

Ansys-Maxwell-RMxprt 电机仿真指导

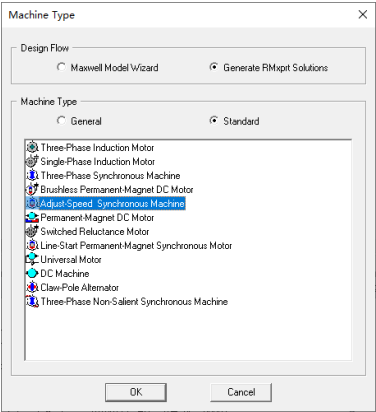
# 利用 RMxpprt 建立电机模型

RMxpprt 是在 Ansys 软件中嵌入的一个电机分析模块，该模块基于等效电路和磁路的计算方法，可以实现对电机的快速建模和分析。因此在电机设计中，可以利用该模块快速建立常见电机的模型，并进行初步的分析和迭代优化。RMxpprt 可以直接快速生成 Ansys Maxwell 模型，可以避免直接利用 Maxwell 的复杂建模过程。因此，本课程中，采用的是用 RMxpprt 建模，然后生成 Maxwell 模型。感兴趣的同学可以查阅资料，学习利用 Maxwell 直接进行电机建模的方法。

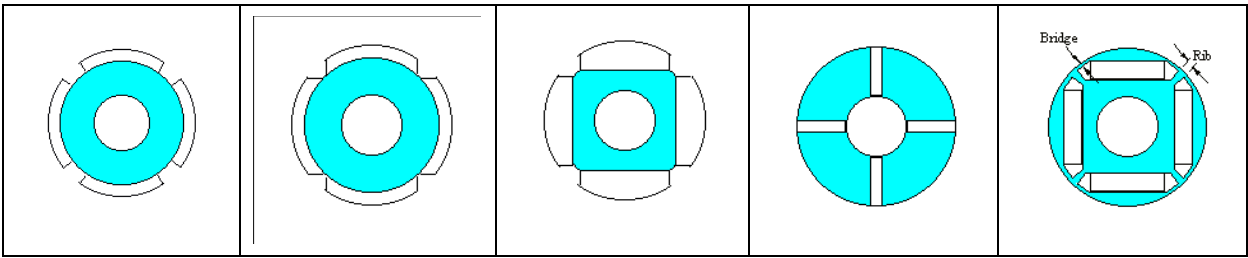
## 一、 建立工程

打开 Ansys Electronics Desktop 软件， 建立一个新的 Project （File-New）， 保存 Project。

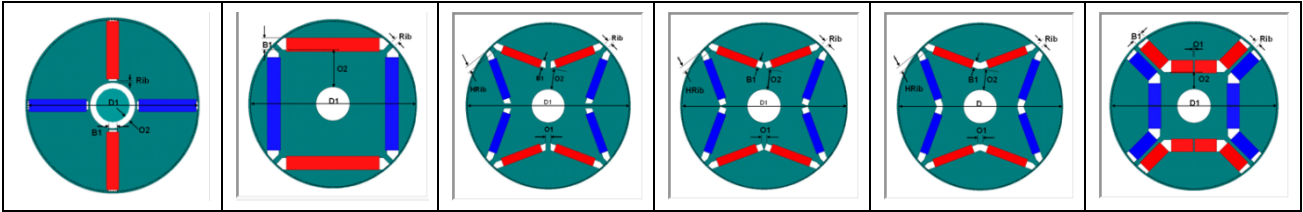
建立新的 RMxpprt Design 模块： Project- Insert RMxpprt Design， Design Flow 选择 Generate RMxpprt Solutions， Machine Type 选择 General（通用电机模型）或者 Standard（基础电机模型）都可以（分别有不同的电机类型）。如果是做永磁同步电动机建模，可以选择 General-IPM Synchronous Machine，或者 Standard-Adjust-Speed Synchronous Machine(即调速型永磁电机，也被称作正弦波永磁同步电机)，如果选择异步电动机建模，可以选择 General-Inner-Rotor induction machine，或者 Standard-three phase induction motor。



