

# 浙江大学实验报告

专业：电气工程及其自动化

姓名：潘谷雨

学号：3220102382

日期：2025.5.27

地点：教二 115

课程名称：电机控制 指导老师：孙丹、赵建勇 成绩：

实验名称：异步电机矢量控制仿真实验

## 一、实验目的和要求

- 了解矢量控制思想，包括坐标变换和数学建模
- 了解异步电机矢量控制系统的原理，包括系统组成和控制原理
- 掌握电机闭环调速系统的调试方法，包括转速变化和负载变化
- 研究调节器参数对系统动态性能的影响

## 二、实验内容和原理

### 1、矢量控制

矢量控制的基本思想为：把交流电动机经过坐标变换等效成直流电动机，然后参考直流电动机的控制方法进行控制器的设计。再经过相应的反变换，进而控制交流电动机。

矢量控制的核心在于：依靠坐标变换手段寻找与交流电动机等效的直流电机模型。

利用 CLARK 变换和 PARK 变换可以得出异步电机在两相旋转坐标系下的数学方程，实现解耦。

### 2、基于 SVPWM 控制的矢量控制系统

把逆变器和交流电动机视为一体，以圆形旋转磁场为目标来控制逆变器的工作，这种控制方法称作“磁链跟踪控制”，磁链轨迹的控制是通过交替使用不同的电压空间矢量实现的，所以又称“电压空间矢量 PWM（SVPWM，Space Vector PWM）控制”。

#### （1）实现的主要思路

将检测到的三相电流施行 3/2 变换和旋转变换，得到  $mt$  坐标系中的电流反馈值，采用 PI 调节软件构成电流闭环控制，电流调节器的输出为  $mt$  坐标系中定子电压给定值。反旋转变换得到静止两相坐标系的定子电压给定值，再经 SVPWM 控制逆变器输出三相电压。

#### （2）矢量控制系统控制框图

采用电流模型进行按转子磁链定向的矢量控制系统如图 1，ASR 为转速调节器，AΨR 为转子磁链调节器，ACMR 为定子电流励磁分量调节器，ACTR 为定子电流转矩分量调节器，FBS 为转速传感器。

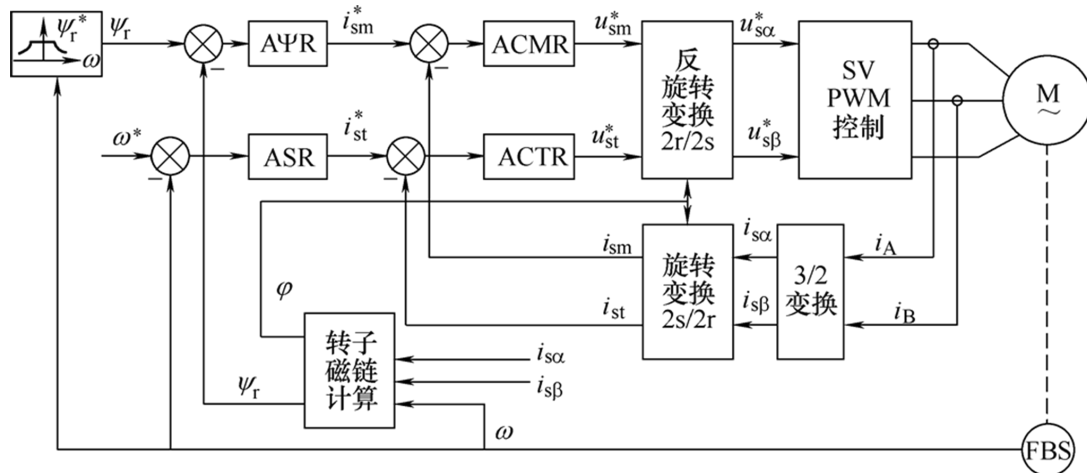


图 1 基于 SVPWM 控制的矢量控制系统结构图

### 三、 主要仪器设备

- 1、PC 机一台
- 2、MATLAB/Simulink 软件

### 四、 操作方法和实验步骤

- 1、搭建仿真实验电路
- 2、观察并记录转子磁通角与观测的转子磁通角之间的区别
- 3、观察并记录转子磁通角与机械角度的区别
- 4、观察并记录在转速给定值从 1000rpm 突变到 1400rpm 时电机的转速、电流、转矩变化波形，分析现象
- 5、观察并记录在负载从 0 突变到 40Nm 时电机的转速、电流、转矩变化波形，分析现象

