

SIMULATION STUDY OF AN ENERGY SOURCE OF A HYBRID ELECTRIC VEHICLES USING AVL-CRUISE SOFTWARE

Luong Quang Huy

TNU - University of Information and Communication Technology

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	12/5/2022	Nowadays, the use of hybrid cars is increasingly popular in Vietnam as well as around the world. Researching to master hybrid vehicle technology is a highly practical matter. Especially, the study of the driving force of hybrid vehicles is the most important topic. The power sources of hybrid vehicles include internal combustion engine and electric motor. The content of the article presents the determination of the method of combining the driving force of the hybrid vehicle, calculating the parameters of the internal combustion engine and electric motor. Then, the parameters of hybrid vehicles and vehicles using conventional internal combustion engines were set and simulated on AVL-Cruise software. The simulation results show that the total emissions (including NO _x , CO, HC) of hybrid vehicles were significantly reduced compared to cars using conventional internal combustion engines. Specifically, after running the simulation by FTP75 cycle on AVL-Cruise software, NO _x emissions decreased by 69%, CO emissions decreased by 58% and HC emissions decreased by 44%.
Revised:	24/6/2022	
Published:	24/6/2022	
KEYWORDS		
Hybrid electric vehicles		
Electric motor		
Internal combustion engine		
Power divider		
AVL-Cruise software		

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG NGUỒN ĐỘNG LỰC XE HYBRID TRÊN PHẦN MỀM AVL-CRUISE

Lương Quang Huy

Trường Đại học Công nghệ Thông tin và Truyền thông – ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
Ngày nhận bài:	12/5/2022	Hiện nay, việc sử dụng xe hybrid đang ngày càng phổ biến tại Việt Nam cũng như trên toàn thế giới. Việc nghiên cứu để làm chủ công nghệ về xe hybrid là một vấn đề có tính thực tiễn cao. Trong đó, việc nghiên cứu về nguồn động lực của xe hybrid đang là đề tài quan trọng hàng đầu. Các nguồn động lực của xe hybrid bao gồm: động cơ đốt trong, động cơ điện. Nội dung bài báo trình bày về việc xác định phương pháp phối hợp nguồn động lực của xe hybrid, tính toán các thông số của động cơ đốt trong, động cơ điện. Sau đó, các thông số của xe hybrid và xe sử dụng động cơ đốt trong thông thường được thiết lập và mô phỏng trên phần mềm AVL-Cruise. Kết quả mô phỏng cho thấy tổng lượng phát thải (bao gồm khí NO _x , CO, HC) của xe hybrid giảm hơn đáng kể so với xe sử dụng động cơ đốt trong thông thường. Cụ thể, sau khi chạy xong mô phỏng theo chu trình FTP75 trên phần mềm AVL-Cruise cho thấy lượng phát thải NO _x giảm 69%, lượng phát thải CO giảm 58% và lượng phát thải HC giảm 44%.
Ngày hoàn thiện:	24/6/2022	
Ngày đăng:	24/6/2022	
TỪ KHÓA		
Xe Hybrid		
Động cơ điện		
Động cơ đốt trong		
Bộ chia điện		
Phần mềm AVL-Cruise		

