

Использование модельно-ориентированного проектирования для разработки родстера от Tesla

Авторы: Доктор Крис Гадда и доктор Эндрю Симпсон, компания Tesla Motors



Рисунок 1. Tesla Roadster

Крупные автомобилестроители инвестируют миллиарды долларов в разработку нового транспортного средства.

В Tesla мы разработали Tesla Roadster 2008, первый в мире стопроцентно электрический спортивный автомобиль, при бюджете всего \$145 миллионов. Поскольку наш бюджет крошечный по сравнению с традиционными автомобильными компаниями, мы были вынуждены оптимизировать инженерные ресурсы и искать остроумные проектные решения.

Для достижения этих целей мы использовали инструменты MathWorks для модельно-ориентированного проектирования (МОП): мы моделировали транспортное средство в целом и его главные подсистемы, запускали детальные симуляции, анализировали работу и оценивали компромиссы в проекте.

Оптимизация мощности и потребления топлива

В стандартном двигателе внутреннего сгорания больше лошадиных сил означает больше потребления топлива, и две трети сгенерированной энергии рассеиваются в виде тепла. В результате разработчики вынуждены пожертвовать мощностью, чтобы добиться экономии топлива.

С Roadster (рисунок 1) нам не нужно было идти на компромисс. Более чем 85% энергии батарей используются для движения транспортного средства, и если мы делаем его более мощным, то мы также делаем его более эффективным. Наши цели разработки были сосредоточены на создании быстрого, безопасного и энергоэффективного автомобиля. Roadster может

разогнаться от 0 до 60 миль в час менее чем за 4 секунды, при этом он безвреден для окружающей среды: он может проехать 244 мили на одной зарядке по комбинированному циклу EPA, электрическое потребление составляет 28 кВт на 100 миль езды.

Разработка системных моделей

Инженеры Tesla начали использовать MATLAB приблизительно три года назад для множества различных задач, включая анализ тестовых данных и разработку ранних термодинамических моделей батареи. В течение некоторого времени мы разработали модели в MATLAB для каждой основной подсистемы в автомобиле, включая трансмиссию, мотор, силовую электронику, тормоза, шины и систему управления. Мы также разработали модели аэродинамических характеристик, динамики батареи, охлаждения и потери мощности в кабелях.

Мы объединили эти модели в полную системную модель всего автомобиля, которую мы использовали для симуляции работы транспортного средства для определения таких параметров, как возможная скорость, дистанция, количество тепла, выделяемое отдельными компонентами, количество потерянной энергии в шинах, на сопротивление ветру и на другие факторы. Сравнивая результаты симуляции с результатами измерений в дорожных тестах прототипа транспортного средства, мы проверили модель и усовершенствовали ее для повышения точности.

