



南京理工大学
NANJING UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

电气工程认知实习仿真报告

学 院： 自动化学院

班 号： 1901 班

姓 名： 陈韵如

学 号： 922110800802

指导老师： 王瑞霞、张俊芳

2024 年 7 月 10 日

电气工程认知实习仿真报告

陈韵如

南京理工大学 自动化学院

电气工程及其自动化专业 1901 班

日期：2024 年 7 月 10 日

1 实习目的

1. 对三相感应电机有限元仿真。
2. 对电机的空载启动进行仿真，观察其磁场分布，并分析其电磁转矩，转速，定子三相电流，三相绕组磁链以及感应电动势曲线。
3. 对电机的负载启动情况进行仿真，观察其磁场分布，并分析其电磁转矩，转速，定子三相电流，三相绕组磁链以及感应电动势曲线。

2 仿真步骤

2.1 前置要求

2.1.1 仿真软件

Ansys Electronics Desktop

2.1.2 三相感应电机参数

- 1) 额定功率: $P_N = 200W$
- 2) 额定频率: $f_N = 50Hz$
- 3) 额定转速: $n_N = 1470rpm$
- 4) 额定电压: $U_N = 100V$
- 5) 极数: $2P=4$
- 6) 线径: $0.45mm$



(a) 定子:

右图为三相感应电机的定子模型。

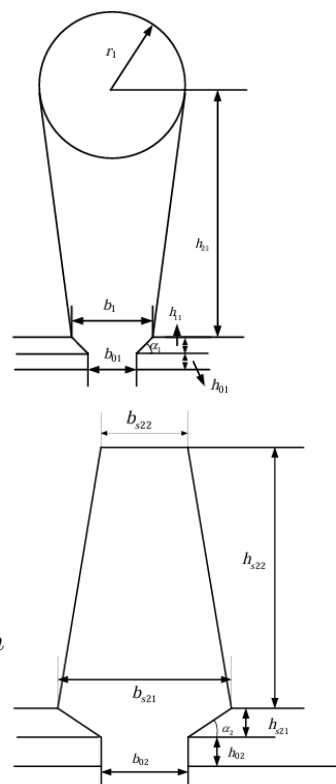
外径: $D_1 = 90mm$; 内径: $D_{i1} = 54.2mm$; $l = 52mm$

定子槽型采用斜肩圆底梨形槽:

$Z_1 = 24$ $b_{01} = 2mm$ $h_{01} = 0.8mm$

$b_1 = 4.2mm$ $\alpha_1 = 30^\circ$ $r_1 = 3.2mm$

$h_{11} + h_{21} = 7.8mm$



(b) 转子:

右图为三相感应电机的转子模型。

外径: $D_2 = 53.5mm$; 内径: $D_{i2} = 13.8mm$; $l = 52mm$

转子槽型采用斜肩平底槽: $Z_2 = 18$ $b_{02} = 1mm$ $h_{02} = 1mm$

$b_{s22} = 1.5mm$ $\alpha_2 = 30^\circ$

$h_{s21} + h_{s22} = 12mm$

端环: end ring width=5mm; end ring height=13mm;

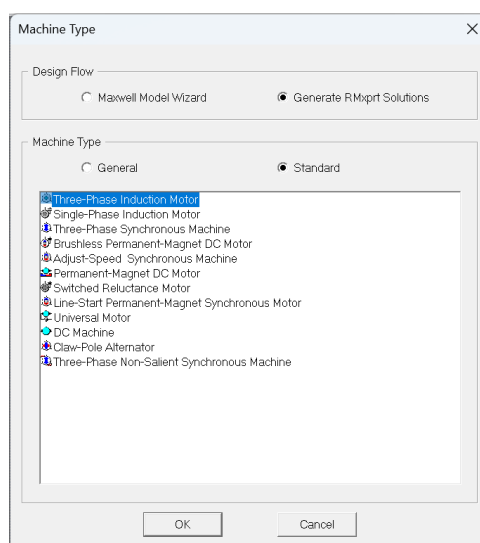
2.2 使用 RMxpert 模块进行仿真

RMxpert 优点

1. RMxpert 模块直接带有三相异步电机模型，建模简单。
2. 采用等效电路和等效磁路方法计算电机模型，计算周期非常短暂。

2.2.1 Step1: 选择电机仿真类型

选择三相感应电机 (Three-Phase Induction Motor)



