

基于 DXF 转子模型导入 MANATEE 的振动噪声仿真分析

吴炜桦, 何彪, 王少勃

前言

随着电机结构越来越复杂对软件仿真结构的通用型要求越来越高, 目前集成在 MANATEE 中的电机结构是有限的, 因此如何能够对复杂结构的电机在 MANATEE 中进行仿真至关重要。本文针对此问题以一款 48 槽 8 极永磁同步电机为例, 通过应用 DXF 文件与 MANATEE 软件进行耦合仿真。

导入 DXF 文件准备工作

在 MANATEE 中, 进行导入 dxf 文件运算需要应用特定的导入 dxf 文件的程序, 首先将导入 dxf 文件程序 (Import_DXF_MANATEE.m) 放入到 MANATEE 程序下, 如图 1 所示:

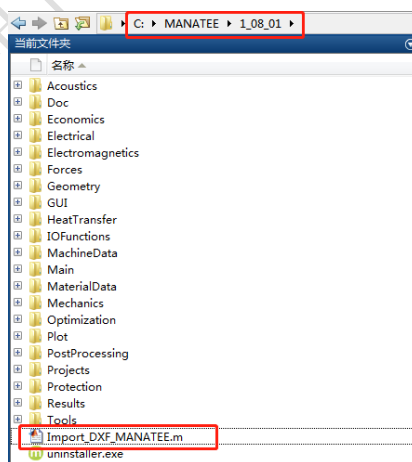
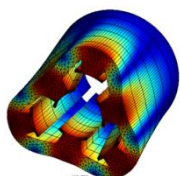


图 1 导入 dxf 文件程序存放位置

由于 MANATEE 计算电磁的软件 Femm 无法做到自动识别导入冲片是数据, 需要我们手动的进行修改, 根据经验, 这边需要将 dxf 文件缩放 1000 倍, 以保证导入的 dxf 文件和在模型中建立的数模一致。如图所示:



北京天源博通科技有限公司

Motor-CAD&MANATEE 技术团队

北京海淀区复兴路 65 号电信实业大厦 812 室

电话:010-68221702

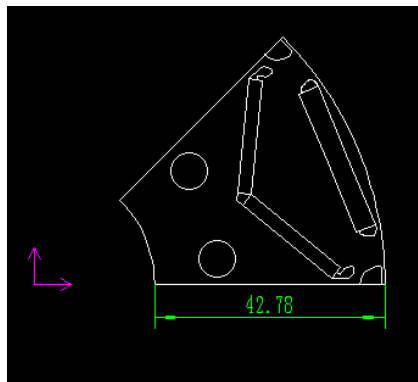


图 2 导入冲片原图

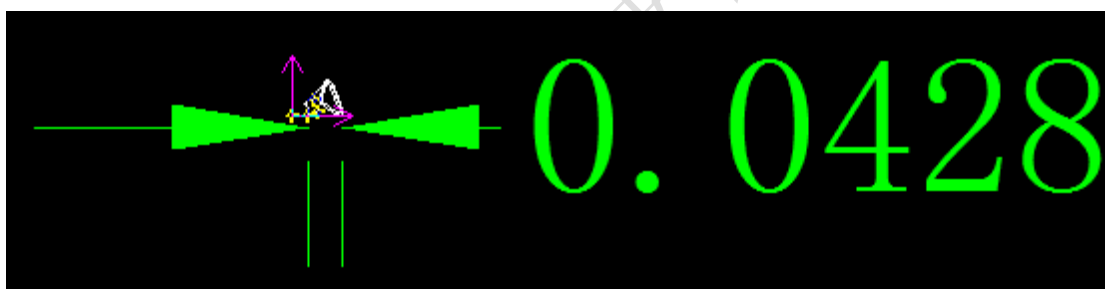
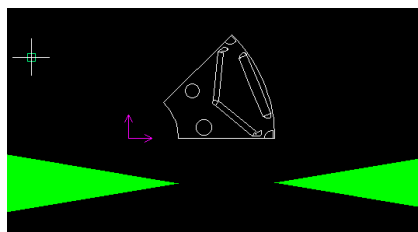
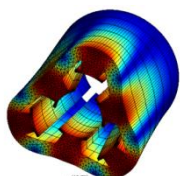
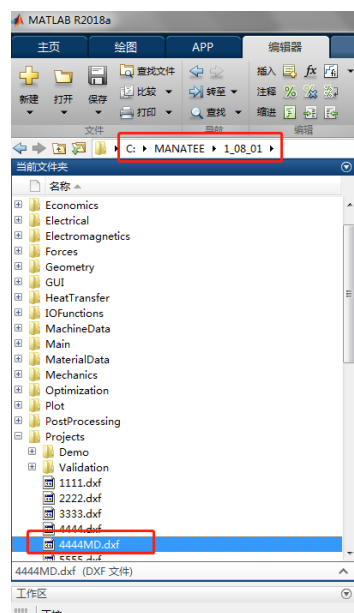