在永磁电机的模型中，转子磁极可以择表贴式，或者内埋式的“一”字型。

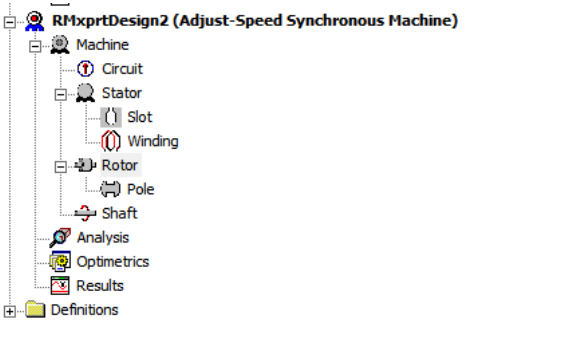
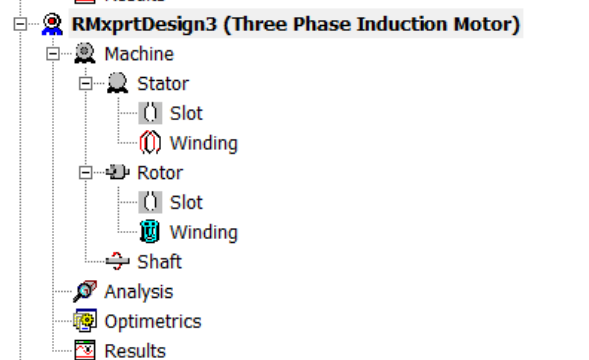


如果要选择其他类型的磁极，可以在 Machine Type 中选择 General，然后可以选择 synchronous machine- IPM Synchronous machine，可以有如下图所示的“V”型等。



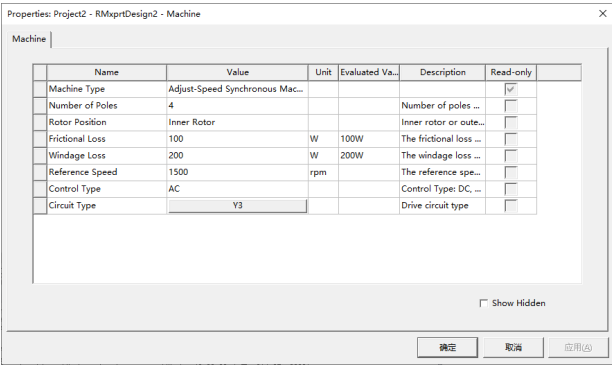
下面，我们就利用 RMxpprt 模块来一步步设计我们需要的电机。RMxpprt 的设计中，我们只需要按照 Design

下面的目录顺序完成我们的设计，即分别设置 Machine、Stator(包括 Slot 和 winding)、Rotor(包括 pole，异步电机还包括转子的 winding)，然后设置 Analysis，就基本上完成了电机的设计和分析。

	
永磁同步电机设计	异步电机设计

二、电机的模型建立

双击 **Machine**，设置电机的基本参数：极数（例如：2p=4，该数值自选）。损耗部分可以先大致设置一下，比如设置 10W 和 20W，Reference speed 指的是测量摩擦损耗和风阻损耗的转速，可以选择额定转速。Control Type 选择 AC 控制。电机的基本参数设置完毕。



三、设置定子参数

设置电机的定子尺寸：定子外径（固定为 160mm），内径（建议 90~100mm 附近），长度（固定为 60mm），转子轴直径（固定为 30mm），部分尺寸（定子内径、转子外径、气隙）可以自己进行调整。

Steel Type 选择 DW315\_50（Location SysLibrary）。 如果没找到这个材料，在窗口右上角确认材料库为[sys]RMxpert。

定子槽数（Number of Slots）选择 24 槽（也可以选择其他）。选择槽型（任选）。

**调研：请调研槽型及各部分尺寸的设置原则、槽面积的计算。**

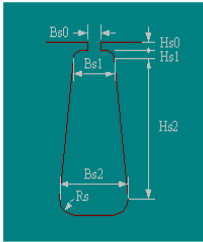
Stacking Factor 叠压系数是指的硅钢片的叠片参数，默认即可。

Skew Width 斜槽暂时不设置。同学可以查询资料，学习什么是斜槽，斜槽的作用是什么。

	参数	设置	说明
1	Outer Diameter	160	定子外径，决定了电机的尺寸。请调研常用的电机机座尺寸
2	Inner Diameter	100	定子内径

