

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
Институт радиоэлектроники и информационных технологий – РТФ

Отчет №4
по дисциплине «Цифровые двойники в электронике,
радиотехнике и системах связи»

Преподаватель _____ Денисов Дмитрий Вадимович
Студент _____ Хадж Махаммед Яхья
Группа _____ РИ-231103

Екатеринбург
2025

Конспект лекции

Ansyz HFSS — это программа, который позволяет моделировать электромагнитные поля в трёхмерном пространстве. На ввидое лекции я изучал, как с её помощью можно рассчитать диаграмму направленности антенны и эффективную площадь рассеяния (ЭПР) в условиях свободного пространства, то есть когда объект находится далеко от других предметов. Основной метод, который используется в программе, называется методом конечных элементов. Его суть заключается в том, что пространство вокруг антенны разбивается на множество мелких элементов, и для каждого из них решаются уравнения Максвелла. Это помогает точно предсказать поведение электромагнитных волн.

Работа в HFSS начинается с создания геометрии объекта, например, автомобиля или антенн . Затем нужно выбрать материалы для модели — металл, диэлектрик или другие. Важно правильно задать граничные условия, такие как Radiation Boundary или PML, чтобы имитировать открытое пространство. Источник сигнала настраивается через Wave Port или Lumped Port. Для симуляции используется частота. Размер расчётной области должен быть не меньше четверти длины волны ($\lambda/4$), чтобы получить достоверные результаты.

После запуска расчёта программа выводит диаграмму направленности — трёхмерный график, показывающий, куда и с какой интенсивностью излучает антенна. Также можно увидеть S-параметры, такие как коэффициент стоячей волны, и рассчитать ЭПР — это помогает понять, как объект рассеивает электромагнитную энергию.

Рефлексия

Когда я начал работать в Ansys HFSS, я думал, что моделирование — это просто создание графиков. Но оказалось, что за этим стоит глубокая физика. Например, я понял, как важно правильно выбирать граничные условия. Если вместо Radiation Boundary поставить что-то другое, результаты становятся неточными, и это сильно влияет на расчёты.

Метод конечных элементов даёт высокую точность, но у него есть свои сложности. Чтобы всё работало правильно, нужно аккуратно разбивать модель на мелкие элементы, а это требует времени. Сначала я не понимал, как настраивать Wave Port, и получал ошибки. Но после нескольких попыток и чтения инструкций стало проще.

Больше всего мне понравилось наблюдать за диаграммами направленности. Теперь я хочу попробовать рассчитать ЭПР для сложных объектов, например, самолёта, и сравнить результаты моделирования с реальными экспериментами. Эта работа помогло меня понять, как устроены современные технологии.

Теоретическая информация:

Что такое ЭПР (RCS)?

Эффективная площадь рассеяния (ЭПР, англ. Radar Cross Section, RCS) — это мера способности объекта отражать электромагнитные волны обратно к источнику излучения. Она выражается в децибелах относительно квадратного метра (дБ·м²) или в абсолютных единицах (м²).

Физический смысл : Если бы объект был идеальным плоским зеркалом, то его ЭПР соответствовала бы фактической площади этого зеркала. Однако реальные объекты имеют сложную геометрию и материалы, что приводит к различным эффектам рассеяния.

Формула для ЭПР:

$$RCS = \frac{4\pi R^2 |E_s|^2}{|E_i|^2},$$

где:

R — расстояние от объекта до наблюдателя,

E_s — амплитуда рассеянного электрического поля,

E_i — амплитуда падающего электрического поля.

Информация, которую дает ЭПР

1. Обнаружение объекта :

ЭПР показывает, насколько легко объект может быть обнаружен радаром. Большие значения ЭПР соответствуют высокой заметности объекта.

2. Стелс-технологии :

Уменьшение ЭПР используется в военной технике для снижения вероятности обнаружения объекта. Это достигается за счет специальной формы (например, наклонные поверхности), использования радиопоглощающих материалов и других методов.