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.5971>

Email: lqhuy@ictu.edu.vn

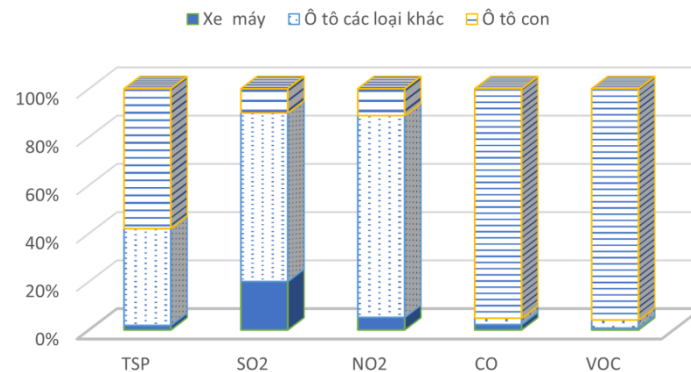
<http://jst.tnu.edu.vn>

20

Email: jst@tnu.edu.vn

1. Giới thiệu

Những năm gần đây, quá trình phát triển kinh tế xã hội của các quốc gia trên thế giới đã gây ra những hậu quả nghiêm trọng đến môi trường. Ở Việt Nam, ô nhiễm môi trường tại các thành phố lớn đang trở thành một vấn đề cực kỳ cấp bách. Một trong những nguyên nhân chính gây ô nhiễm môi trường đến từ khí thải của các phương tiện giao thông cơ giới. Hình 1 thể hiện tỷ lệ đóng góp khí thải SO_2 , NO_2 , CO và bụi (TSP, PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$) của các phương tiện giao thông cơ giới đường bộ.



Hình 1. Tỷ lệ đóng góp phát thải các chất gây ô nhiễm không khí của các phương tiện giao thông cơ giới đường bộ toàn quốc năm 2019 [1]

Để bảo vệ môi trường và nâng cao chất lượng không khí tại các thành phố lớn, chính phủ các nước đã đưa ra các quy định về tiêu thụ nhiên liệu và khí thải của phương tiện giao thông cơ giới đường bộ. Các hãng xe đã đầu tư phát triển các công nghệ mới thân thiện với môi trường cho các dòng sản phẩm của mình, trong đó phải kể đến xe điện (EV) và xe điện hybrid (HEV) [2]-[4]. Xe EV đang ngày càng trở nên phổ biến do có nhiều ưu điểm vượt trội so với xe sử dụng động cơ đốt trong (ĐCĐT) như: khả năng di chuyển mượt mà, đặc tính kéo vượt trội và không gây ô nhiễm môi trường [5]-[7].

Tuy nhiên, xe EV vẫn tồn tại nhiều nhược điểm như khả năng lưu trữ năng lượng trong ắc quy còn thấp, thời gian mỗi lần sạc kéo dài, pin có tuổi thọ sử dụng ngắn, giá thành khá cao. Đặc biệt ở Việt Nam, hệ thống trạm sạc điện chung chưa đáp ứng được nhu cầu phát triển của xe EV. Chính vì vậy, xe HEV với việc sử dụng phối hợp hai nguồn động lực của động cơ điện (ĐCĐ) và ĐCĐT được đánh giá là giải pháp phù hợp với tình hình hiện nay tại Việt Nam [8], [9]. Do xe HEV có công nghệ rất phức tạp cả về kết cấu và hệ thống điều khiển, nên việc sử dụng, bảo dưỡng gặp rất nhiều khó khăn.

Chính vì vậy, việc nghiên cứu để làm chủ công nghệ xe HEV ở Việt Nam là rất cần thiết. Bài báo này sẽ tập trung nghiên cứu thiết kế tính toán và mô phỏng hệ động lực xe HEV trên phần mềm AVL-Cruise.

2. Các phương pháp phối hợp nguồn động lực trên xe HEV

Căn cứ vào cách thức liên kết giữa ĐCĐT và ĐCĐ, nguồn động lực trên xe HEV được chia thành 3 kiểu chính: xe HEV kiểu nối tiếp, xe HEV kiểu song song và xe HEV kiểu hỗn hợp [2]-[4].

- *Xe HEV kiểu nối tiếp:*

ĐCĐT hoạt động truyền chuyển động kéo cho máy phát điện (MPĐ) làm việc. Dòng điện sinh ra từ MPĐ chia làm hai phần, một phần để sạc ắc quy và một phần để cung cấp năng lượng cho ĐCĐ. ĐCĐ truyền công suất và mô men xoắn đến các bánh xe chủ động để giúp xe di chuyển.