3	Length	60	定子长度
4	Stacking Factor	0.95	叠压系数，也就是硅钢片的有效厚度和总厚度的比值（层与层之间有间隙），国标规定大于 0.95
5	Steel Type	DW315_50	同学调研硅钢片的牌号和数字的含义
6	Number of Slots	24	
7	Slot Type	4	槽型。同学可以调研有哪些常用槽型
8	Skew width	0	0 代表斜槽，请调研斜槽和斜槽的作用

槽尺寸设置：双击 slot，设置槽的尺寸参数。这部分可以一边设置，一边看定子图。槽的设置要考虑定子铁心的利用率。定子铁心分为两部分，一部分是槽，用于放置铜线，是电路部分。一部分是齿和轭，是磁路部分。这部分可以在后续 Maxwell 的磁场仿真中进行分析并改进。



Properties: Project2 - RMAprtDesign2 - Machine

Slot

Name	Value	Unit	Evaluated Va...	Description	Read-only
Auto Design	<input type="checkbox"/>			Auto design Hs2, B...	<input type="checkbox"/>
Parallel Tooth	<input type="checkbox"/>			Design Bs1 and Bs...	<input type="checkbox"/>
Hs0	1	mm	1mm	Slot dimension: Hs0	<input type="checkbox"/>
Hs1	1	mm	1mm	Slot dimension: Hs1	<input type="checkbox"/>
Hs2	12	mm	12mm	Slot dimension: Hs2	<input type="checkbox"/>
Bs0	4	mm	4mm	Slot dimension: Bs0	<input type="checkbox"/>
Bs1	6	mm	6mm	Slot dimension: Bs1	<input type="checkbox"/>
Bs2	10	mm	10mm	Slot dimension: Bs2	<input type="checkbox"/>
Rs	1	mm	1mm	Slot dimension: Rs	<input type="checkbox"/>

Show Hidden

确定

取消

应用(A)

绕组 Winding 设置：这里要布置绕组。本模型设计的是 4 极 24 槽电机，所以极距为 6 槽。

	参数	设置	说明
1	Winding Layers	2	设置为双层绕组
2	Winding type	Whole-coiled	同学可以自己调研学习
3	Parallel Branches	1	并联支路数，可以根据电机学知识设置
4	Conductors per slot	60	每槽导体数（与线圈匝数的对应关系）
5	Coil pitch	5	节距，根据电机学知识设置
6	Number of strands	1	并绕数，每根铜线可以多股并绕
7	Wire wrap	0	漆膜的厚度，这里可以先设置为 0
8	Wire size	1.024mm	调研：铜导线线径与电流对照表，也可以设置为 0 由系统自动选择

思考：铜导线的线径、每槽导体数之间的相互约束关系

注：winding type 全极式绕组和半极式绕组，在国内又被称作显极式绕组和庶极式绕组，常规 60° 相带绕组是显极式绕组，非常规 120° 相带绕组是庶极式绕组。

槽的面积的计算：在 RMxpert 设计的分析结果中，会直接给出槽的面积和导线的槽满率。

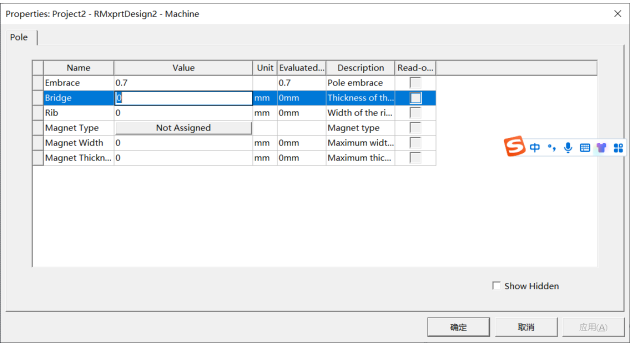
### 四、设置转子参数

设置转子：

	参数	设置	说明
1	Outer diameter	98	转子外径，跟定子内径一起决定了气隙的尺寸
2	Inner diameter	30	转子内径，就是轴的外径
3	Length	60	长度
4	Steel Type	DW315_50	
5	Stacking Factor	0.95 (默认)	叠层系数
6	Pole Type	5	不同的永磁体磁极类型

