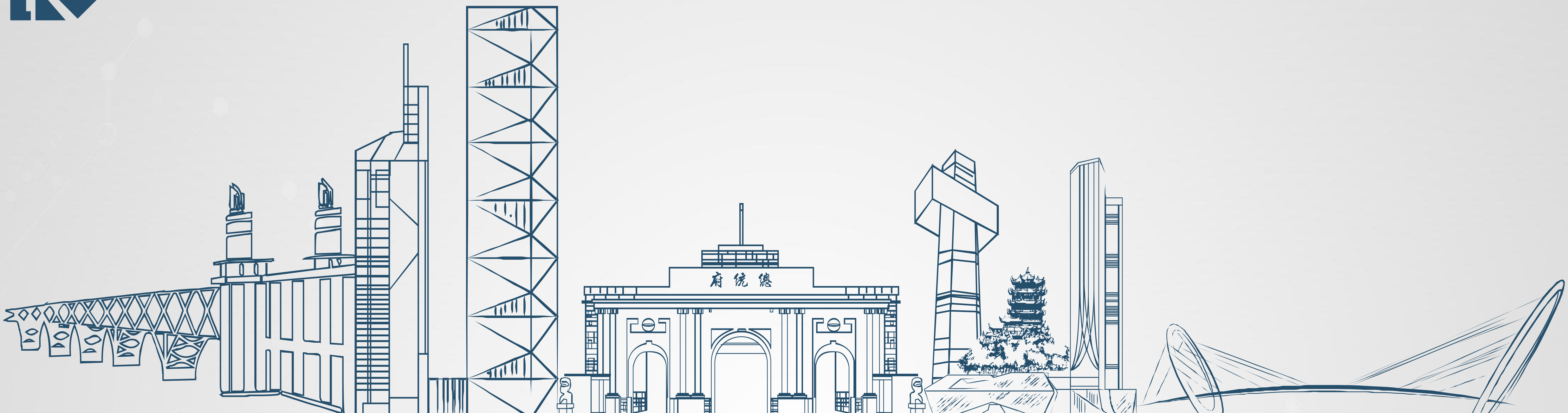
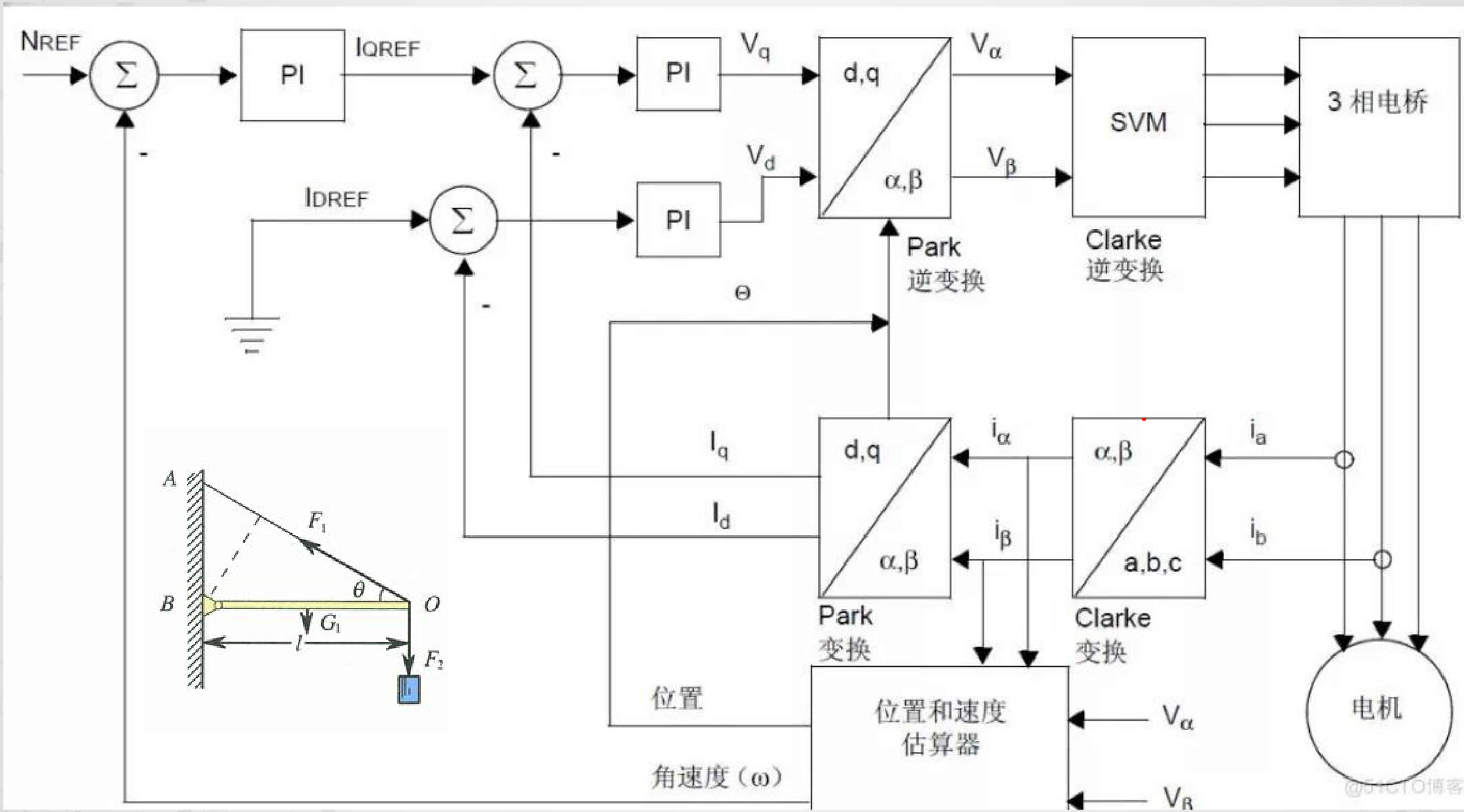