3. Анализ взаимодействия с окружающей средой :

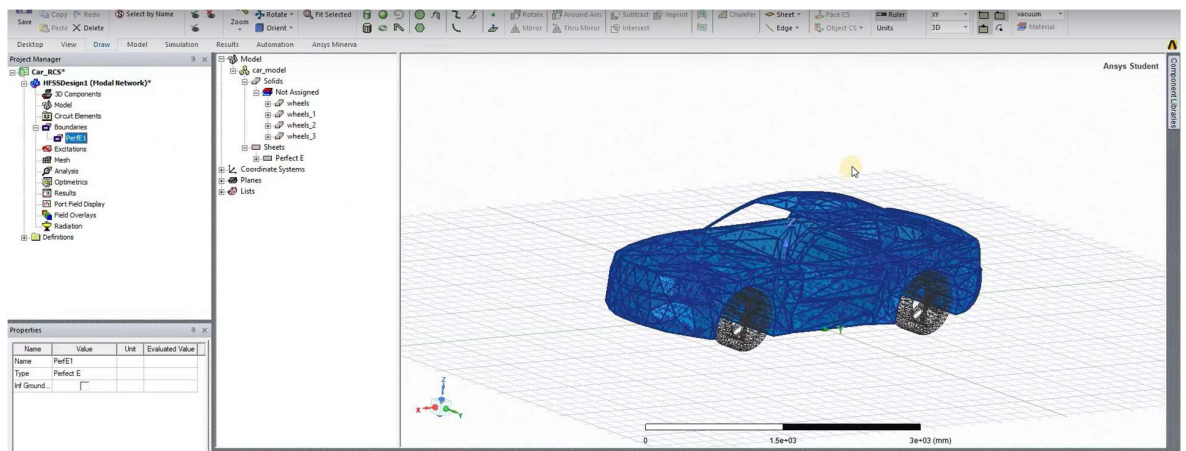
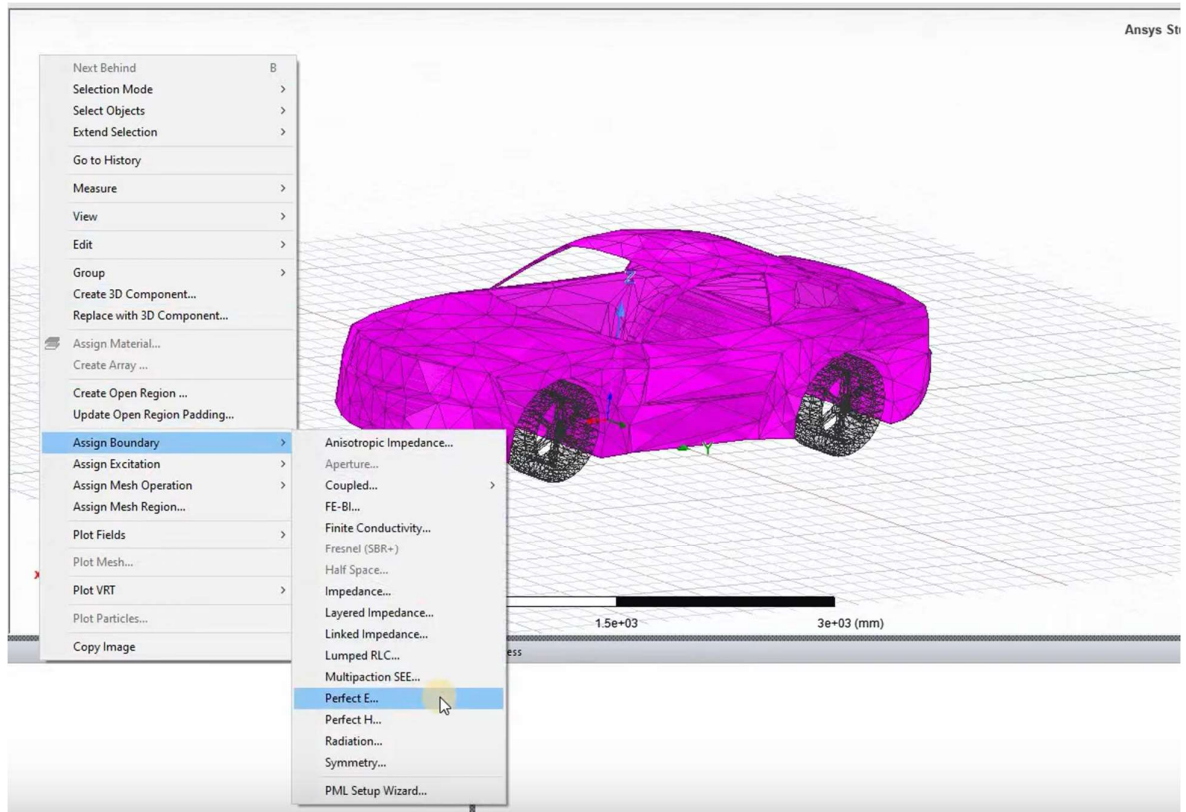
ЭПР помогает понять, как объект взаимодействует с электромагнитными волнами. Например, автомобиль с металлическим корпусом имеет большую ЭПР по сравнению с автомобилем с пластиковым корпусом.