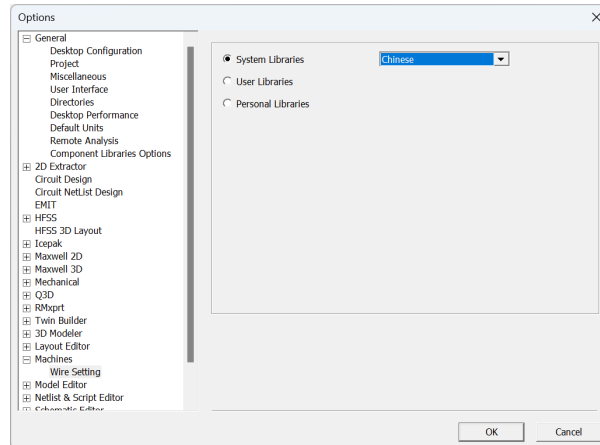
2.2.2 Step2: 添加 RMXprt 材料库

加入 RMXprt 模块自带的材料库，利用其中的相应材料。执行命令：Tools/Configure Libraries，打开 Configure Libraries 对话框，将 RMXprt 添加到材料库。

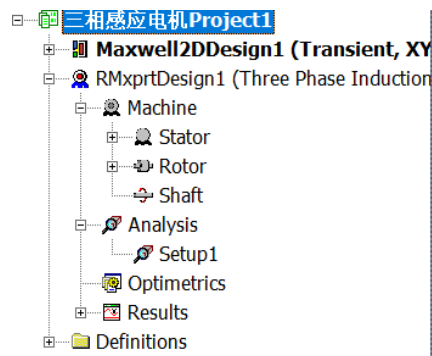
本软件直接在材料库中勾选所有材料即可，不需要单独链接 RMXprt 材料库。

2.2.3 Step3: 线规定义

执行命令：Tools/Options/Machine Options 选择中国国标线规



2.2.4 Step4: 展开工程树，设定电机参数



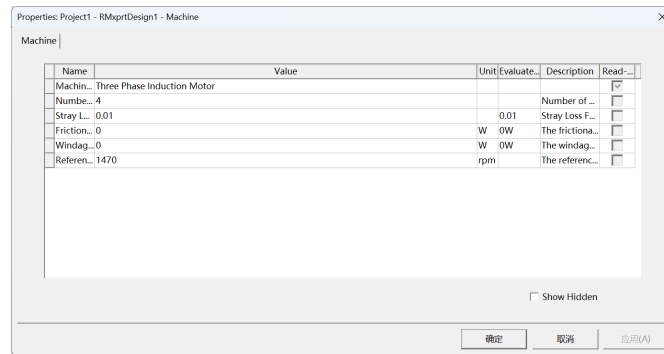
(1)Machine 项设置

双击 Machine，按照参数要求对电机相关参数进行设置。其相关参数如下：

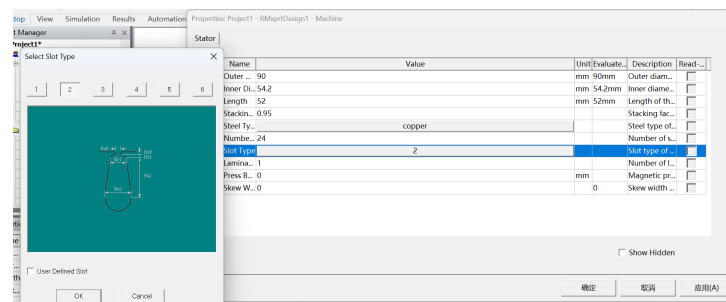
- 电机类型 Machine Type: Three-Phase Induction Motor
- 电机极数 Number of Poles:4（不是电机对数）
- 电机杂散损耗百分比 Stray Loss Factor:0.01
- 电机机械摩擦损耗 Frictional Loss:0W
- 电机风磨损耗 Windage Loss:0W
- 计算时的初速度 Reference Speed:1470rpm

(2)Stator 项设置

双击 Stator，按照参数要求对电机相关参数进行设置。其相关参数如下：



- 定子铁心外径 Outer Diameter:90mm
- 定子铁心内径 Inner Diameter:54.2mm
- 定子铁心实际轴向长度 Length:52mm
- 定子铁心叠压系数 Stacking Factor:0.95
- 定子铁心冲片材料 Steel Type: 在 RMsprt 材料库中选择 D23-50 作为定子冲片材料。
- 定子槽数 Number of slots:24
- 定子槽型 Slot Type: 总共有六种定子槽形，单击 Slot Type, 选择 2 号梨型槽
- 定子冲片的扇形分辨率 Lamination Sectors:1（代表冲片为一个整体）
- 定子端 Press Board Thickness:0mm（不考虑定子端部压板的导磁性对电机端部漏抗的影响）
- 定子斜槽数 Skew Width:0



