

РАСЧЁТ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

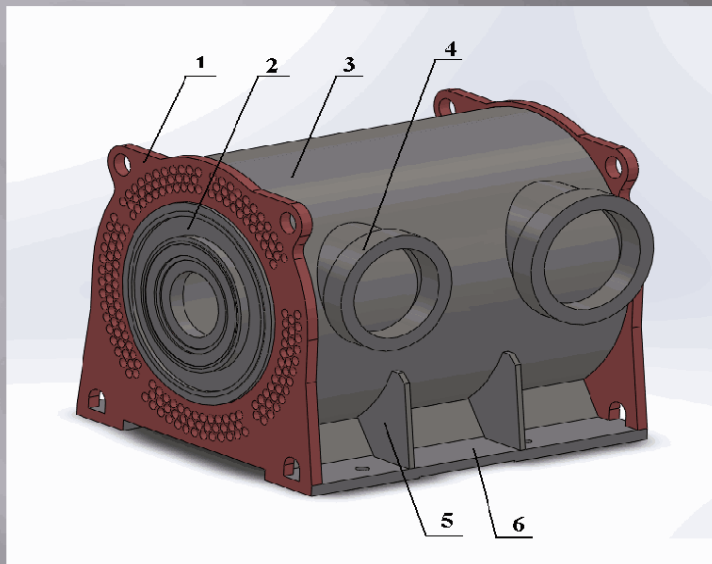
Выполнил студент группы 5-33 Норовков П.О,
научный руководитель д.т.н. Маслов Л.Б.

Основными задачами дипломного проекта являются:

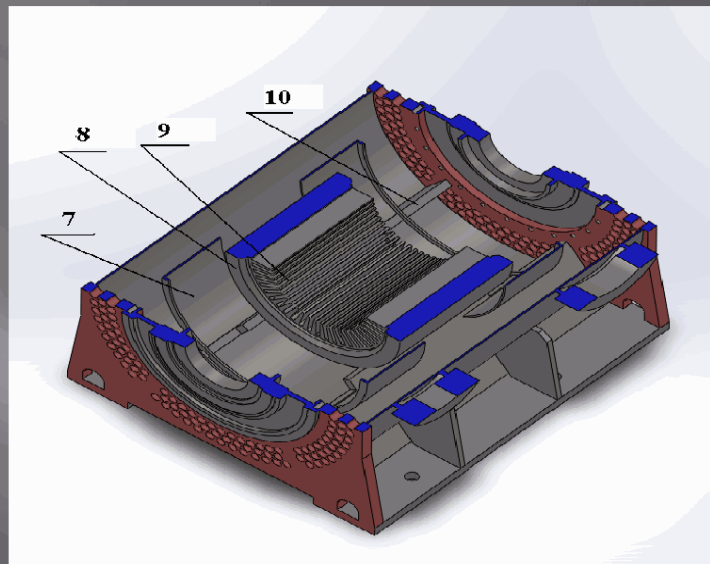
1. Расчет собственных частот сердечника, станины, трубки охлаждения, щита и целого двигателя в сборе;
2. Преобразование модели электродвигателя с целью упрощения и повышения эффективности расчета;
3. Построение амплитудно-частотной (АЧХ) и фазо-частотной (ФЧХ) характеристик.

Для построения модели деталей электродвигателя использовалась программа Solid Works. Затем для расчета собственных частот полученные модели импортировались в программный комплекс Ansys Workbench.

Основные составляющие электродвигателя:



а)



б)

Рис.1. Электродвигатель ВАО5-560-400-2(Д)У2: а – полный вид; б – вид в разрезе.
1- плита, 2- щит, 3- обечайка, 4-фланец, 5- косынка, 6- лапа, 7- цилиндр, 8- кольцо, 9- сердечник, 10- ребро.

Массы деталей представлены в таблице 1.

Таблица 1. Массы деталей.

1	Щит	48.5 кг
2	Плита	168.2 кг
3	Сердечник	670 кг
4	Станина	1505 кг
5	Трубка охлаждения	2.42 кг
6	Двигатель в сборе	3490 кг

Материал для деталей был выбран «Легированная сталь» с модулем упругости $E=2,1 \cdot 10^3$ МПа и коэффициентом Пуассона (коэффициент поперечной деформации) $\mu=0,3$.

Основные характеристики асинхронного
взрывозащищенного двигателя
ВАО5-560-400-2(Д)У2:

Мощность	400 кВт
Напряжение	10 000 В
Частота вращения	3000 об/мин
КПД	94,8%

Вид построенных моделей:

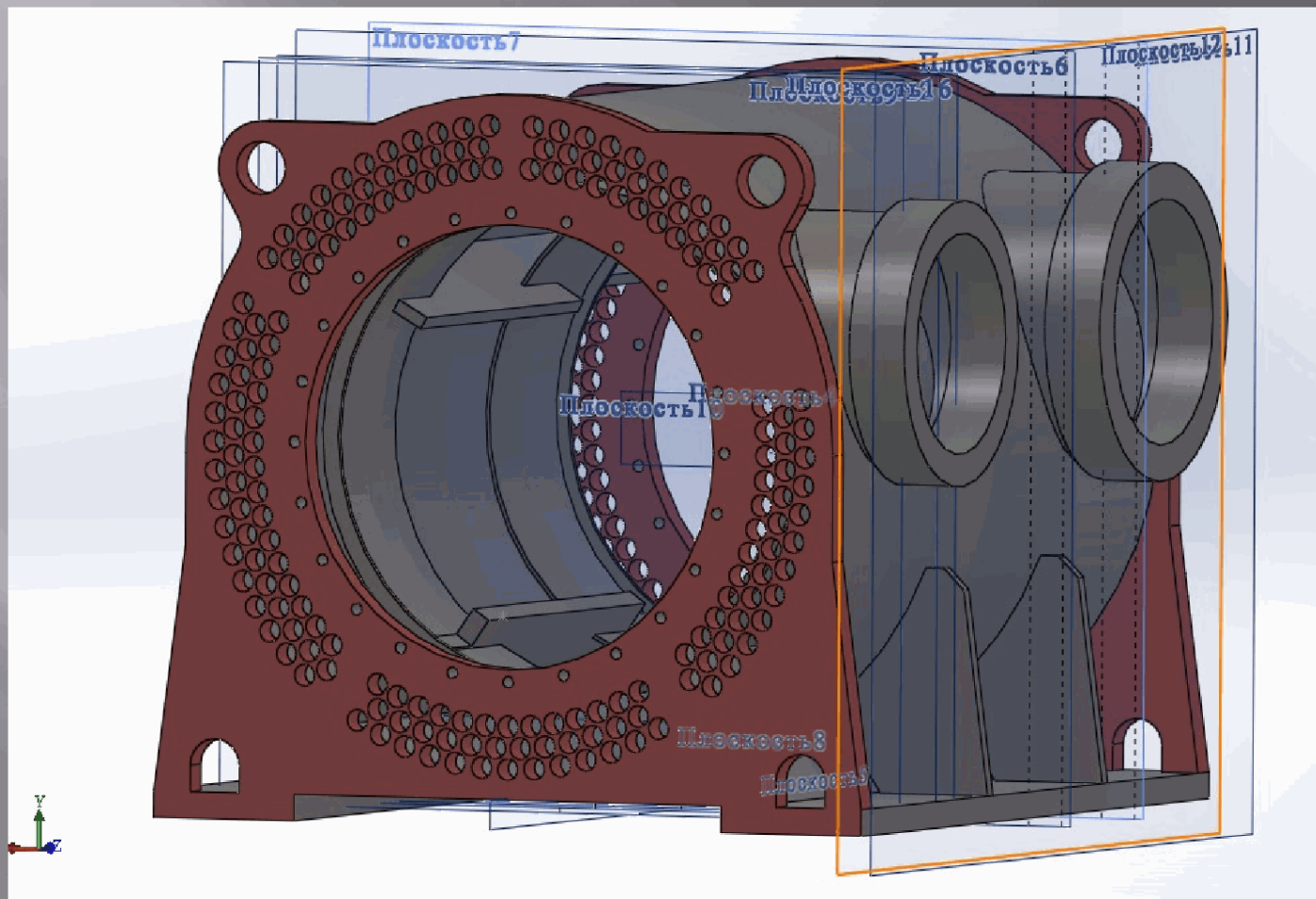


Рис.2. Станина.

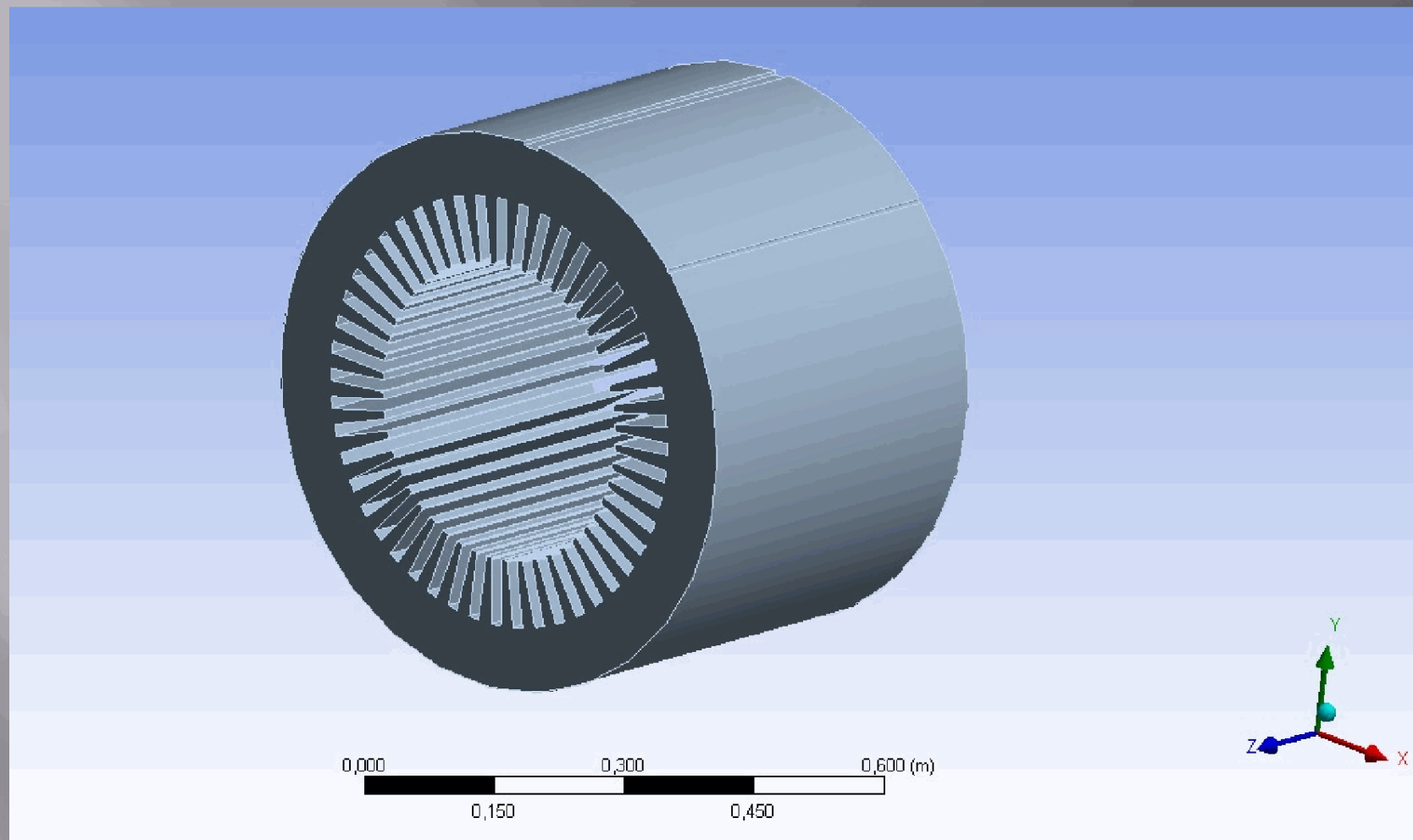


Рис.3. Сердечник.

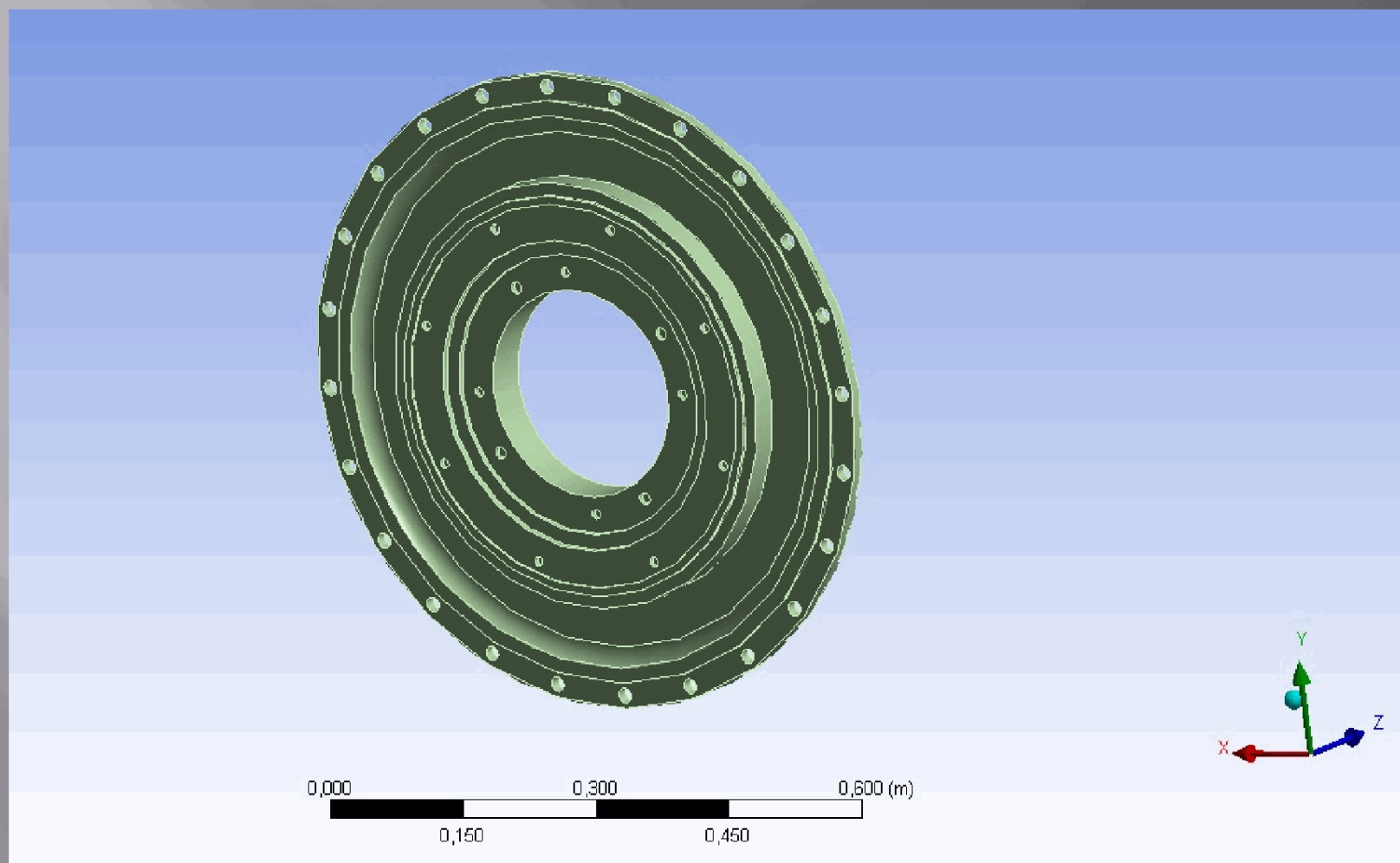


Рис.4. Щит.

