

东南大学自动化学院

《电机与电力电子》仿真作业

作业名称：直流电机原理分析及BLDC调速系统Simulink仿真

作业次数：第2次

姓 名： 张韞译萱 学 号： 08023214

作业完成时间： 2025 年 9 月 25 日

1 作业要求

1. 调研“无刷直流电机”、“电磁弹射器”的基本原理。并分析对比有刷、无刷直流电机、弹射器三者在原理上的异同。
2. 针对 MATLAB 程序“power_brushlessDCmotor”，试着运行，并给出有关结果和自己的理解。

2 回答或解答内容

2.1 原理调研与对比

通过本次调研，我对相关器件的工作原理有了更深入的了解。

2.1.1 基本原理

- **无刷直流电机 (BLDC):** 无刷直流电机的核心是用电子换向替代了机械电刷。它的定子是线圈，转子是永磁体。工作时，霍尔传感器检测转子位置，控制器据此让不同的定子线圈通电，产生旋转磁场，从而带动转子旋转。
- **电磁弹射器:** 电磁弹射器可以看作一个为特殊任务设计的大功率直线电机。它的轨道上有很多线圈（定子），滑块是动子。弹射时，轨道线圈依次序通入强电流，产生一个高速移动的磁场波，推动滑块前进，在短距离内完成加速。

2.1.2 异同点分析

在了解了基本原理后，我总结了它们的异同点：

- **共同基础:** 它们的物理基础都是电磁感应和洛伦兹力，都是利用磁场和电流的相互作用，把电能转为机械能。
- **主要区别:**
 1. **有刷 vs. 无刷电机:**
 - **换向方式:** 有刷电机靠“电刷-换向器”的机械接触来换向，有磨损和火花。无刷电机用霍尔传感器和控制器来电子换向，没有物理接触，寿命长，噪声小。
 - **结构:** 有刷电机一般线圈在转子，磁体在定子。无刷电机常反过来，线圈在定子，磁体在转子，这样散热更好。
 2. **旋转电机 vs. 直线弹射器:**
 - **运动形式:** 电机是旋转运动，输出转矩和转速。弹射器是直线运动，输出推力和速度。
 - **工作模式:** 电机可长时间工作。弹射器是短时高爆发工作，瞬时功率极大。

2.2 Simulink 仿真与分析

我按照要求，对“power_brushlessDCmotor.slx”模型进行了仿真，分析如下。

2.2.1 模型结构分析

该模型搭建了一个 BLDC 电机的闭环调速系统，如图所示。它包括 PI 调速器、三相逆变器、电机本体和换向逻辑等部分。整个系统的工作逻辑是：比较目标转速和实际转速的差异，用 PI 控制器决定逆变器的输出，驱动电机。同时，电机上的霍尔信号反馈给换向逻辑，指导逆变器正确地开关，构成闭环。

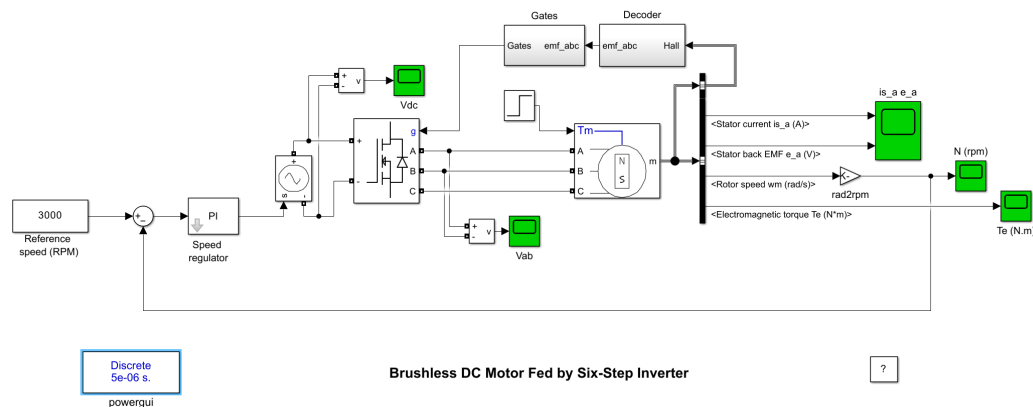


图 1: power_brushlessDCmotor Simulink 模型

2.2.2 仿真波形分析

我对仿真过程中的关键波形进行了观察。

1. 转速 N (rpm):