4. Оценка влияния на системы связи :

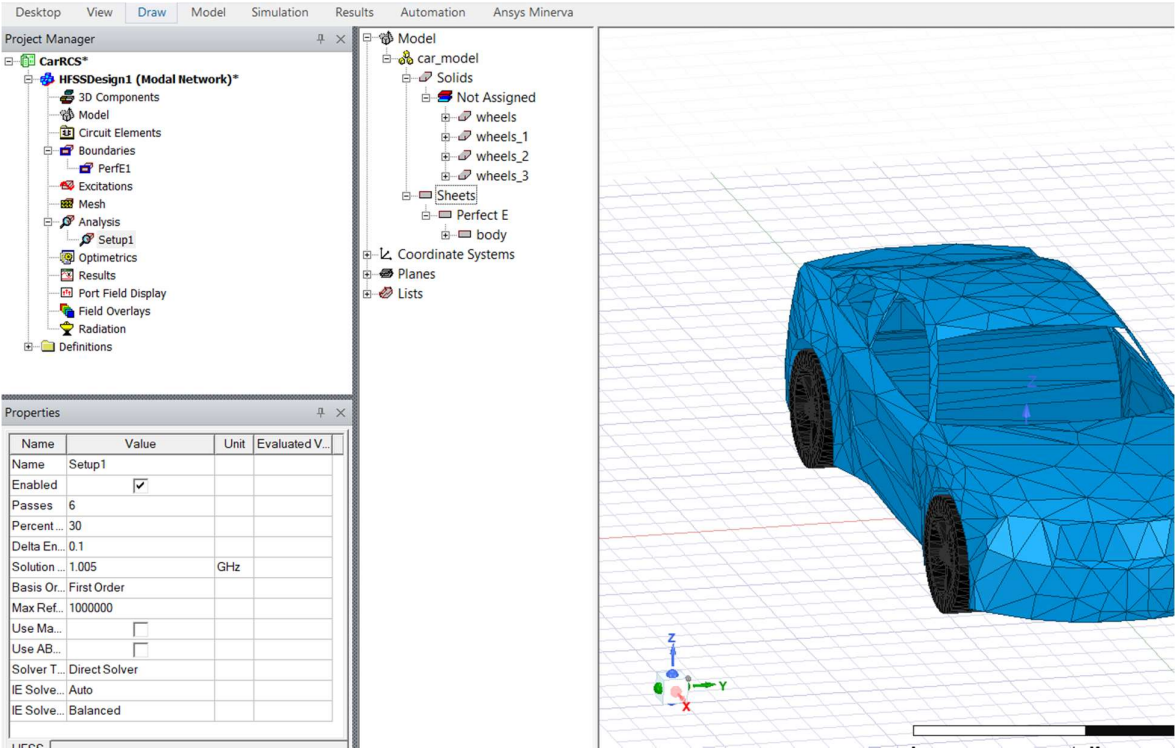
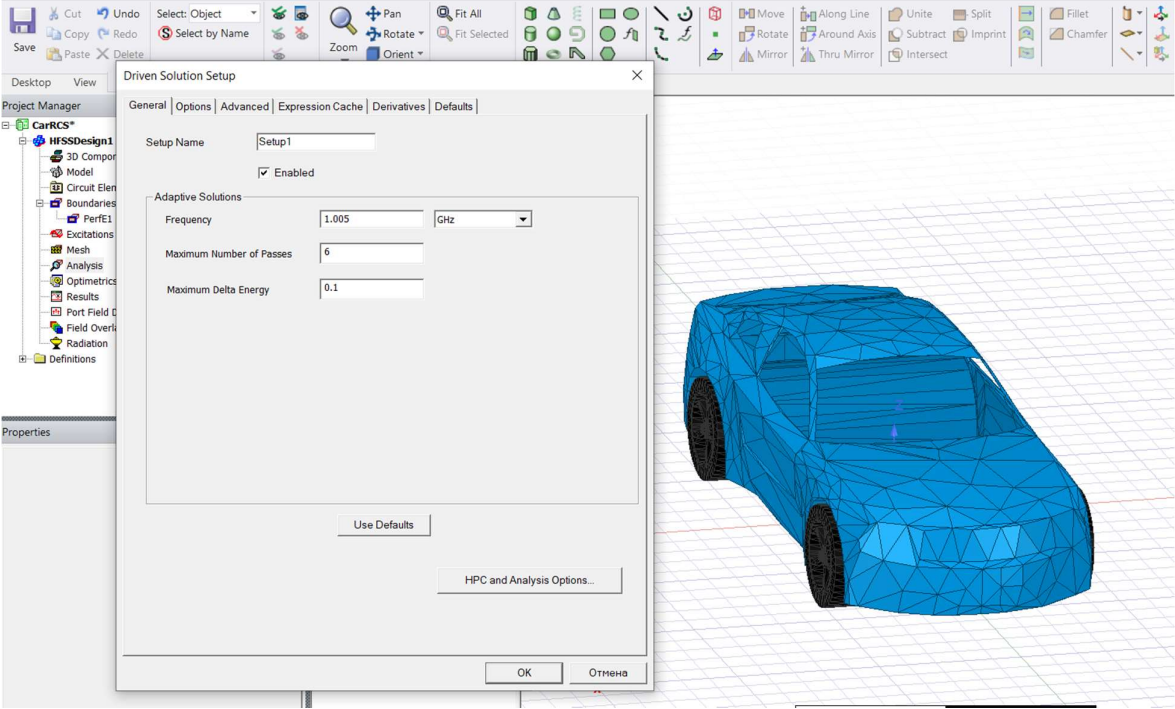
ЭПР позволяет оценить, как объект влияет на распространение радиоволн, что важно для проектирования антенн и систем связи.