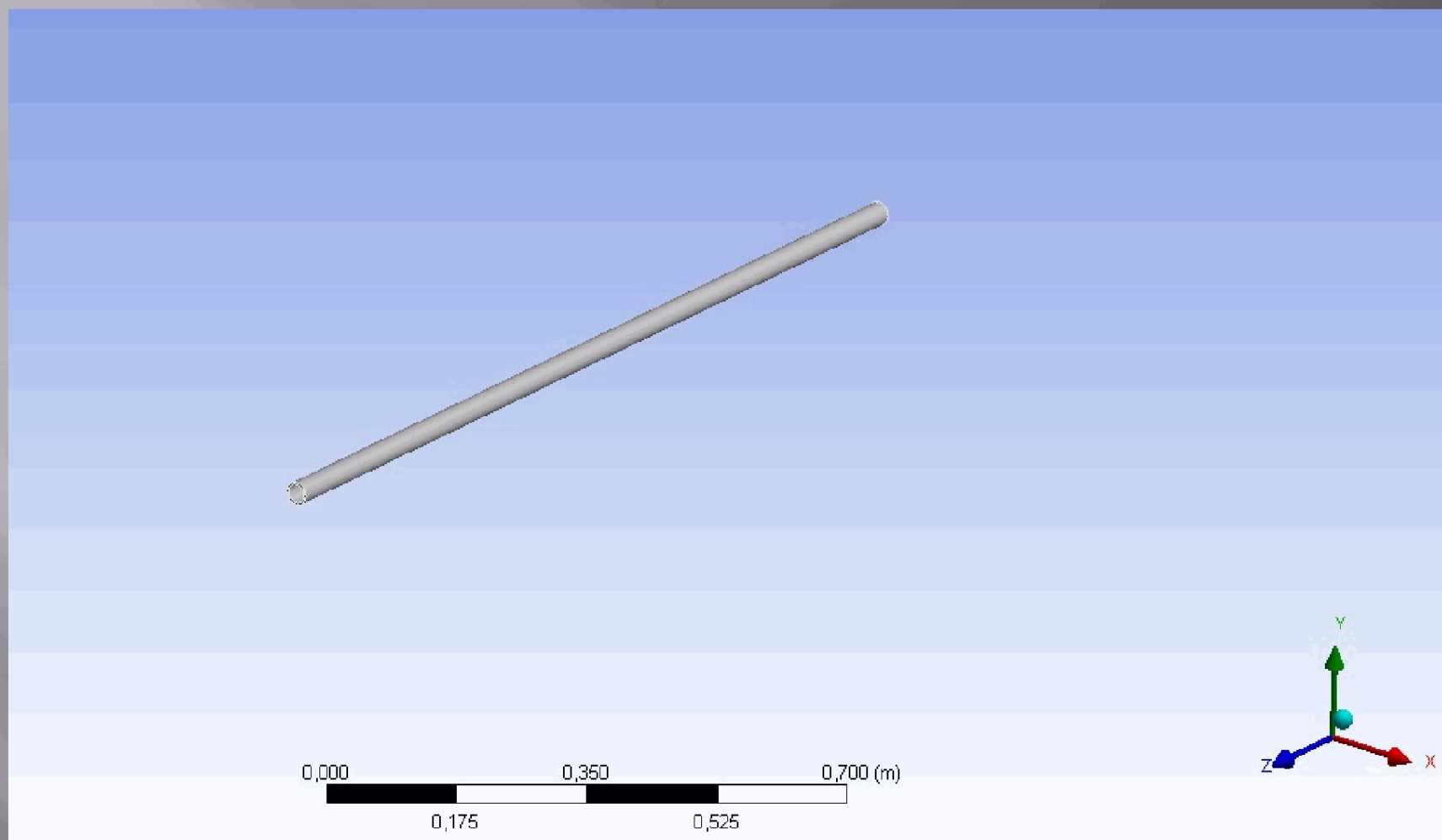


Рис.5. Трубка охлаждения.

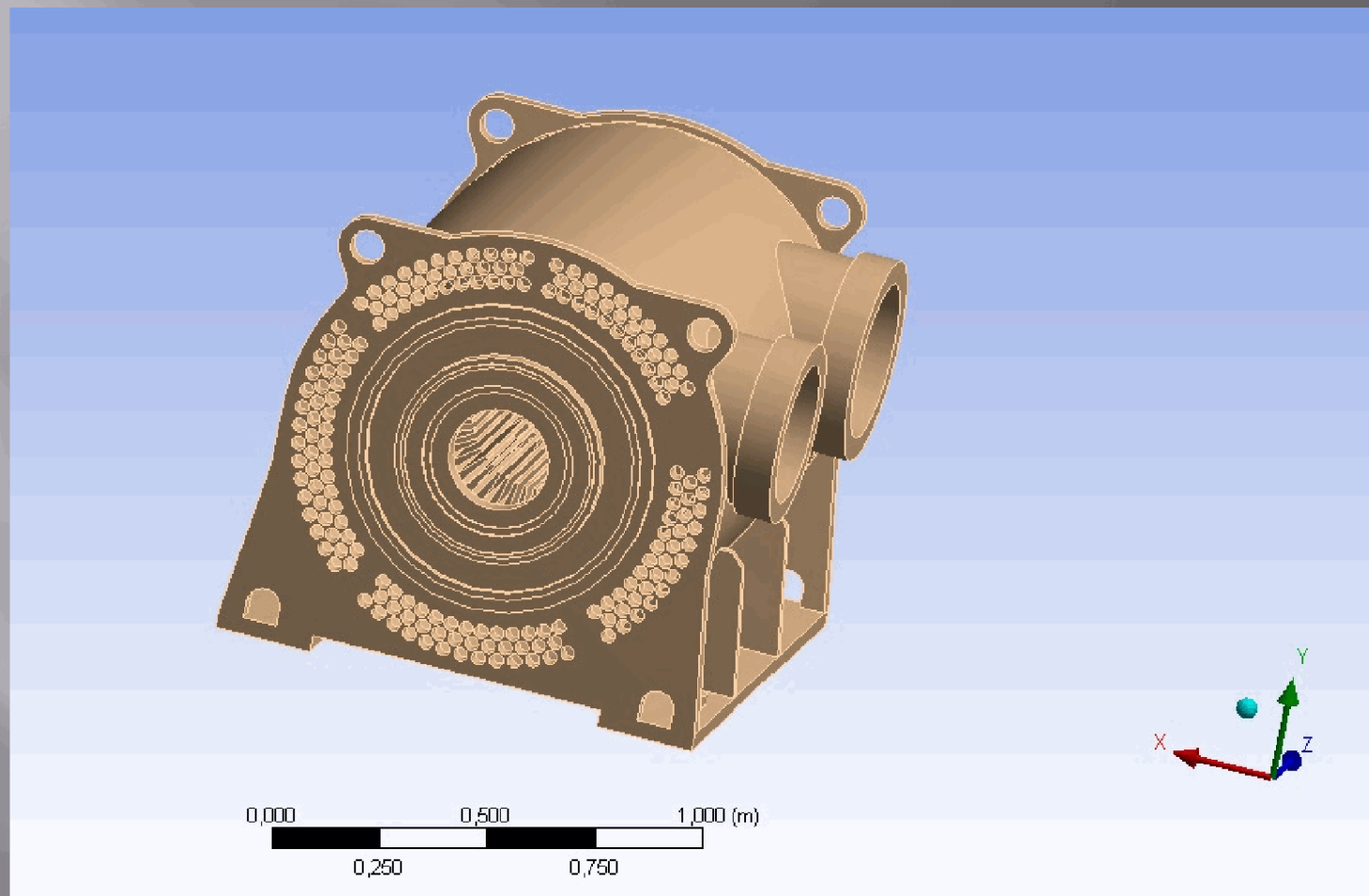


Рис.6. Модель электродвигателя.

Для расчета собственных частот и форм колебаний использовалась программа Ansys Workbench, Ansys Inc, USA. Для этого исходные модели, построенные ранее, импортировались из программного комплекса Solid Works.

Очень важным шагом перед расчетом служит построение сетки моделей. При автоматическом разбиении получили следующие виды сеток, представленные на рисунках 7-10.

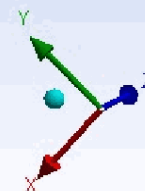
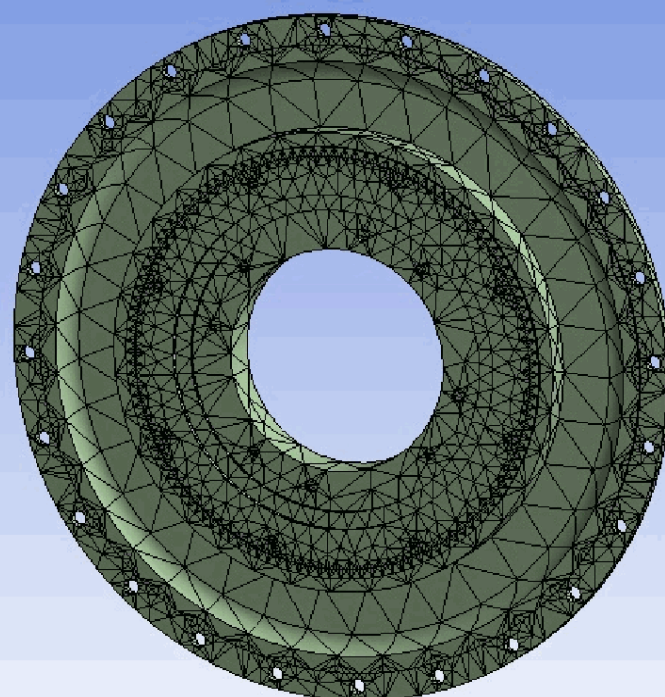
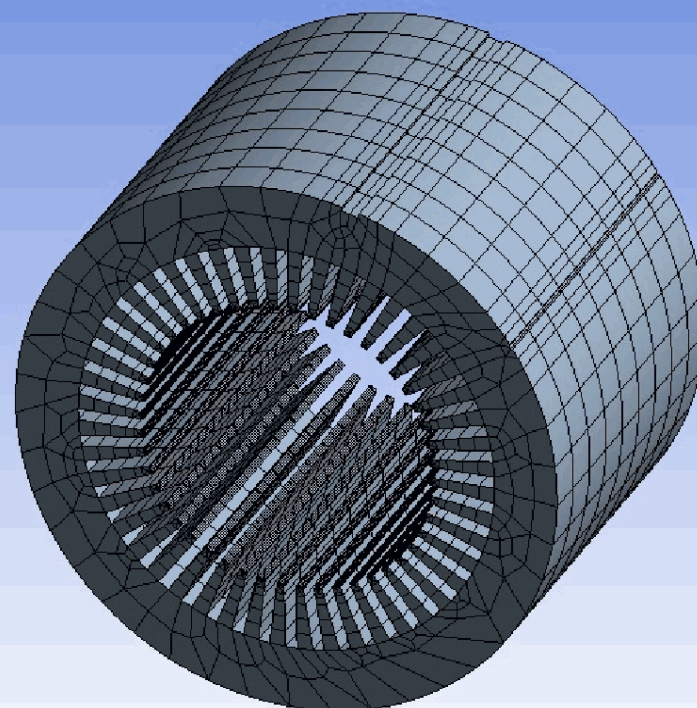


Рис.7. Сетка модели щита: элементов – 26614, узлов – 45690.



0,000 0,300 0,600 (m)
0,150 0,450

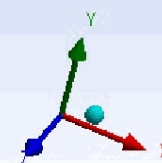


Рис.8. Сетка модели сердечника: элементов – 10467, узлов – 60089.

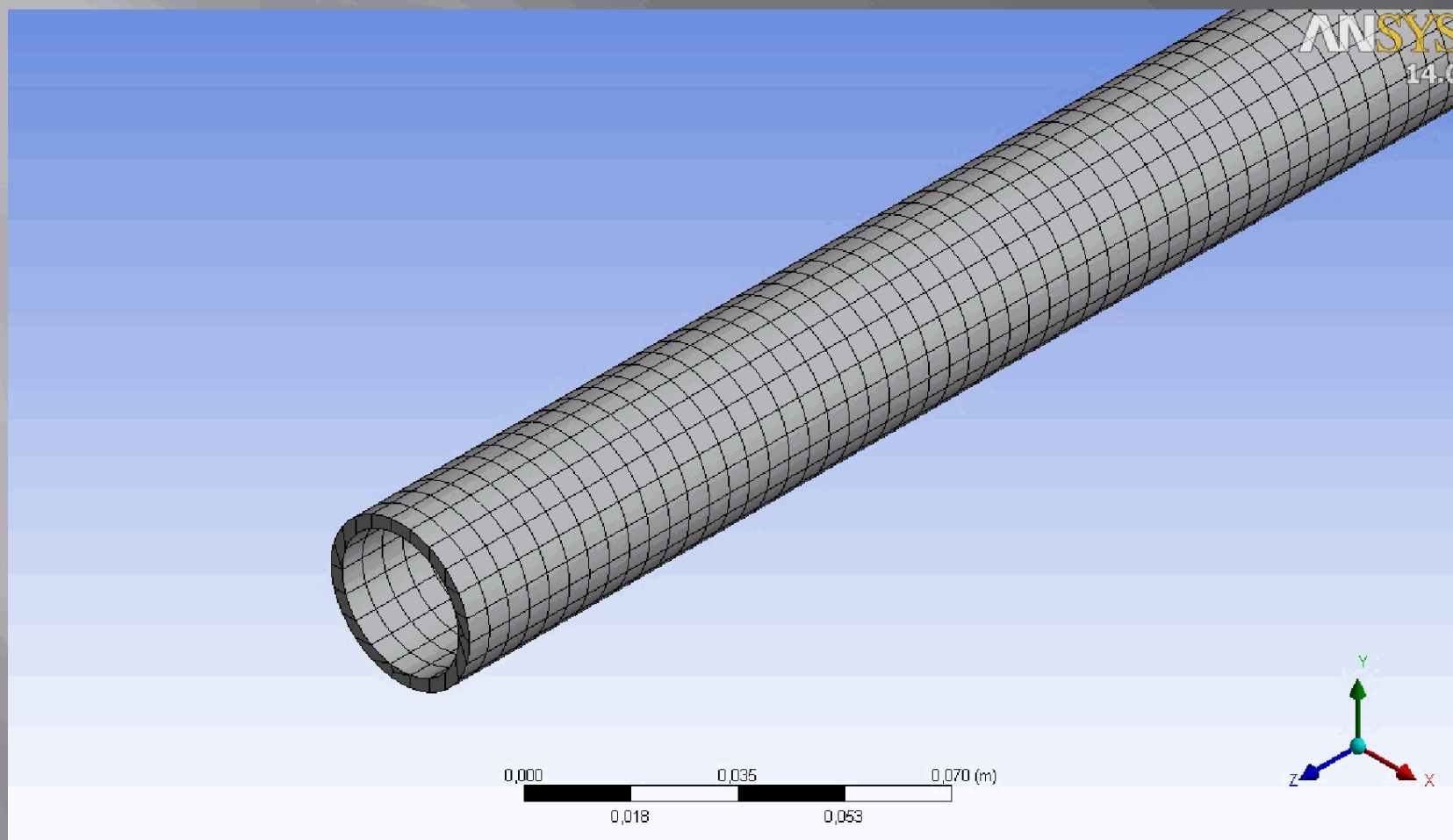


Рис.9. Сетка модели трубки охлаждения: элементов – 6720, узлов – 42108.

