

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ АВТО-, ЕЛЕКТРО- ТА ГІБРИДНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Гайденко Ю.А., к.т.н., доцент, Чернушенко П.І., магістрант
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки

Вступ. На фоні стрімкого розвитку автомобільного ринку та появою великої кількості нових моделей електричних та гібридних авто постає питання порівняння ефективності їх роботи. Правильна оцінка такої ефективності дозволить визначити шляхи та засоби для покращення процесу проектування силових частин транспортних засобів, а також для оптимізації алгоритмів їх (силових частин) керування.

Об'єкт дослідження. Для порівняльного аналізу в якості моделі було обрано автомобіль *Volkswagen Golf VI 1.2 TSI* з наступними характеристиками:

Споряджена маса	1233 кг
Повна маса	1790 кг
Потужність ДВЗ	105 к.с./77 кВт
Потужність електродвигуна	80 кВт
Коефіцієнт аеродинамічного опору	0,32
Коефіцієнт опору кочення	0,008
Діаметр коліс	0,712 м

Для аналізу роботи була побудована S-модель (рис. 1) за допомогою інструментів бібліотеки QSS Toolbox (розроблена у Швейцарському Федеральному Інституті Технологій (м. Цюріх) для моделювання різноманітних транспортних засобів) у програмному пакеті MATLAB/Simulink. Дана модель дозволяє одночасно оцінити роботу машини при їзді на двигуні внутрішнього згорання (ДВЗ) та електродвигуні, або у гібридному режимі при використанні обох двигунів. Розподілом потужності між силовими установками керує спеціальна функція, яка враховує необхідні параметри системи та зовнішні умови. Модель дозволяє симулювати як один з їздових циклів, так і їзду на постійній швидкості. Для розрахунку обрано цикл WLTC.

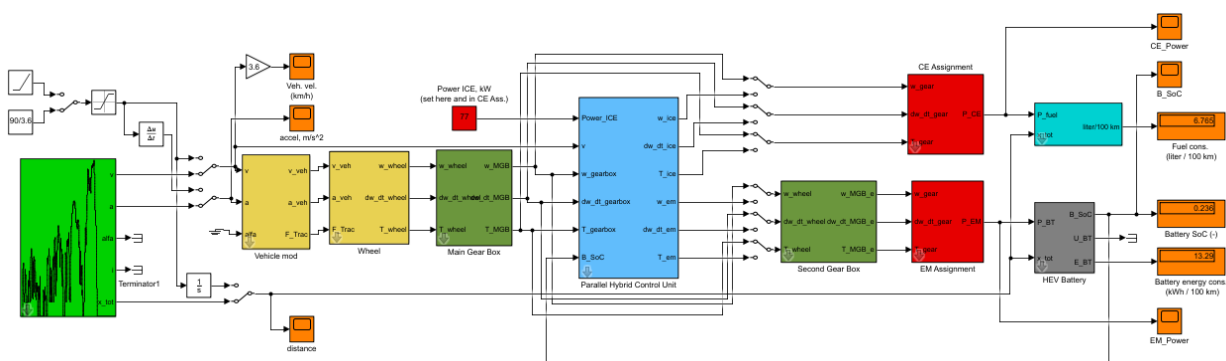


Рисунок 1 – S-модель гібридного транспортного засобу

В ході моделювання силових частин було визначено, що витрата палива склала 7.56 л/100 км та 15.24 кВт*год відповідно. Максимальна розвинена потужність під час циклу 48 кВт для обох двигунів. Максимальна потужність, задіяна електродвигуном при гальмуванні 30 кВт.

Аналізуючи графіки потужності обох двигунів (рис. 2 та рис. 3) видно, що вони є практично ідентичними. Єдина суттєва відмінність – наявність потужностей з від'ємним знаком у випадку використання електродвигуна, що вказує на генерацію енергії під час гальмування. Дана опція, звісно, є неможливою для ДВЗ.