(3) Sator-Slot 项设置

双击 Slot，按照电机定子槽尺寸图，对各部分尺寸进行赋值。

注意：不要勾选 Auto Design

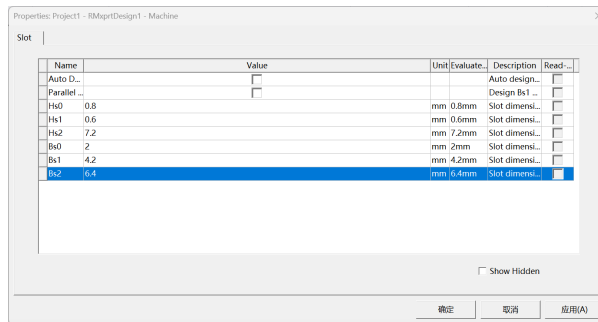
$$H_{s0} = 0.8mm \quad H_{s1} = 0.6mm \quad H_{s2} = 7.2mm$$

$$B_{s0} = 2mm \quad B_{s1} = 4.2mm \quad B_{s2} = 6.4mm$$

(4) Sator-Winding 项设置

(a) 双击 Winding，对定子绕组进行设置。

- 绕组层数 Windig Layers:1
- 绕组的匝间连接方式 Winding Type: Whole- Coiled
- 绕组的并联支路数 Parallel Branches:1
- 每匝槽数 Conductors per Slot:39



- 一匝线圈的并绕根数 Number of Strands:0
- 漆包线双边漆绝缘的厚度 Wire Wrap:0.06mm
- 所用铜导线线规 Wire Size: diameter:0.45mm

(b) 单击 **End/Insulation**，对异步电机定子绕组端部和绝缘进行设定。

- End extension: 15mm
- Base inner radius: 0mm
- Tip inner diameter: 0mm
- End clearance: 0mm
- 定子槽楔 Wedge thickness: 2mm
- 最高定子槽满率 Limited fill factor: 0.8

选中工程树中的 Stator 项，在单击主界面中部的 main 按钮，会出现已设置好的定子冲片横截面：同样，单击 Winding Editor 按钮，会出现定子绕组排序图。

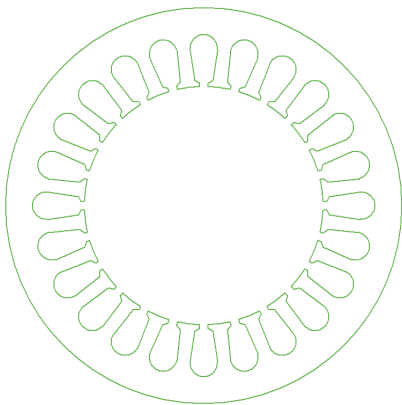


图 1: 定子冲片横截面

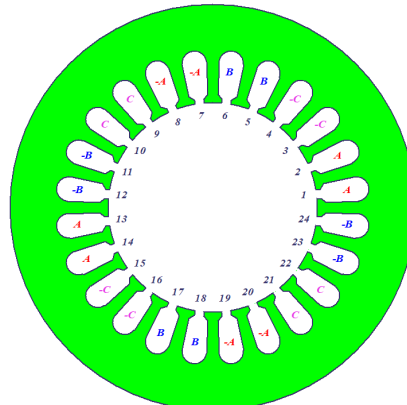


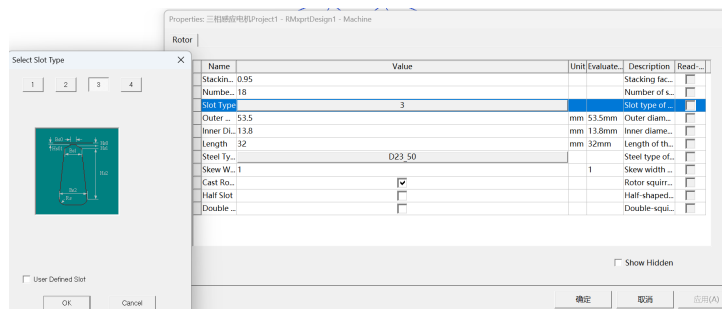
图 2: 定子绕组排序图

(5)Rotor 项设置

双击 Rotor，按照参数要求对电机相关参数进行设置。

- 电机定子铁芯叠压系数 Stacking factor: 0.95
- 转子槽数 Number of Slots: 18
- 转子槽型代号 Slot Type: 3
- Outer Diameter: 53.5mm
- Inner Diameter: 13.8mm
- Length: 52mm