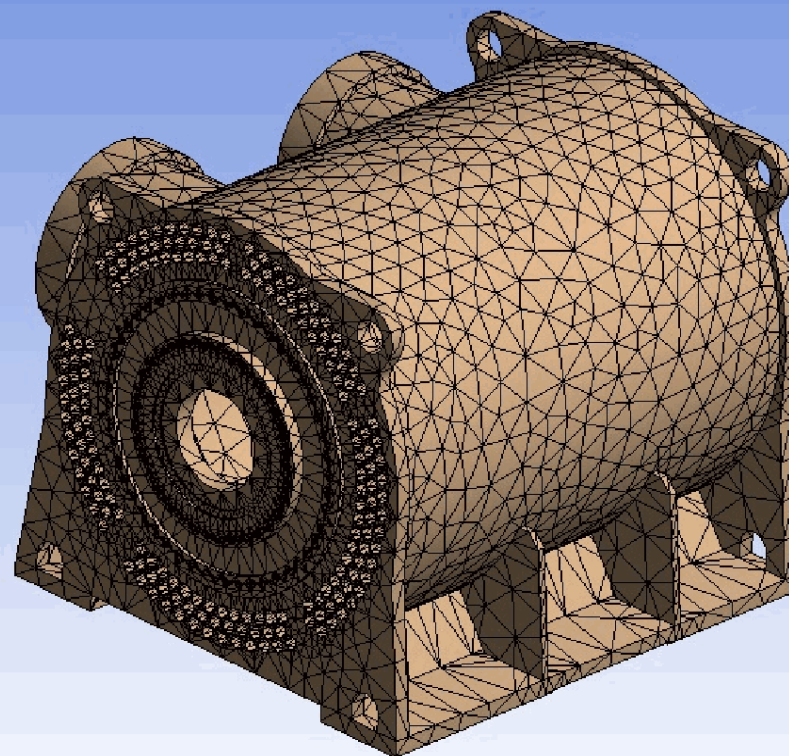


Рис.10. Сетка модели электродвигателя: элементов- 94135, узлов- 174626.

Далее после проведенного расчета получили искомые собственные частоты (приведены в таблице 2).

Таблица 2. Результаты расчета собственных частот деталей.

	Трубка охлаждения	Сердечник	Щит	Двигатель в сборе
1.	111,62	458,88	483,35	249,19
2.	111,63	460,1	483,47	328,53
3.	305,6	670,16	768,68	350,88
4.	305,61	671,3	851,33	399,77
5.	593,15	1173,1	851,58	401,05
6.	593,16	1175,9	1041,7	419,42
7.	967,79	1468,6	1043,	431,47
8.	967,8	1469,6	1165,4	444,79
9.	1207,7	1801,9	1167,9	469,78

Формы колебаний:

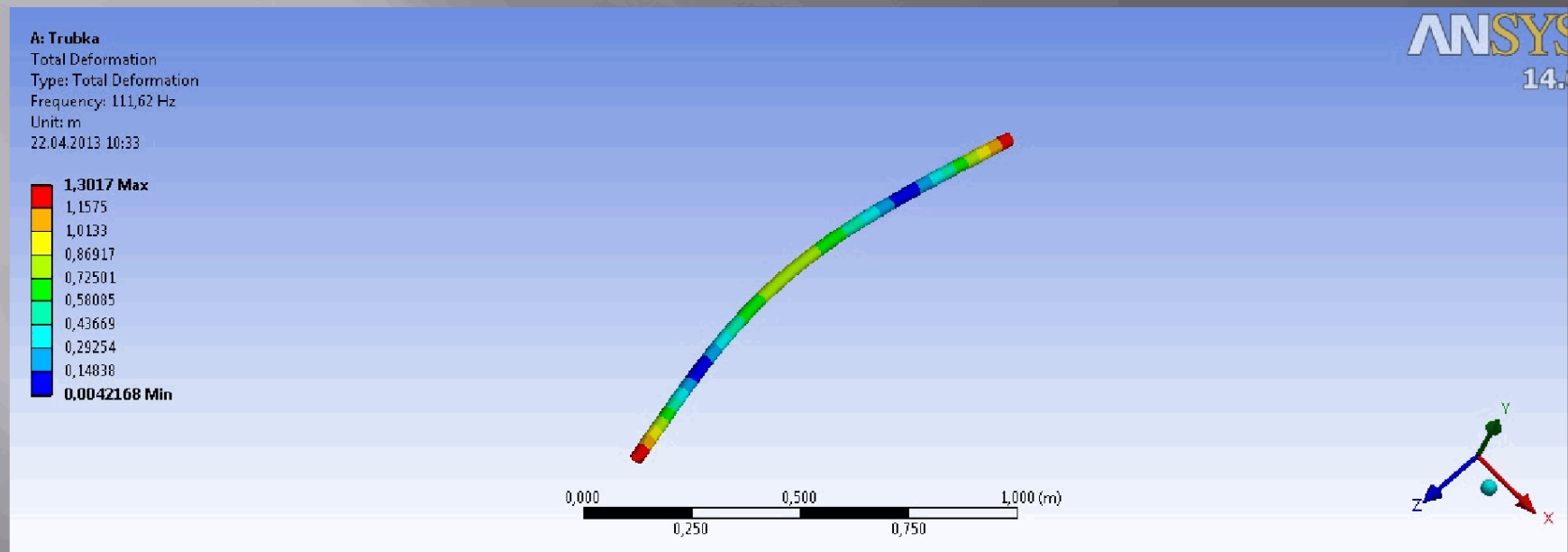


Рис.11. Первая форма колебаний трубки охлаждения (111 Гц).

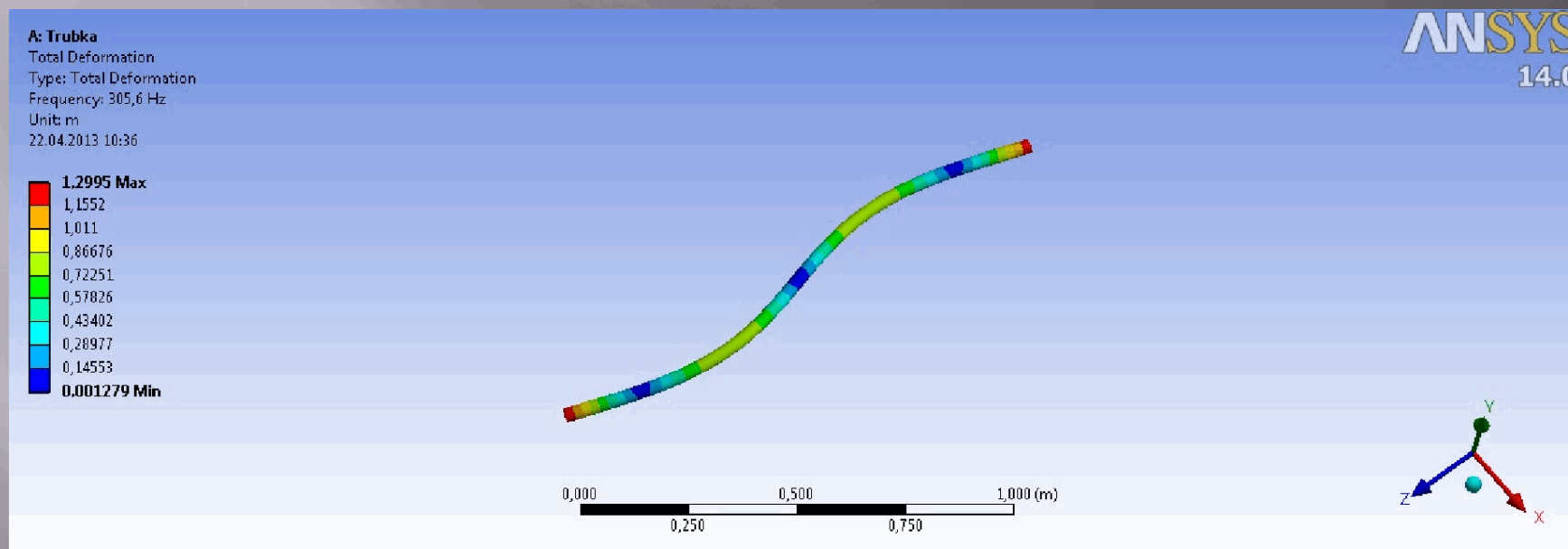


Рис.12. Третья форма колебаний трубки охлаждения (305 Гц).

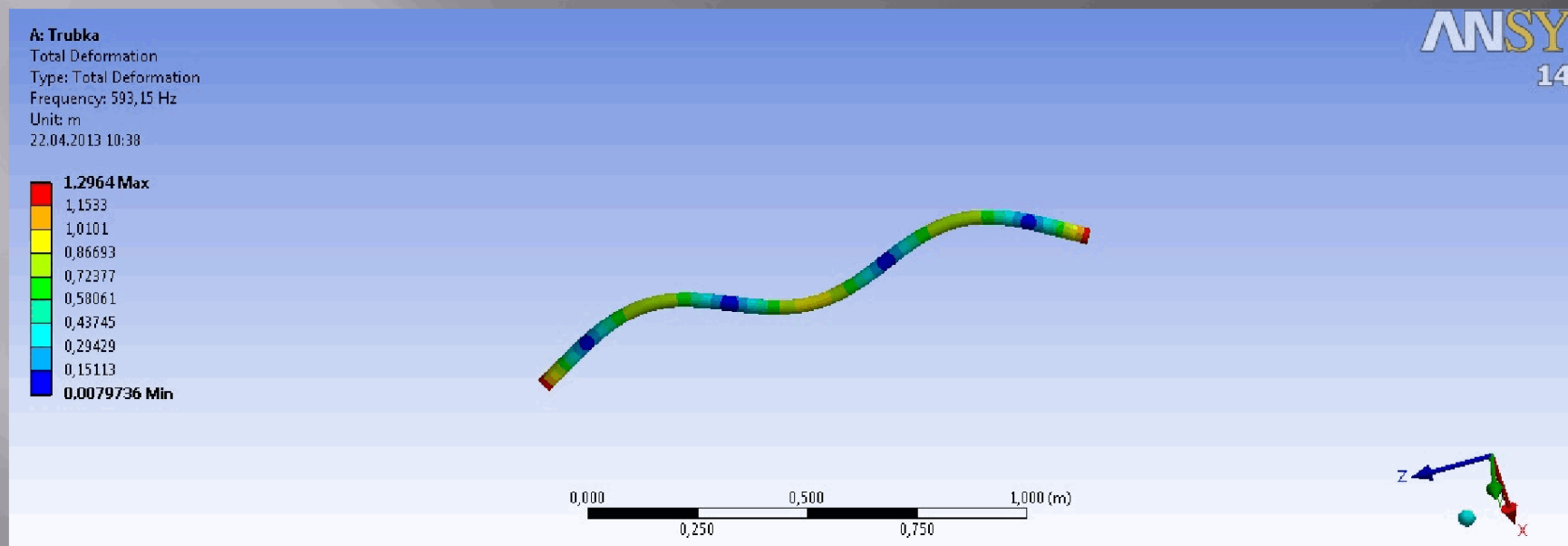


Рис.13. Пятая форма колебаний трубки охлаждения (593 Гц).

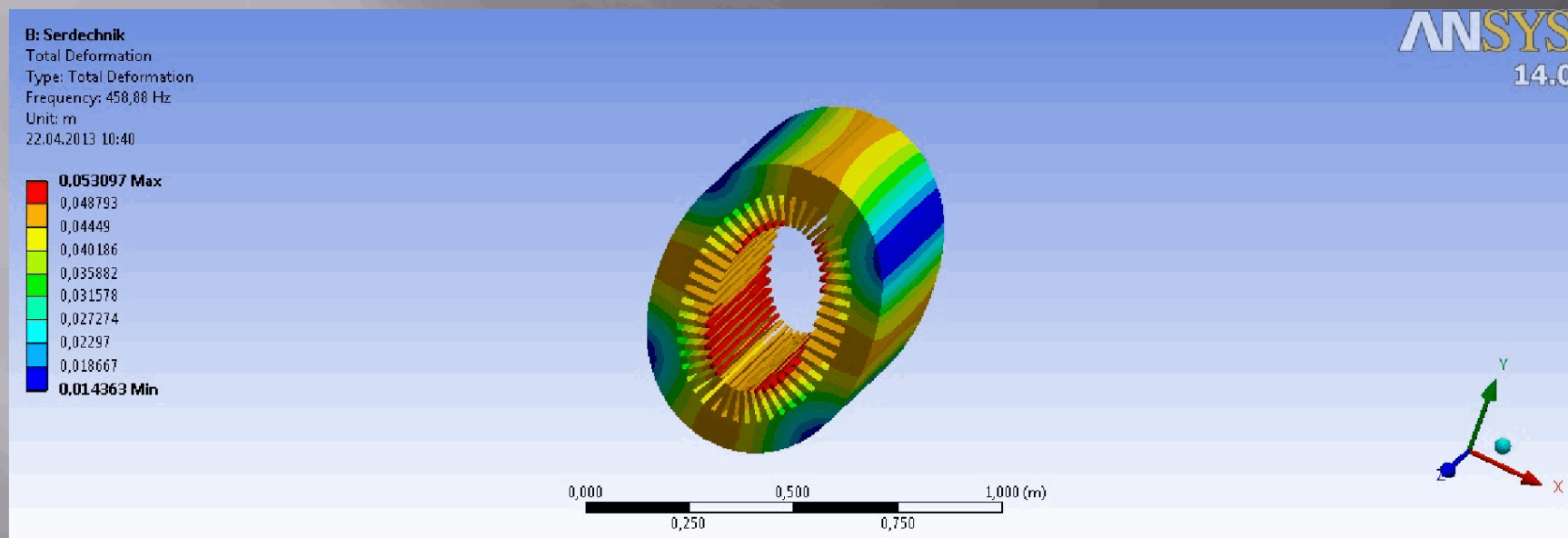


Рис.14. Первая форма колебаний сердечника (458 Гц).

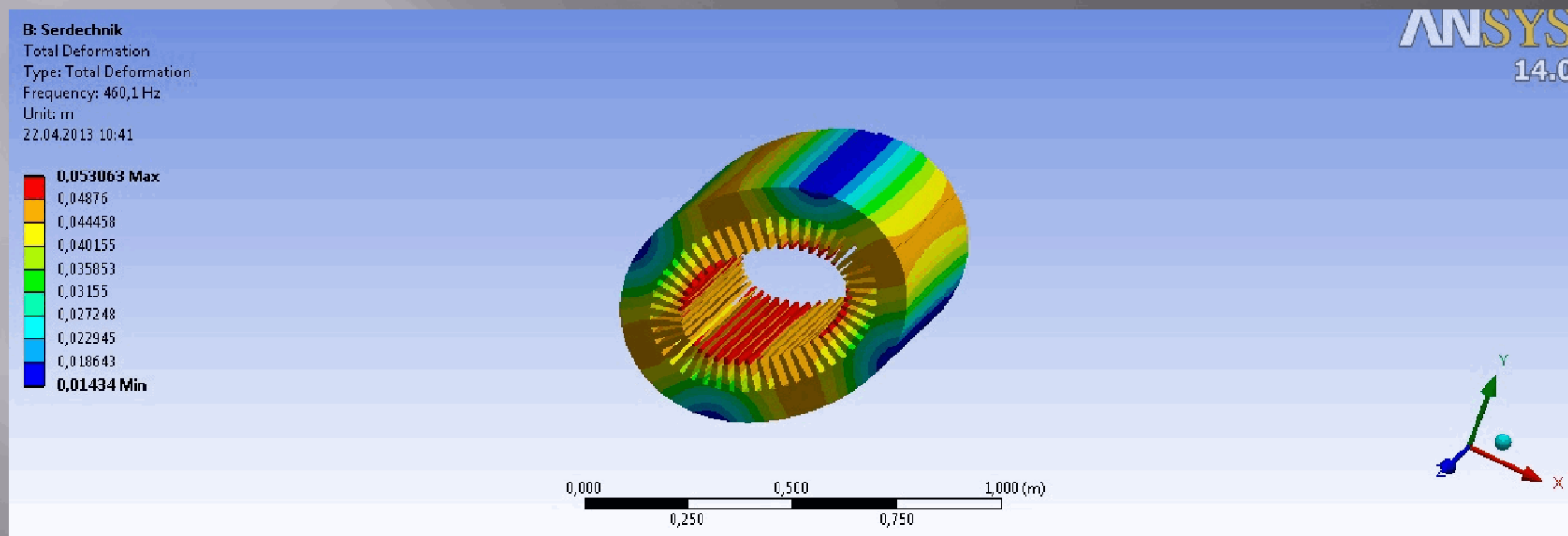


Рис.15. Вторая форма колебаний сердечника (460 Гц).