- *Xe HEV kiểu song song:*

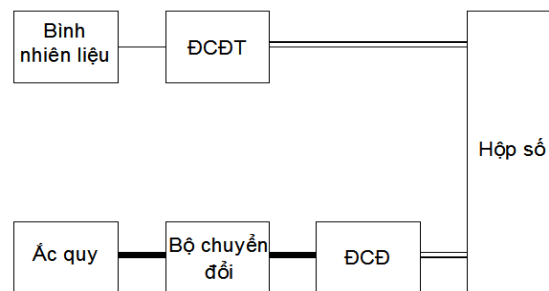
Cả ĐCĐT và ĐCĐ cùng cung cấp năng lượng đến các bánh xe chủ động. Trong đó ĐCĐT cung cấp công suất và mô men xoắn đến các bánh xe chủ động giống như các xe sử dụng ĐCĐT

truyền thông. ĐCĐ vừa cung cấp năng lượng đến các bánh xe, vừa hoạt động như một MPĐ để sạc lại cho ắc quy trong quá trình phanh tái sinh.

- Xe HEV kiểu hỗn hợp:

Cả ĐCĐT và ĐCĐ cùng cung cấp năng lượng đến các bánh xe chủ động. Trong đó, ĐCĐT vừa cung cấp công suất và mô men xoắn cho các bánh xe chủ động, vừa truyền chuyển động kéo cho MPĐ. Dòng điện sinh ra từ MPĐ được dùng để sạc ắc quy và cung cấp năng lượng cho ĐCĐ hoạt động.

Ngày nay, các hãng xe thường lựa chọn sản xuất xe HEV kiểu song song và xe HEV kiểu hỗn hợp. Xe HEV kiểu hỗn hợp tuy có rất nhiều ưu điểm nhưng kết cấu phức tạp và giá thành sản xuất cao hơn so với xe HEV kiểu song song. Để làm chủ được công nghệ xe HEV, việc nghiên cứu tính toán xe HEV kiểu song song có thể coi là bước khởi đầu. Vì vậy, bài báo này sẽ nghiên cứu tính toán và mô phỏng nguồn động lực trên xe HEV kiểu song song bằng phần mềm AVL-Cruise. Hình 2 thể hiện mô hình phối hợp nguồn động lực trên xe HEV kiểu song song



Hình 2. Nguồn động lực trên xe HEV kiểu song song [4]

3. Tính toán và mô phỏng nguồn động lực xe HEV trên phần mềm AVL-Cruise

3.1. Yêu cầu thiết kế của đối tượng nghiên cứu

Yêu cầu của đối tượng mô phỏng là xe ô tô tự chế 2 chỗ có các thông số được ghi như trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số của xe ô tô 2 chỗ

Stt	Thông số	Kí hiệu	Đơn vị	Giá trị
1	Tự trọng	G_0	Kg	400
2	Trọng lượng toàn tải	G_a	Kg	560
3	Chiều dài cơ sở	L	mm	1850
4	Chiều rộng tổng thể	B	mm	1490
5	Chiều cao tổng thể	H	mm	1480
6	Chiều dài tổng thể	L_0	mm	2660
7	Khoảng sáng gầm xe		mm	200

3.2. Tính toán nguồn động lực xe HEV

3.2.1. Tính toán lựa chọn ĐCĐT

Công suất của ĐCĐT được tính theo công thức dưới đây [4]:

$$P_{DCDT} = \frac{V}{1000 \cdot \eta_{t,e}} \left(G_t \cdot g \cdot f_r + \frac{1}{2} \rho_a \cdot C_D \cdot A_f \cdot V^2 + G_t \cdot g \cdot i \right) (kW) \quad (1)$$

Trong đó: G_t : là tổng khối lượng của xe (kg); $G_t = 560$ (kg).

V: Vận tốc tối đa mà ĐCĐT có thể giúp xe đạt được, $V = 80$ (km/h) = 22,2 (m/s).

$\eta_{t,e}$, Hiệu suất của ĐCĐT; $\eta_{t,e} = 0,9$.

g : Gia tốc trọng trường $g = 9,8 \text{ (m/s}^2\text{)}$

ρ_a : Khối lượng riêng của không khí $\rho_a = 1,202 \text{ (kg/m}^3\text{)}$.