### 五、 实验内容、数据记录与分析

- 1、按照实验要求在 Simulink 中搭建仿真实验电路

基于 SVPWM 控制的矢量控制系统 Simulink 模型主电路如图 2 所示。设置运行的步长为 1e-5s，运行时长 2s。

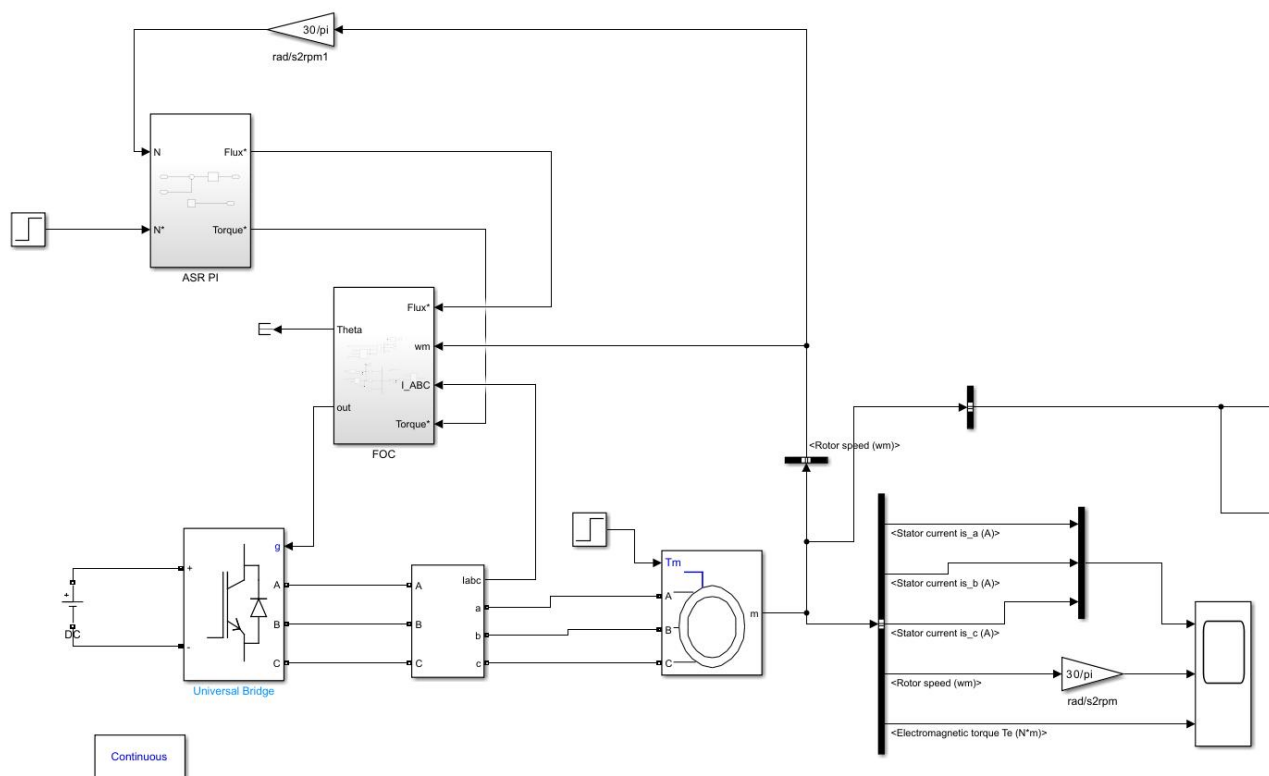


图2 基于 SVPWM 控制的矢量控制系统 Simulink 模型主电路

其中，FOC 控制模块具体结构如图 3 所示。