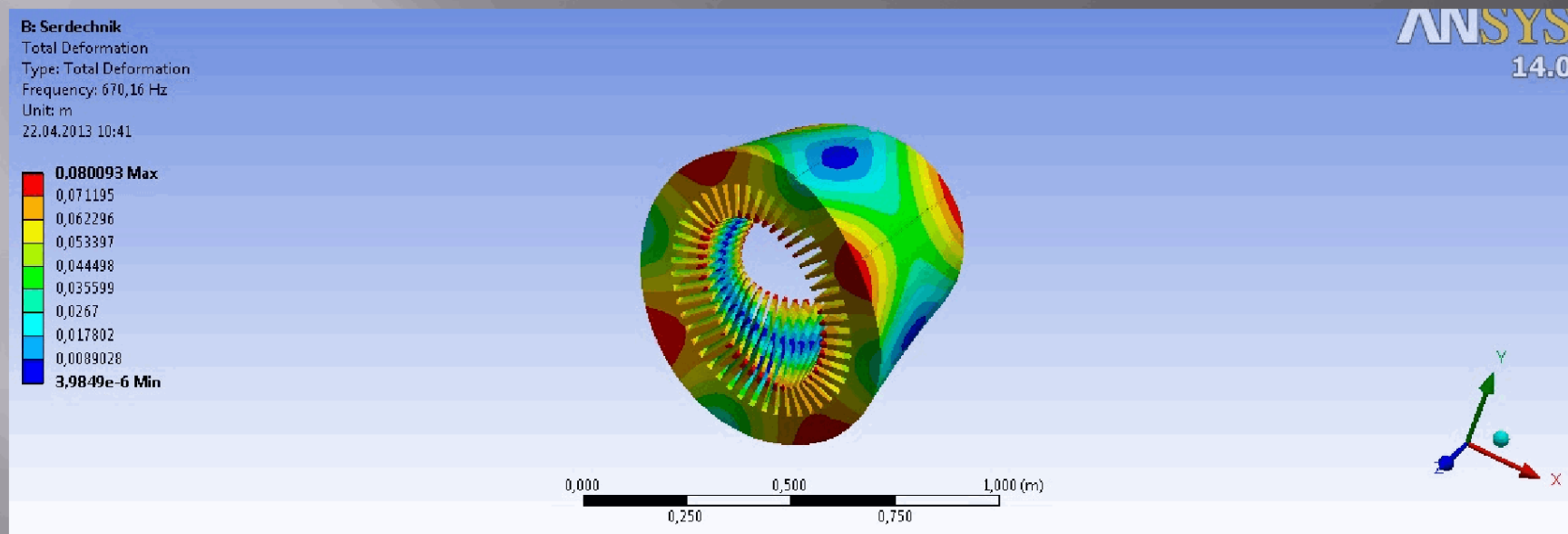


Рис.16. Третья форма колебаний сердечника (670 Гц).

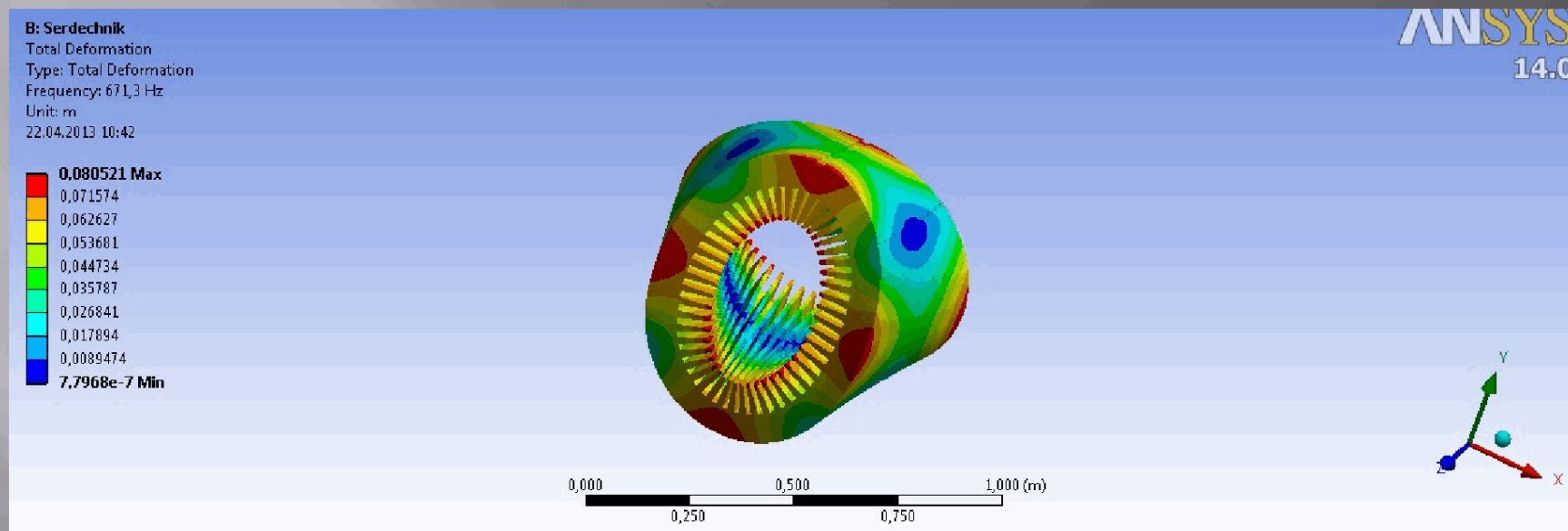


Рис.17. Четвертая форма колебаний сердечника (671 Гц).

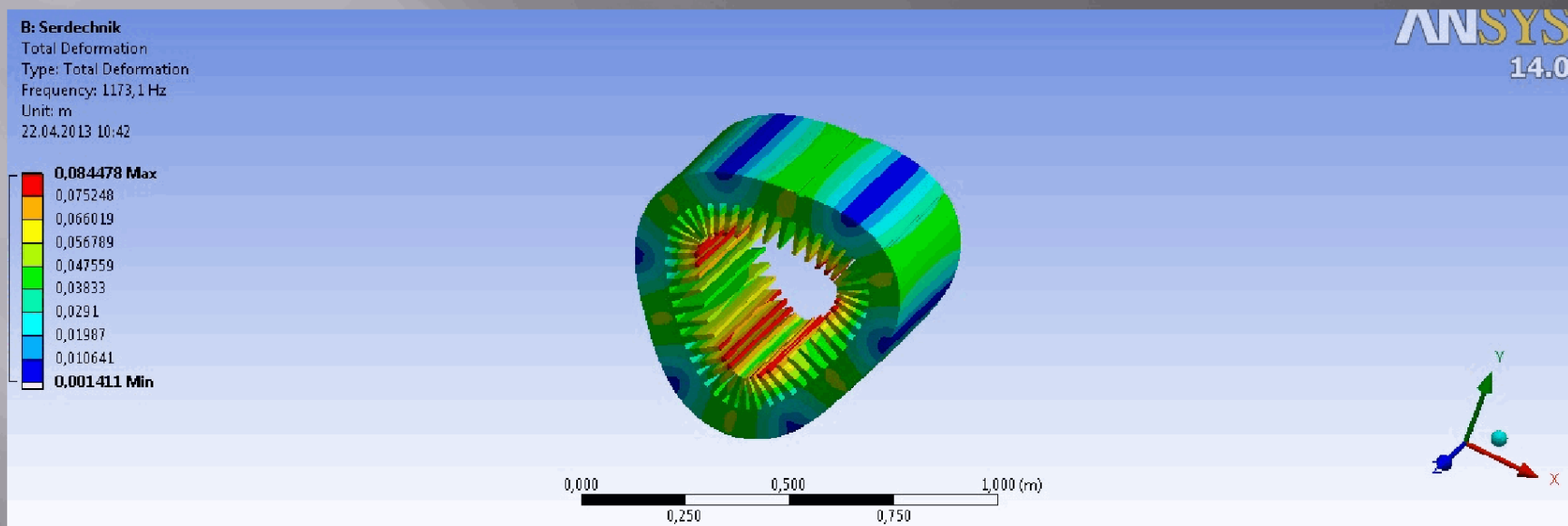


Рис.18. Пятая форма колебаний сердечника (1173 Гц).

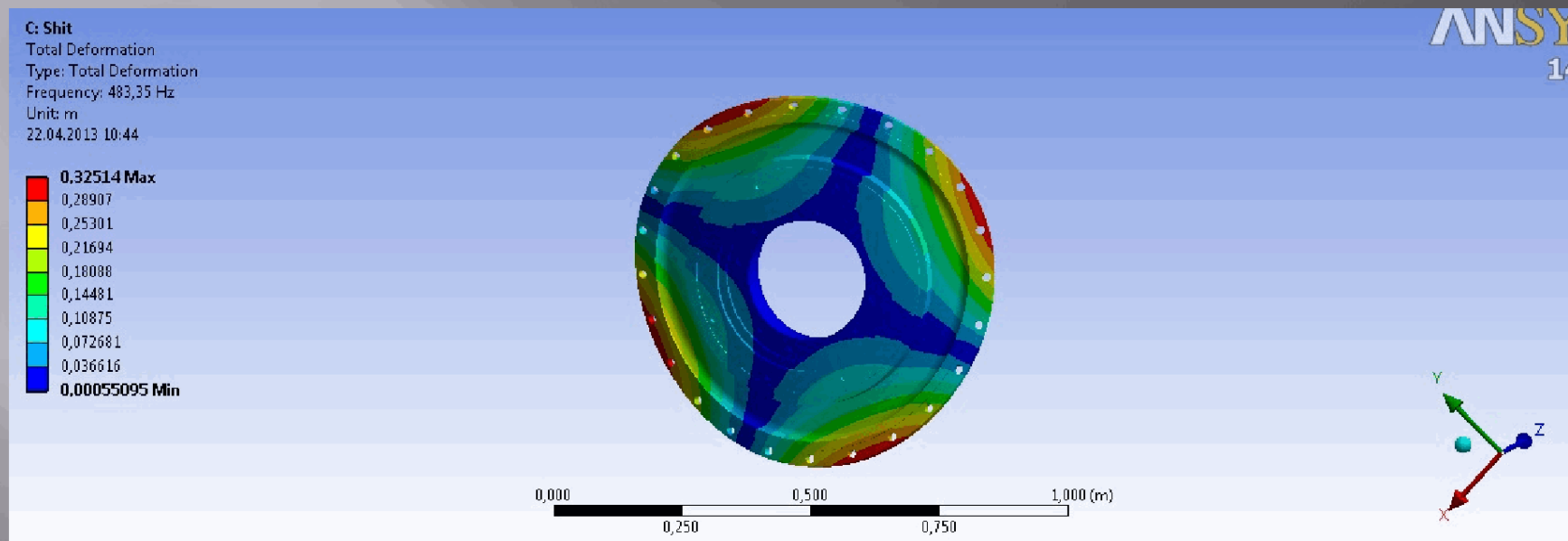


Рис.19. Первая форма колебаний щита (483 Гц).

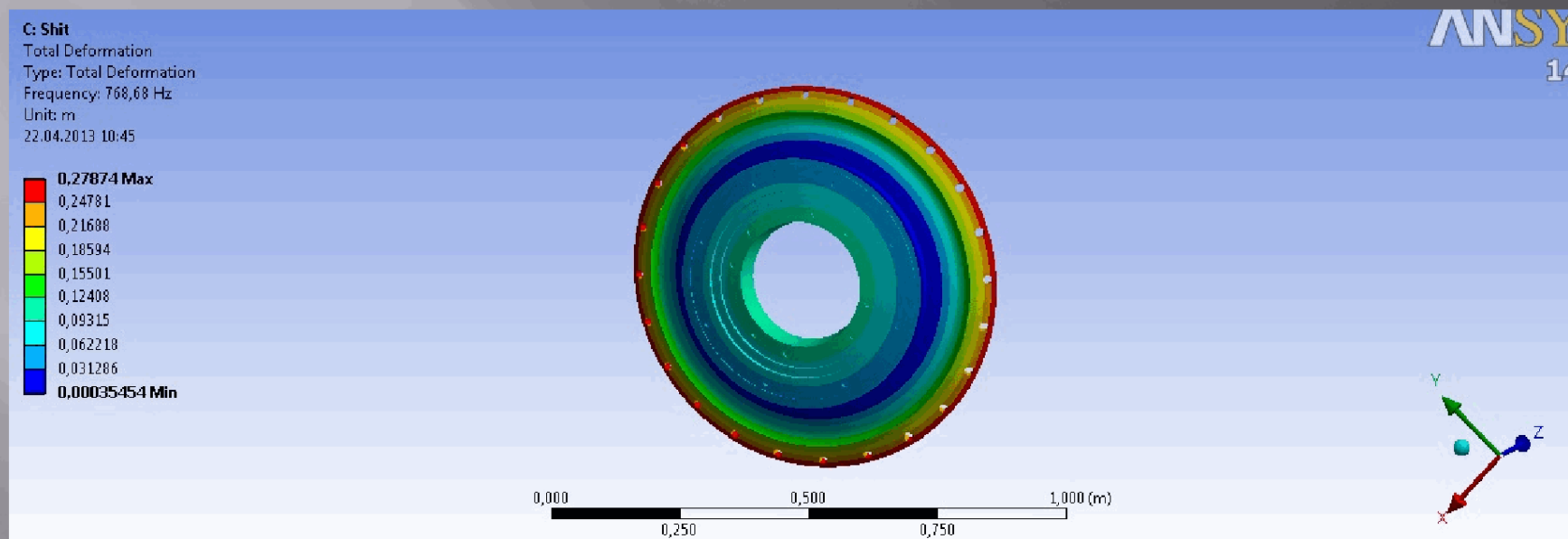


Рис.20. Третья форма колебаний щита (768 Гц).