图 3 导入冲片缩小 1000 倍

将设置好的 dxf 文件放到 MANATEE 文件下 project 文件夹下，如图所示：



北京天源博通科技有限公司

Motor-CAD&MANATEE 技术团队

北京海淀区复兴路 65 号电信实业大厦 812 室

电话:010-68221702

图 4 dxf 文件存放位置

DXF 文件导入程序 (Import_DXF_MANATEE.m)

1、设定目标电机文件工程名称

WWW;%工程名

2、设定是否导入定转子

```
Input.Simu.is_stator_dxf = 0 ; % (advanced) 1 to import a *.dxf file instead of
drawing stator geometry in FEMM using MANATEE algorithms
Input.Simu.is_rotor_dxf = 1 ; % (advanced) 1 to import a *.dxf file instead of
drawing rotor geometry in FEMM using MANATEE algorithms
```

注：设置为 0，代表不导入；设置为 1，代表导入

3、设定导入 dxf 文件名称

```
Input.Simu.filename_stator_dxf = 'mystator.dxf' ; % (advanced) path of the *.dxf file for
stator geometry
Input.Simu.filename_rotor_dxf = '4444MD.dxf' ; % (advanced) name of the *.dxf file for
rotor geometry WARNING : the dxf file must be in the MATLAB path
```

注：如果在第 2 步设定不导入，在第 3 步中设定的导入 dxf 文件名称对计算不会产生任何影响。

4、设定空域分配

```
Input.Simu.list_air_rotor_dxf = {} ; % (advanced) list of coordinates {[x_1,y_1] ; ... ; [x_n,y_n]}
to automatically assign n additional air labels in FEMM, for example in rotor pockets
```

注：这里主要针对无法在 MANATEE 中建立通风孔、狭缝等处，无法定义为空气导致无法计算。设置相应的位置坐标，定义空气，进行计算。这里指能用来定义空气

5、设定边界

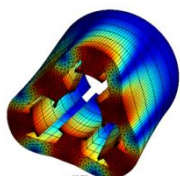
```
Input.Simu.list_bc_rotor_dxf = {} ;
```

6、设定气隙

```
Input.Simu.is_slidingBand = 1 ;
```

案例演示

以某永磁同步电动机 48s8p 为例，导入转子模型，进行求解。



北京天源博通科技有限公司

Motor-CAD&MANATEE 技术团队

北京海淀区复兴路 65 号电信实业大厦 812 室

电话:010-68221702

首先，在 MANATEE 中建立模型，各部分参数设定要与实际模型一致，以便定义各部分材料。这里以转子为例,如图所示

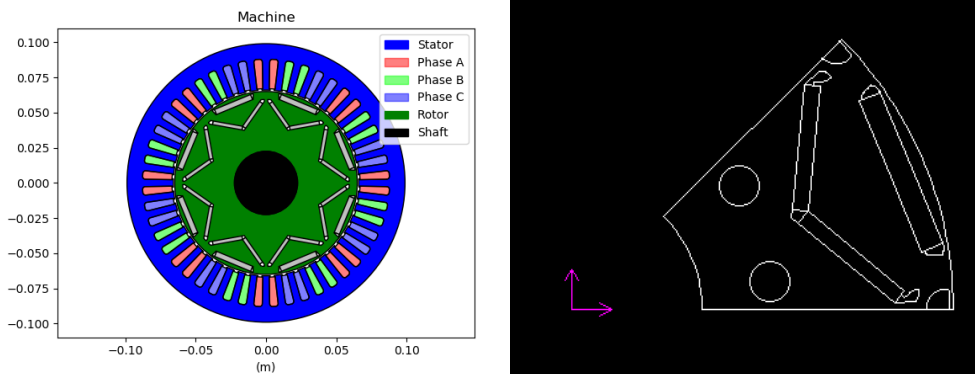


图 5 模型参数和实际一致

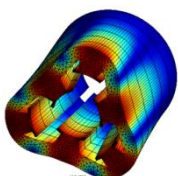
将设定好的转子 DXF 文件命名为“2222”，将 2222.dxf 文件放入 MANATEE 中 Projects 文件夹内，便于 DXF 文件导入程序（Import_DXF_MANATEE.m）调用。