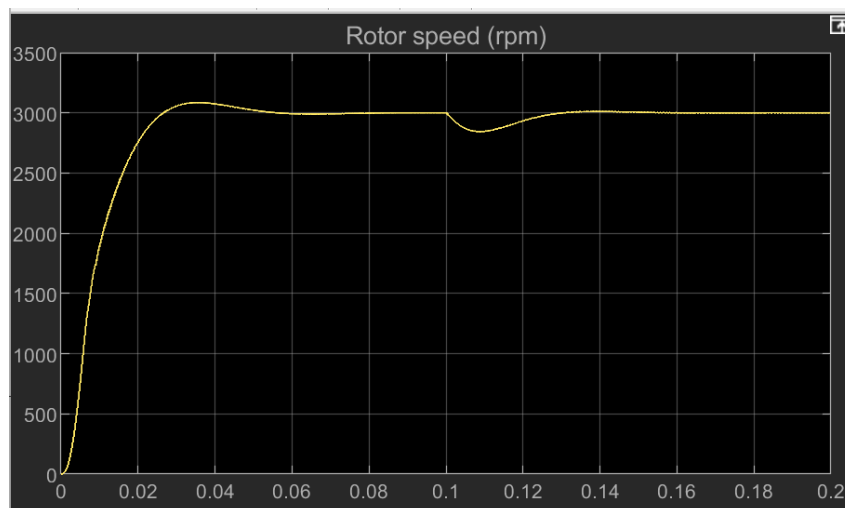


图 2: 电机转速波形

分析: 从转速图可以看到，电机启动后，转速很快就达到了设定的 3000 RPM，只有一个很小的超调，然后就稳定了。这表明 PI 控制器起到了很好的调速效果，系统响应快，稳速精度也高。

2. 电磁转矩 T_e (N.m):

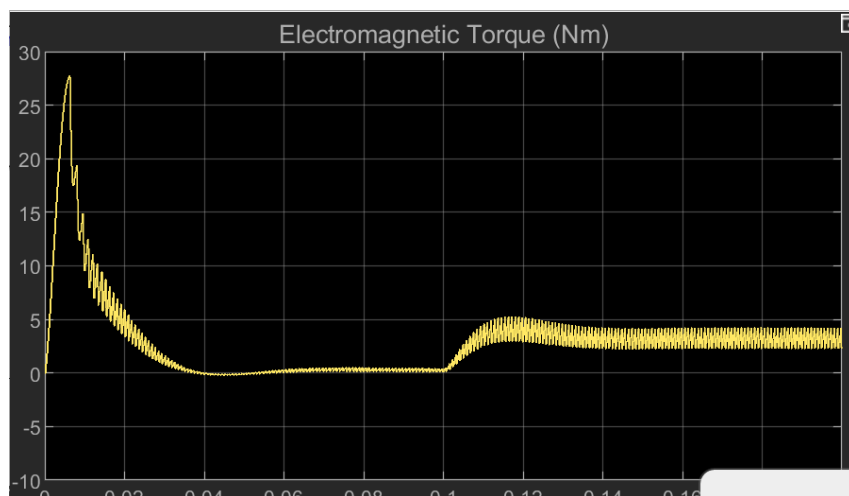


图 3: 电磁转矩波形

分析: 启动时, 电机输出了一个很大的转矩来加速。稳定后, 转矩就减小到只用于平衡负载。另外, 转矩波形有明显的脉动, 这是六步方波控制的固有特点, 主要由换向瞬间的电流变化引起。

3. A 相电流与反电动势 (i_{s_a} e_a):

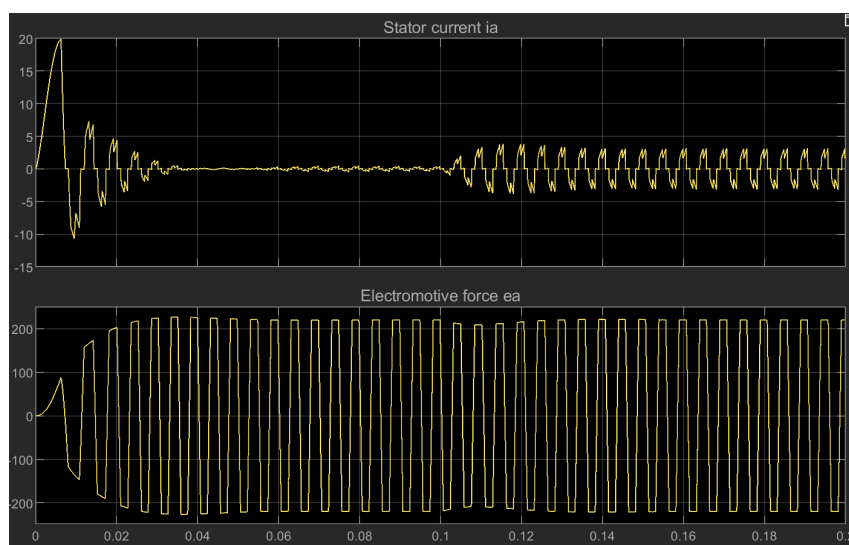


图 4: A 相电流与反电动势波形

分析: 图中, 反电动势 e_a 是梯形波, 电流 i_{s_a} 是准方波, 每次导通 120 度。这与六步换向的控制原理相符, 即在反电动势的平顶部分导通电流, 以获得较平稳的转矩。