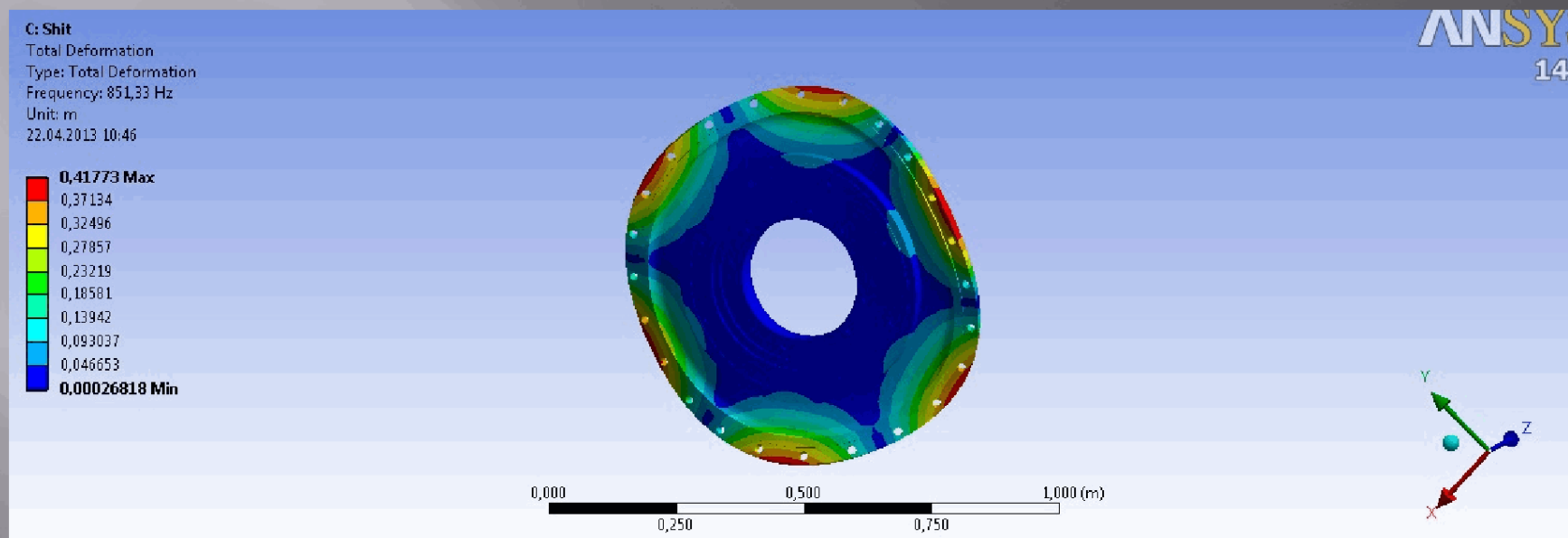


Рис.21. Пятая форма колебаний щита (851 Гц).

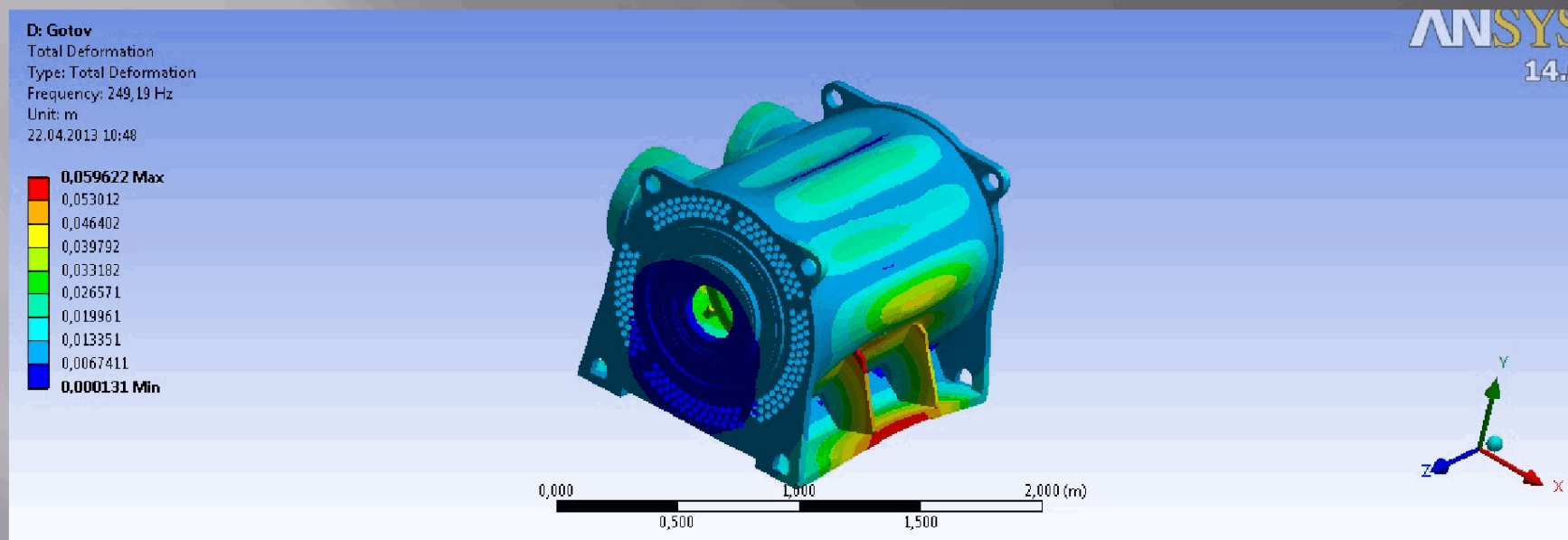


Рис.22. Первая форма колебаний электродвигателя (249 Гц).

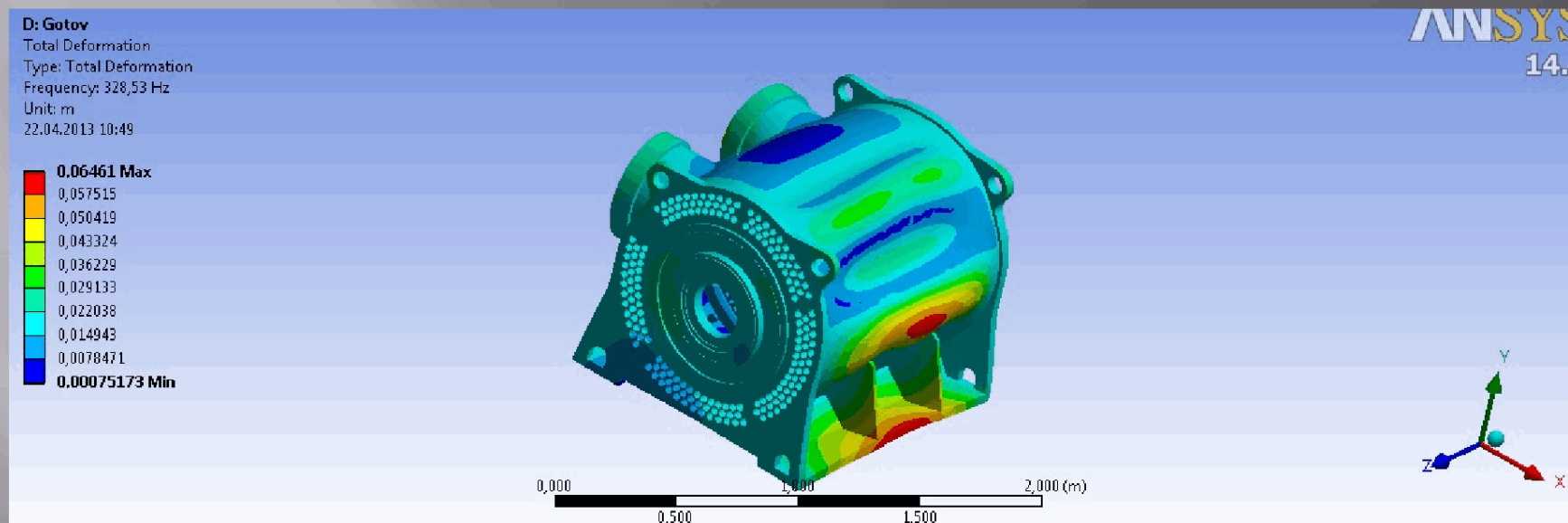


Рис.23. Вторая форма колебаний электродвигателя (328 Гц).

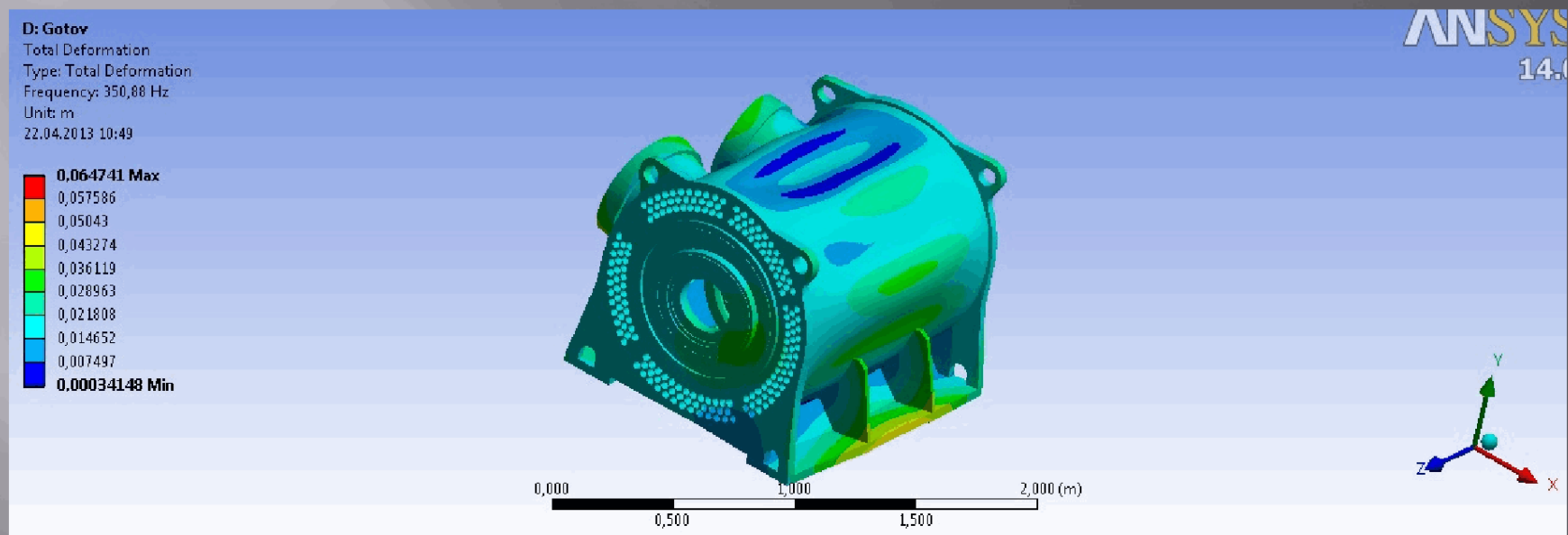


Рис.24. Третья форма колебаний электродвигателя (350 Гц).

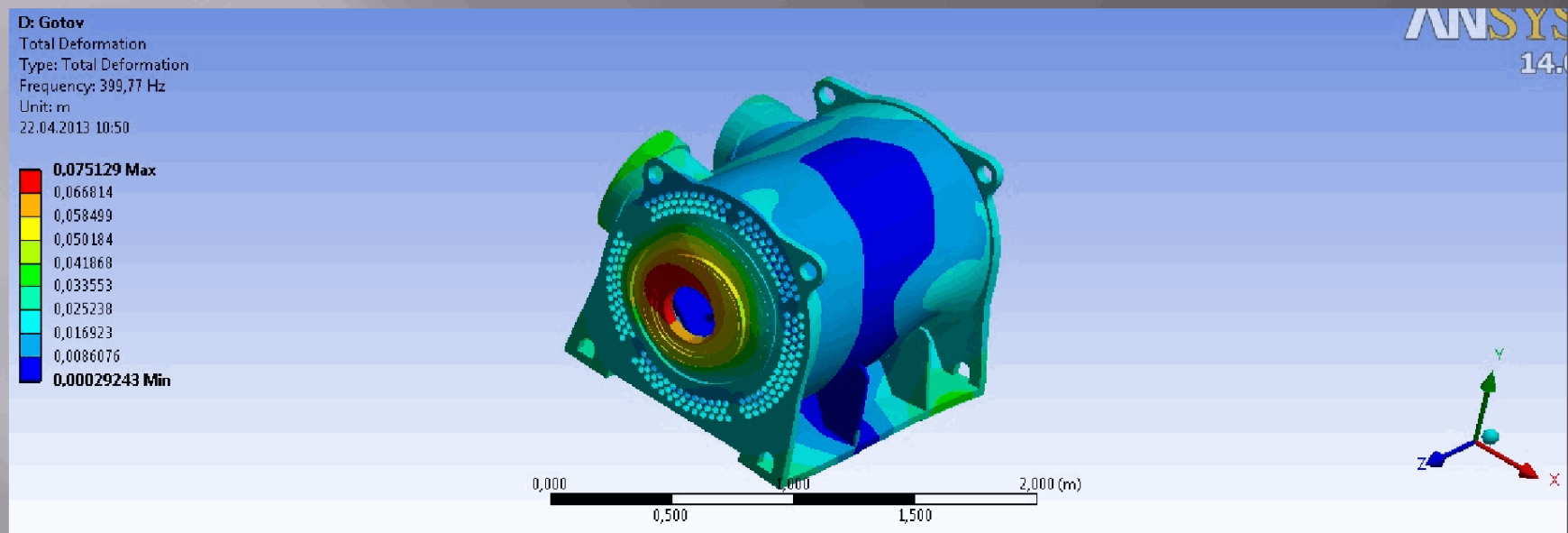


Рис.25. Четвертая форма колебаний электродвигателя (399 Гц).

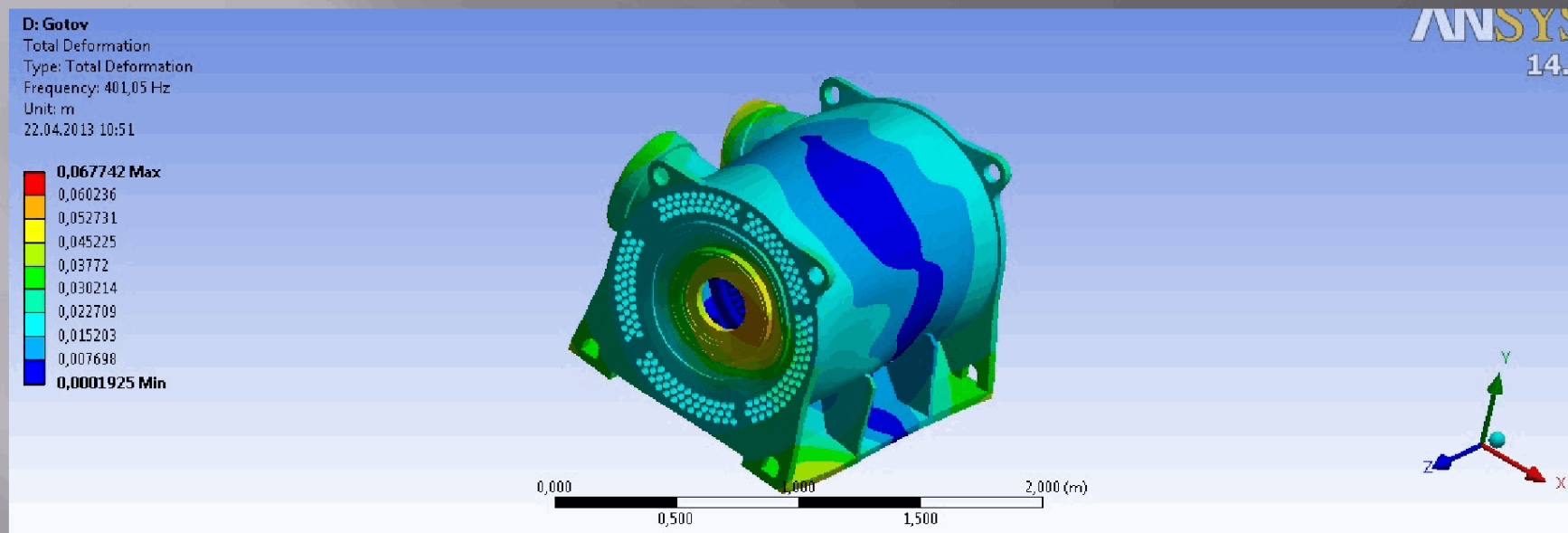


Рис.26. Пятая форма колебаний электродвигателя (401 Гц).