DXF 文件导入程序设定如下

```
leafmotor;%工程名
Input.Simu.is_stator_dxf = 0 ; % (advanced) 1 to import a *.dxf file instead of
drawing stator geometry in FEMM using MANATEE algorithms
Input.Simu.is_rotor_dxf = 1 ; % (advanced) 1 to import a *.dxf
file instead of drawing rotor geometry in FEMM using MANATEE algorithms
注: 这里只导入了转子, 所以 Input.Simu.is_stator_dxf 设定为 0, Input.Simu.is_rotor_dxf = 1 设
定为 1
Input.Simu.filename_stator_dxf = 'mystator.dxf' ; % (advanced) path of the *.dxf file for
stator geometry
Input.Simu.filename_rotor_dxf = '2222.dxf' ; % (advanced) name of the *.dxf file for rotor
geometry WARNING : the dxf file must be in the MATLAB path
注: 因为没有导入定子, 所以定子名称可以任意设定, 转子名称必须为导入转子 dxf 文件名
称, 这里设定为 2222.dxf
Input.Simu.list_bc_rotor_dxf = {} ;
Input.Simu.is_slidingBand = 1
Input.Simu.list_air_rotor_dxf = {[0.011,0.0235];[-0.0088,0.02456];[0.026,0.002];[-0.00423,0.02466];
[-0.00134,0.02466];[0.00246,0.02466];[0.01986,0.01436];[0.02164,0.01138];[0.02321,0.00867]} ;
% (advanced) list of coordinates {[x_1,y_1] ; ... ; [x_n,y_n]} to automatically assign n additional
air labels in FEMM, for example in rotor pockets
```

由图 5 可知，图中存在多处通风孔和去重孔，这里做一下特殊说明：

导入冲片 2222.dxf, 不做任何修改。MANATEE 中如图 6 所示：



北京天源博通科技有限公司
Motor-CAD&MANATEE 技术团队
北京海淀区复兴路 65 号电信实业大厦 812 室
电话:010-68221702

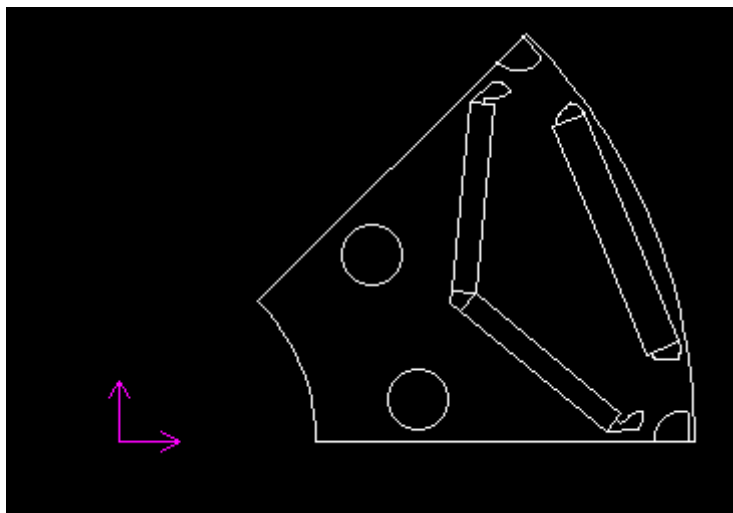


图 6 转子冲片 4444MD.dxf 原模型

空气域程序设置如下 `Input.Simu.list_air_rotor_dxf = {}`，导入到 MANATEE 中计算，在 FEMM 中模型如图 7 所示，错误提示如图 8 所示：