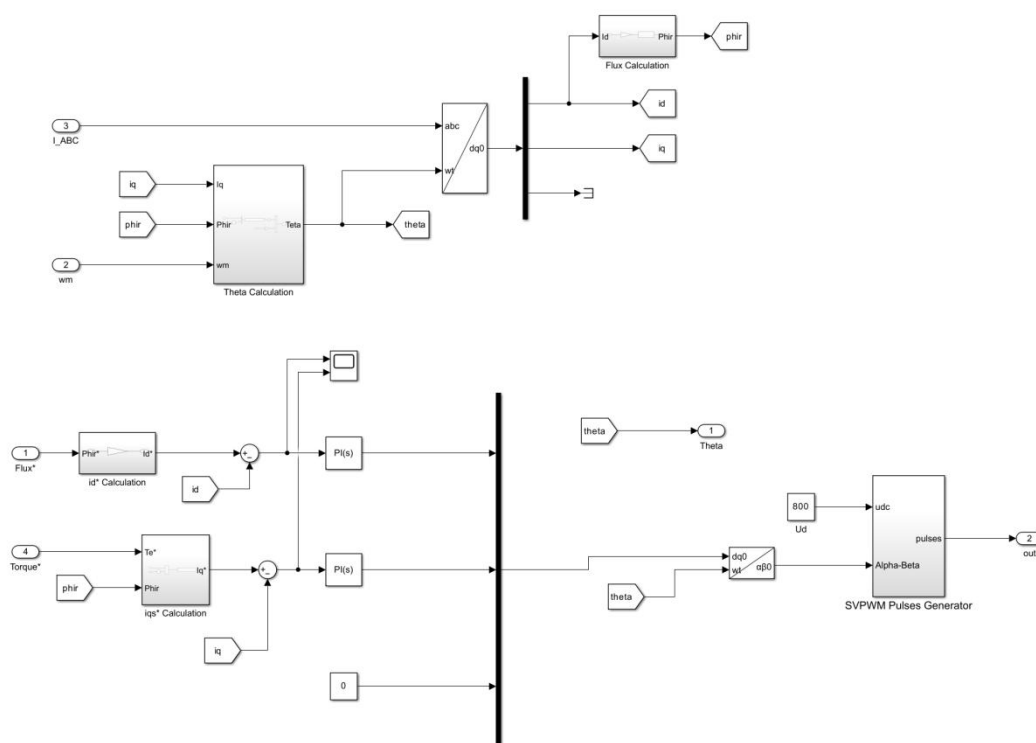


图3 FOC 控制模块

采用该结构能通过计算得到转子磁通的幅值和角度，并将其与仿真模型中的电机直接输出的转子磁通的幅值和角度进行对比。运行得到结果如图 6 所示。

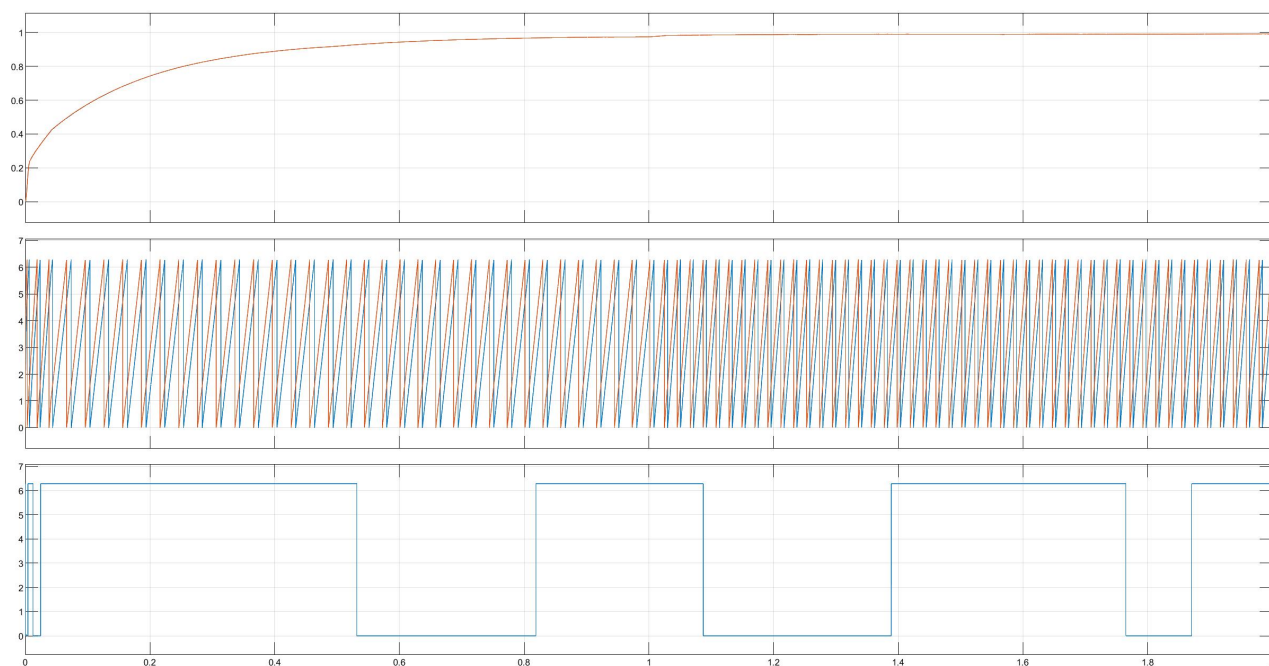


图 6 转子磁通的幅值和角度波形对比

根据运行结果可知，转子磁通幅值基本相同。由于 `simulink` 仿真模型中的角度起始值为 $-\pi/2$ ，因此计算出的磁通角与仿真模型的磁通角差  $\pi/2$ ，其余波形基本一致，符合理论预期。

## 2、观察并记录转子磁通角与机械角度的区别

转子磁通角与机械角度波形如图 7 所示。

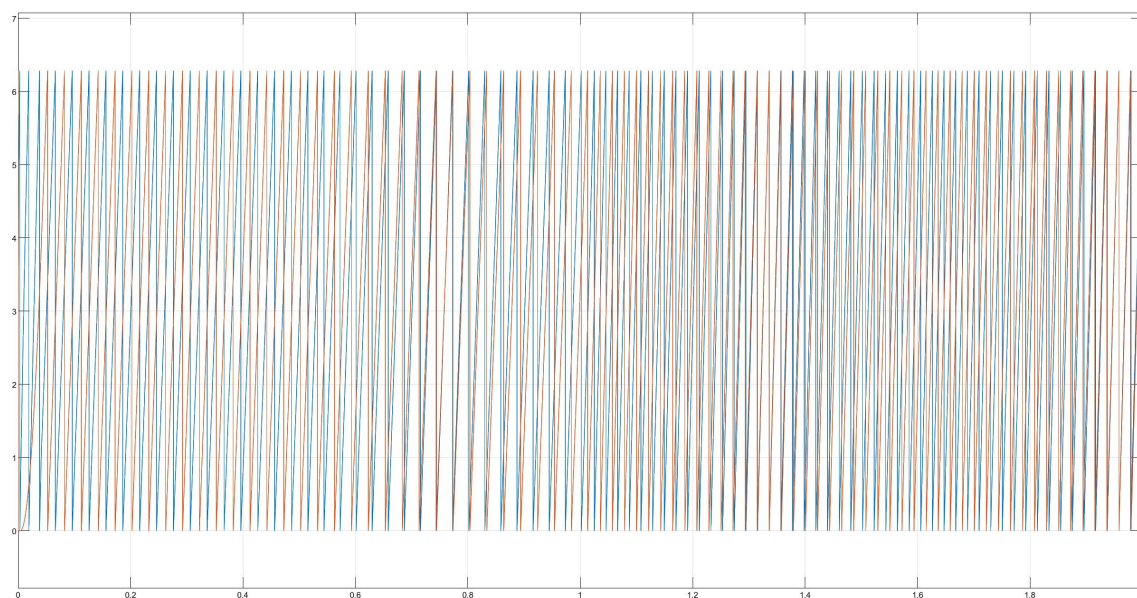


图 7 转子磁通角与机械角度波形对比

由于该模型中电机有 2 对极，因此对比电机的转子角度与磁通角时，将机械角度乘以 2，由图可见翻倍后的机械角度与转子磁通角幅值基本相等，因此转子磁通角是机械角度的两倍。