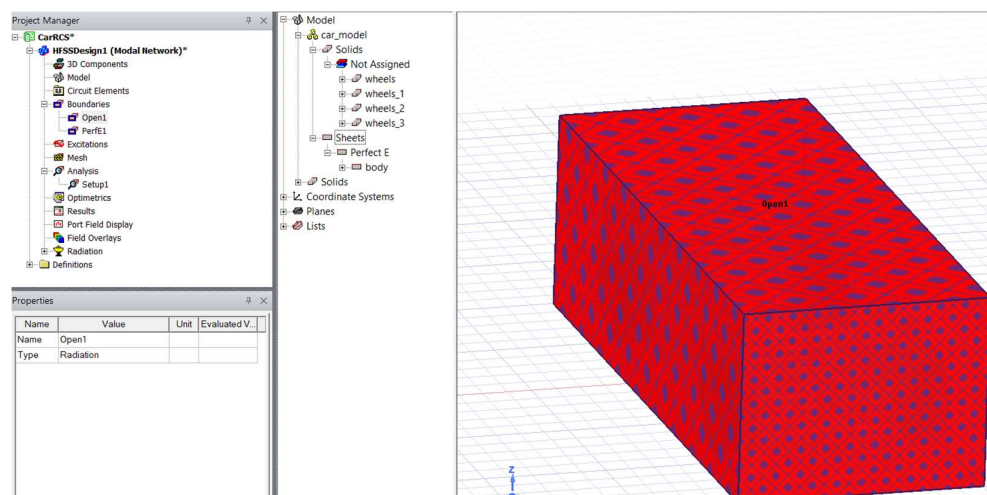
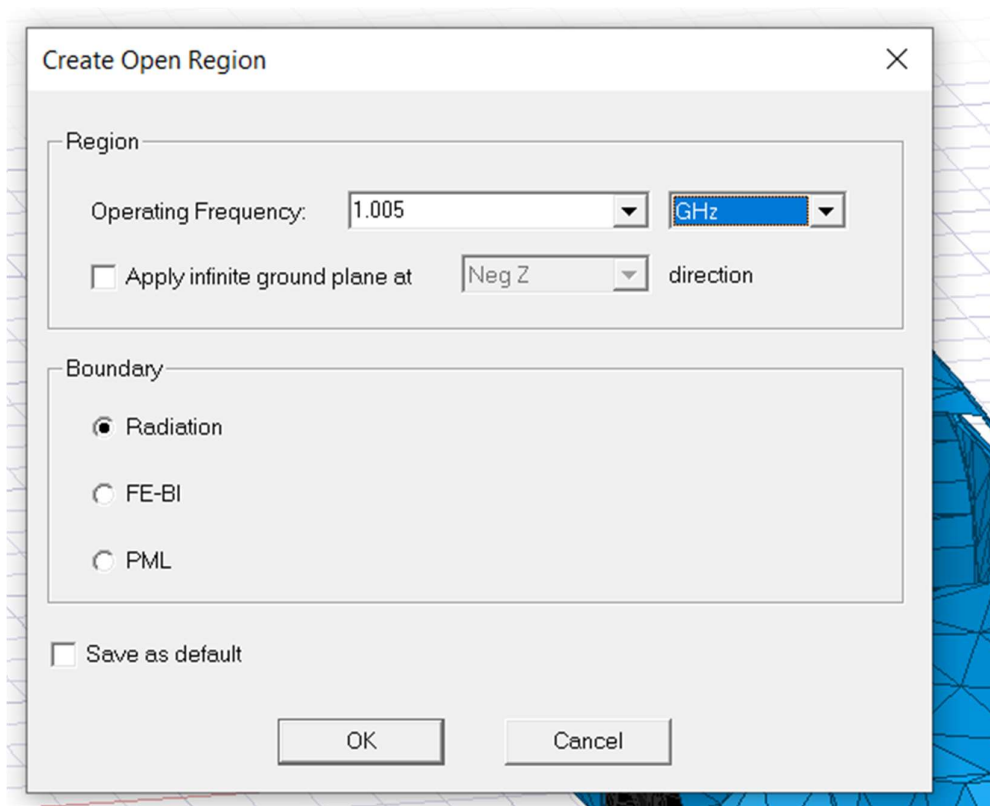
Скриншоты работы:

