

## M451 无感 FOC 的 MTPA 控制

---

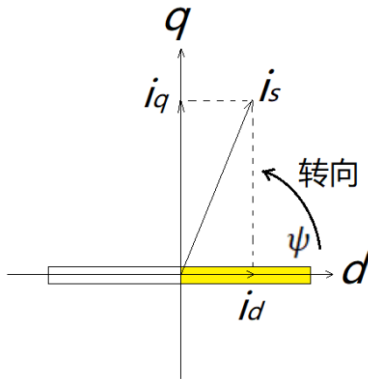
[www.nuvoton.com](http://www.nuvoton.com)

## 1. 概述

新唐M451 无感FOC 代码，做MTPA 控制, 先介绍一下理论

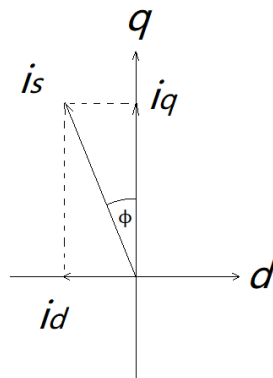
电机的转矩是电流乘以、与它垂直的磁链。如下图：电流  $i_q$  与在d轴正向的永磁体磁链  $\psi$  产生逆时针转矩  $i_q\psi$ ，电流  $i_q$  与电流磁链  $i_dL_d$  产生逆时针转矩  $i_qi_dL_d$ ，电流  $i_d$  与电流磁链  $i_qL_q$  产生顺时针转矩  $i_d i_q L_q$ ，三者加起来再乘极对数  $p$  和系数  $3/2$ ，转矩就是

$$T_e = \frac{3}{2}p[i_q\psi + i_qi_dL_d - i_d i_q L_q] = \frac{3}{2}pi_q[\psi + (L_d - L_q)i_d]$$



弱磁控制时电流  $i_d$ 是负值，如下图，两个电流分量是

$$\begin{aligned} i_q &= i_s \cos(\phi) \\ i_d &= -i_s \sin(\phi) \end{aligned}$$



电流分量代入转矩公式，得

$$\begin{aligned} T_e &= \frac{3}{2}pi_s \cos(\phi) [\psi - (L_d - L_q)i_s \sin(\phi)] \\ T_e &= \frac{3}{2}pi_s \left[ \psi \cos(\phi) + \frac{1}{2}(L_q - L_d)i_s \sin(2\phi) \right] \end{aligned}$$

MTPA 控制就是给定电流 $i_s$ ，求角度 $\phi$  等于多少时，转矩最大。求导=0得

$$\frac{dT_e}{d\phi} = \frac{3}{2} p i_s [-\psi \sin(\phi) + (L_q - L_d) i_s \cos(2\phi)] = 0$$

$$-\psi \sin(\phi) + (L_q - L_d) i_s (1 - 2\sin^2(\phi)) = 0$$

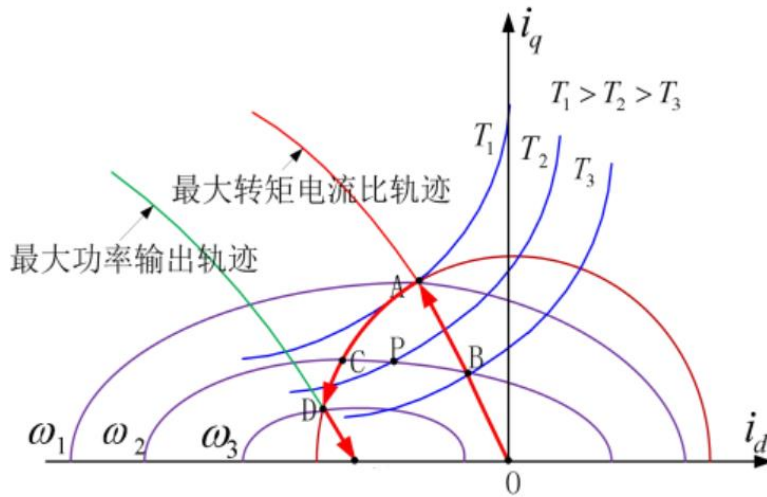
$$2\sin^2(\phi)(L_q - L_d) i_s + \psi \sin(\phi) - (L_q - L_d) i_s = 0$$

解这个一元二次方程，得

$$\sin(\phi) = \frac{-\psi + \sqrt{\psi^2 + 8(L_q - L_d)^2 i_s^2}}{4(L_q - L_d) i_s}$$

不同 $i_s$ 对应的超前角可做一个折线。假如最大工作电流是32A，做8个点，4A一个点。算出 $N = 8 * i_s / 32 = i_s / 4$  (取整)，则 $i_s$ 对应的超前角在点 $[N], [N+1]$ 之间，按下式做一个线性计算就可得到角度

$$\phi = \phi_N + (\phi_{N+1} - \phi_N) \frac{i_s - 4N}{4} = \phi_N + ((\phi_{N+1} - \phi_N)(i_s - 4N) \gg 2)$$



## 2. 代码介绍

M451的无感FOC 代码，起转时 $I_d=0$ ，起转成功后，第277行代码，切同步时把超前角Angle\_Fai写成0，如果不改这个超前角，就始终是 $I_d=0$ 控制。

```

274 白   else{
275     Iq_set_f12 = Iq_Meas_LPF_f5 <<7 ;           // 电流设定值=实际值，切同步电流不突变
276     Is_set_f12 = Iq_Meas_LPF_f5 <<7 ;
277     Angle_Fai = 0 ;                             // 起转成功后，超前角=0，就是 Id=0 控制
278     Exec_Counter = 0 ;                          // 起转跳过来时非0，同步了，以后失步变回状态3此值是0
279     Err_current_q_f5 = 0 ;                      // 限压造成此值偏大，以后不限压了就清0，否则电流有尖
280 }

```

若要做MTPA 控制，就在SysTick中断里、转速 PI 运算得出 $I_s$ 后，再查表、按折线求出超前角Angle\_Fai 就可以了，求 $I_q, I_d$ 的代码已写好，就是665~673行。

```

661
662     temp32_1 = Angle_Fai ;                       // 查表或计算，获得弱磁超前角,就可实现 MTPA 控制
663
664
665     temp32 = Get_cos(&temp32_1) ;              // 15 位小数余弦值 (最大 =1 =0x8000 )
666     temp32 = (temp32 + 32) >> 6;              // 9 位余弦值, 最大 512
667     temp32_1 = (temp32_1 + 32) >> 6;          // 9 位正弦值, 后面的计算再右移9位
668     temp32 = (((Is_set_f12 >>2) * temp32 + 64) >>7); // Is_set_f12(ADC值加12bit小数) = 24 位符号数
669     temp32_1 = (((Is_set_f12 >>2) *temp32_1 +64) >>7); // 最大 (4095*1024)*512 = 0x7FF80000, 乘积不会溢出
670
671     __disable_irq() ;                          // 关中断, 防止更新这两个电流之间发生 ADC 中断
672     Iq_set_f12 = temp32 ;
673     Id_set_f12 = -temp32_1 ;                  // Id 负值是电流超前
674     __enable_irq() ;
675

```