南京凌鸥创芯电子有限公司

用芯打造电控专用平台

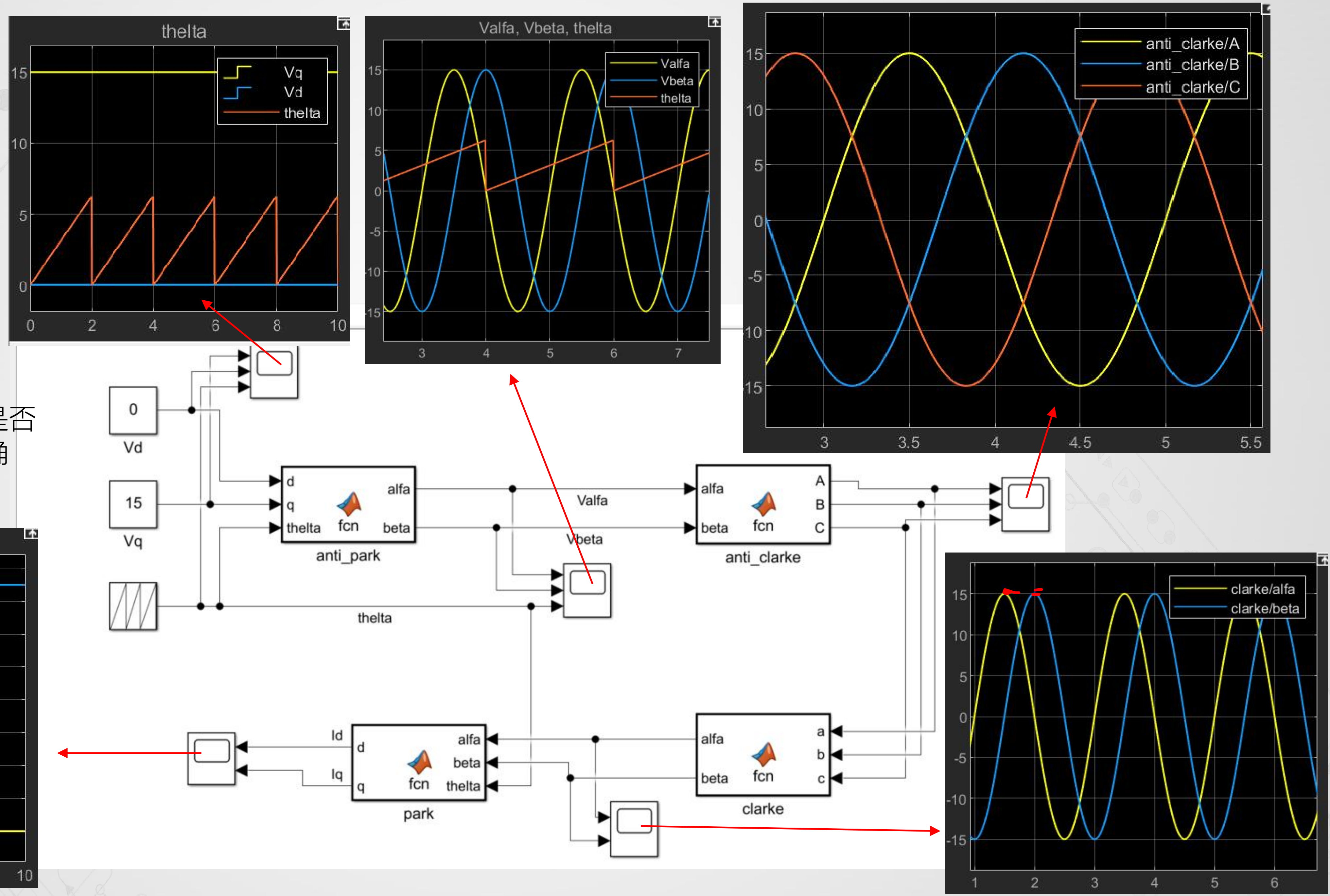
01 FOC学习框架顺序

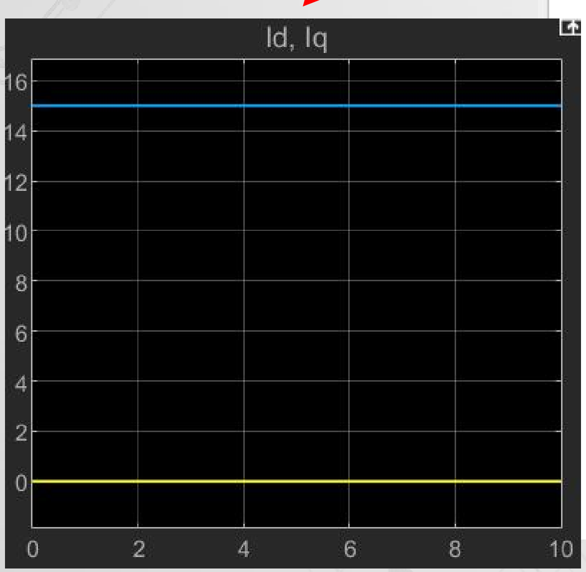


02

坐标变换波形图

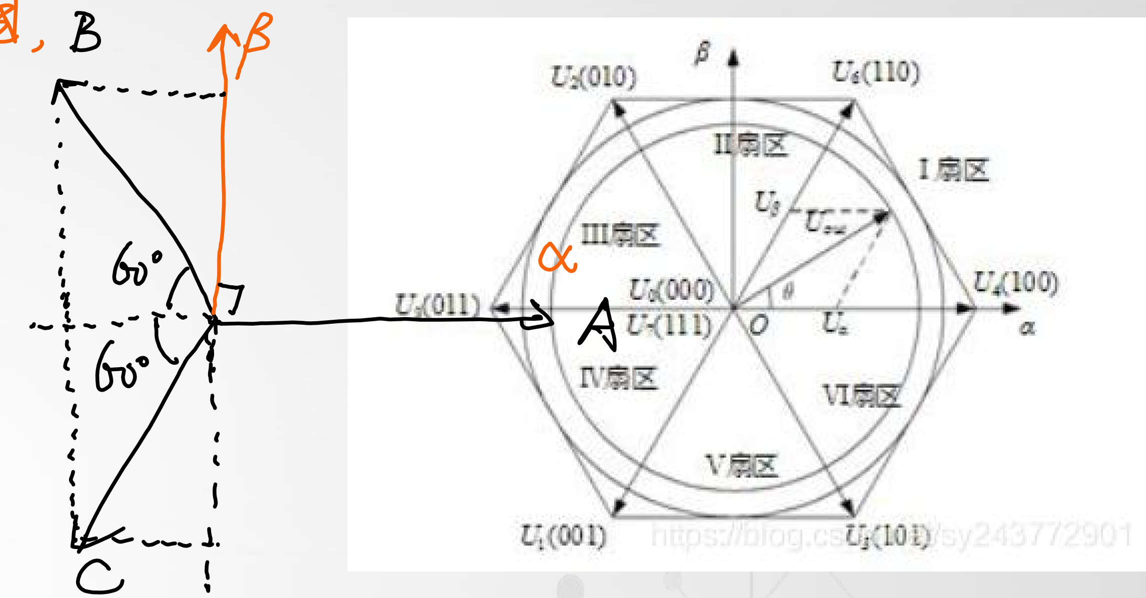
跑一圈回来看输入与输出是否相等，来验证模型是否正确





03 Clark 变换

将A,B,C三相转换为相互垂直的α,β两相，
且α与A同轴



$$\alpha = A + B\cdot\cos(120^\circ) + C\cdot\cos(-120^\circ)$$
$$= A - \frac{1}{2}(B+C) \quad ------ ①$$

$$\beta = 0 + B\cdot\sin(120^\circ) + C\cdot\sin(-120^\circ)$$
$$= \frac{\sqrt{3}}{2}\cdot(B-C) \quad ---- ②$$

$A+B+C=0$ （基尔霍夫定律）

$C = -(A+B)$ ---- ③

将式③代入①和②，得：

$$\begin{cases} \alpha = \frac{3}{2}A \\ \beta = \frac{\sqrt{3}}{2}(A+2B) \end{cases}$$

因为做等幅变换，须使α与A幅值相等，固使α与β同乘上系数 $\boxed{K=\frac{2}{3}}$.