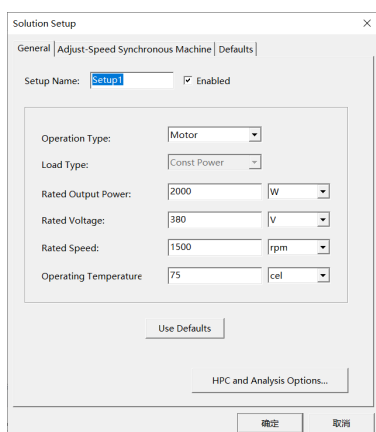
设置磁极

	参数	设置	说明
1	Embrace	0.7	极弧系数，一般选择 0.7 附近
2	Bridge		两个磁极之间的桥的厚度
3	Rib		两个磁极中间的 Rib 宽度
4	Magnet Type	NdFe35	永磁体材料的类型
5	Magnet Width		永磁体宽度
6	Magnet Thickness		永磁体厚度, 厚度和气隙决定了电机中的磁通密度 Br



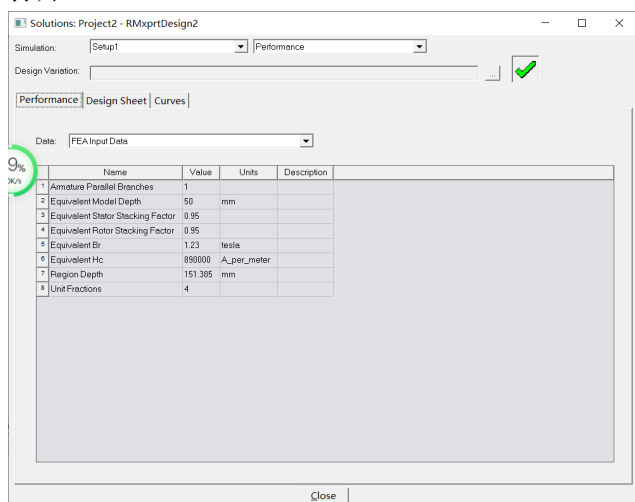
### 五、 设置 Analyze 并运行分析

Analysis, 右键 Add solution setup, 然后设置电机的额定功率、额定电压和额定转速。注意，额定电压是跟气隙磁通密度和转速相关的，可以先设定我们需要的额定电压。然后根据仿真结果来调整匝数。



在 Analysis 下面出现一个 setup，在 setup 上右键，点击 Analyze，软件会自动对电机设计的模型进行分析。

分析完成后，在 Results 上面，点击 solution data，会看到建立的电机的设计方案的分析结果。根据分析结果，可以对设计方案进行调整。如果点击 solution data 看不到结果，可以关掉 project，然后重新打开。



## 六、设计结果的分析及调整

FEA Input Data 页面：可以关注“Equivalent Br”，根据硅钢片的材料确定等效的 Br 是否合适。这个值可以通过调整永磁体的厚度、气隙大小来调整。

No-Load Operation 页面：可以分别查看定子齿部、定子轭部、气隙处的磁通密度。如果磁通密度的大小不合适，可以通过定转子的相关尺寸来调整。

Full Load Operation 页面：可以看到感应电动势的值，根据我们设定的额定电压，调整线圈的匝数（每槽导体数）。然后请关注效率、输入功率、输出功率等指标。特别注意绕组电流密度（Armature current density），如果电流密度太高，则需要降低电流值，或者增大导体的线径。

Stator Winding 页面：可以看到当前的匝数和线径下，定子槽的填充率 Stator Slot Filling Factor，如果填充率太高，则需要降低导线的线径或者槽中的导体数。为了准确计算定子槽的填充率，最好根据导线规格，对线径和绝缘漆膜 Wire Wrap 进行准确的设置。