Следующим этапом дипломного проектирования является упрощение моделей деталей электродвигателя, конструктивные особенности которых приводят к усложнению и увеличению времени расчета собственных частот. Такими деталями являются щит и сердечник. В результате их упрощения мы должны повысить эффективность расчета и при этом не нарушить точность получаемых частот.

Для данной задачи мы воспользовались упомянутым ранее программным комплексом Solid Works. Материалы деталей остались прежними.

После проведенных упрощений мы должны убедиться в том, что они не повлияли на точность получаемых частот. Для этого снова проводим расчет щита, сердечника и двигателя в сборе на собственные частоты. На рисунках 27-29 представлено разбиение сетки конечно-элементных моделей.

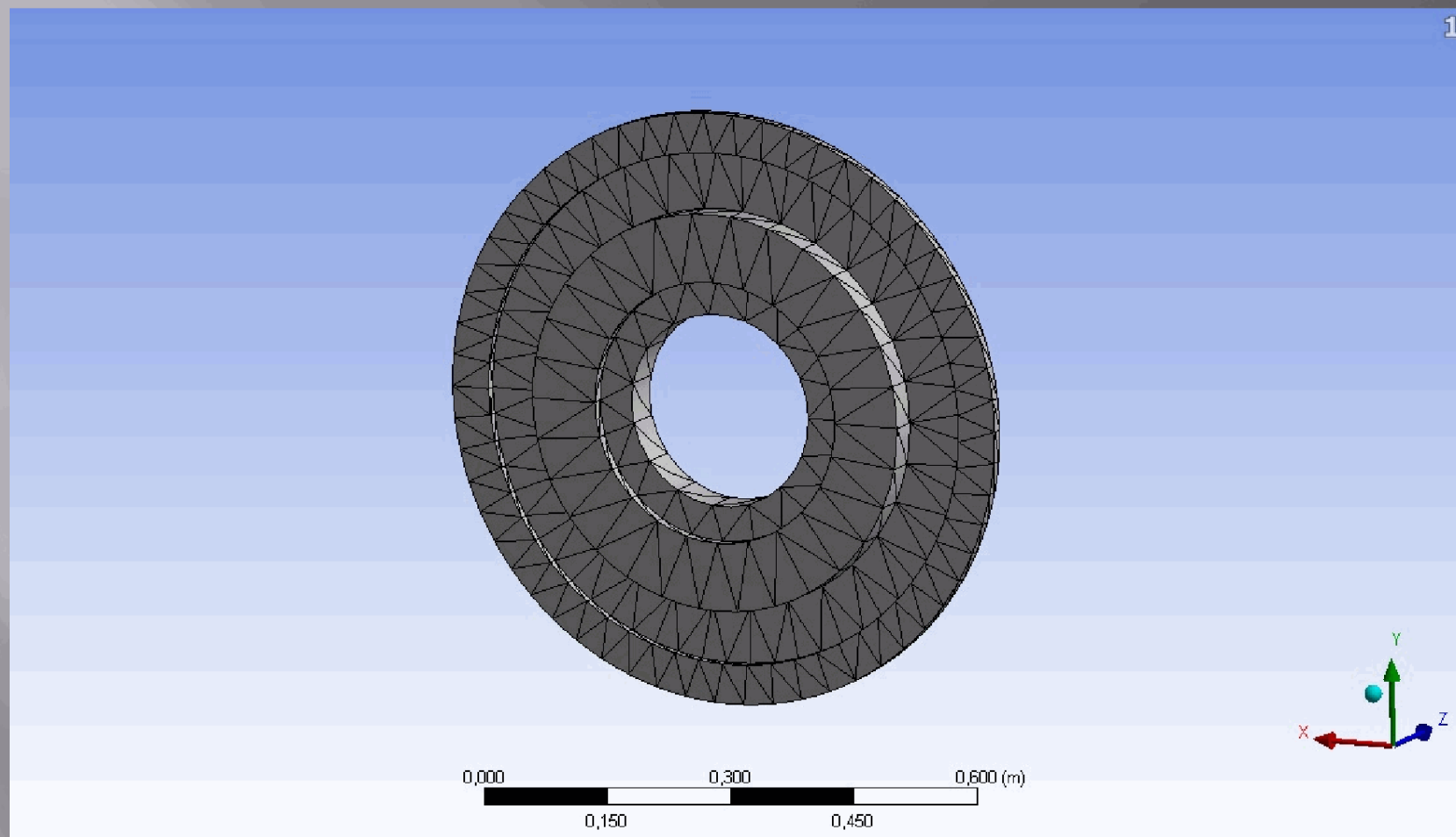


Рис.27. Сетка упрощенного вида щита: элементов- 2077, узлов- 4121.

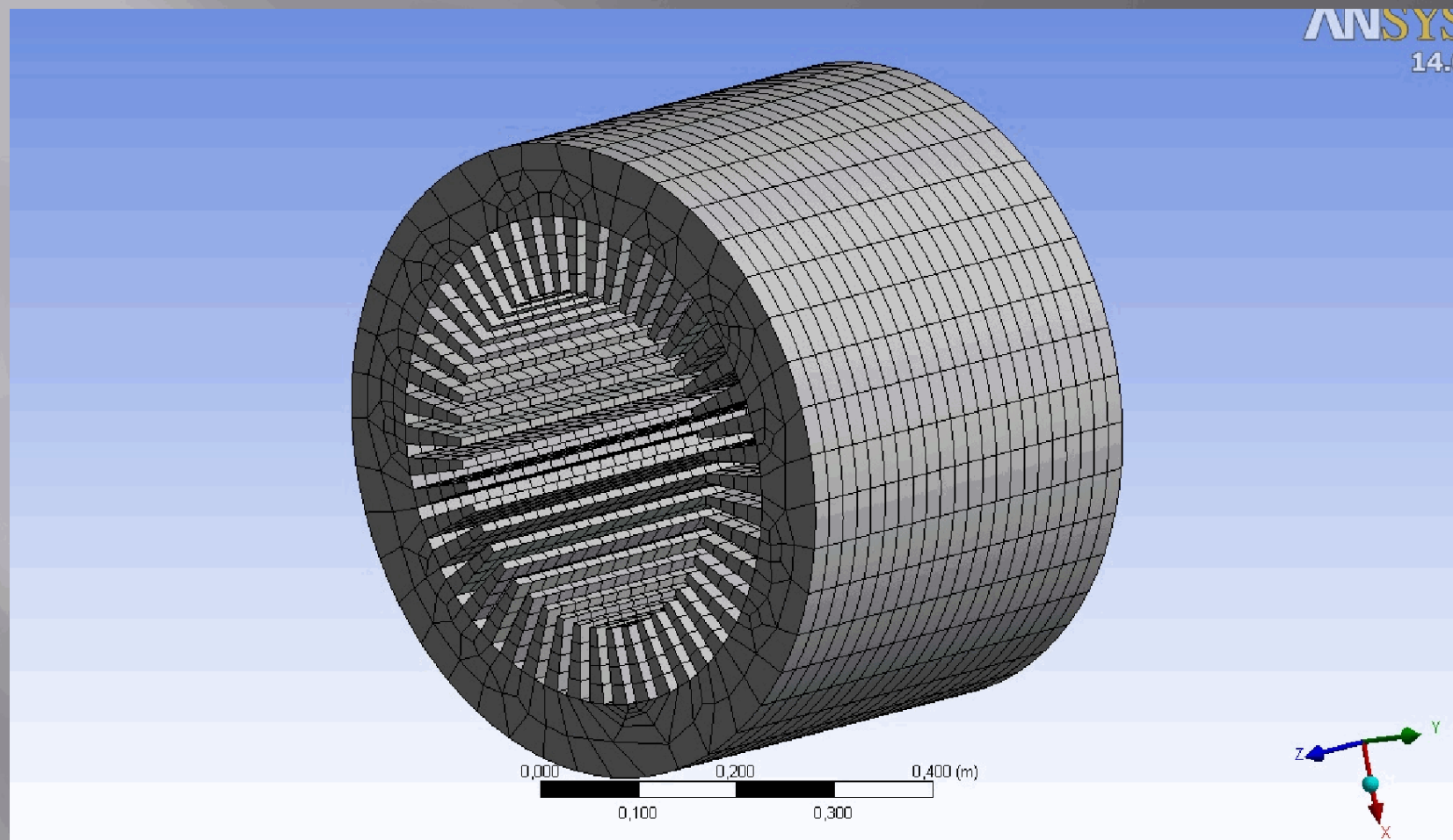


Рис.28. Сетка упрощенного вида сердечника: элементов- 8712, узлов- 53716.

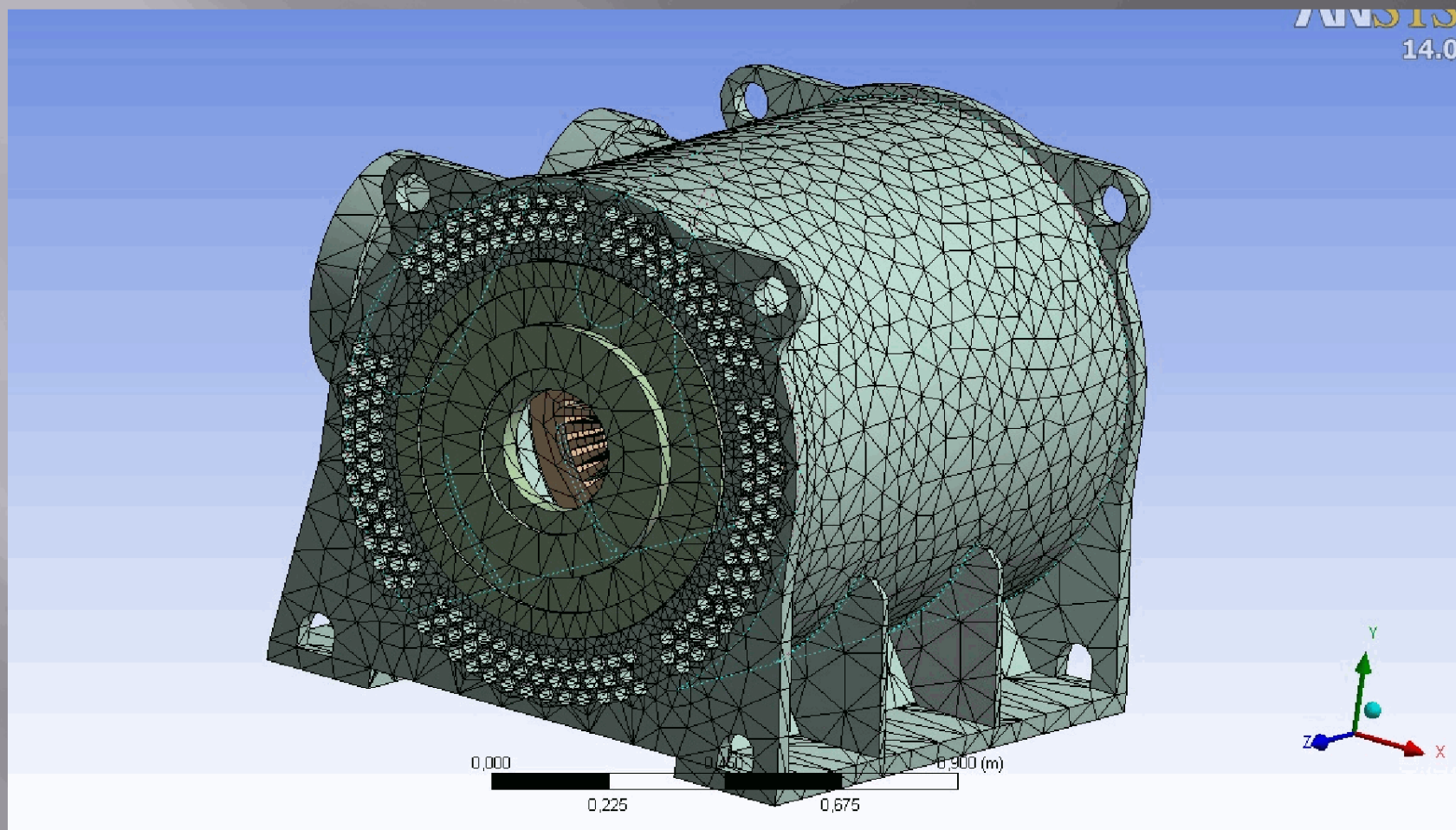


Рис.29. Сетка упрощенного вида электродвигателя: элементов- 60171, узлов- 154299.

В таблице 3 представлены рассчитанные собственные частоты упрощенных деталей электродвигателя.

Таблица 3. Собственные частоты упрощенных деталей.

	Сердечник	Щит	Двигатель в сборе
1.	460,04	485,53	245,29
2.	460,28	485,62	320,37
3.	671,3	774,73	343,15
4.	671,41	859,2	397,39
5.	1175,8	859,5	400,87
6.	1176,	1048,	415,09
7.	1470,1	1050,1	422,7
8.	1470,2	1169,	430,01
9.	1801,4	1171,8	454,74

Формы колебаний:

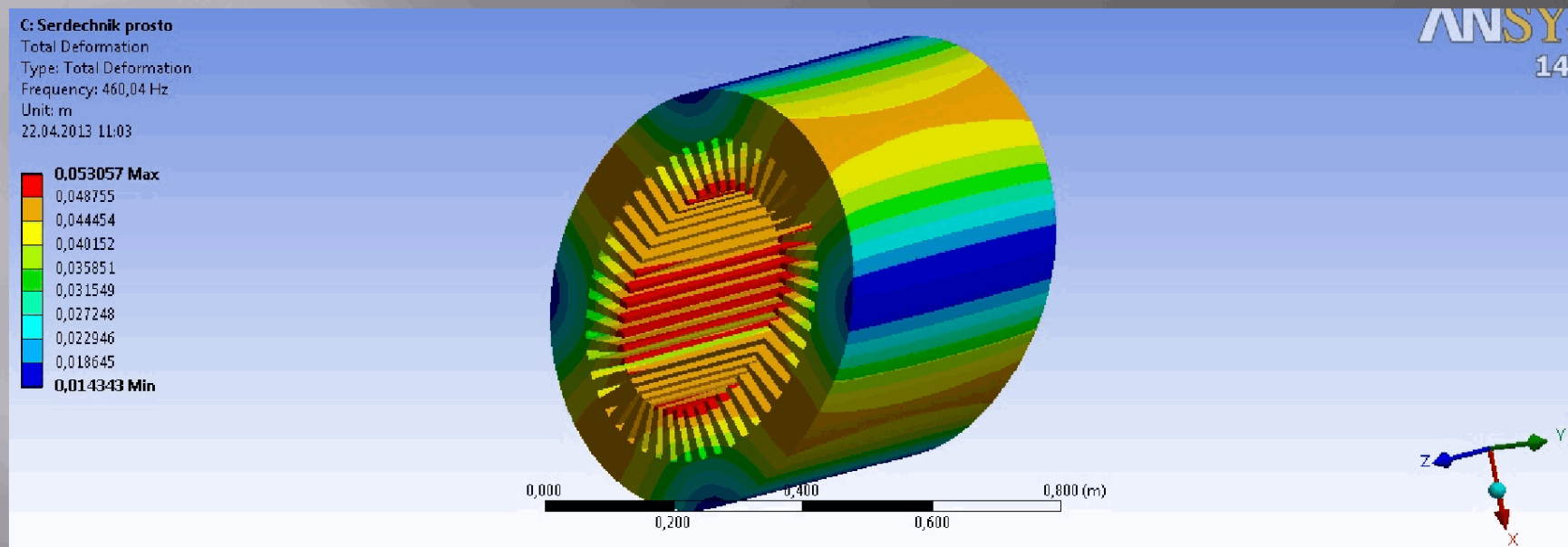


Рис.30. Первая форма колебаний упрощенного сердечника (460 Гц).