C_D : Hệ số cản khí động; $C_D = 0,3 \text{ (Ns}^2\text{/m}^4\text{)}$.

i : Độ dốc của mặt đường, ở đây chọn xe đi trên đường bằng nên $i = 0$.

A_f : Diện tích mặt trước của xe; $A_f = 1,907 \text{ (m}^2\text{)}$.

f_r : Hệ số cản lăn của lốp xe; f_r được tính theo công thức sau:

$$f_r = f_0 \times \left(1 + \frac{V^2}{1500}\right) = 0,018 \times \left(1 + \frac{22,22^2}{1500}\right) = 0,0239 \quad (2)$$

Thay các thông số vào công thức (1), ta có:

$$P_{DCDT} = \frac{22,22}{1000 \cdot 0,9 \cdot 0,95} \left(560 \cdot 9,8 \cdot 0,0239 + \frac{1}{2} \cdot 1,202 \cdot 0,3 \cdot 1,907 \cdot 22,22^2 \right) = 7,43 \text{ (kW)}$$

Trên cơ sở tính toán đã nêu, tác giả xét thấy động cơ Piaggio 150cc có các thông số thể hiện như bảng 2 là phù hợp với yêu cầu đề ra.

Bảng 2. Thông số kỹ thuật ĐCĐT Piaggio 150cc [1]

Số thứ tự	Đặc tính kỹ thuật	Đơn vị	Giá trị
1	Kiểu động cơ		V3ie 150cc
2	Số xi lanh/ cách bố trí	i	1
3	Loại nhiên liệu		xăng
4	Công suất cực đại	kW/rpm	8,7/7500
5	Mô men cực đại	N.m/rpm	12/5000
6	Tỷ số nén		10.5:1
7	Số kỳ		4
8	Dung tích công tác	cm ³	154,8
9	Đường kính x Hành trình	mm x mm	58,0 x 58,6

3.2.2. Tính toán lựa chọn ĐCĐ

Công suất ĐCĐ được tính theo công thức sau [4]:

$$P_m = \frac{\delta_m \cdot G_t}{2 \cdot \eta_{t,m} \cdot t_a} (V_f^2 + V_b^2) \quad (3)$$

Trong đó: V_f : Tốc độ tối đa mà ĐCĐ có thể giúp xe đạt được; $V_f = 40 \text{ (km/h)} = 11,11 \text{ (m/s)}$.

V_b : Tốc độ cơ bản mà ĐCĐ có thể giúp xe đạt được; $V_b = 20 \text{ (km/h)} = 5,55 \text{ (m/s)}$.

δ_m : hệ số khối lượng kèm theo ĐCĐ; $\delta_m = 1,04$

$\eta_{t,m} = 0,95$

t_a : thời gian tăng tốc của xe; $t_a = 15 \text{ (s)}$.

Thay các thông số vào công thức (3), ta có:

$$P_m = \frac{1,04 \cdot 560}{2 \cdot 0,95 \cdot 15} (11,11^2 + 5,55^2) = 3,1 \text{ (kW)}$$

Trên cơ sở tính toán đã nêu, tác giả xét thấy động cơ HPM3000B có các thông số thể hiện như bảng 3 là phù hợp với yêu cầu đề ra.

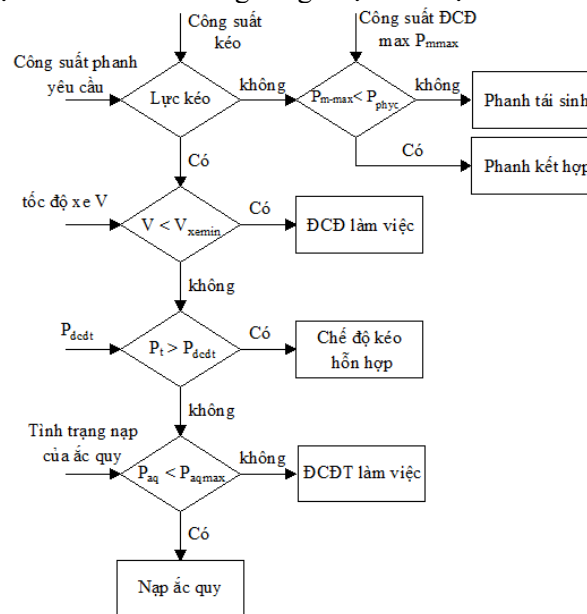
Bảng 3. Thông số kỹ thuật ĐCĐ [1]