Делаем из body модели для металлических Perfect E, это означает, что из body автомобиля сделали идеальным проводником в ограниченном условии

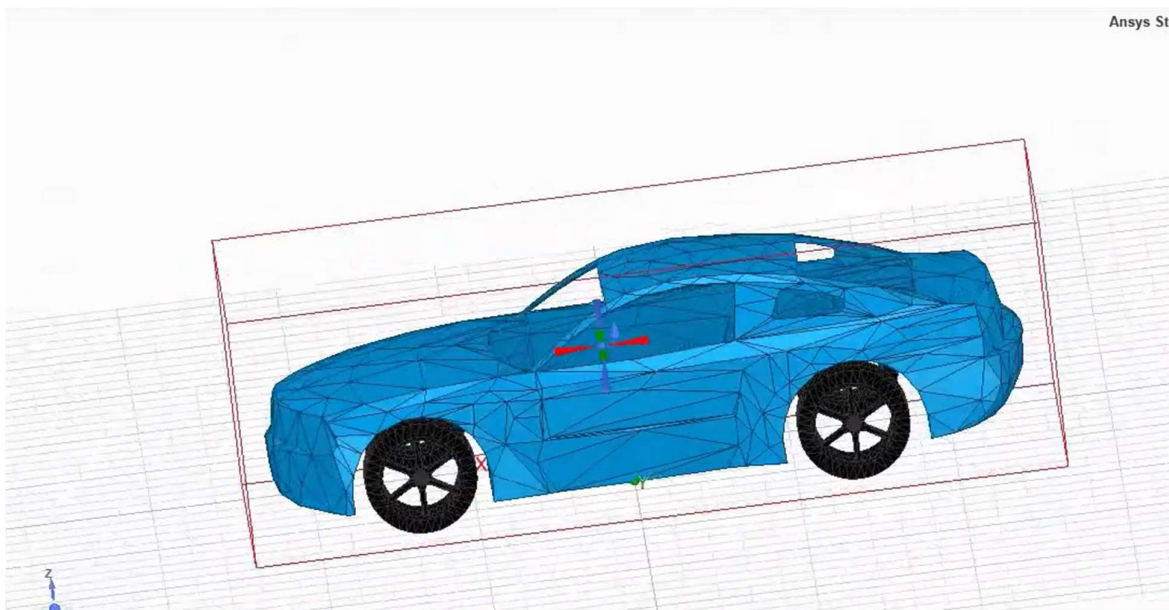


Прописываем настройки расчета:





Создался box, внутри которого будет производиться расчет модели



Создаем падающую волну, настраиваем систему координат и выставляем расстояние, что источник находится достаточно далеко от модели автомобиля.

Incident Wave Source : General Data

Name: IncPWave1

Vector Input Format

☒ Cartesian ☐ Spherical

Excitation Location and/or Zero Phase Position

X Coord: 27 meter

Y Coord: 0 mm

Z Coord: 0 mm

Use Defaults

< Назад Далее > Отмена

Incident Wave Source : Spherical Vector Setup

WavePhi

Start: 0 deg Step: 2 deg

Stop: 360 deg View Point List...

WaveTheta

Start: 90 deg Step: 0 deg

Stop: 90 deg View Point List...