- 转子冲片材料类型 Steel Type: D23-50 (选择转子槽与转子冲片材料与定子类似)
- 斜槽数 Skew Width: 1
- 铸造转子 Cast Rotor: $\sqrt{\quad}$
- 转子半槽设置 Half Slot: 不勾选
- 双鼠笼设置 Double Cage: 不勾选

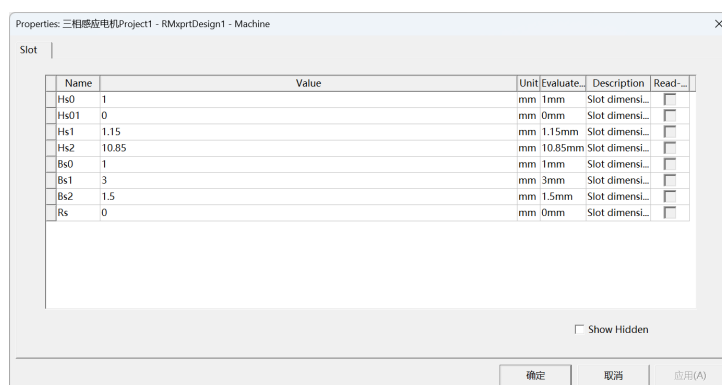


(6)Rotor-Slot 项设置

双击工程树中位于 rotor 下的 slot 项:

$$H_{s0} = 1mm \quad H_{s01} = 0mm \quad H_{s1} = 1.15mm \quad H_{s2} = 10.85mm$$

$$B_{s0} = 1mm \quad B_{s1} = 3mm \quad B_{s2} = 1.5mm \quad B_{s3} = 0mm$$



(7)Rotor-Winding 项设置

双击 winding, 对转子鼠笼绕组进行设置。

- 转子鼠笼导条材料 Bar Conductor Type: cast-alumnum-75C
- 鼠笼导条高于转子端面的成长度 End Length: 0mm
- 端环轴向厚度 End Ring Width: 2mm
- 端环径向长度 End Ring Height: 13mm
- 端子端环材料 End Ring Conductor Type: cast-alumnum-75C

(8)shaft 设置

用于设置转轴是否导磁, 若转轴导磁, 相当于加大了转子轭厚度, 需对计算结果加以修正: 不导磁, 则不需要修正。此处不需要勾选。

(9) 仿真设定

1. 执行命令: RMxprrt/Analysis Setup/Add a Solution Setup 设定电机仿真状态参数

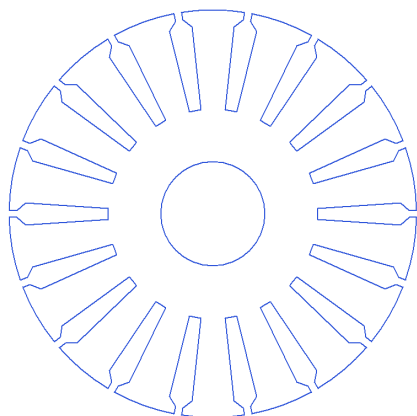


图 3: 转子冲片横截面

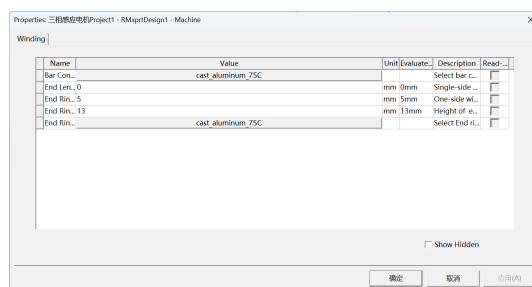
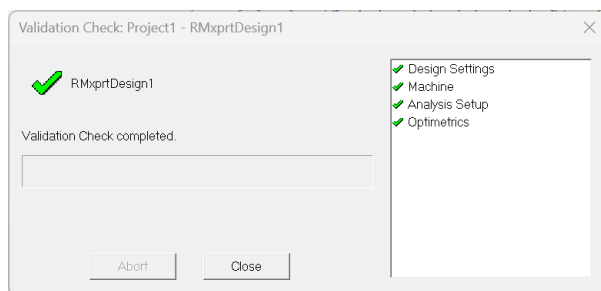