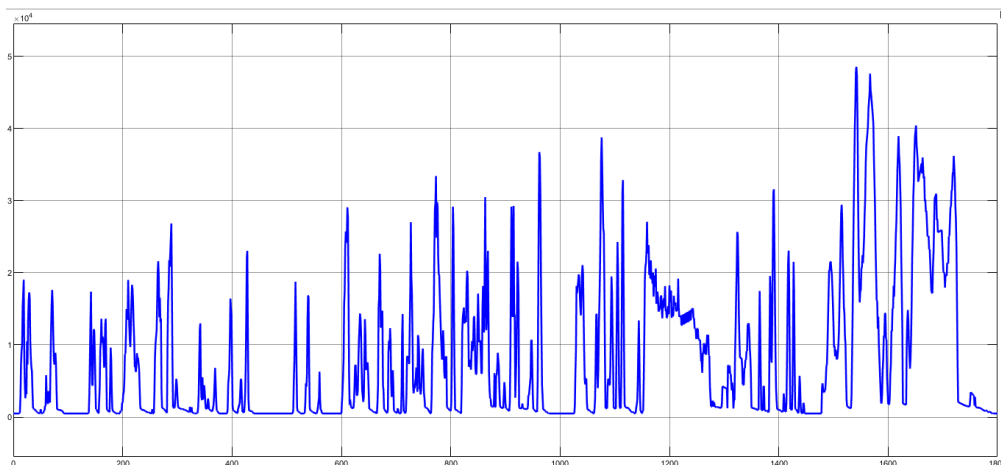


Рисунок 2 – Миттєва потужність ДВЗ у традиційному режимі

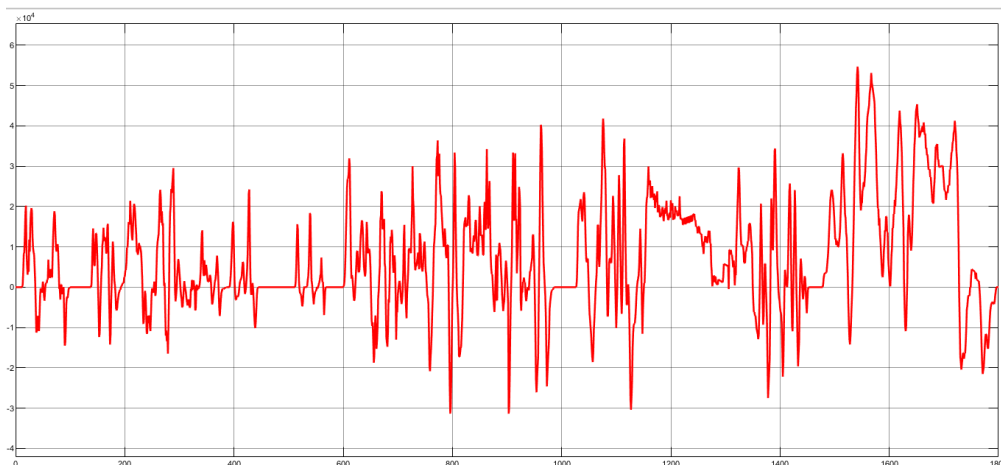


Рисунок 3 – Миттєва потужність електродвигуна у традиційному режимі

При аналізі робочих точок двигунів (рис. 4) – стан двигуна при якому він створює певний обертовий момент при певній швидкості – бачимо, що ДВЗ працює майже у всьому можливому діапазоні. При цьому більша частина робочих точок припадає на зони з низьким ККД, тобто ДВЗ використовується неефективно.