在 Curves 页面可以看电动势等的波形，如果对电动势的波形不满意，可以通过调整极弧系数、永磁体宽度等尺寸来调整，使其正弦度进一步提升。如果是异步电机设计，则可以重点关注一些电机的机械特性

(转矩与转差率、转速与效率、最大转矩点、最大效率点等)

**思考：如何进一步改进，能够使电机的电气参数更加合理？**

设计方案的修正：

这时候首先应该增加匝数以提高感应电动势的值，把每槽导体数改为 80。60 个导体总面积 65.84mm<sup>2</sup>，

可以计算出槽满率为：0.57，基本符合要求。如果要充分利用槽的空间，可以把铜线加粗。这时候再分析，

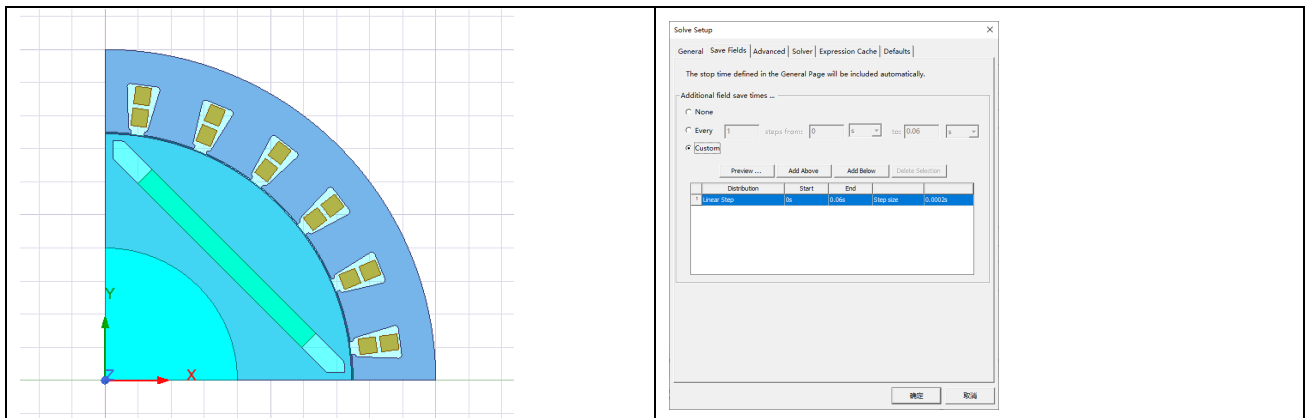
可以看到额定电流为 6.364A。

## 六、生成 Maxwell 模块，并进行分析

在 Rmxprt 模块中,Analyze-setup 上右键,选择 Creat Maxwell Design, 选择 Maxwell12D design。系统会自动生成一个 1/4 模型（如果是 8 极电机且不是分数槽，则会生成 1/8 模型）。若要 Rmxprt 导入到 maxwell 生成全模型,则需要在菜单 Rmxprt/design settings/User defined data 勾选 enable,然后在里面填写:Fractions 1(注意大小写和空格,都不能错)

然后我们在 Maxwell 对该模型的各种电气特征进行分析，包括感应电动势、转矩、磁密的波形等。Analysis-setup 中，检查一下仿真的设置，我们这里的电机基波频率是 50Hz，所以我们可以只仿真 2~3 个基波周期，也就是把 stop time 设置为 0.04s

Save fields 选项卡，数据保存选择 custom，这样就能保存每一个点的数据，便于我们看最终的结果。



查看磁通密度：在模型图上，全选整个模型，然后鼠标右键，选择 Fields-B-Mag\_B，选择显示磁通密度 B。

运行 Analyze，然后就可以看电动势、转矩等波形。在模型的图上可以选择右下角的 Time，选择显示不同时刻的磁通密度 B 星云图。

在 Field Overlays 下的 Mag\_B 上面，右键选择 Animate，可以生成星云图的动画。如果需要修改模型，需要回到 Rmxprt 软件中进行修改，然后重新生成模型，再进行分析。