图 4: Rotor-Winding 项设置

2. Load type: const power
3. 额定功率 Rated output power: 200W
4. 额定电压 Rated voltage: 100V
5. 额定转速 Rated speed: 1470rpm
6. 额定转速 Frequency: 50HZ

完成以上操作之后进行检测，检测无误后便可进行求解。



执行命令：RMxprr/Results/Solution Data 弹出计算结果，performance 为各参数项，单击 design sheet 可查看设计单表，单击 curves 可查看性能曲线。

3 与 Maxwell2D 有限元模型的转换

1. 执行命令：RMxprr/Design Settings，电极 User Defined Data，勾选 Enable，并在下方空白区域输入 Fractions 1，点击确认后再次运行仿真。
2. 执行命令：RMxprr/Analysis Setup/Create Maxwell Design，弹出窗口，点击确认生成 Maxwell 2D 模型。
3. 双击工程树中位于 Modle 下的 Motionsetup1，在弹窗中设置初始转速及相应的负载转矩。
4. 双击位于 2D 模型工程树中的 Analysis 下的 Setup1，Save Fields，在弹窗左侧设置相应的数据之后，点击 Add to List，点击确认关闭窗口。

完成以上操作之后，进行检测，检测无误后对模型进行求解。

求解完成后执行命令：Maxwell 2D/Results/Create Transient Report/Rectangular Plot，在该窗口中即可查询所需要的曲线图。