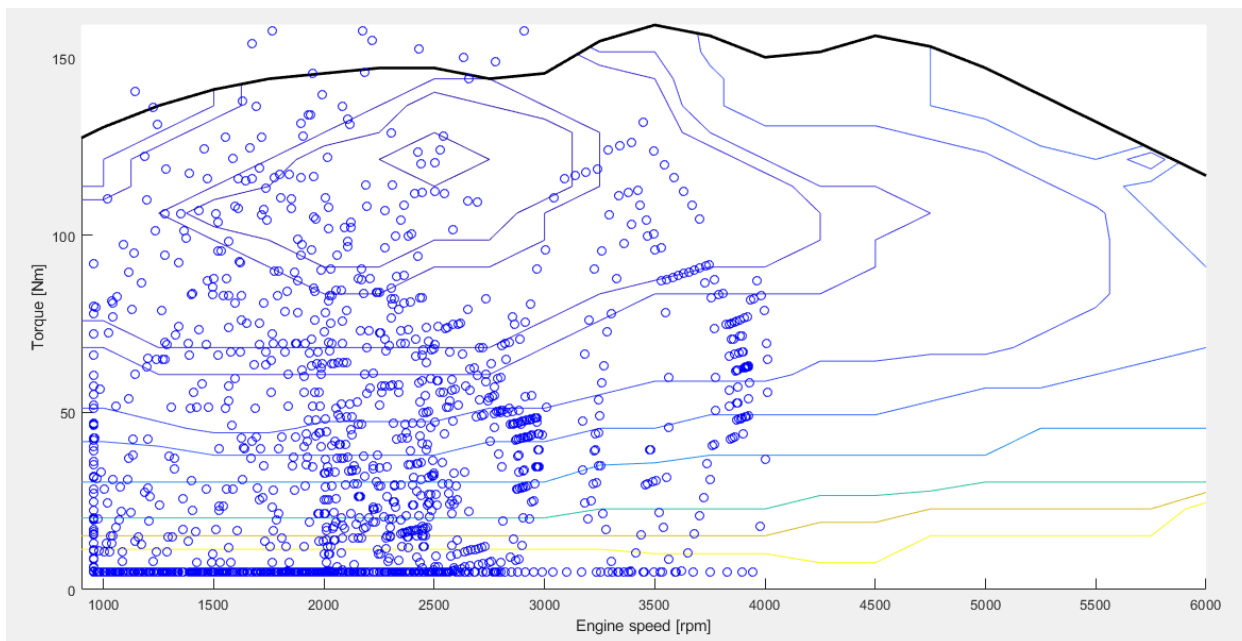


Рисунок 4 – Робочі точки ДВЗ у звичайному режимі (ізолініями вказано величини ККД)

Щодо електродвигуна, то він працює в основному у середній частині робочої зони (рис. 5). При цьому бачимо багато робочих точок у режимі генератора, що вказує на ефективне використання режиму рекуперації енергії.

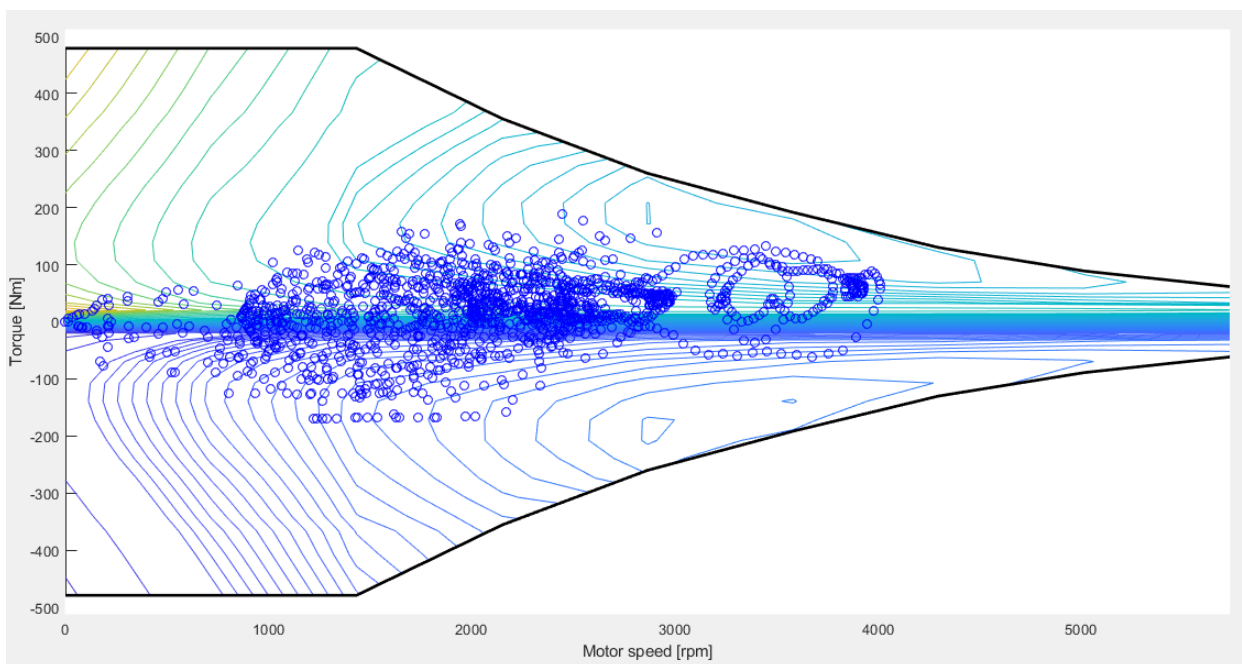


Рисунок 5 – Робочі точки електродвигуна у звичайному режимі (ізолініями вказано величини ККД)

Наступним кроком є аналіз гібридної силової установки. При моделюванні того ж автомобіля в ідентичних умовах було визначено, що витрата палива склала 5,3 л/100 км при нульовому загальному використанні електроенергії. Максимальна потужність ДВЗ та електродвигуна склали 42 кВт та 31 кВт відповідно (рис. 6). Потужність рекуперації при цьому не змінилась.