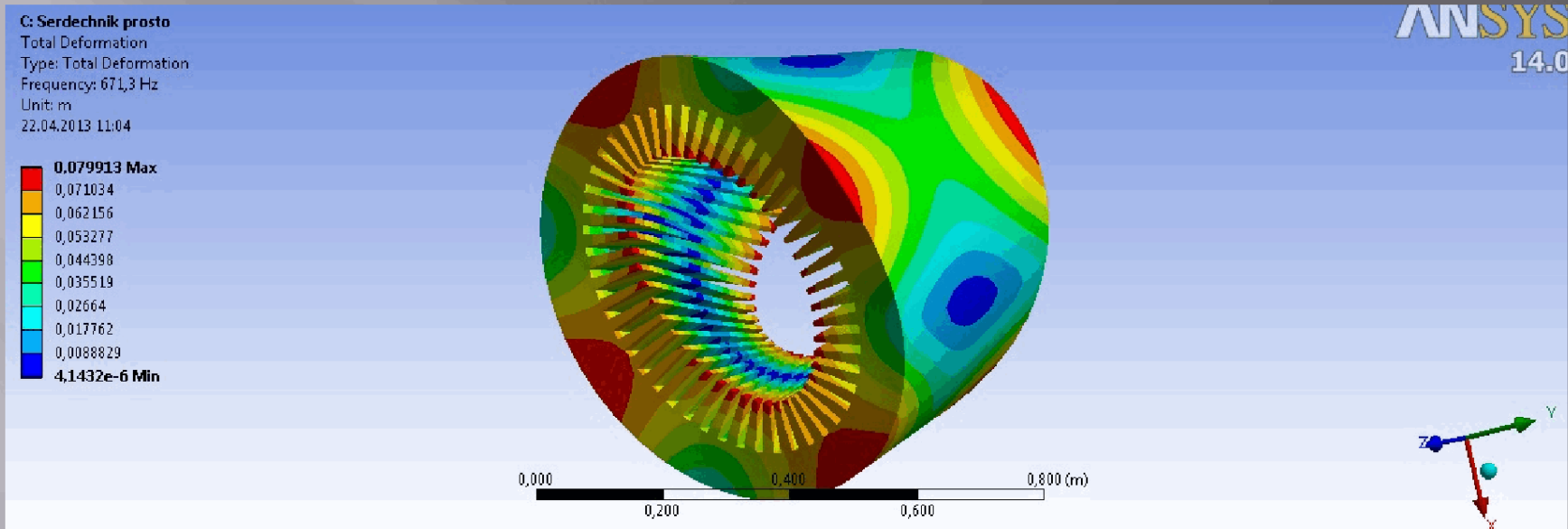


Рис.31. Третья форма колебаний упрощенного сердечника (671 Гц).

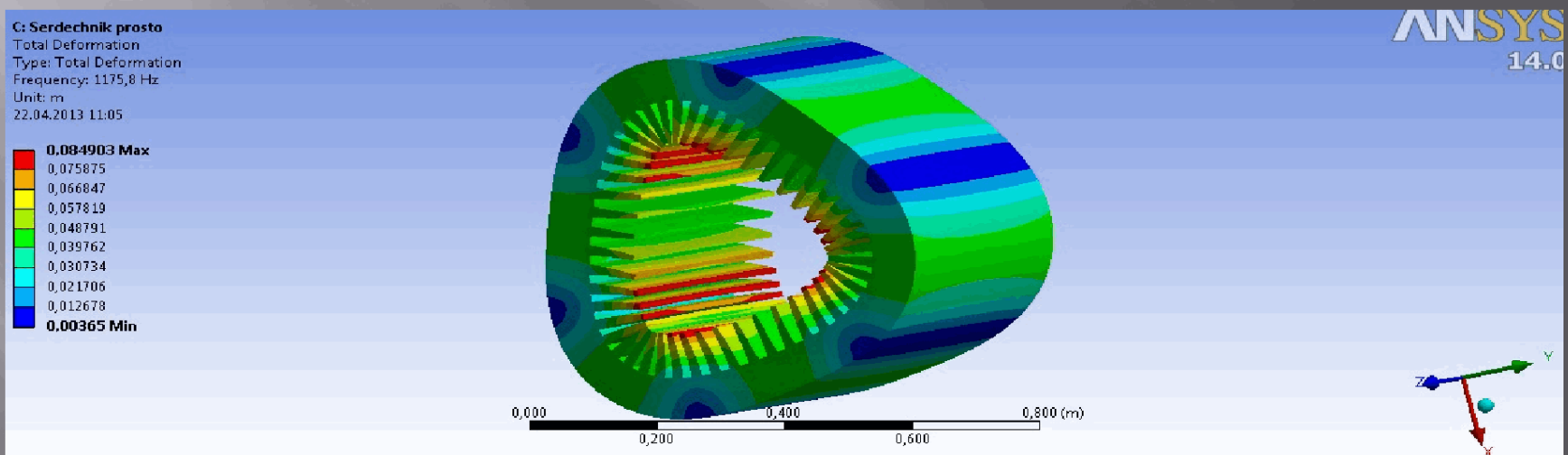


Рис.32. Пятая форма колебаний упрощенного сердечника (1175 Гц).

B: Sborka prosto

Total Deformation

Type: Total Deformation

Frequency: 245,29 Hz

Unit: m

22.04.2013 10:59

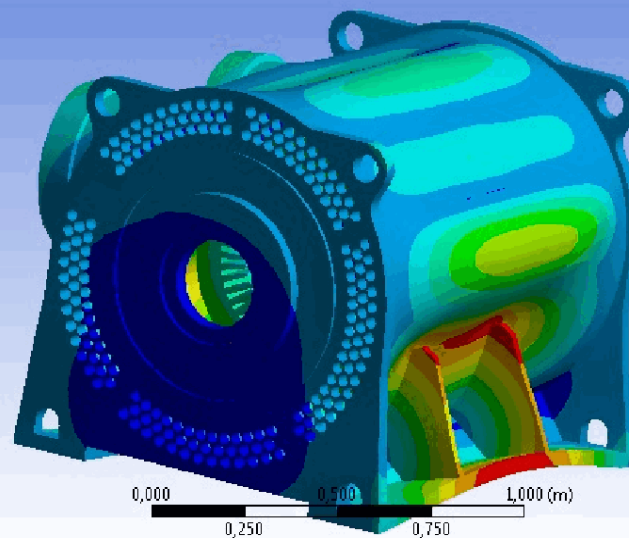
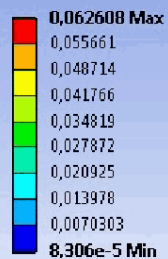


Рис.33. Первая форма колебаний упрощенного электродвигателя (245 Гц).

B: Sborka prosto

Total Deformation

Type: Total Deformation

Frequency: 320,37 Hz

Unit: m

22.04.2013 11:00

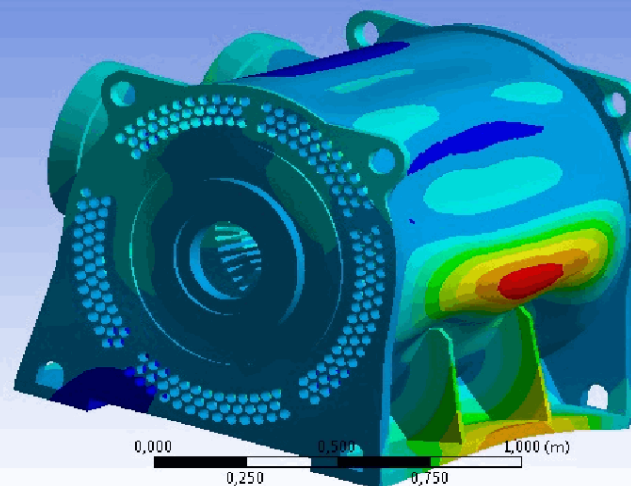
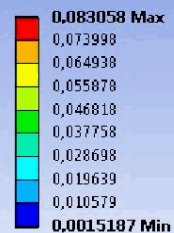


Рис.34. Вторая форма колебаний упрощенного электродвигателя (320 Гц).

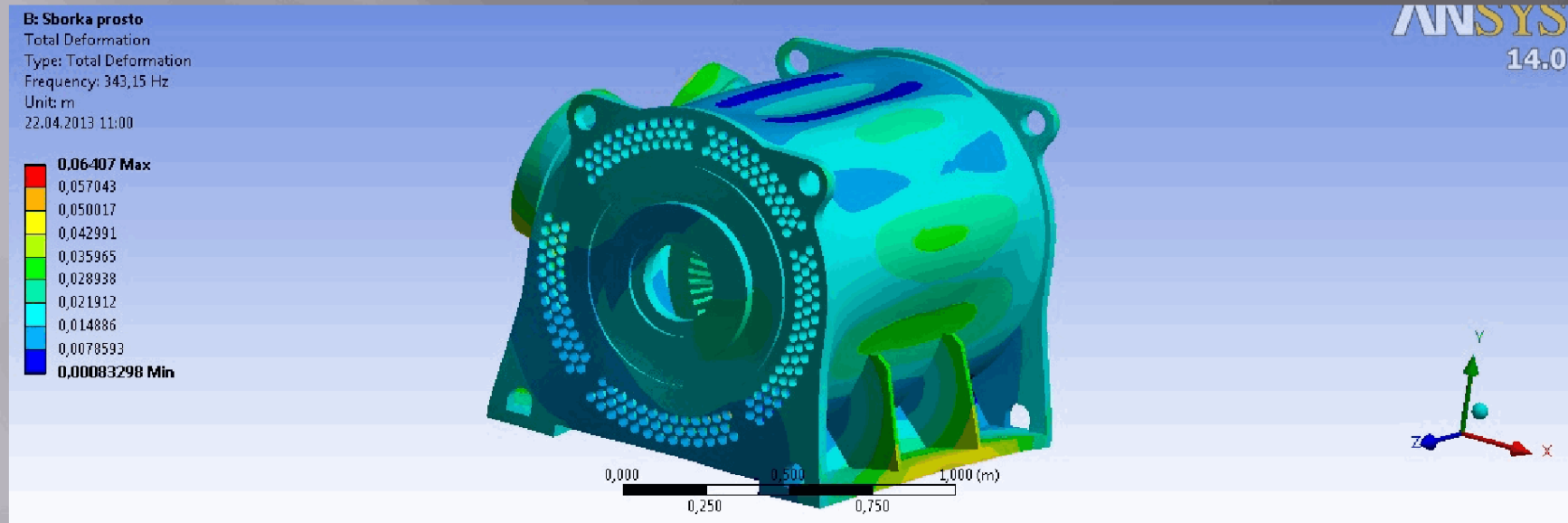


Рис.35. Третья форма колебаний упрощенного электродвигателя (343 Гц).

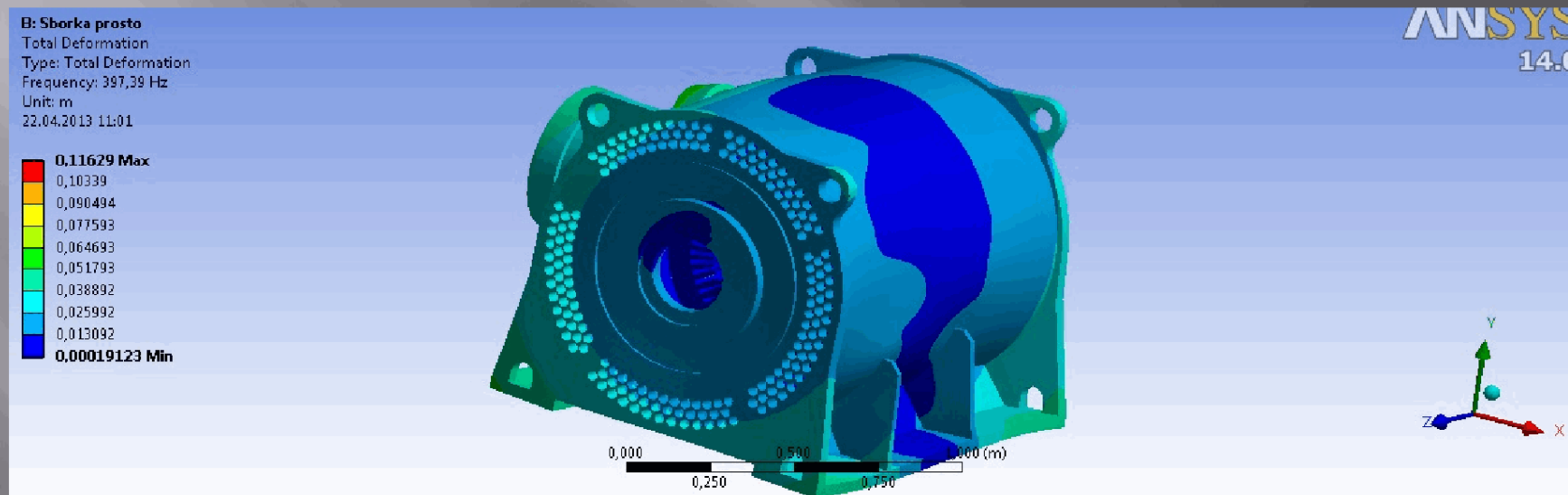


Рис.36. Четвертая форма колебаний упрощенного электродвигателя (397 Гц).

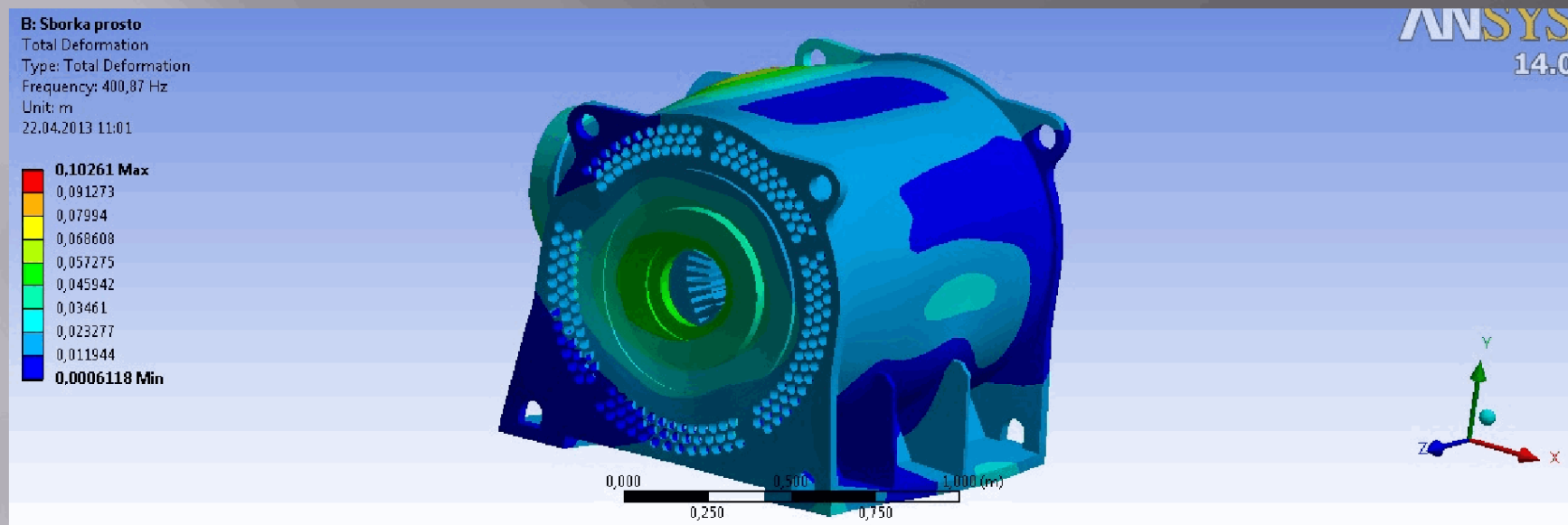


Рис.37. Пятая форма колебаний упрощенного электродвигателя (400 Гц).