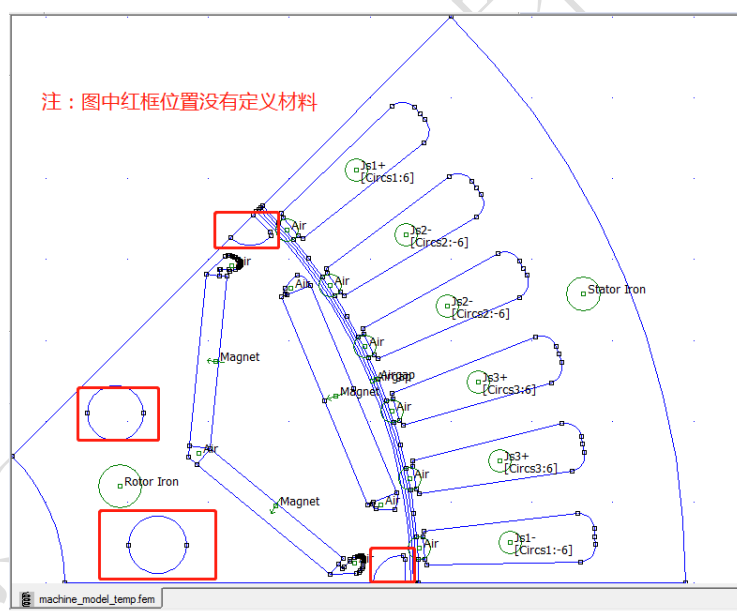
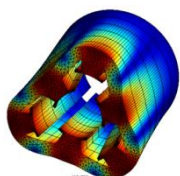


图 7 FEMM 中模型



北京天源博通科技有限公司

Motor-CAD&MANATEE 技术团队

北京海淀区复兴路 65 号电信实业大厦 812 室

电话:010-68221702

```

FEMM returns:
error: Material properties have not been defined for all regions

出错 mi_analyze (line 5)
      callfemm(['mi_analyze(' , num(n) , ')'] );

出错 run_FEMM_model

出错 comp_timestep_femm2D

出错 comp_flux_ag_femm2D

出错 comp_flux_ag_femm

出错 comp_flux_3d_ag

出错 run_fixedspeed
|
出错 run_MANATEE

出错 comp_flux_3d_ag
x 出错 run_fixedspeed

```

图 8 错误提示

由图 7 可知，导入修改后的转子 2222.dxf 文件，在 FEMM 中可以看见，没有不闭合区域，但是出现很多封闭的区域没有定义材料（图 7 中红框），因此出现图 8 错误提示，材料属性并没有定义在所有区域。

由图 7 所知，所有为定义的材料区域均应该为空气，因此应用空气域分配程序，进行设定，这里只需在未定义材料区域内随意取得一点，输入其坐标即可（注：由于导入的片子缩小 1000 倍，因此这里输入的坐标需要缩小 1000 倍）。确定未定义材料区域坐标如图 9 所示：

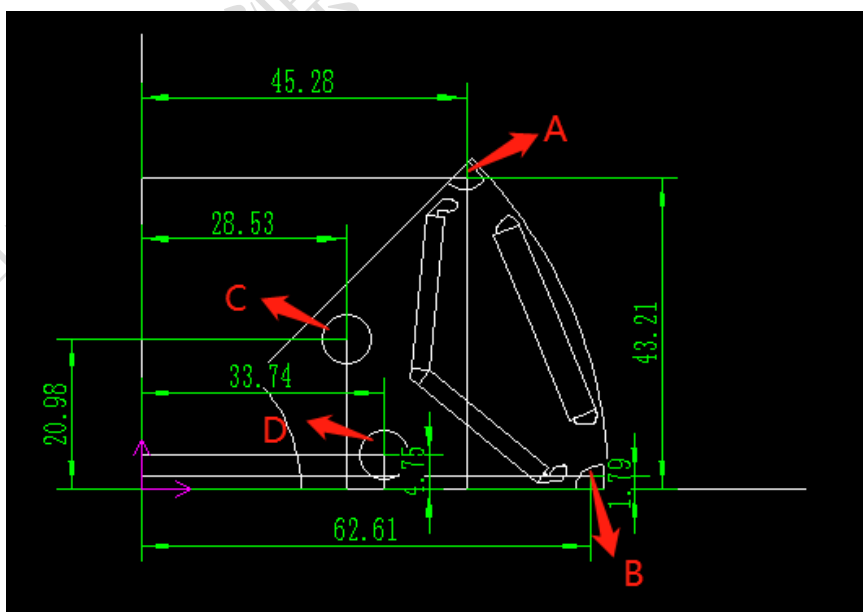
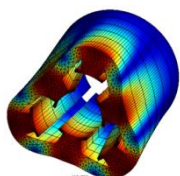