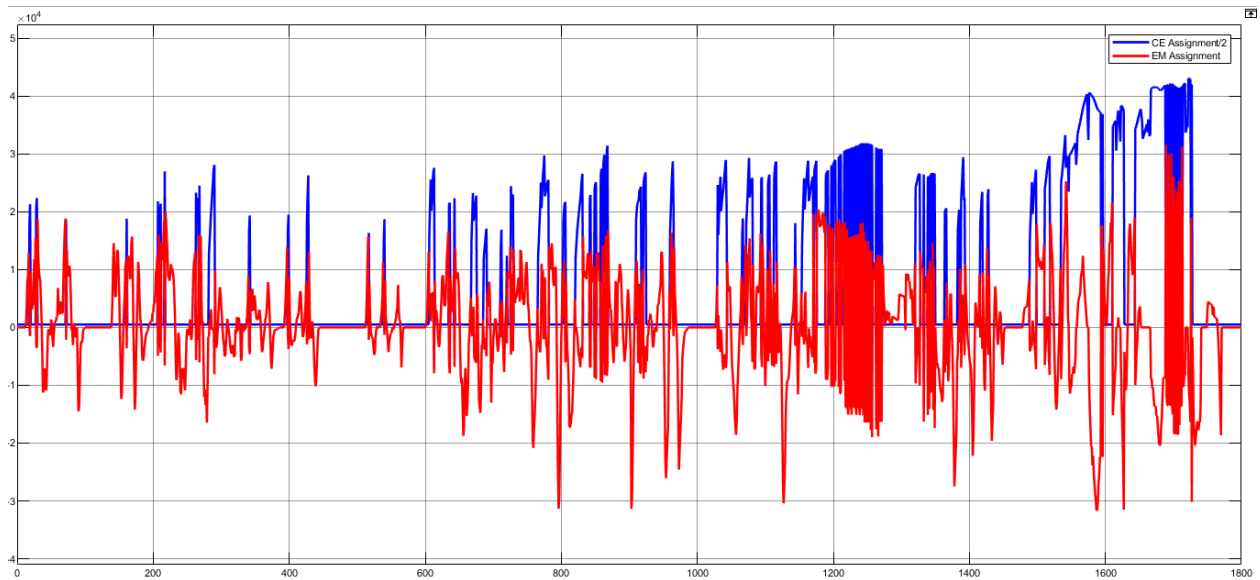


Рисунок 6 – Миттєва потужність ДВЗ та електродвигуна у гібридному режимі

При аналізі робочих точок ДВЗ у гібридному режимі (рис. 7) бачимо, що тепер він працює у значно більш ефективній зоні. Алгоритм розподілення потужності слідкує за тим, щоб уникати роботи ДВЗ у режимах, близьких до холостого ходу, коли ККД мінімальний.