4 仿真结果及分析

4.1 RMxpert 模块仿真结果

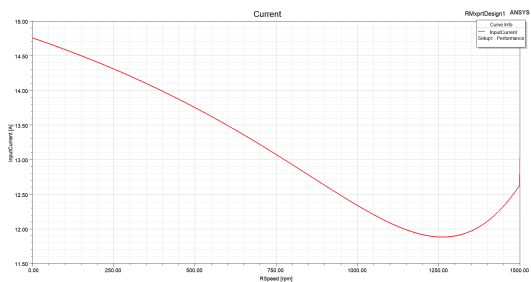


图 5: Current

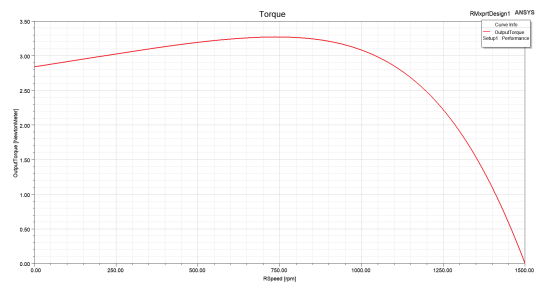


图 6: Torque

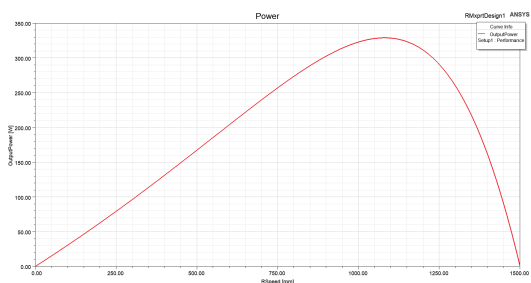


图 7: Power

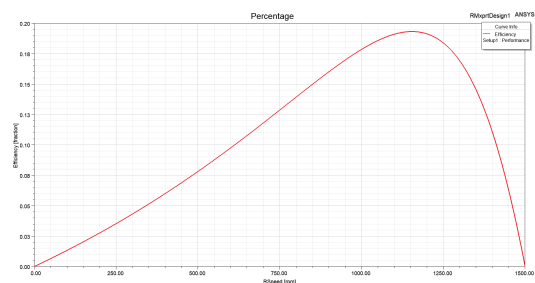


图 8: Percentage

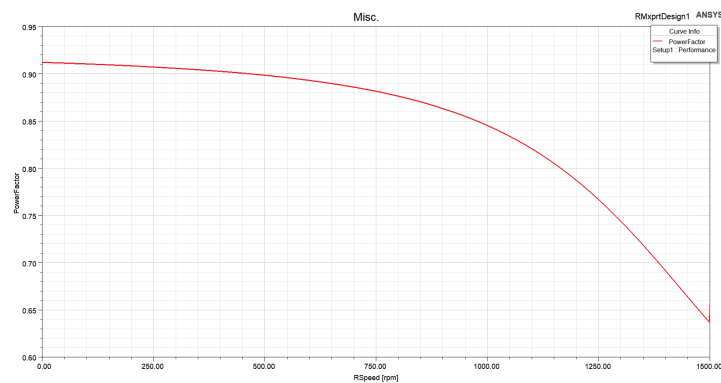


图 9: Misc

4.2 Maxwell2D 模型仿真结果

4.2.1 空载运行

(1) 空载转矩：在电机空载启动的过程中，会产生较大的起动电流，电机获得较大的电磁转矩。随着电枢电压的建立，电磁转矩趋于稳定，由于负载转矩为 0，电磁转矩会在一段时间后与负载转矩平衡而趋于 0。