图 9 确定未定义材料区域坐标



北京天源博通科技有限公司

Motor-CAD&MANATEE 技术团队

北京海淀区复兴路 65 号电信实业大厦 812 室

电话:010-68221702

因此，空气域程序设置如下 `Input.Simu.list_air_rotor_dxf`
`= {[0.04528,0.04321];[0.06261,0.00179];[0.02853,0.02098];[0.03374,0.00475]}`
 重新导入转子 2222.dxf 文件到 MANATEE 中进行计算，在 FEMM 中如图 10 所示：

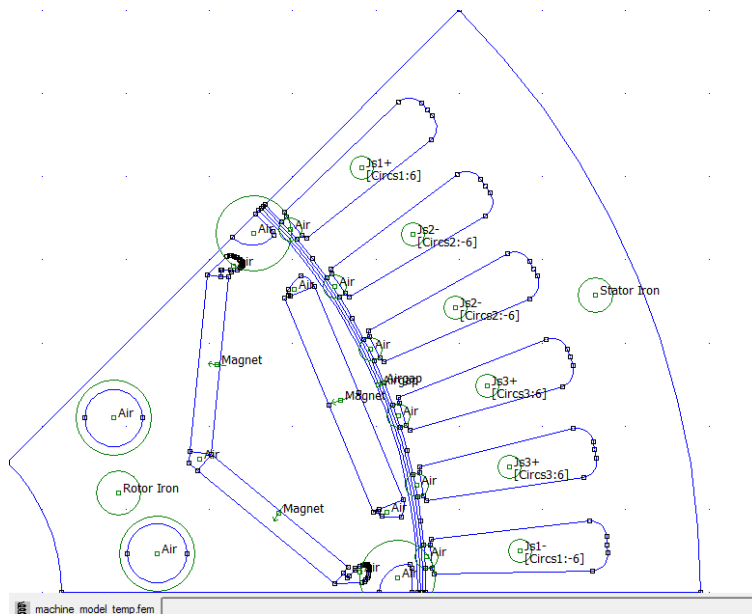
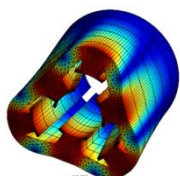
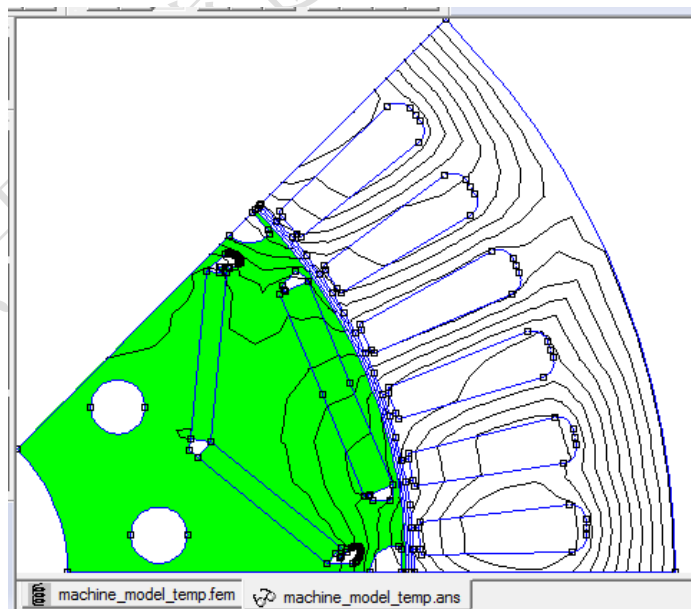