Дополнительная информация
www.teslamotors.com

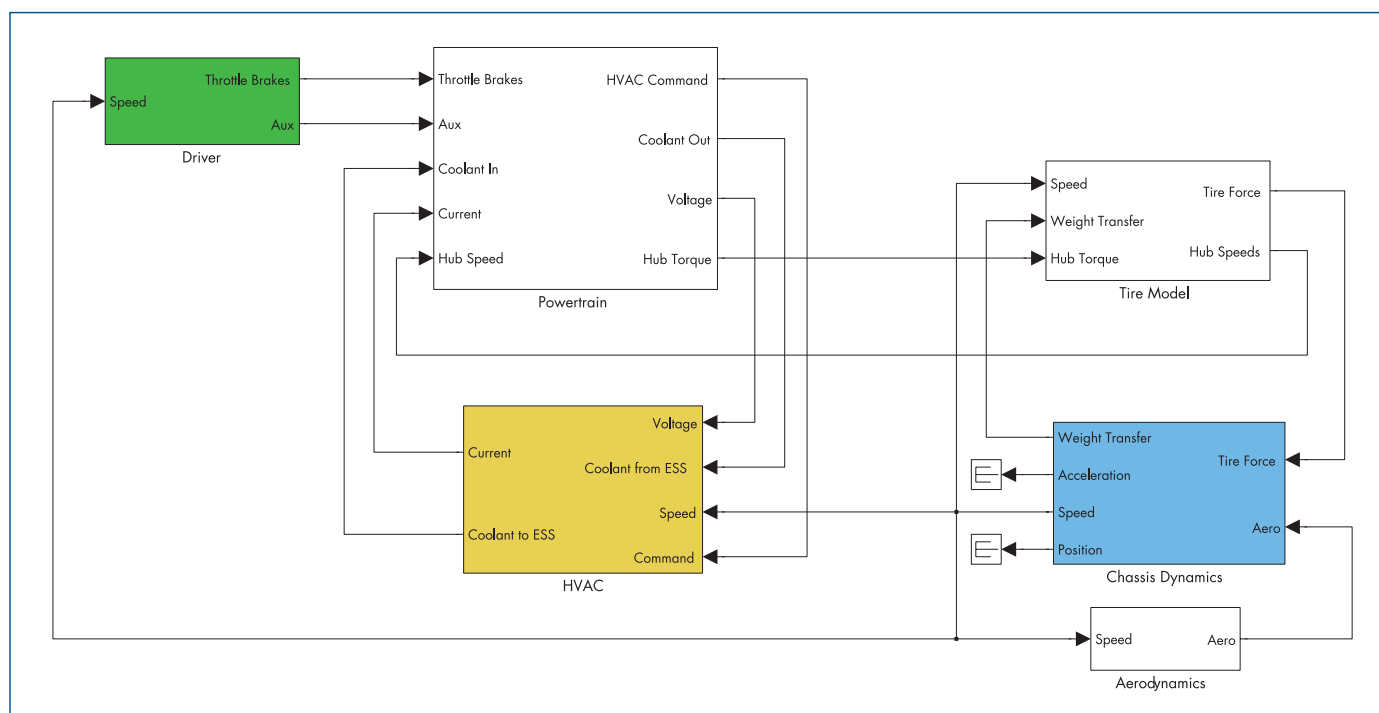


Рисунок 2. Исполняемая Simulink-модель верхнего уровня для автомобиля.

Документирование и уточнение моделей в Simulink

Поскольку число MATLAB-моделей выросло, то для одного инженера стало сложно разобраться, как все компоненты взаимодействуют друг с другом. Тогда мы применили МОП в Simulink. Мы разработали в Simulink модель верхнего уровня транспортного средства, в которой вызывались MATLAB-модели отдельных подсистем, которые были уже проверены. Такая иерархия помогла нам визуализировать структуру системы на уровне транспортного средства и предоставила исполняемую спецификацию системы (рисунок 2).

С тех пор мы заменили MATLAB-модели подсистем эквивалентными моделями Simulink. В то же время мы усовершенствовали архитектуру модели и лучше отделили проект от разработки. Модель Simulink верхнего уровня содержит компоненты, которые ссылаются на автономные Simulink модели, что

позволило нам применить контроль версий для каждого компонента. Инженеры теперь могут работать над различными компонентами параллельно. Например, один инженер может редактировать модель батареи, в то время как другой работает над трансмиссией.

Симуляция всего транспортного средства

Используя Simulink, мы спроектировали модель автомобиля так, чтобы она была гибкой на уровне компонентов, что позволяет нам использовать различные модели компонентов разных уровней детализации. Тщательное разделение модели на отдельные компоненты позволило нам использовать менее детализированные модели компонентов для ускорения симуляции всего транспортного средства. Например, у нас есть детализированные модели Simulink силовой электроники Родстера и мотора. Для получения характеристик совместной работы этих двух компонентов мы за-

пускаем симуляции с шагом 50 микросекунд.

Мы вставляем результаты симуляций моделей с детализированными компонентами в справочную таблицу, которую мы можем включить в высокоуровневую модель для более длительных симуляций на уровне транспортного средства. Инженер, разрабатывающий инвертор, может запускать симуляции детализированных моделей всего транспортного средства, тогда как другой инженер может использовать менее детализированную модель инвертера для расчёта максимально возможной дистанции, которую может пройти транспортное средство. Такой подход помогает нам быстро получать необходимую информацию для быстрого принятия решений.