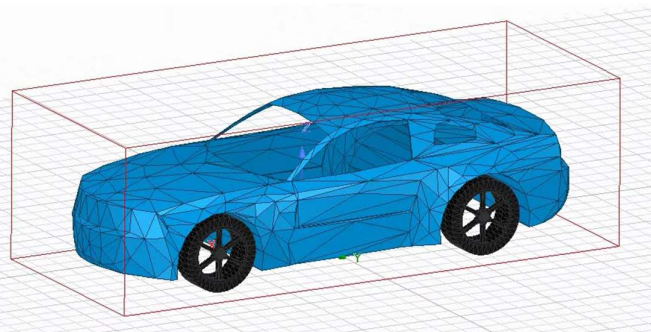
Eo Vector

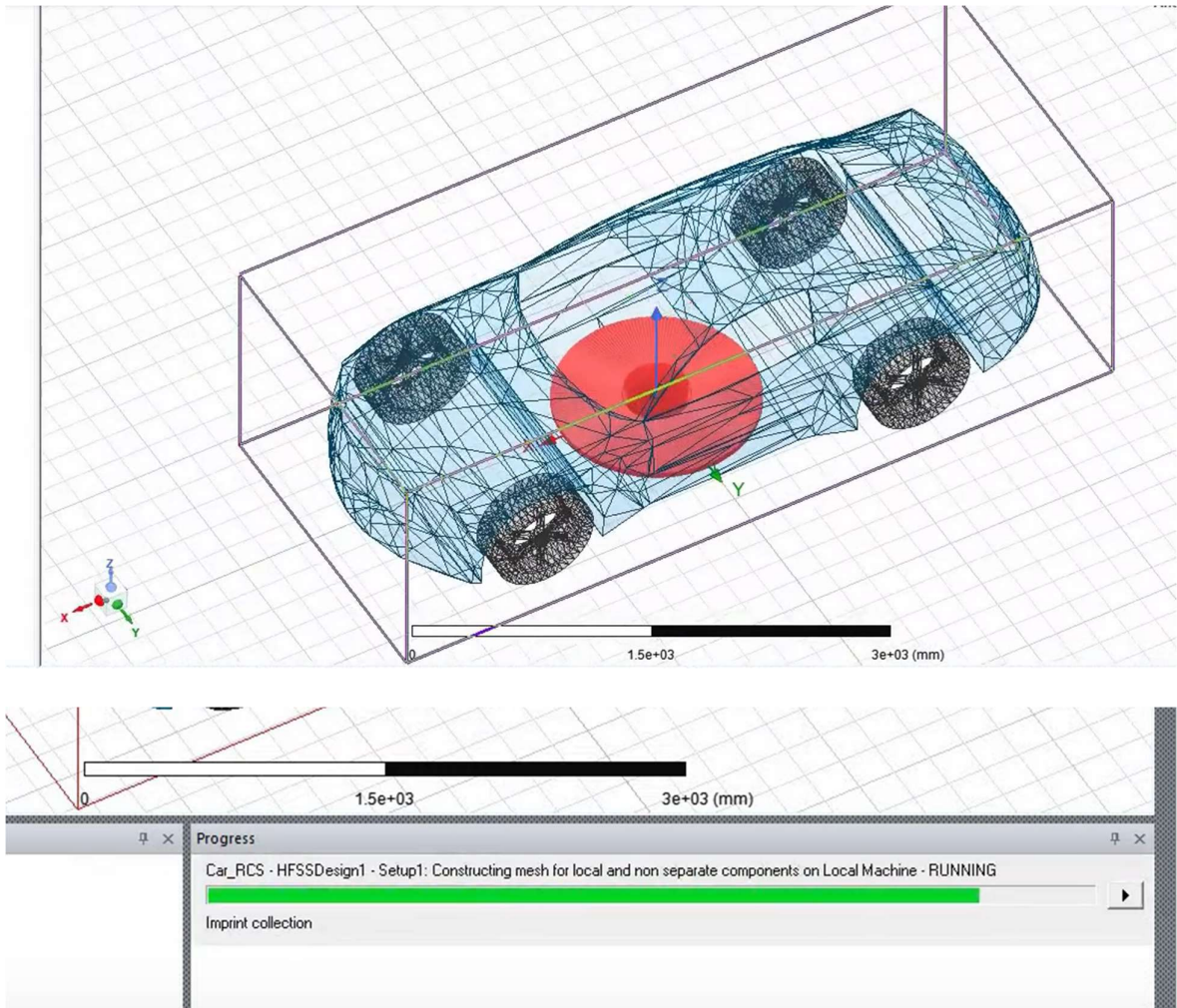
Phi: 0 V / m

Theta: 1 V / m

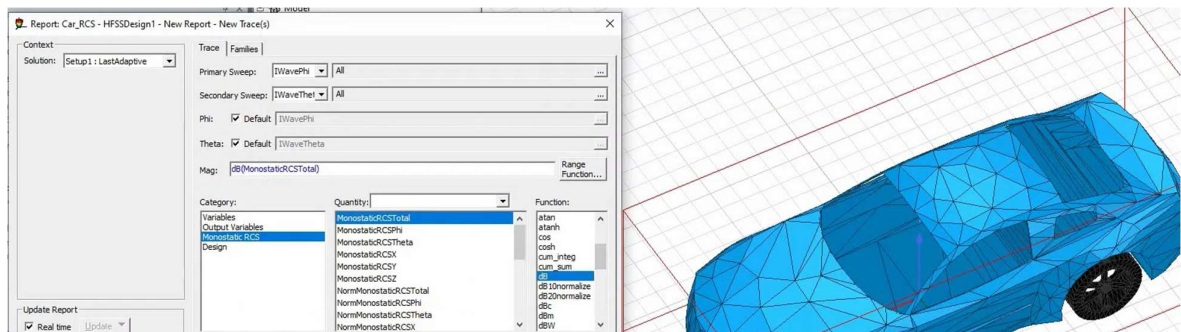
Note that the Eo vector will be normalized to a unit vector. Use the Edit Sources dialog to scale that vector as needed.