图 10 在 FEMM 中模型

由图 10 可知，所有未定义材料区域都已定义为空气，可以计算了。计算进程如图 11 所示；



```
[MANATEE] Solving fundamental electrical working point...
[MANATEE] Checking geometrical constraints...
[MANATEE] Computing stator voltage spectrum...
[MANATEE] Computing rotor voltage spectrum...
[MANATEE] Computing currents using Electrical Equivalent Circuit (EEC)...
INFO, removing homopolar component of PWM current spectra to avoid parasitic harmonics. Use Input.Simu.is_homopolar_P
[MANATEE] Computing stator and rotor currents and mmf...
[MANATEE] Computing airgap flux density using FEMM...
Electromagnetic FEM simulation 1/512 done for thetaR=0 at slice 1/10 (Iem=-598.9307 Nm / PhiABC=[-0.21476 0.0484
Electromagnetic FEM simulation 2/512 done for thetaR=0.17578 at slice 1/10 (Iem=-621.996 Nm / PhiABC=[-0.21377 0.
Electromagnetic FEM simulation 3/512 done for thetaR=0.35156 at slice 1/10 (Iem=-643.6157 Nm / PhiABC=[-0.21272 0
Electromagnetic FEM simulation 4/512 done for thetaR=0.52734 at slice 1/10 (Iem=-663.0258 Nm / PhiABC=[-0.2116 0.
Electromagnetic FEM simulation 5/512 done for thetaR=0.70313 at slice 1/10 (Iem=-679.7452 Nm / PhiABC=[-0.21041 0
Electromagnetic FEM simulation 6/512 done for thetaR=0.87891 at slice 1/10 (Iem=-692.5047 Nm / PhiABC=[-0.20913 0
Electromagnetic FEM simulation 7/512 done for thetaR=1.0547 at slice 1/10 (Iem=-700.4024 Nm / PhiABC=[-0.20774 0
Electromagnetic FEM simulation 8/512 done for thetaR=1.2305 at slice 1/10 (Iem=-702.7334 Nm / PhiABC=[-0.20621 0
Electromagnetic FEM simulation 9/512 done for thetaR=1.4063 at slice 1/10 (Iem=-699.2672 Nm / PhiABC=[-0.20457 0
Electromagnetic FEM simulation 10/512 done for thetaR=1.582 at slice 1/10 (Iem=-690.8146 Nm / PhiABC=[-0.20283 0
Electromagnetic FEM simulation 11/512 done for thetaR=1.7578 at slice 1/10 (Iem=-677.6912 Nm / PhiABC=[-0.20103 0
Electromagnetic FEM simulation 12/512 done for thetaR=1.9336 at slice 1/10 (Iem=-660.2864 Nm / PhiABC=[-0.19921 0
Electromagnetic FEM simulation 13/512 done for thetaR=2.1094 at slice 1/10 (Iem=-639.4228 Nm / PhiABC=[-0.19738 0
Electromagnetic FEM simulation 14/512 done for thetaR=2.2852 at slice 1/10 (Iem=-615.425 Nm / PhiABC=[-0.19556 0
Electromagnetic FEM simulation 15/512 done for thetaR=2.4609 at slice 1/10 (Iem=-589.0239 Nm / PhiABC=[-0.19376 0
```

图 11，仿真进程

注：如果转子是不均匀气隙，同样可以采取上述方法计算。

仿真结果

经过上述设置，进行仿真计算，仿真结果如图 12 所示：

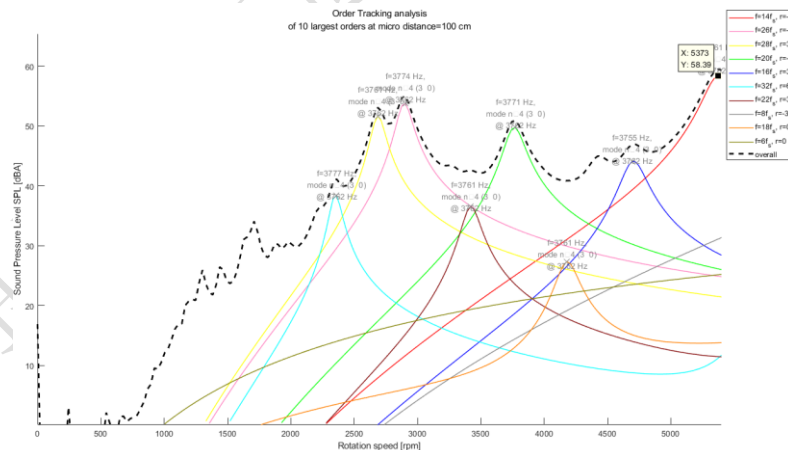
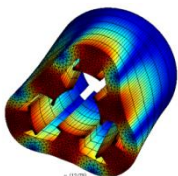


图 12 声压级噪声分布曲线



北京天源博通科技有限公司

Motor-CAD&MANATEE 技术团队

北京海淀区复兴路 65 号电信实业大厦 812 室

电话:010-68221702