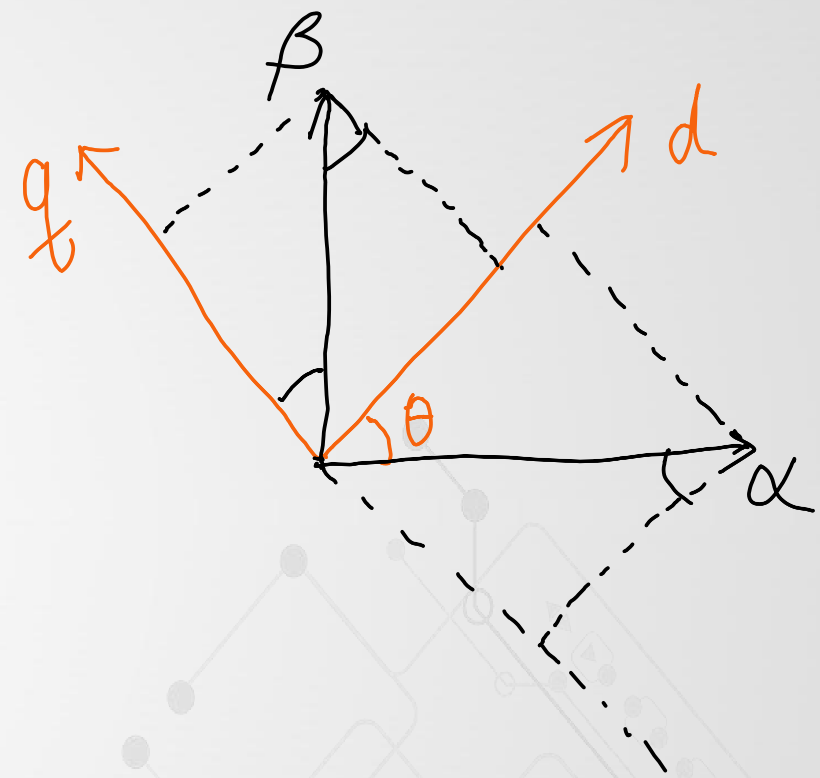
得：

$$\begin{cases} \alpha = A \\ \beta = \frac{1}{\sqrt{3}}(A+2B) \end{cases}$$

04 Park 变换

将α,β转换成旋转的d,q轴，其中d轴与转子磁场N极同向，q轴垂直d轴，指向转子的旋转方向。

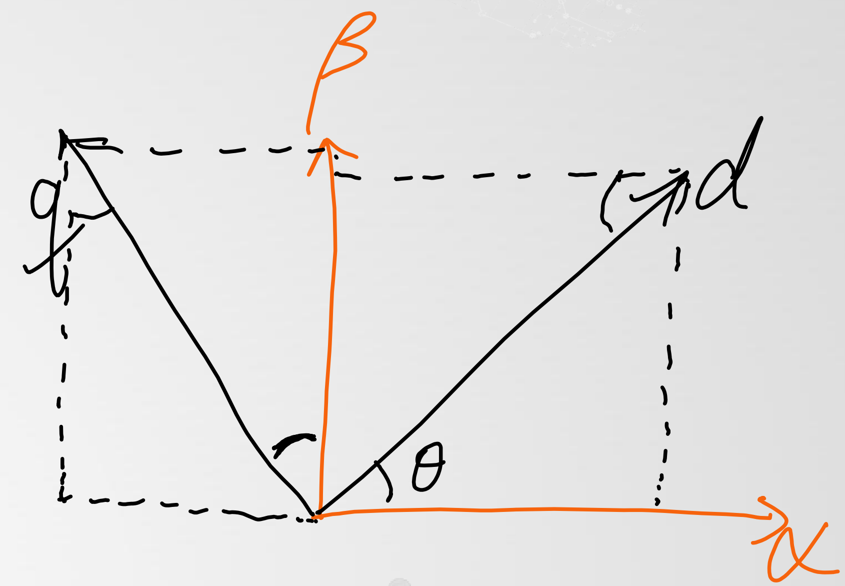
$$\begin{cases} d = \alpha \cdot \cos\theta + \beta \cdot \sin\theta \\ q = \alpha \cdot (-\sin\theta) + \beta \cdot \cos\theta \end{cases}$$



05 反Park 变换

将旋转的d,q轴转换到固定的α,β轴.

$$\begin{cases}\alpha = d\cdot\cos\theta + q\cdot(-\sin\theta)\\ \beta = d\cdot\sin\theta + q\cdot\cos\theta\end{cases}$$