Из полученных результатов можно сделать вывод, что проделанные упрощения конструктивных особенностей деталей электродвигателя незначительно повлияли на их собственные частоты (погрешность составила порядка 2%), но при этом привели к более облегченному и быстрому расчету (время расчета сократилось приблизительно на треть).

Для того, чтобы результаты были максимально близки к реальности, провели расчет собственных частот с учетом обмотки статора. Построение проводили в программе Solid Works. Для этого отдельно были спроектированы пластины из меди. На рисунках 38 и 39 представлен вид сердечника с заложенной медной обмоткой и сборка двигателя с обмоткой соответственно.

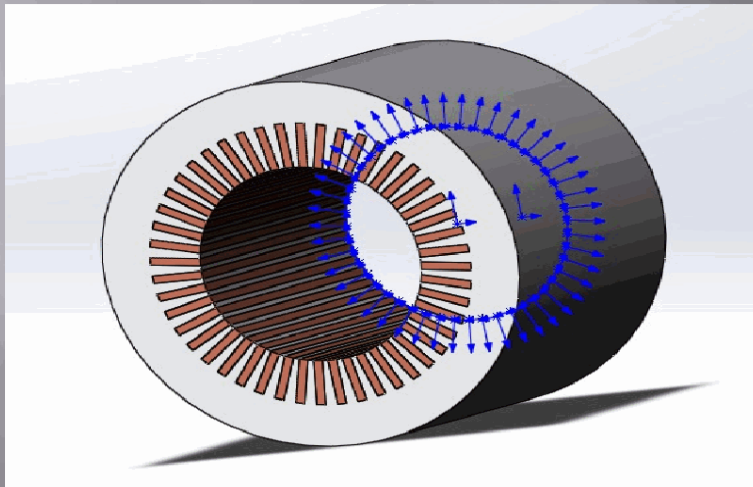


Рис. 38. Модель сердечника с обмоткой.

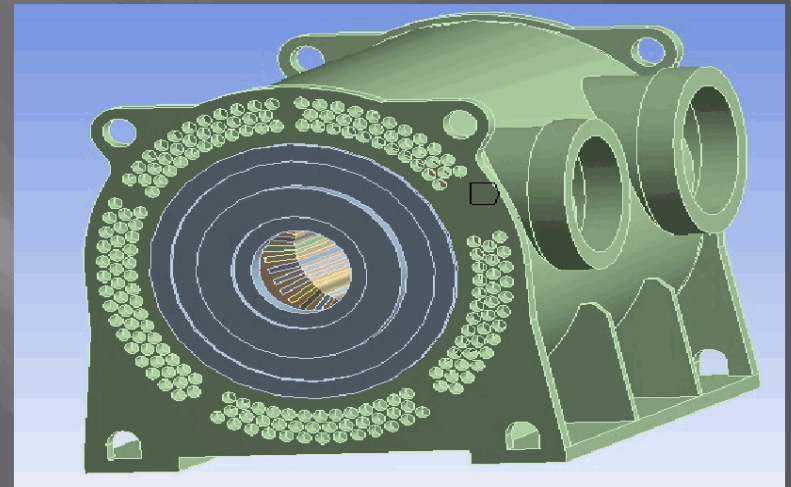


Рис.39. Упрощенный электродвигатель с обмоткой.

Для сравнения ниже приведена таблица с результатами расчетов собственных частот упрощенного электродвигателя и с учетом обмотки.

Таблица 4. Результаты собственных частот.

	упрощенный	с учетом обмотки
1	245	227
2	320	237
3	343	333
4	397	392
5	400	408
6	415	416
7	422	450
8	430	459
9	454	489

Из полученных результатов можно сделать вывод, что при учете обмотки получили расхождение в собственных частотах с упрощенным видом электродвигателя в среднем порядка 10%. Это связано с увеличением его массы.

ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ И ФАЗО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Для исследования амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик в программе Ansys Workbench была задана сила, возникающая при дисбалансе ротора, равная 47 кН. Расчет амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик произвели в точке на ребре станины (рис.40) и на поверхности станины (рис.41).

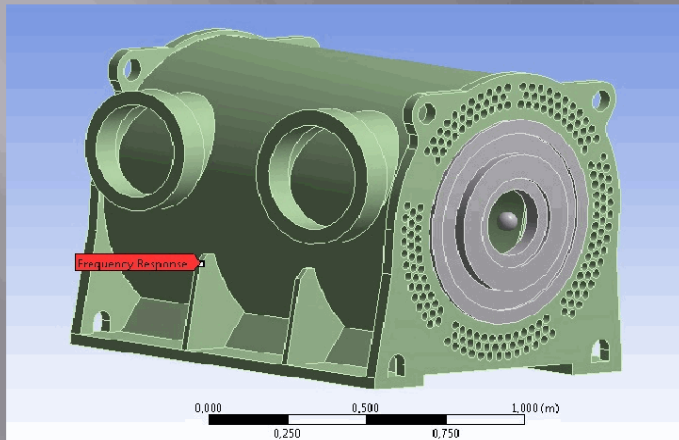


Рис.40. Выбор точки на ребре станины.

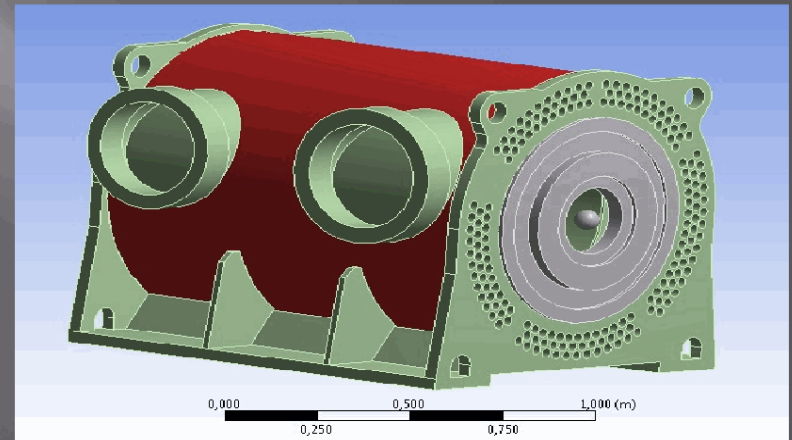


Рис.41. Выбор поверхности станины.

Расчет проводили на частотах 150 - 400 Гц с шагом 2.5 Гц. В итоге получили 100 значений.

На рисунке 42 представлены амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики в точке на ребре станины.

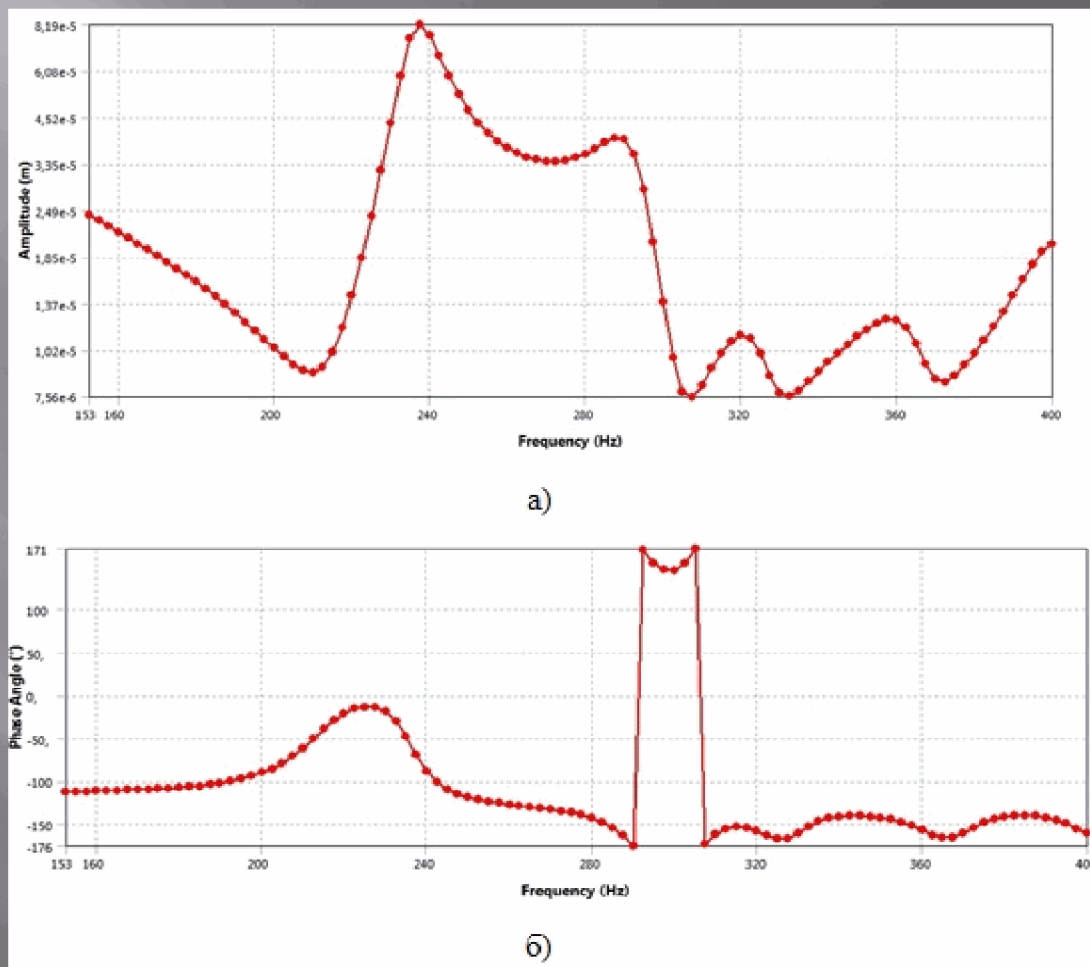


Рис.42. а - амплитудно-частотная характеристика; б - фазо-частотная характеристика в точке на ребре станины.

На рисунке 43 представлены амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики на поверхности станины.

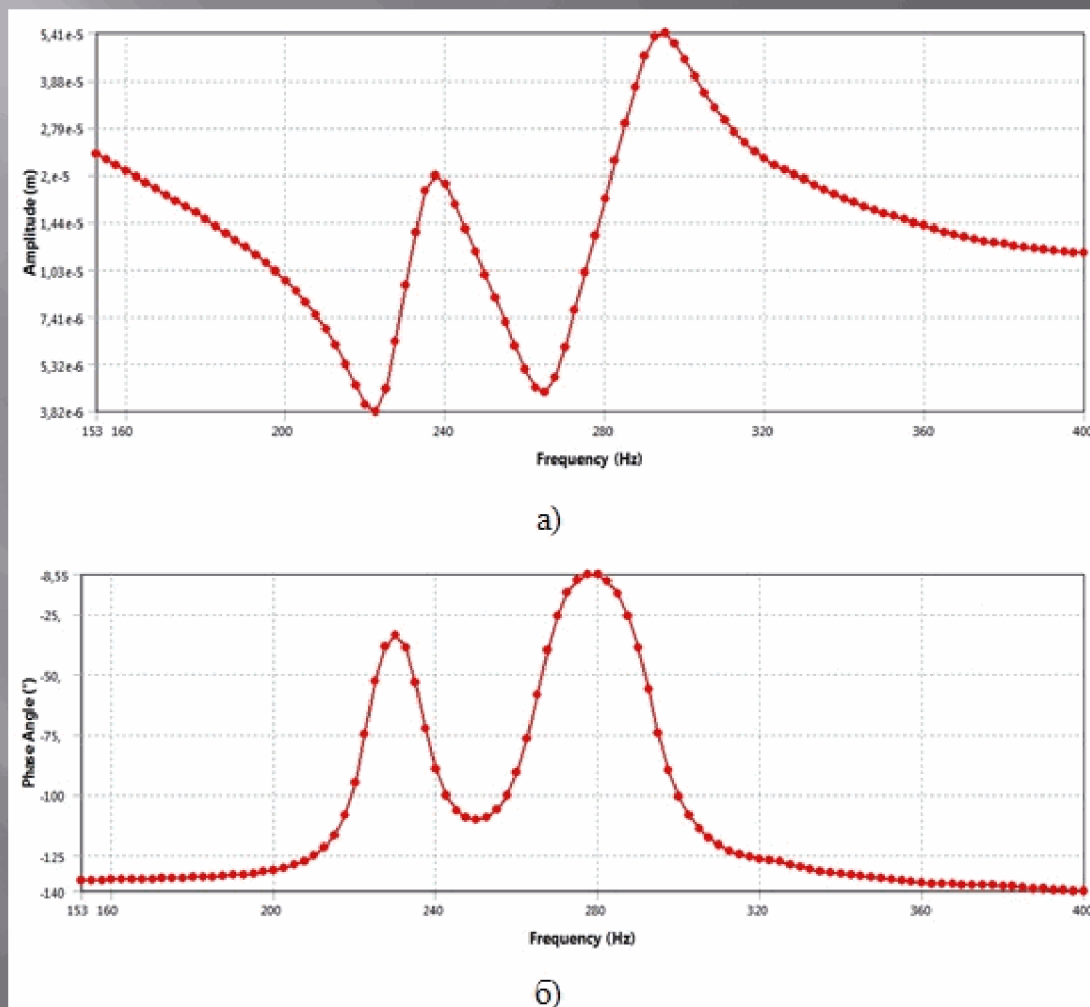


Рис.43. а - амплитудно-частотная характеристика; б - фазо-частотная характеристика на поверхности станины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с целью и задачами дипломного проекта в ходе работы были изучены конструктивные особенности электродвигателя ВАО5-560-400-2(Д)У2, проведен расчет методом конечных элементов деталей и всего двигателя в сборе на собственные частоты и формы колебаний, исследованы амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики в различных точках.

Кроме того, рассчитана экономическая эффективность внедрения программного комплекса, реализующего расчет электродвигателя, и выполнена оценка безопасности при проведении расчета собственных частот колебаний электродвигателя в инженерно-техническом центре ООО «Электротяжмаш-Привод».

ВЫВОДЫ:

1. Изложены конструктивные особенности электродвигателя.
2. Произведен расчет собственных частот и форм колебаний деталей и двигателя в сборе.
3. Введены изменения конструктивных особенностей деталей с целью упрощения и повышения эффективности расчета.
4. В результате расчета собственных частот и форм колебаний упрощенных деталей и упрощенного двигателя в сборе сделан вывод, что введенные изменения незначительно повлияли на собственные частоты, но при этом повысили эффективность вычислений.
5. Произведен расчет собственных частот электродвигателя с учетом обмотки.
6. В разделе «Безопасность и экологичность» выполнен анализ безопасности при расчете собственных частот колебаний электродвигателя в инженерно-техническом центре ООО «Электротяжмаш-Привод».
7. В экономической части дипломного проекта проведен расчет экономической эффективности внедрения программного комплекса, реализующего расчет электродвигателя.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!