Мы используем параметрическую модель автомобиля, для симуляции автомобилей, которые уже производятся, автомобилей, которые скоро выйдут в производство и даже для будущих

проектов. Все характеристики автомобиля настраиваемы и их значения можно ввести в модель в соответствии со стандартизированным шаблоном входных данных, таким образом, очень просто изменить характеристики модели от симуляции к симуляции. Этот подход особенно эффективен для калибровки компонентов. Например, для симуляции различных конфигураций трансмиссии, вместо того, чтобы заменять блоки трансмиссии или вносить изменения в модель Simulink, мы просто задаем необходимые параметры как входные вектора. Мы используем MATLAB-скрипт для вызова многократных симуляций, в которых испытываются различные варианты проекта.

Недавно в Tesla начали работу по увеличению максимально возможной дистанции, которую может пройти родстер. У нас были некоторые предположения о том, как улучшить систему, но мы испытывали недостаток в реальных доказательствах того, что наши идеи будут работать. Поскольку у нас была хорошо откалиброванная модель транспортного средства в Simulink и результаты симуляции, которой мы доверяли, то мы смогли количественно определить эффект от конструктивных изменений.

Усовершенствование трансмиссии

Во время дорожных тестов на прототипах родстера мы собрали достаточно реальных данных, чтобы усовершенствовать и уточнить наши модели. Используя проверенную модель оригинального родстера, мы спроектировали пространство проектных решений для трансмиссии 1.5 родстера. У нас была большая матрица различных конфигураций трансмиссии, в которую входили различные размеры мотора, конфигурации трансмиссии, химические составы батарей и размеры инвертора. Мы использовали MATLAB-скрипты для переключения между сотнями комбинаций в нескольких сериях симуляций, которые постепенно становились всё более детализированными.

Эти усилия могли бы занять годы и быть запредельно дорогими без моделирования и симуляции. Для изготовления каждого физического прототипа требуется от полугода до года. Мы были не в состоянии проводить сотни итераций с разными передаточными числами на реальных образцах. Усовершенствованная трансмиссия теперь работает так, как было разработано в прототипах транспортного средства.

Охват множества дисциплин

С Simulink мы можем заняться проблемами в областях, которые, как правило, требуют применения специализированных и дорогих аналитических инструментов. Например, многие из наших первоначальных моделей батарей были эмпирическими с идеальным источником напряжения и фиксированным импедансом. Теперь мы используем намного более сложные модели, сделанные в соответствии с первыми принципами моделирования, и, как результат, мы добились глубокого понимания функционирования батареи как электромеханического устройства. Мы использовали Simulink для построения усовершенствованных моделей эквивалентных цепей, с помощью которых можно предсказывать работу при заряде, разряде, изменении температуры и старении.

Мы использовали аналогичный подход для выполнения критичных с точки зрения безопасности симуляций для предсказания процесса охлаждения внутри батареи для того, чтобы убедиться, что комплекты батарей не перегреются. Чтобы учесть все физические, химические эффекты и эффекты теплопередачи, как правило, требуются инструменты анализа методом конечных элементов и значительные усилия. С инструментами MathWorks мы выполнили исследования, которые привели к значительному прогрессу в технологии изготовления батарей. У Roadster более чем в два раза больше удельная энергоемкость, чем у любого другого производимого электрического транспортного средства.

Будущие родстеры

Поскольку мы получаем все больше данных в дорожных тестах, мы используем MATLAB для их обработки, визуализации и учета в еще более точных моделях Roadster. Этот автомобиль было бы невозможно создать без инструментов MathWorks. Без них проект потребовал бы таких ресурсов, которых просто не было у нашей молодой автомобильной компании. Мы продолжим полагаться на MATLAB и Simulink при принятии решений для следующих поколений транспортных средств Tesla.



Дополнительная информация и контакты

Информация о продуктах
matlab.ru/products

Пробная версия
matlab.ru/trial

Запрос цены
matlab.ru/price

Техническая поддержка
matlab.ru/support

Тренинги
matlab.ru/training

Контакты
matlab.ru

Е-mail: matlab@sl-matlab.ru

Тел.: +7 (495) 232-00-23, доб. 0609

Адрес: 115114 Москва,
Дербеневская наб., д. 7, стр. 8