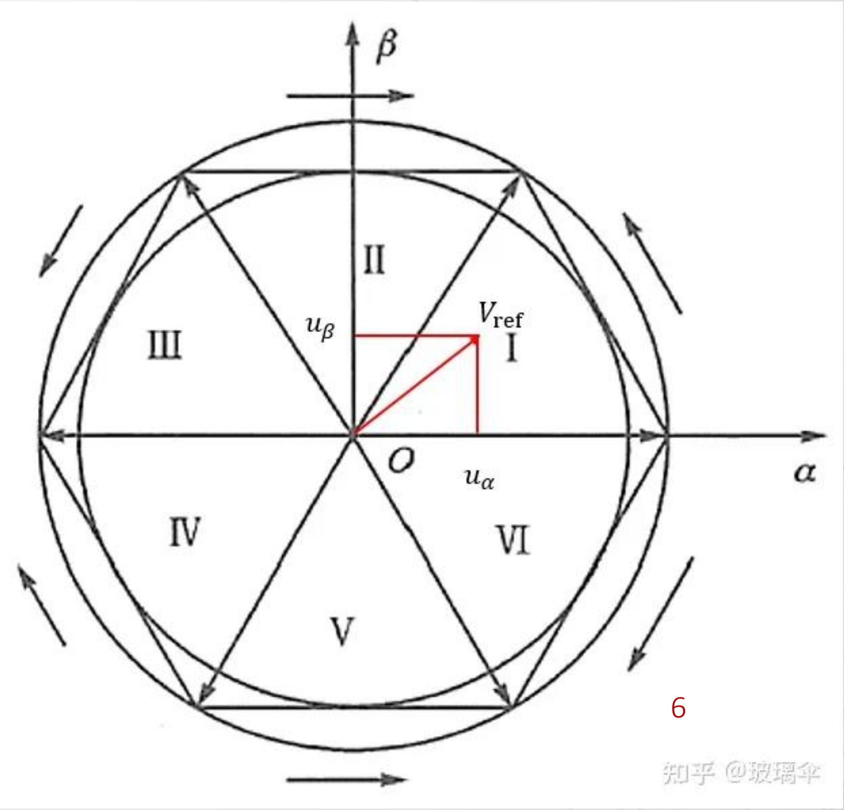
当 θ=0 时，$\begin{cases}\alpha = d\\ \beta = q\end{cases}$

当 d=0 时. 合成向量指向β轴正向

当 θ=90° 时，$\begin{cases}\alpha = -q\\ \beta = d\end{cases}$

α轴负向

合成向量一直超前d轴90°

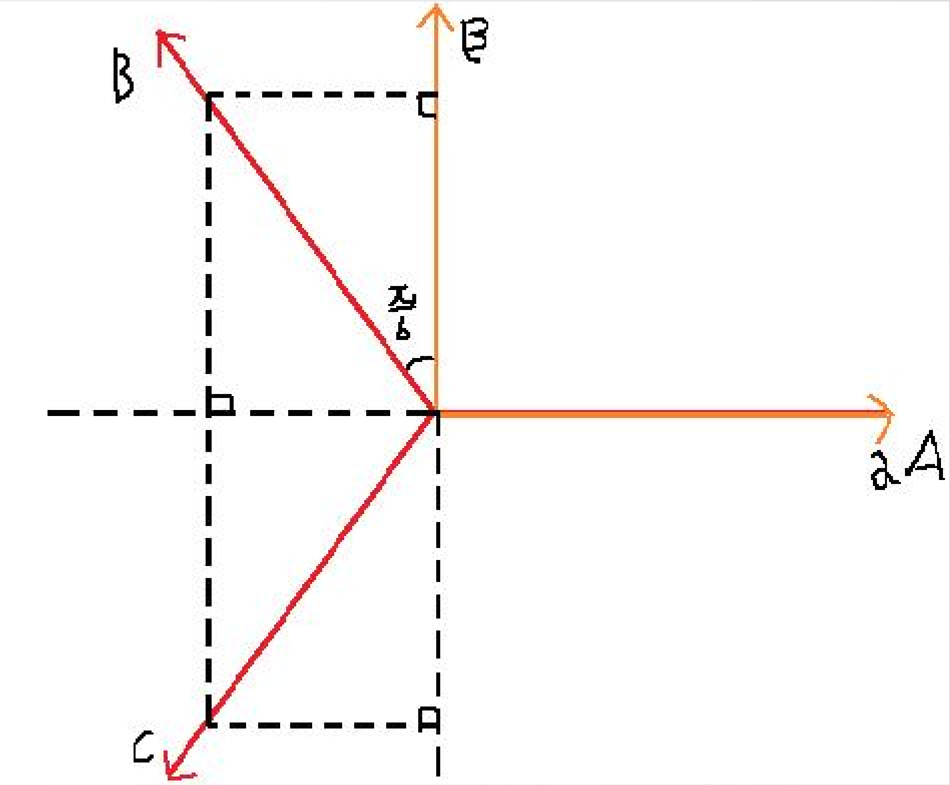


06 反Clark 变换

将α,β转换为A,B,C三相.