4、观察并记录在转速给定值从 1000rpm 突变到 1400rpm 时电机的转速、电流、转矩变化波形，分析现象

设置负载始终为 0，保持空载状态，转速给定值在 1s 时从 1000rpm 阶跃至 1400rpm，得到波形如图 8 所示。

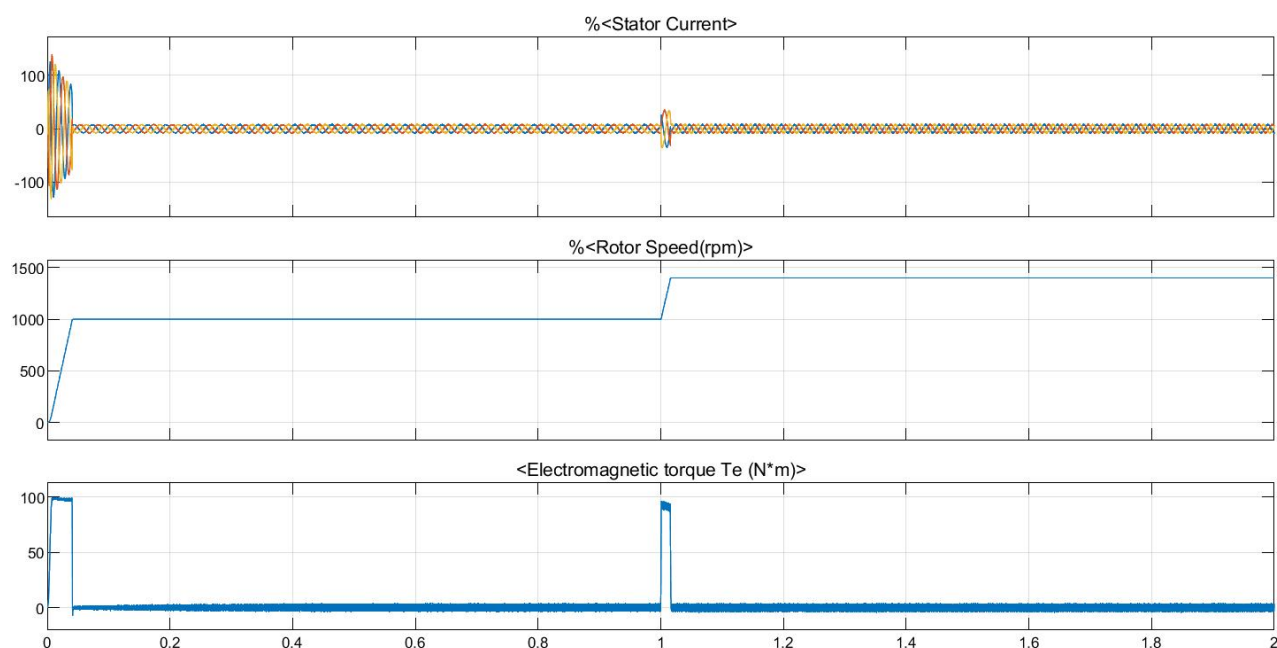


图 8 电机转速、电流、转矩波形（转速给定值变化）

从上到下的波形分别为定子三相电流、转速（rpm）、电磁转矩。

在仿真开始时，电机的电磁转矩迅速上升并达到最大值，此时电流波动较大，转速也快速上升。当转速升至 1000 rpm 后，定子电流逐渐趋于平稳，在 0 A 附近小幅波动。由于电机处于空载状态，电磁转矩随之下降并接近于 0 Nm，转速保持稳定。