Tên gọi: HPM3000B -- High Power BLDC Motor	
Công suất định mức	3kW
Số vòng quay định mức	3000 vòng/phút
Số vòng quay cực đại	5000 vòng/phút
Mô men xoắn cực đại	25 Nm
Hiệu điện thế	48V
Khối lượng	8 kg

3.3. Chiến lược phối hợp nguồn động lực xe HEV

3.3.1. Chiến lược điều khiển nguồn động lực xe HEV kiểu song song

Trên cơ sở các quy định về tốc độ xe cơ giới và công suất của nguồn động lực, chiến lược điều khiển nguồn động lực xe HEV kiểu song song được thể hiện như hình 3.



Hình 3. Lưu đồ chiến lược điều khiển nguồn động lực xe HEV kiểu song song [4]

3.3.2. Các chế độ làm việc của xe HEV kiểu song song

- **Chế độ kết hợp ĐCĐ và ĐCĐT:** Công suất tải yêu cầu lớn hơn công suất của ĐCĐT có thể tạo ra, khi đó cả ĐCĐT và ĐCĐ đồng thời phải truyền công suất tới các bánh xe. Trong trường hợp này, ĐCĐT được điều khiển để làm việc ở vùng tối ưu. Công suất yêu cầu còn lại được cung cấp bởi ĐCĐ.

- **Chế độ chỉ có ĐCĐ làm việc:** Tốc độ xe nhỏ hơn một giá trị chọn trước V_{xemin} là tốc độ của xe mà ở đó ĐCĐT hoạt động không ổn định và không tối ưu. Trong trường hợp này chỉ có ĐCĐ truyền công suất của nó tới các bánh xe, trong khi ĐCĐT được tắt hoặc chạy không tải.

- **Chế độ chỉ có ĐCĐT làm việc:** Khi công suất tải yêu cầu nhỏ hơn công suất của ĐCĐT có thể sinh ra trong khi làm việc ở vùng tối ưu, và hệ thống nạp ắc quy không làm việc. Trong trường hợp này, hệ thống điện được tắt, ĐCĐT được hoạt động để cung cấp công suất thích hợp với công suất tải yêu cầu.

- **Chế độ nạp ắc quy:** Khi công suất tải yêu cầu nhỏ hơn công suất của ĐCĐT sinh ra ở vùng làm việc tối ưu của nó, và tình trạng nạp của ắc quy dưới mức cao nhất. Trong trường hợp này, ĐCĐ được điều khiển bởi bộ điều khiển của nó và thực hiện chức năng như một máy phát điện, được cung cấp năng lượng là công suất còn lại của ĐCĐT.

- **Chế độ phanh tái sinh:** Khi xe cần phanh và yêu cầu công suất phanh nhỏ hơn công suất phanh tái sinh lớn nhất mà hệ thống điện có thể cung cấp thì ĐCĐ được điều khiển để thực hiện chức năng như một MPĐ, sản sinh ra một công suất phanh bằng công suất phanh yêu cầu. Trong trường hợp này, ĐCĐT tắt hoặc đặt ở chế độ tạm ngưng hoạt động.

- **Chế độ phanh kết hợp:** Khi công suất phanh yêu cầu lớn hơn công suất phanh tái sinh lớn nhất mà hệ thống điện có thể cung cấp, thì phanh cơ khí phải được kích hoạt. Trong trường hợp này, ĐCĐ sẽ được điều khiển để tạo ra công suất phanh tái sinh lớn nhất, và hệ thống phanh cơ khí sẽ đảm nhận sinh ra mô men phanh yêu cầu còn lại.