$$\begin{cases} A = \alpha \\ B = \beta \cdot \cos\frac{\pi}{6} + \alpha \cdot \left(-\sin\frac{\pi}{6}\right) \\ C = \beta \cdot \left(-\cos\frac{\pi}{6}\right) + \alpha \cdot \left(-\sin\frac{\pi}{6}\right) \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} A = \underline{\alpha} \\ B = -\frac{1}{2}\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2}\beta \\ C = -\frac{1}{2}\alpha - \frac{\sqrt{3}}{2}\beta \end{cases}$$



07 反Clark 变换—等幅值

将Clark变换的结论先写下来

$$\begin{cases}\alpha = \frac{3}{2}A \\ \beta = \frac{\sqrt{3}}{2}(A+2B)\end{cases}$$

$$\Rightarrow \quad A = \frac{2}{3}\alpha$$

$$\beta = \frac{\sqrt{3}}{2}\cdot\frac{2}{3}\alpha + \sqrt{3}B \Rightarrow B = \frac{\sqrt{3}}{3}\beta - \frac{1}{3}\alpha$$

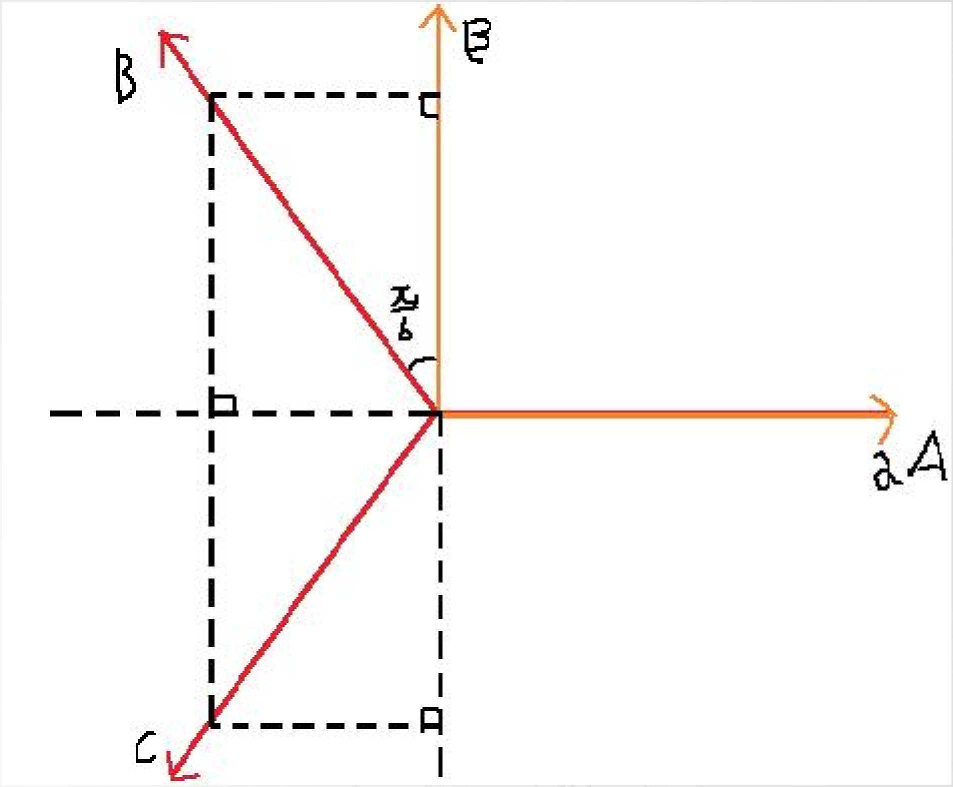
由 $A+B+C=0$，得：

$$C = -A-B = -\frac{2}{3}\alpha - \left(\frac{\sqrt{3}}{3}\beta - \frac{1}{3}\alpha\right)$$

$$= -\frac{1}{3}\alpha - \frac{\sqrt{3}}{3}\beta$$

汇总得：

$$\begin{cases}A = \frac{2}{3}\alpha \\ B = -\frac{1}{3}\alpha + \frac{\sqrt{3}}{3}\beta \\ C = -\frac{1}{3}\alpha - \frac{\sqrt{3}}{3}\beta\end{cases}$$