在 1 秒时刻，给定转速突变为 1400 rpm，导致电流增大，电磁转矩迅速上升，从而推动转速上升。当转速接近 1400 rpm 时，电流逐渐减小，电磁转矩也随之下降。当转速达到 1400 rpm 并稳定运行后，电流重新回到 0A 附近并基本保持恒定，电磁转矩与电机的阻尼转矩及附加负载转矩达到平衡，整体转矩接近于零，转速保持稳定不变。

5、观察并记录在负载从 0 突变到 40Nm 时电机的转速、电流、转矩变化波形，分析现象

设置给定转速为 1000rpm 保持不变，负载在 0.5s 时，从空载阶跃至 40Nm，得到波形如图 9 所示。

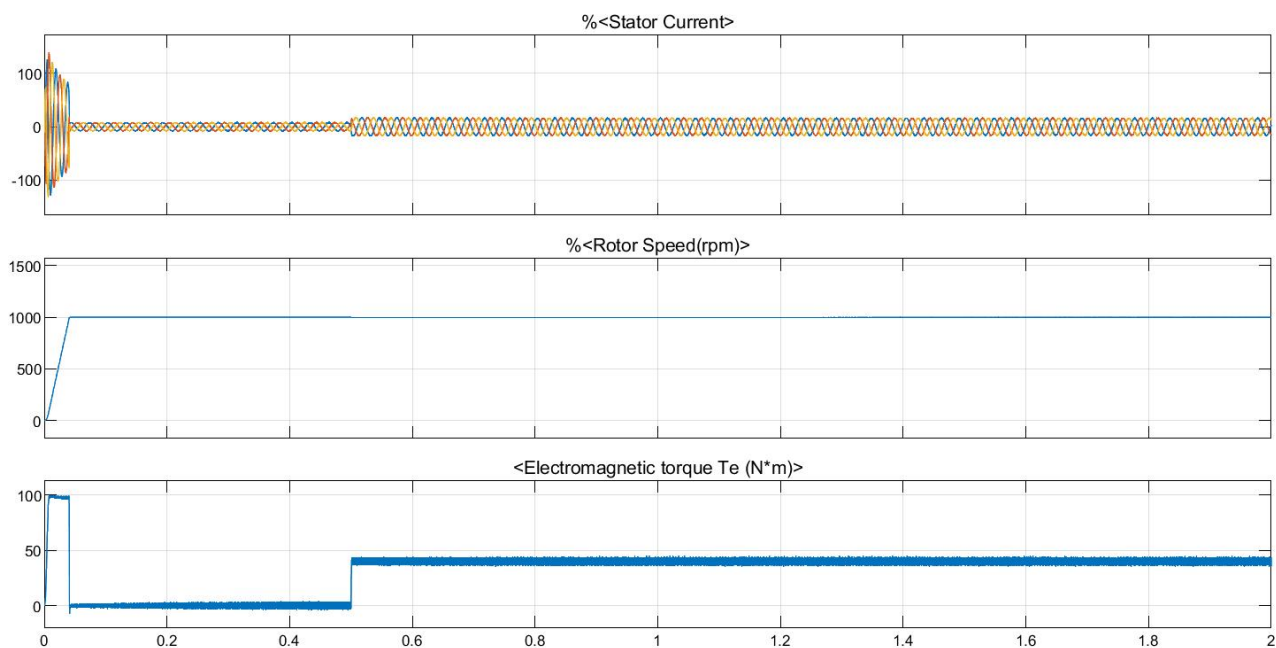