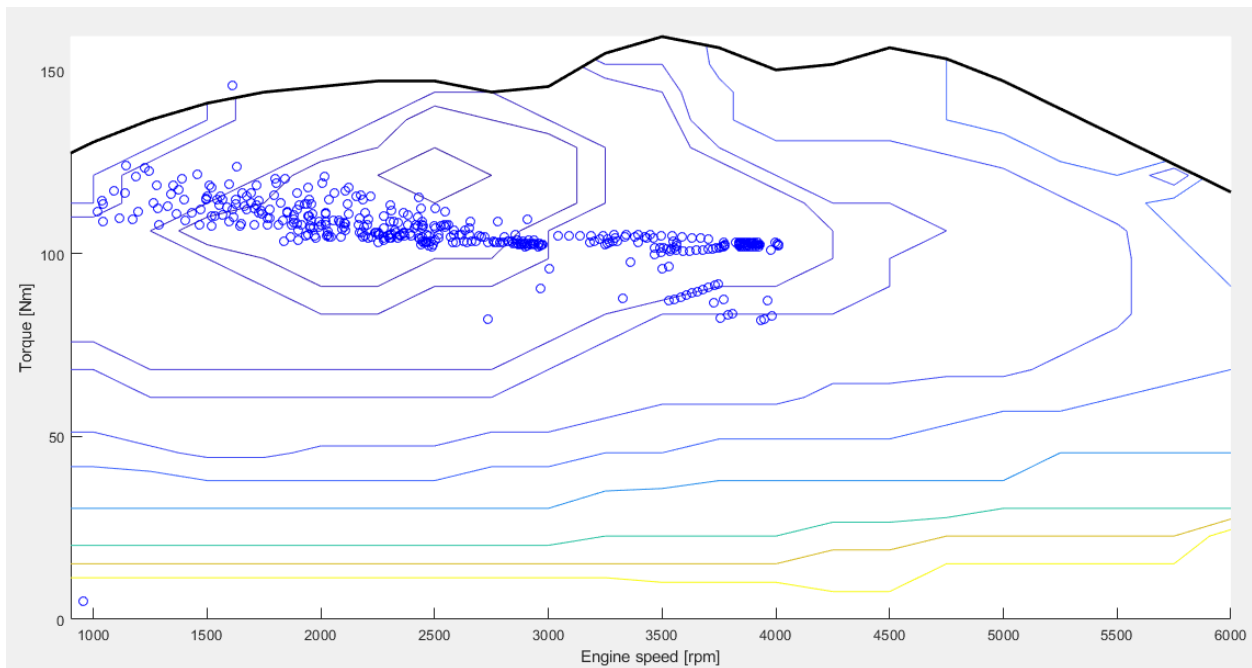


Рисунок 7 – Робочі точки ДВЗ у гібридному режимі
(ізолініями вказано величини ККД)

В той же час, електродвигун працює на менших потужностях, при цьому у гібридному режимі відносний час роботи в режимі генератора є помітно більшим. Це дозволяє максимізувати повернення енергії у систему.

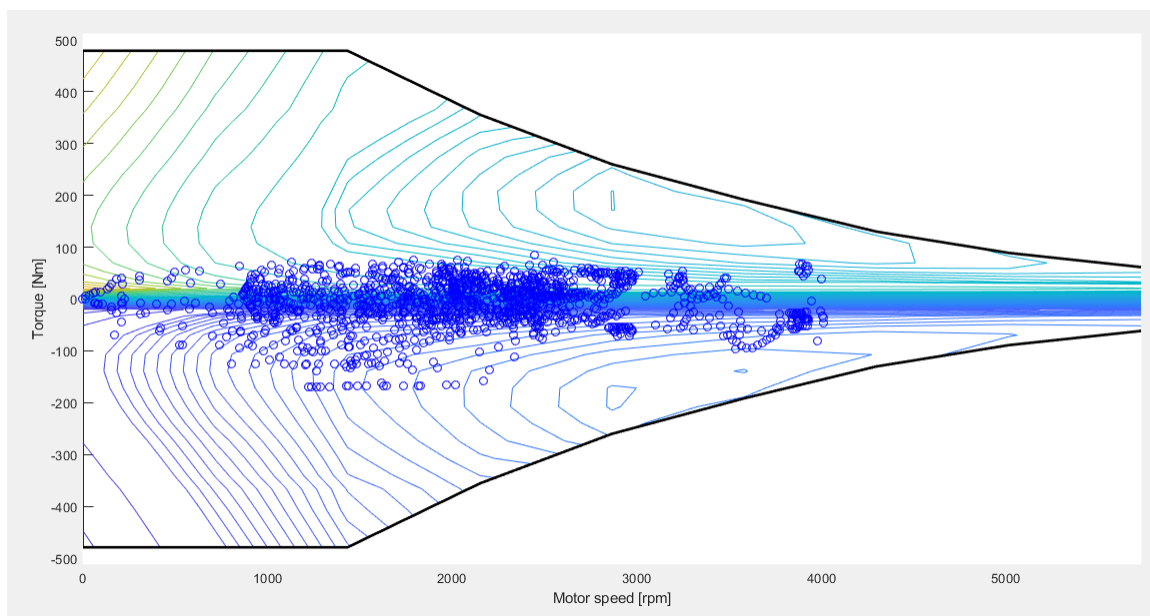


Рисунок 8 – Робочі точки електродвигуна у гібридному режимі (ізолініями вказано величини ККД)

Отримані дані зведено у таблицю для порівняння.

Тип роботи	Традиційний	Гібрид
Витрати палива	7,56 л/100 км	5,3 л/100 км
Витрати електроенергії	15,24 кВт*год	0 кВт*год

Висновок: Використання гібридної силової установки для автомобіля що досліджувався, дозволяє заощадити 30% палива у міських умовах. Маржинальна ефективність склала 2,87 кВт*год/л проти 2,02 кВт*год/л при традиційному застосуванні, а значить паливо використовується на 42% ефективніше.

Перелік посилань

1. Economic Commission for Europe. Inland Transport Committee. World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations. 162nd session/ Proposal for a new global technical regulation on the Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure (WLTP). Geneva, 11-14 March 2014.
2. Сахно В. П., Безбородова Г. Б., Маяк М. М., Шарай С. М., «Автомобілі: Тягово-швидкісні властивості та паливна економічність». Київ: Видавництво «КВІЦ», 2004. – 174 с.
3. The QSS Toolbox Manual. L. Guzella, A. Amstutz. June 2005.
4. <https://topruscar.ru/terminy/koeffitsient-obtekaemosti>
5. <http://www.autonet.ru/auto/ttx/volkswagen/golf/296545>