3.4. Mô phỏng nguồn động lực xe HEV trên phần mềm AVL-Cruise

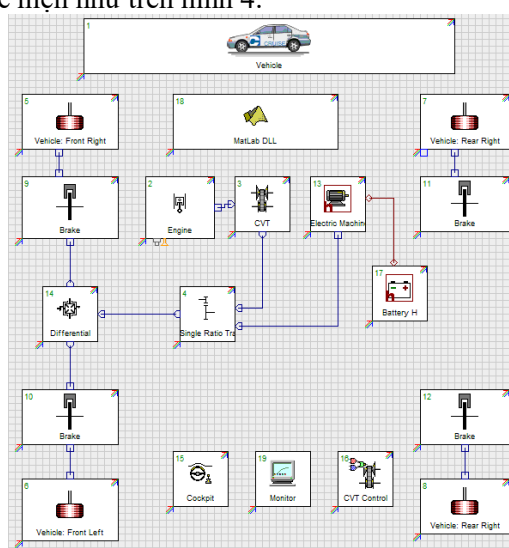
3.4.1. Phần mềm AVL-Cruise

AVL-Cruise được AVL Advance Simulation Technologies ra mắt phiên bản đầu tiên vào năm 1997, là phần mềm mô phỏng được sử dụng để nghiên cứu các đặc điểm lái, mức tiêu thụ nhiên liệu và lượng khí thải. Nhờ các mô đun cho trước người dùng có thể thiết lập bất kỳ các mô hình xe.

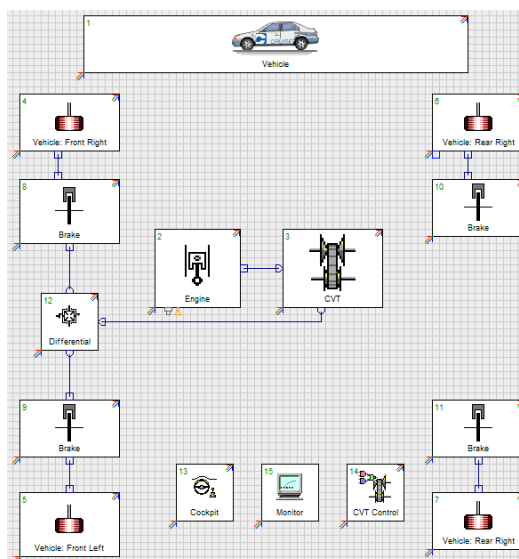
AVL-Cruise được sử dụng chủ yếu cho việc tính toán và tối ưu: Mức tiêu thụ nhiên liệu và khí thải, khả năng vận hành; tính toán tỉ số truyền, hiệu suất phanh, tải trọng tập trung khi tính toán ứng suất, rung động gây ra. Các mô đun của AVL-Cruise cho phép có thể mô phỏng tất cả các mẫu xe hiện tại và tương lai [10].

3.4.2. Xây dựng mô hình mô phỏng

Tác giả đã xây dựng mô hình mô phỏng nguồn động lực xe HEV kiểu song song trên phần mềm AVL-Cruise được thể hiện như trên hình 4.



Hình 4. Mô hình mô phỏng nguồn động lực xe HEV kiểu song song trên phần mềm AVL-Cruise



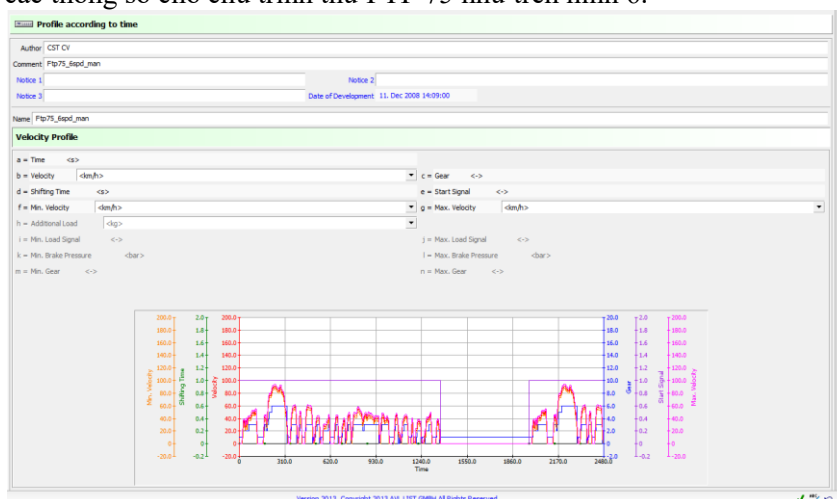
Hình 5. Mô hình mô phỏng xe thông thường trên phần mềm AVL-Cruise