图 9 电机转速、电流、转矩波形（负载转矩变化）

放大 0.5s 附近波形得到图 10。

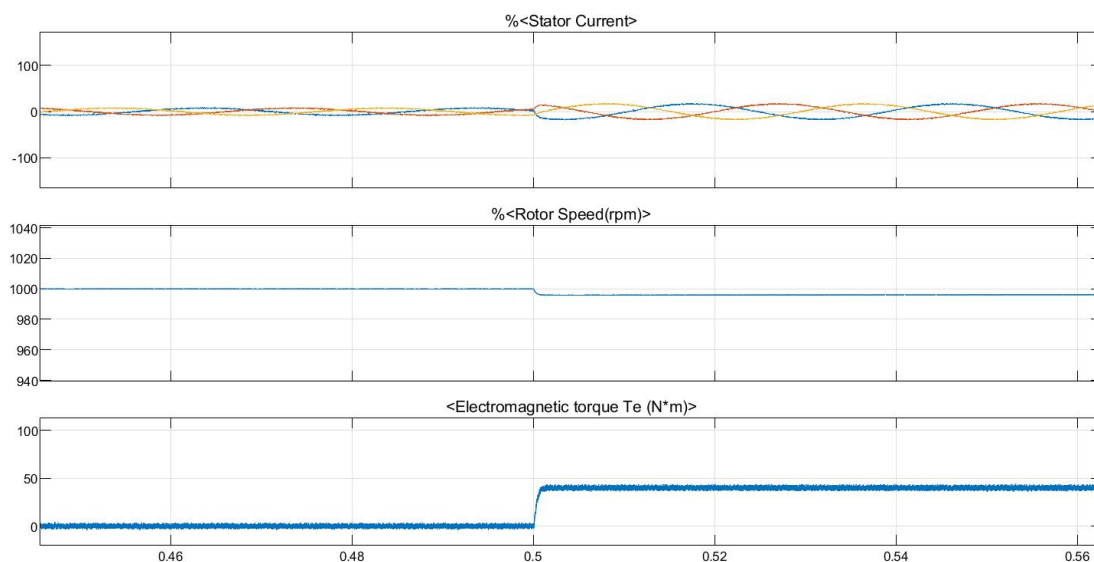


图 10 0.5s 附近电机转速、电流、转矩波形（负载转矩变化）

在 0.5 s 时，负载转矩突然增加。由于此时电磁转矩小于负载转矩，电机转速略有下降。为响应这一变化，0.5 s 之后电流增大，电磁转矩随之上升，促使转速重新回升至给定值 1000 rpm。经过动态调节过程

后，电磁转矩与负载转矩及阻尼转矩达到新的平衡状态，稳定在约 40 Nm 附近，电机转速也恢复并保持在 1000 rpm。此时电流趋于稳定，但相比之前的空载状态，负载运行下的电流明显增大。