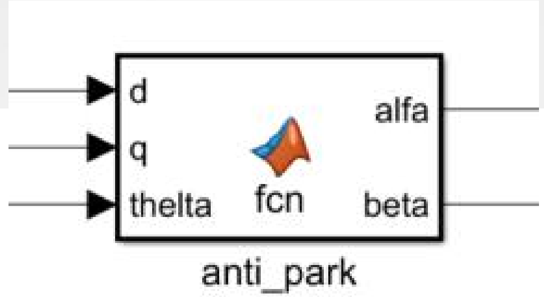
等幅变换则乘以系数 $K' = \frac{3}{2}$

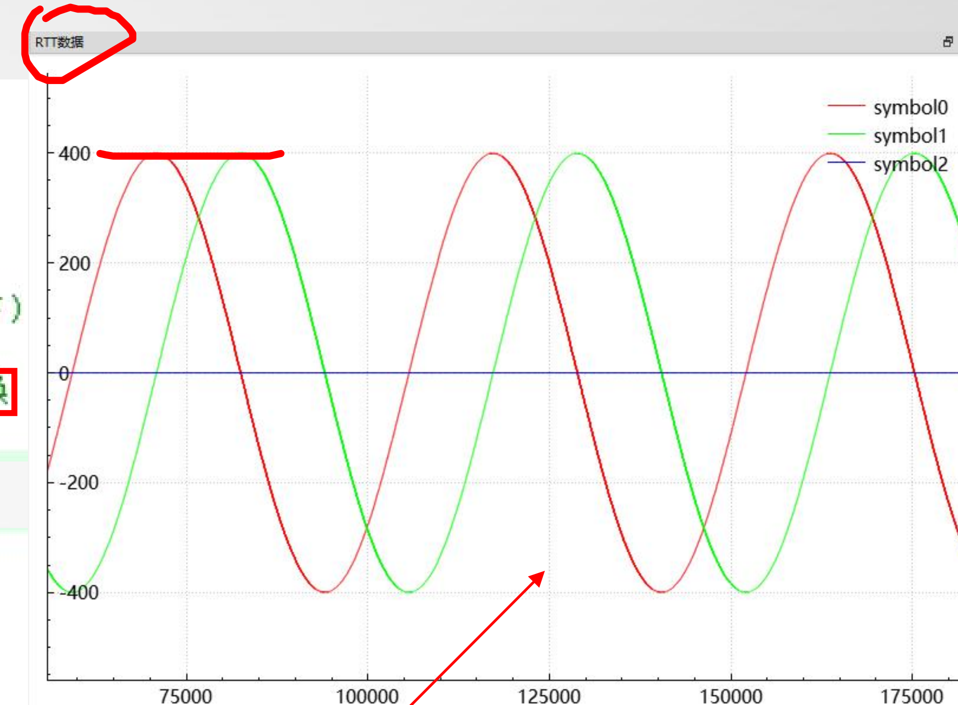
得：

$$\begin{cases}A = \alpha \\ B = -\frac{1}{2}\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2}\beta \\ C = -\frac{1}{2}\alpha - \frac{\sqrt{3}}{2}\beta\end{cases}$$

08 在程序中实现—反park变换

```c
void run_my_foc_test() //
{
  nQVoltageSet_test = 400; //设定Q轴电压
  nDVoltageSet_test = 0 ;  //设定D轴电压

  tElectAngle_test += 20;  //设定角度增加大小 //角度范围(-32768 ~ 32767) 对应 (-π~π)

  anti_park_test(nDVoltageSet_test,nQVoltageSet_test,tElectAngle_test); //反park变换
}
```





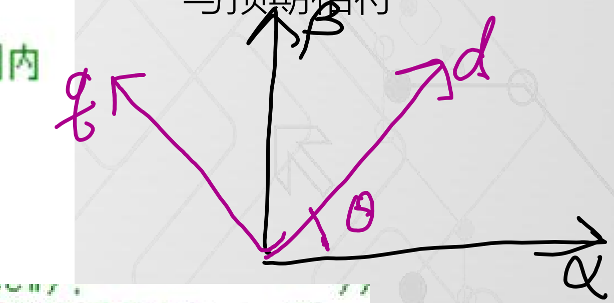

```c
void anti_park_test(s16 d, s16 q, s16 theta)    //反park变换
{
  float sin_Vlaue = 0;
  float cos_Vlaue = 0;
  stru_TrigComponents sincosvalue_test;   //结构体包含表示sin和cos值的两个变量
  sincosvalue_test = Trig_Functions(theta); /* 通过DSP计算得到角度theta的sin和cos值 */

  sin_Vlaue = (float)(sincosvalue_test.hSin) / 0x7FFF; //sin和cos的值转换为-1.0到1.0范围内
  cos_Vlaue = (float)(sincosvalue_test.hCos) / 0x7FFF;

  alfa_test = d * cos_Vlaue - q * sin_Vlaue;  ////反park变换计算得到alfa
  beta_test = d * sin_Vlaue + q * cos_Vlaue;  //反park变换计算得到beta
```

```c
  Rttstru.data1 = (beta_test);  //反park变换得到的beta值
  Rttstru.data0 = (alfa_test);  //反park变换得到的alfa值

  SEGGER_RTT_Write(1, &Rttstru, 6);
```