Các chế độ hoạt động của nguồn động lực xe HEV như sau:

- + Tốc độ xe dưới 20km/h: chỉ có ĐCĐ hoạt động.
- + Tốc độ xe từ 20km/h đến 80km/h: chỉ có ĐCĐT hoạt động.
- + Tốc độ xe từ 80km/h trở lên: cả ĐCĐ và ĐCĐT hoạt động.

Để so sánh lượng phát thải của xe HEV với xe sử dụng ĐCĐT truyền thống, tác giả cũng xây dựng mô hình mô phỏng nguồn động lực xe thông thường trên phần mềm AVL-Cruise được thể hiện như trên hình 5. Xe sử dụng ĐCĐT truyền thống cũng dùng ĐCĐT có thông số như xe HEV.

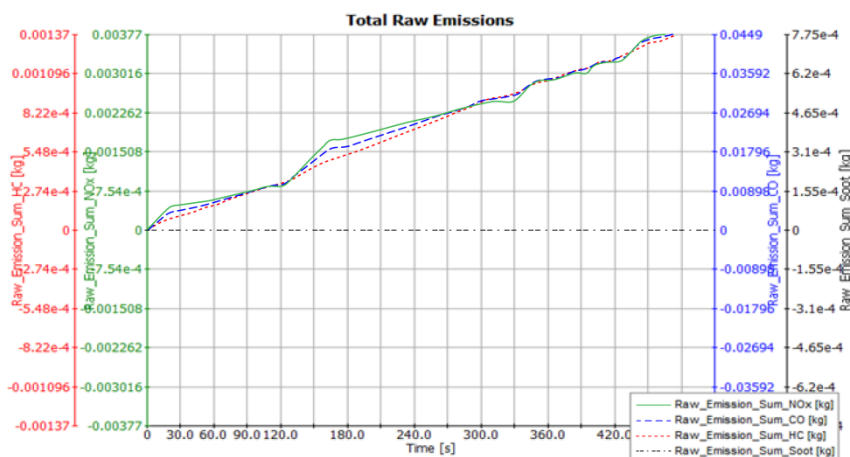
Thiết lập các thông số cho chu trình thử FTP 75 như trên hình 6.



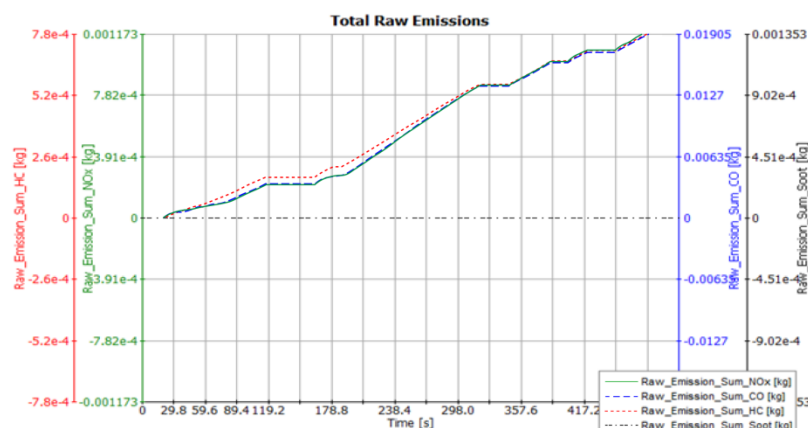
Hình 6. Thiết lập thông số cho chu trình thử FTP 75

4. Kết quả mô phỏng

Sau khi chạy mô hình mô phỏng xe thông thường và xe HEV kiểu song song trên phần mềm AVL-Cruise, tác giả thu được biểu đồ tổng lượng phát thải ô tô thông thường như trên hình 7 và biểu đồ tổng lượng phát thải xe HEV như trên hình 8.