#### 6、同时具有转速阶跃和负载阶跃的全过程波形

在 0.5s 时设置 0-40Nm 的负载阶跃，同时在 1s 时设置 1000-1400rpm 的转速阶跃，波形如图 11 所示。

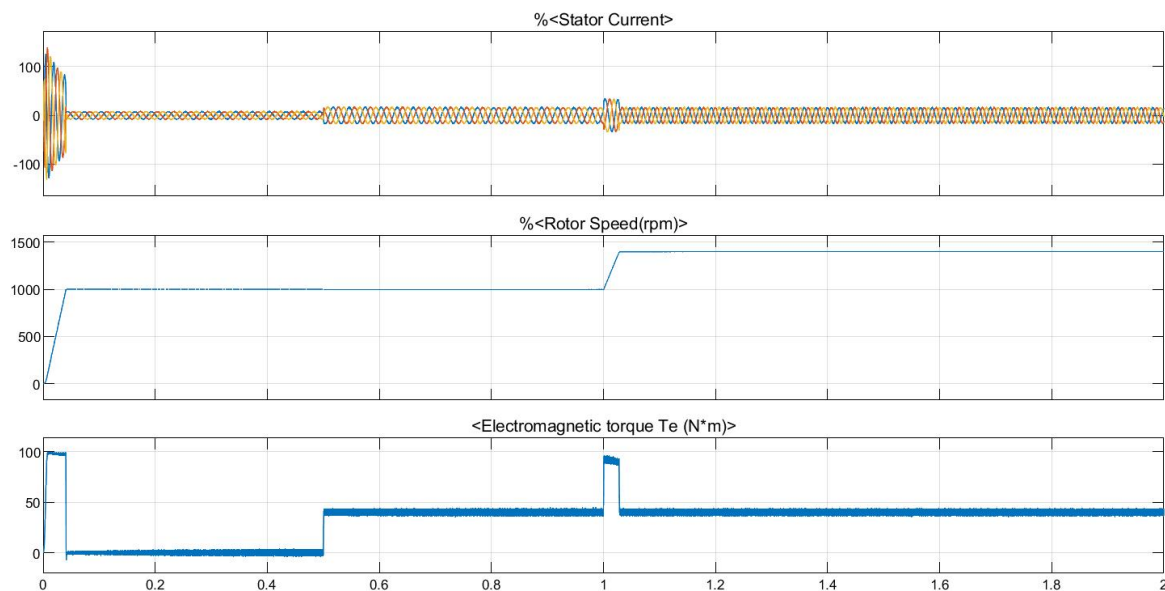


图 11 同时具有转速阶跃和负载阶跃的全过程波形

此时，电机定子电流在旋转坐标系下的 dq 分量如图 12 所示。

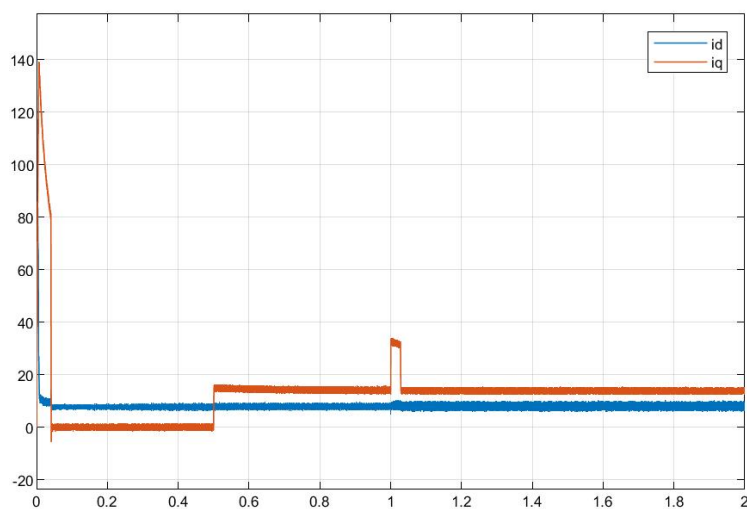


图 12 定子电流 dq 分量波形

由图可见， $i_d$  基本保持不变， $i_q$  与电磁转矩变化趋势一致，二者互不影响，表明 dq 轴成功解耦。



## 六、 思考、心得与体会

### 1、实验心得与体会

本次实验中，我完成了异步电机矢量控制系统的 MATLAB/Simulink 仿真建模，搭建了完整的矢量控制系统，并对电流、磁通、转速、电磁转矩等关键变量的波形进行了观测与分析。通过本次实践，我不仅加深了对矢量控制基本原理的理解，也进一步掌握了在 Simulink 环境下构建闭环电机控制系统的建模思路与调试方法。

在仿真实践过程中，我逐步熟悉了各功能模块的配置与连接方式，包括坐标变换模块、PI 调节器、SVPWM 模块等，提升了系统级建模与仿真的能力。同时，通过对仿真结果的分析，我对电机在动态和稳态过程中的响应特性有了更直观的认识，理论知识得到了有效巩固。

总的来说，此次实验不仅增强了我的动手能力和问题分析能力，也让我更加认识到理论与实践相结合的重要性，为今后深入学习电机控制技术打下了坚实的基础。

### 2、思考题：

改变电机转速控制器和电流控制器的 PI 参数对电机的动态性能有什么影响？

- （1）比例系数， $K_p$  增大，响应速度加快，提高系统的动态性能，但过大的  $K_p$  会使系统稳态性能变差。
- （2）积分系数， $K_i$  消除系统的稳态误差，提高系统的无差度。 $K_i$  加大，系统超调量增加，系统容易振荡，区域不稳定； $K_i$  过小，积分作用太弱，导致稳态误差难以快速减小。