4. 直流母线电压 (Vdc) 与 AB 线电压 (Vab):

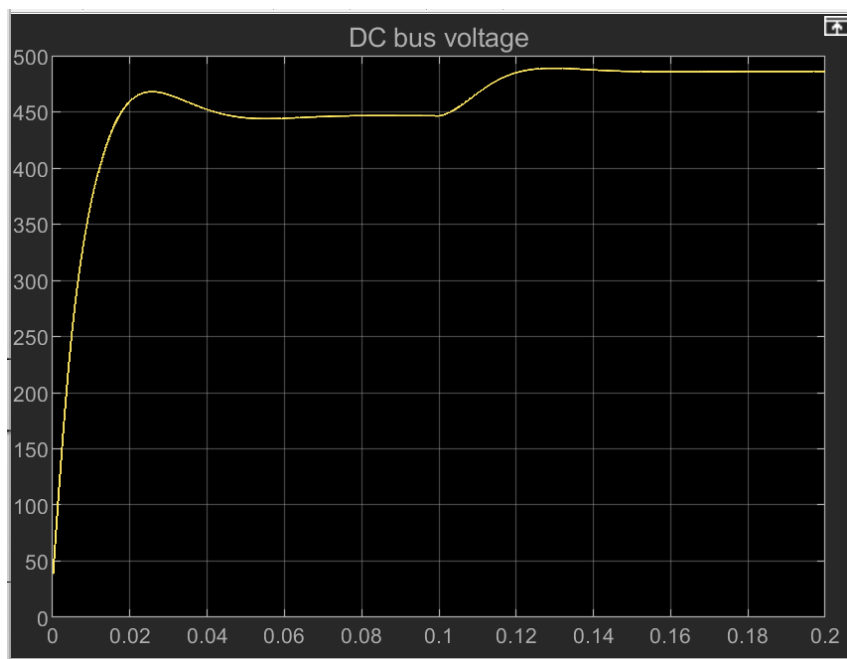


图 5: 直流母线电压

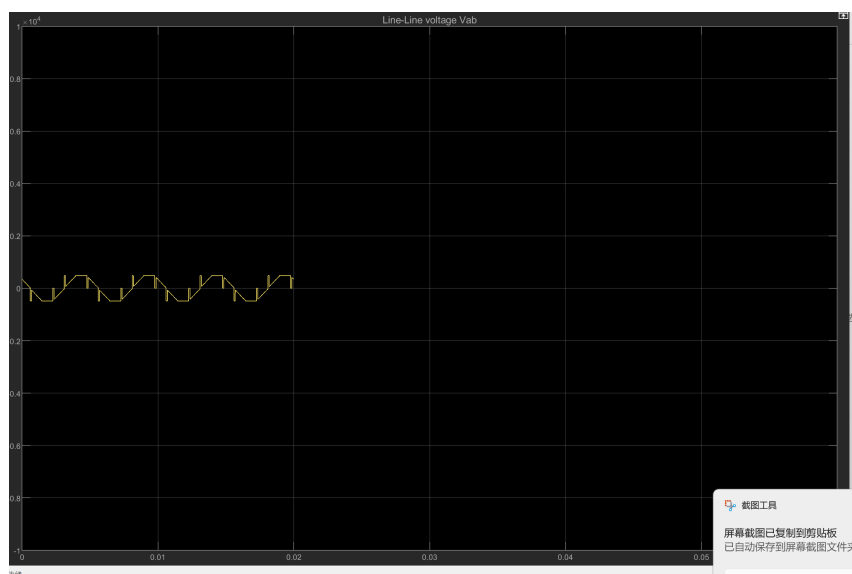


图 6: AB 线电压波形

分析: V_{dc} 是整流后得到的直流母线电压，波形基本平稳。 V_{ab} 是逆变器输出的 A、B 相间线电压，可以看到它是一个阶梯状的脉冲波形。这个波形是逆变器中不同开关管组合导通的结果，其基波分量是驱动电机转动的主要因素。