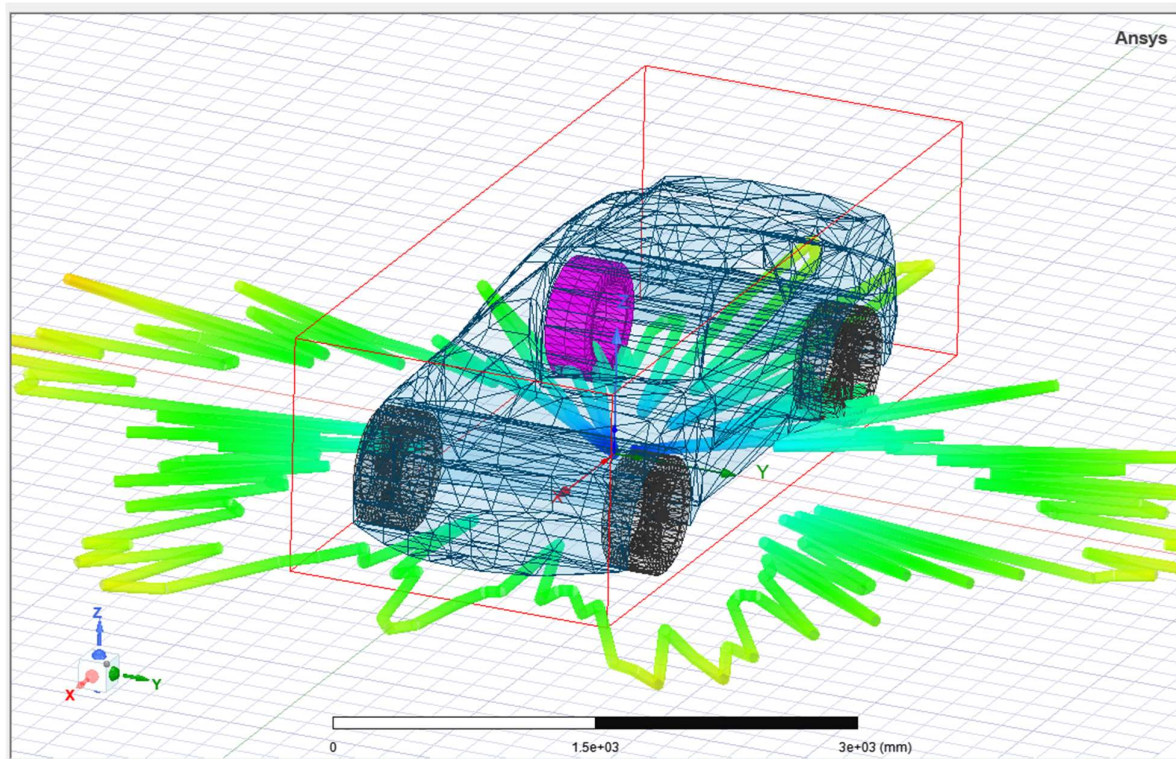
Use Defaults

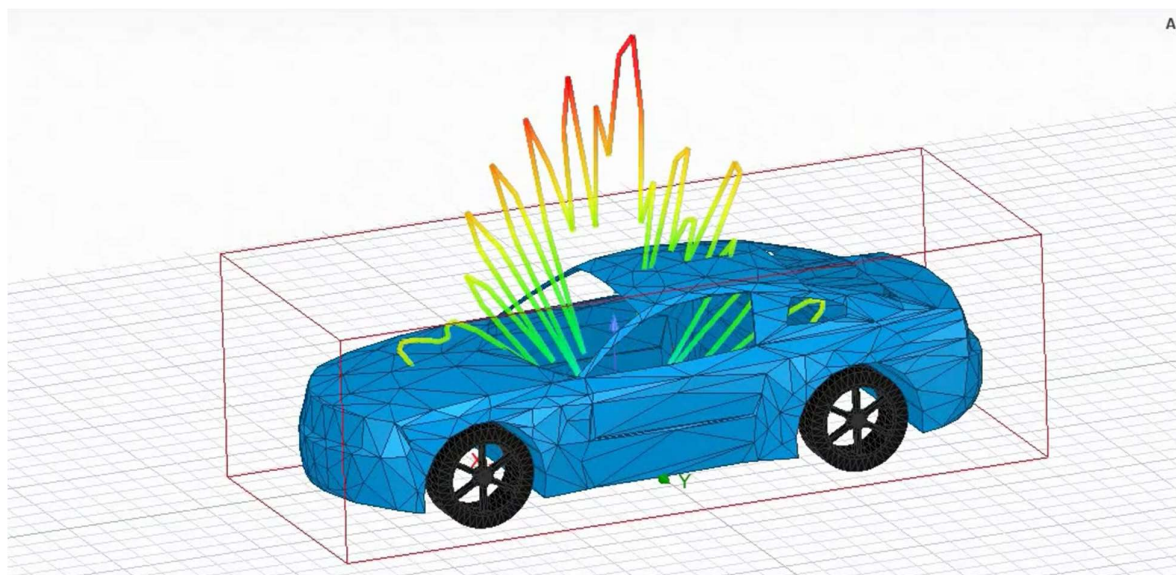
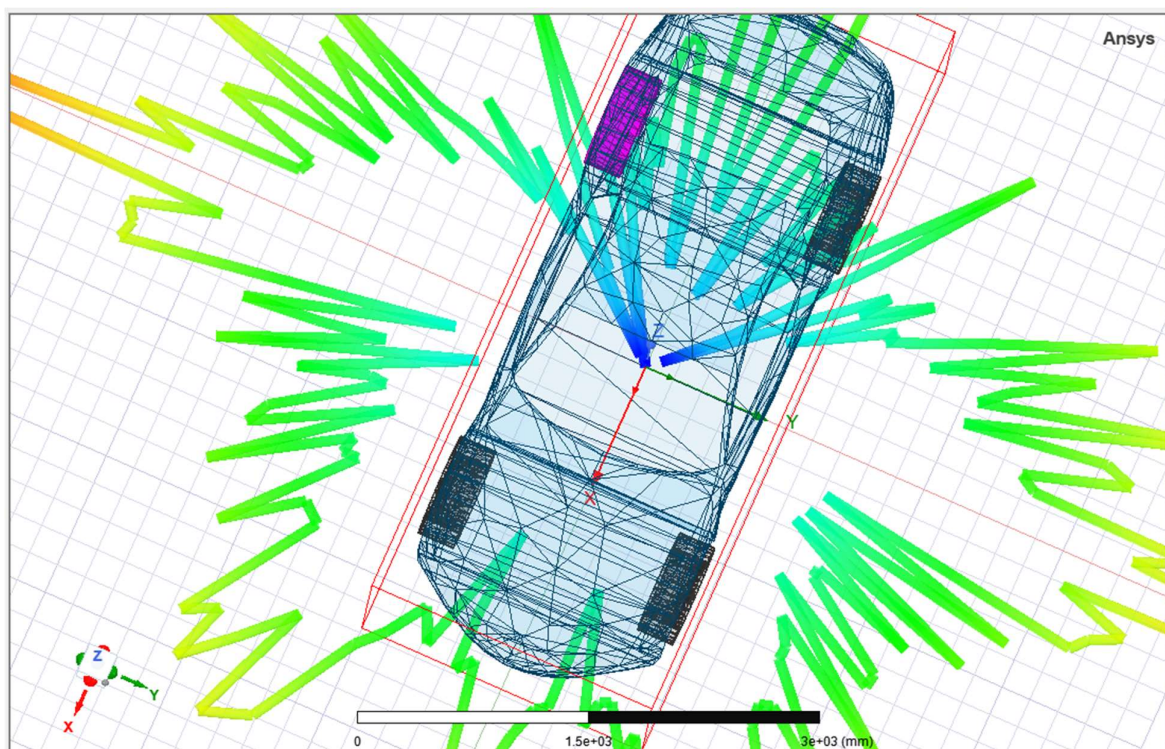




И видим итоговый результат диаграммы рассеивания







ссылку на репозиторий на гитхабе: <https://github.com/yahia-2002/Ansys-EPR-Project.git>