(2) 空载转速：空载启动时电机转速会迅速达到额定转速并趋于稳定。

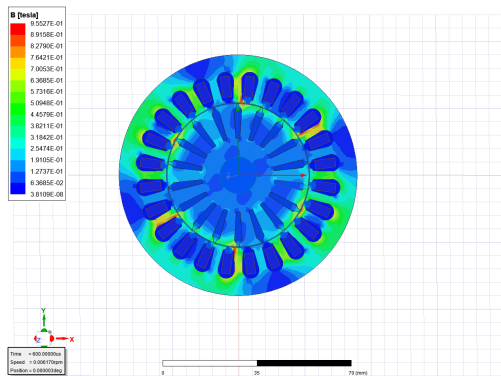


图 10: 磁场分布

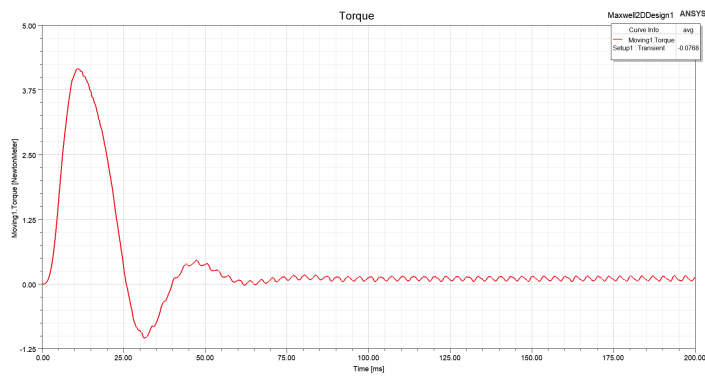


图 11: 空载转矩

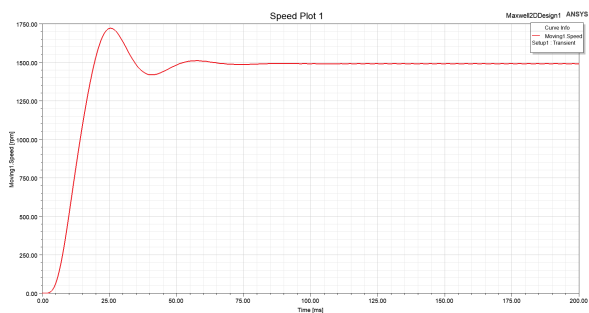


图 12: 空载转速

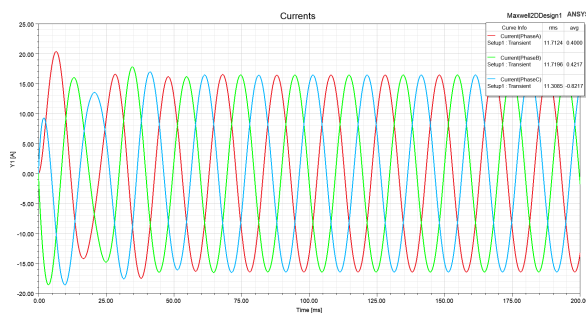


图 13: 定子三相电流

(3) 定子三相电流是指流经定子绕组的三相交流电流。在空载启动过程中，定子三相电流会随着时间的推移而增大，直到达到稳定状态。

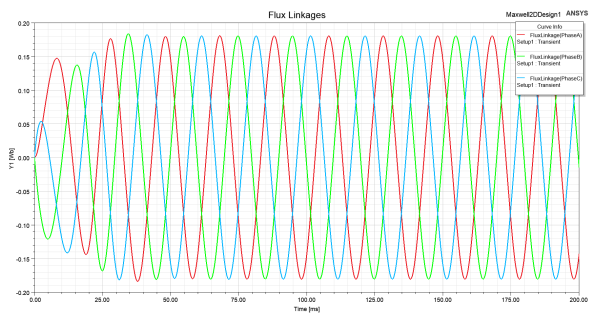


图 14: 三相绕组磁链

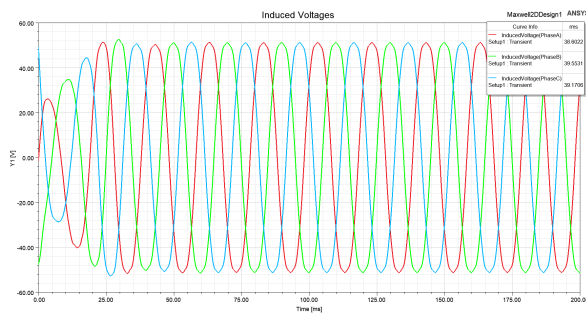


图 15: 感应电动势

(4) 三相绕组磁链是指三相绕组中的磁通量。在空载启动过程中，三相绕组磁链会随着时间的推移而增大，直到达到稳定状态。

(5) 感应电动势曲线是指感应电机中由于转子磁场切割定子绕组而产生的感应电动势随时间变化的曲线。在空载启动过程中，感应电动势曲线会随着转速的升高而逐渐建立起来，并趋于稳定。

4.2.2 负载运行

设定负载转矩为 5Nm。

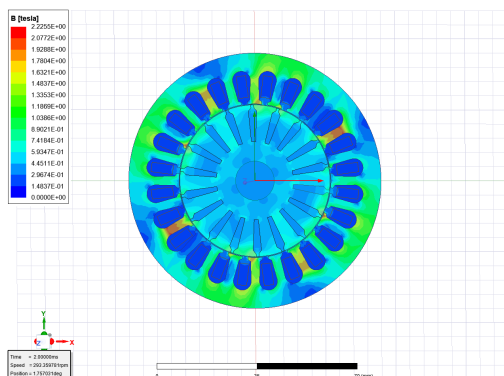
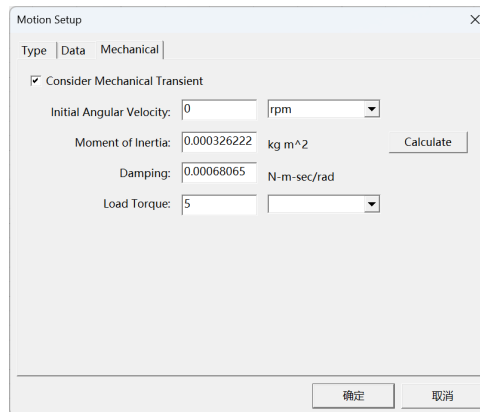


图 16: 磁场分布

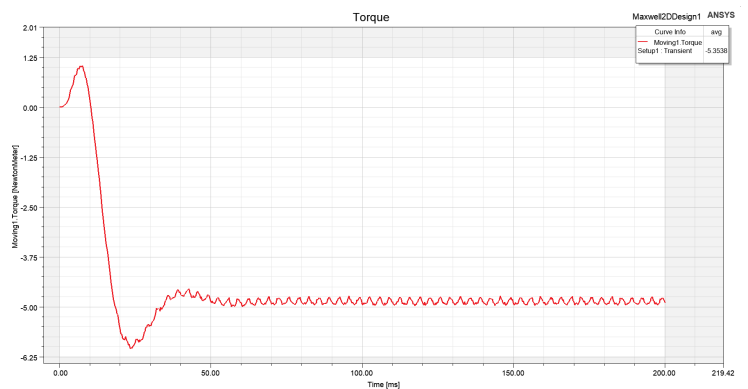


图 17: 电磁转矩

(1) 电磁转矩：和空载起动类似，电机负载启动时同样会产生较大的起动电流，电机获得较大的电磁转矩。随着电枢电压的建立，电磁转矩趋于稳定，由于负载转矩为 5Nm，电磁转矩会在一段时间后与负载转矩平衡而趋于 5Nm。