Hình 7. Tổng lượng phát thải ô tô thông thường



Hình 8. Tổng lượng phát thải xe HEV

Kết quả mô phỏng cho thấy tổng lượng phát thải (bao gồm khí NO_x, CO, HC) của xe HEV giảm hơn đáng kể so với xe thông thường. Cụ thể tổng lượng phát thải sau khi chạy xong mô phỏng theo chu trình FTP75 trên phần mềm AVL-Cruise được thể hiện như trong bảng 4.

Bảng 4. Tổng lượng phát thải của xe thông thường và xe HEV kiểu song song

	Xe thông thường	Xe HEV kiểu song song
Tổng phát thải NO _x	0,00377 (kg)	0,001173 (kg)
Tổng phát thải CO	0,0449 (kg)	0,01905 (kg)
Tổng phát thải HC	0,00137 (kg)	0,00078 (kg)

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày kết quả tính toán và lựa chọn được ĐCĐT, ĐCĐ có thông số phù hợp theo yêu cầu thiết kế. Thiết lập được các chế độ hoạt động của nguồn động lực xe HEV như sau:

- + Tốc độ xe dưới 20km/h: chỉ có ĐCĐ hoạt động.
- + Tốc độ xe từ 20km/h đến 80km/h: chỉ có ĐCĐT hoạt động.
- + Tốc độ xe từ 80km/h trở lên: cả ĐCĐ và ĐCĐT hoạt động.

Chạy mô phỏng thành công mô hình xe HEV trên phần mềm AVL-Cruise. Kết quả cho thấy tổng lượng phát thải của xe HEV đã giảm đáng kể so với xe thông thường (chỉ sử dụng ĐCĐT). Cụ thể: NO_x giảm 69%, CO giảm 58%, HC giảm 44%.

Lời cảm ơn

Tác giả xin gửi lời cảm ơn tới PGS.TS Khổng Vũ Quảng – Trường Đại học Bách khoa Hà Nội đã giúp tác giả hoàn thành bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] V. D. Tran, V. Q. Khong, D. Q. Tran, and K. T. A. Nguyen, "Research design and manufacture of power distribution control unit for hybrid vehicles," *Journal of Marine Science and Technology*, special issue, pp. 202-210, 2021.
- [2] C. C. Chan and K. T. Chau, *Modern electric vehicle technology*. Oxford University Press, 2001.
- [3] I. Husain, *Electric and Hybrid Vehicles – Design Fundamentals*. CRC Press – Taylor & Francis, 2005.
- [4] M. Ehsani, Y. Gao, and A. Emadi, *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles*. CRC Press – Taylor & Francis, 2010.
- [5] Z. Li, A. Khajepour, and J. Song, "A comprehensive review of the key technologies for pure electric vehicles," *Energy*, vol. 182, pp. 824-839, 2019.

-
- [6] B. Ghanishtha, H. Mohan, and R. R. Singh, "Towards the future of smart electric vehicles: Digital twin technology," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 141, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.110801.
 - [7] K. Mariusz, "Prospects for the use of electric vehicles in public transport on the example of the city of czechowice-dziedzice," *Transportation Research Procedia*, vol. 44, pp. 110-114, 2020.
 - [8] B. Xu, D. Rathod, D. Zhang, A. Yebi, X. Zhang, X. Li, and Z. Filipi, "Parametric study on reinforcement learning optimized energy management strategy for a hybrid electric vehicle," *Applied Energy*, vol. 259, pp. 114-200, 2020.
 - [9] Y.-S. Chen, I.-M. Chen, and T. Liu, "A design approach for multi-configuration hybrid transmission mechanisms," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, vol. 234, no.12, pp. 2744-2758, 2020.
 - [10] Engelbert Loibner, *Multi-Disciplinary system simulation high quality model reuse in powertrain development*, AVL List GmbH, 2013.