FOC1_clarke_park ▸ anti_park

```matlab
function [alfa,beta] = fcn(d,q,theta)

alfa = d*cos(theta) - q*sin(theta);
beta = d*sin(theta) + q*cos(theta);
```

Alfa和Beta相位差90度，与预期相符



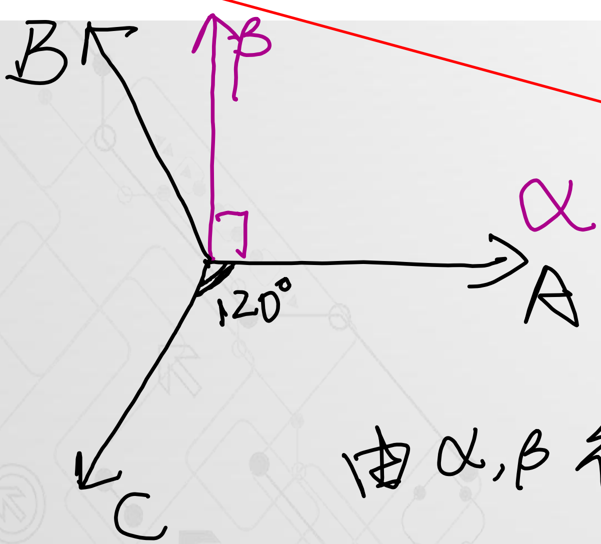
09 在程序中实现—反Clark变换

```
function [A,B,C] = fcn(alfa,beta)

A = alfa;
B = (-alfa + beta*sqrt(3)) / 2;
C = (-alfa - beta*sqrt(3)) / 2;
```

```
void anti_clarke_test(s16 alfa, s16 beta)    //反clarke变换
{
  Va_test = alfa;
  Vb_test = (-alfa>>1) + (beta>>1) * 1.732;
  Vc_test = ((s16)(-alfa - (beta * 1.732)))>> 1;
}
```

Va，Vb，Vc相位差120度，与预期相符

```
Rttstru.data1 = (Vb_test);   //反clarke变换得到的Vb值
Rttstru.data0 = (Va_test);  //反clarke变换得到的Va值
Rttstru.data2 = Vc_test ; //   反clarke变换得到的Vc值
SEGGER_RTT_Write(1, &Rttstru, 6);
```



由α,β得到A.B.C

10

等功率变换sqrt(2/3)系数来源

我们在使用SVPWM的时候都要涉及到Clark变换，而Clark的变换矩阵前有一个系数: sqrt(2/3) 。这个系数给我学习Clark变换时带来过疑惑，我根据正交分解将三相坐标的电流变换到两相坐标时根本就没有这个sqrt(2/3)。对于这个系数的引入，有些书的解释是为了使的变换前后能量守恒，我再根据这个原理计算了一下变换前后的功率，终于找到了sqrt(2/3)出现的原因。

摘自：https://doc.wendoc.com/b3464ab18ff17faa0bfa918d1.html

三相坐标下的电流为 ia，ib，ic
根据clark变换
ialfa=ia-0.5ib-0.5ic　　$i_\gamma = i_A \frac{3}{2}$
ibeta=0.5sqrt(3)*ib-0.5sgrt(3)*ic
很容易推导出ialfa和ibeta的幅值是ia幅值的1.5倍
所以设ia的有效值为A，则ialfa，ibeta的有效值为1.5A
同理 变换前的电压为U，则变换后的电压有效值为1.5U
变换前的功率P1=U*A*3
变换后的功率P2=1.5U*1.5A*2=4.5UA
可见变换前后的功率P1和P2不相等，
为了使变换前后功率相等，
需要给变换矩阵乘以一个系数，设为k
则变换后的
ialfa = k(ia-0.5ib-0.5ic)
ibeta=k*(0.5sgrt(3)*ib-0.5sqrt(3)*ic)
则ialfa，ibeta的有效值为1.5*k*A，电压有效值为1.5*k*U
变换后的功率P2=4.5UA*k*k
令P1=P2所以: 3*U*A = 4.5U*A*k*k
解得: k = sqrt(2/3)
clark变换矩阵的等功率变换系数sqrt(2/3)，就是这样来的

為天地立芯
為控制塑魂

创芯驱动，领航电控未来！

正直诚信！利他共赢！成长超越！

江苏省南京市经济技术开
发区兴智科技园B栋15层
http://www.linkosemi.com