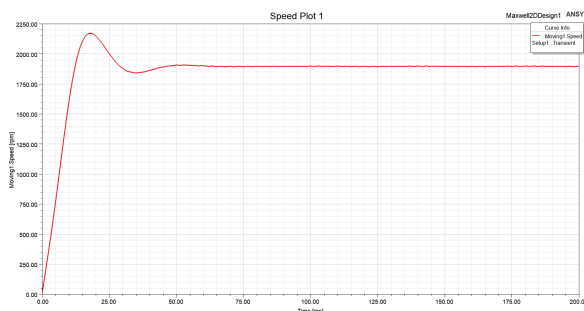


图 18: 负载转速

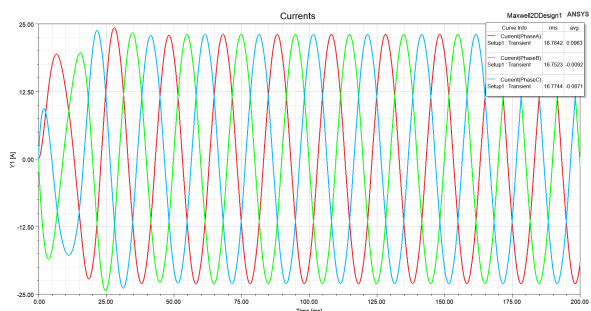


图 19: 定子三相电流

(2) 负载转速：负载启动时电机转速会迅速升高并趋于稳定, 且随负载转矩升高, 转速会降低。

(3) 定子三相电流是指流经定子绕组的三相交流电流。在负载启动过程中，定子三相电流会随着负载的增加而增大。

(4) 三相绕组磁链是指三相绕组中的磁通量。在负载启动过程中，负载的增加会导致电枢电流增加, 从而加强交轴去磁作用, 使三相绕组磁链减小。

(5) 感应电动势曲线是指感应电机中由于转子磁场切割定子绕组而产生的感应电动势随时

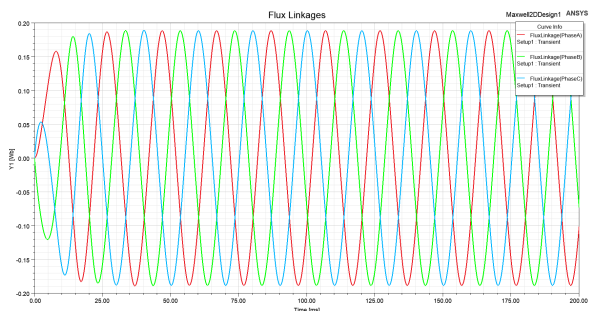


图 20: 三相绕组磁链

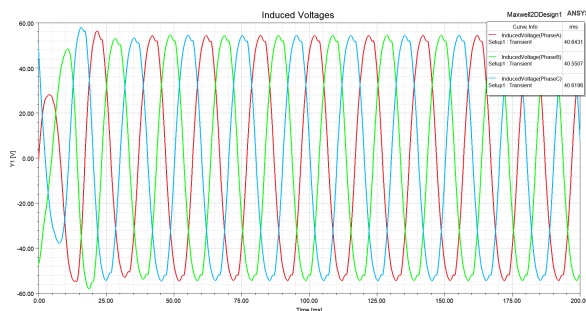


图 21: 感应电动势

间变化的曲线。在负载启动过程中，感应电动势曲线会随着负载的增加而减小。

5 实习总结

在本次实习中，我通过 Ansys Electronics Desktop 对三相感应电机空载和负载启动情况分别进行了仿真，分析得到电机内部磁场分布情况、电磁转矩、转速、定子三相电流、三相绕组磁链以及感应电动势曲线等重要数据，直观了解了三相感应电机的启动过程中，各项数据的变化情况。仿真比书上的理论讲解更直观清楚，让我明白了仿真对于我们的学习和后续研究具有重要的意义，是十分有用的工具。

在本次仿真实验中，我初步熟悉了利用 Maxwell 进行仿真的步骤，并学会了如何对三相感应电机进行仿真以及如何与 Maxwell 2 D 有限元模型进行转换。仿真软件的功能十分强大，往后的深入学习之路，是漫长的，但我会认真探索，多学多练，提高仿真能力，在今后频繁对学习到的模型进行仿真，达到仿真深入对知识的理解，同时又能提高仿真技能的目的，不断提升我的专业素养和技术水平。

6 参考文献

- [1].Ansoft 12 在工程电磁场中的应用
- [2].Ansoft Maxwell 13 电机电磁场实例分析
- [3].ANSYS Workbench 有限元分析工程实例详解