

NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN, MÔ PHỎNG CÁC CHẾ ĐỘ CHUYỂN ĐỔI NGUỒN ĐIỆN TRÊN XE Ô TÔ DU LỊCH XĂNG LAI ĐIỆN TOYOTA COROLLA ALTIS HYBRID 1.8HEV

STUDY ON THE CALCULATION AND SIMULATION OF POWER SOURCE
SWITCHING MODES ON A GASOLINE – ELECTRIC HYBRID PASSENGER CAR,
TOYOTA COROLLA ALTIS HYBRID 1.8HEV

TS. Lê Quý Chiên*, ThS. Nguyễn Bá Thiện, ThS. Đặng Đình Huy,
ThS. Trần Đình Hưởng, ThS. Phạm Đức Cường
Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

*Email: chiencodiencnqn@gmail.com

TÓM TẮT

Trong bài báo này, nhóm tác giả trình bày kết quả nghiên cứu mô phỏng các bộ biến đổi nguồn điện trên xe Hybrid Toyota Corolla Altis 1.8HEV, bao gồm bộ chuyển đổi DC-DC từ điện áp pin 201,6V lên điện áp 650V, bộ biến đổi nghịch lưu DC-AC, từ điện áp nguồn DC $U = 650V$ sang nguồn xoay chiều 3 pha cấp cho động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu. Bằng phương pháp mô phỏng số trên phần mềm Matlab - Simulink, cho phép tính toán kiểm soát được tốc độ và mô men xoắn trên trục động cơ điện. Kết quả nghiên cứu, mô phỏng giúp người học có cách nhìn tổng quan hơn, đánh giá chính xác hơn về phương pháp điều khiển tốc độ trên xe Hybrid (xăng lai điện) cũng như trên ô tô điện, qua đó có được tư duy khoa học tốt hơn trong công tác tư vấn kỹ thuật, bảo trì bảo dưỡng dòng xe ô tô lai cũng như xe ô tô điện. Đây cũng là cơ sở để thực hiện công tác hỗ trợ giảng dạy, học tập, nghiên cứu khoa học và nâng cao chất lượng đào tạo của cán bộ và giảng viên trong ngành công nghệ kỹ thuật ô tô tại Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh cũng như các trường khối kỹ thuật trên toàn quốc.

Từ khóa: Hybrid; Mô phỏng số; Xe Hybrid Toyota Corolla Altis 1.8HEV; Điều khiển; Hybrid Synergy Drive (HSD); Chất lượng đào tạo; Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh.

ABSTRACT

In this article, the authors present the results of a simulation study of power conversion modules on a Toyota Corolla Altis 1.8HEV hybrid vehicle, including a DC-DC converter that steps up the battery voltage from 201.6V to 650V, and an inverter that converts the DC source voltage $U = 650V$ to a three-phase AC supply for the permanent magnet synchronous motor. Using numerical simulation software Matlab - Simulink, the study allows for the calculation and control of the speed and torque on the electric motor shaft. The research results and simulations help learners gain a more comprehensive understanding and more accurate assessment of the speed control methods used in hybrid vehicles (gasoline-electric hybrid) as well as electric cars, thereby fostering better scientific thinking in technical consulting, maintenance, and repair of hybrid and electric vehicles.

This also provides a foundation for supporting teaching, learning, scientific research, and improving the quality of training for staff and lecturers in the automotive engineering technology field at the University of Technology.

Keywords: Hybrid; Numerical simulation; Toyota Corolla Altis 1.8HEV hybrid car; Control; Hybrid Synergy Drive (HSD); Training quality; Quang Ninh University of Industry.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sinh viên khối ngành Công nghệ kỹ thuật ô tô tại Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh - QUI cũng như trên toàn quốc, chủ yếu được tiếp cận về dòng xe ô tô truyền thống trang bị nguồn động lực là loại động cơ nhiệt - động cơ đốt trong, về mảng xe Hybrid và xe điện chưa được tiếp cận nhiều, đặc biệt là phương pháp điều khiển tốc độ động cơ trên dòng xe lai này. Bộ chuyển đổi nguồn năng lượng điện từ pin cao áp với điện áp pin 201,6V lên điện áp cao hơn 650V, bộ chuyển đổi nguồn áp từ điện một chiều DC sang nguồn áp xoay chiều AC cấp cho động cơ 3 pha đồng bộ nam châm vĩnh cửu, cơ chế thu hồi năng lượng điện trong chế độ phanh. Để làm rõ vấn đề trên, giúp người học có thêm sự hiểu biết về dòng xe Hybrid. Ứng dụng Matlab - Simulink với công cụ tính toán mô phỏng, giúp người học có được các nhìn tổng quan, hiểu sâu hơn về cơ chế vận hành và phương pháp kỹ thuật điều khiển.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Tính năng ưu việt của dòng xe Toyota Corolla Altis Hybrid 1.8HEV [4], [6]

Xe Hybrid (xe lai) là xe kết hợp giữa động cơ đốt trong và động cơ điện, sử dụng động cơ điện để hỗ trợ cho động cơ đốt trong. Toyota sản xuất ra xe Hybrid, đây là dòng xe chiến lược của Toyota, đồng thời tiếp tục nghiên cứu các giải pháp xanh, giải pháp sạch [4].



Hình 1. Toyota Corolla Altis Hybrid 1.8HEV

Những chiếc xe Hybrid giúp tiết kiệm nhiên liệu và bảo vệ môi trường. Theo công bố, xe Hybrid giảm mức phát thải từ 1.5 đến 2 lần so với xe xăng cùng dung tích động cơ.

Xe ô tô hybrid là loại phương tiện sử dụng kết hợp hai hoặc nhiều nguồn động lực khác nhau để vận hành, phổ biến nhất là sự kết hợp giữa động cơ đốt trong (thường sử dụng nhiên liệu xăng) và động cơ điện. Công nghệ này cho phép xe hoạt động hiệu quả hơn, tiết kiệm nhiên liệu đáng kể và giảm lượng khí thải so với các loại xe chạy hoàn toàn bằng động cơ đốt trong truyền thống. Hệ thống hybrid thường hoạt động bằng cách chuyển đổi linh hoạt giữa động cơ xăng và động cơ điện, hoặc kết hợp cả hai, tùy thuộc vào điều kiện lái xe, giúp tối ưu hóa hiệu suất và giảm thiểu tác động đến môi trường (hình 1).

Toyota là hãng xe tiên phong trong lĩnh vực công nghệ hybrid, với hệ thống Hybrid Synergy Drive (HSD) là nền tảng cốt lõi, giúp hãng dẫn đầu thị trường xe hybrid toàn cầu, 

bao gồm Việt Nam. HSD kết hợp động cơ xăng và động cơ điện để tối ưu hóa hiệu suất, tiết kiệm nhiên liệu và giảm khí thải, mang lại trải nghiệm lái linh hoạt, phù hợp với điều kiện giao thông đô thị tại Việt Nam.

Hệ thống Hybrid Synergy Drive (HSD) là công nghệ truyền động hybrid độc quyền của Toyota, được thiết kế để khai thác ưu điểm của cả động cơ đốt trong và động cơ điện.

Hệ thống Hybrid Synergy Drive (HSD) của Toyota hoạt động dựa trên nguyên tắc truyền động hybrid song song, trong đó động cơ xăng và động cơ điện có thể vận hành độc lập hoặc phối hợp với nhau để cung cấp công suất cho xe. Điểm nổi bật của HSD nằm ở bộ chia công suất, thường là một bộ truyền bánh răng hành tinh, đóng vai trò phân phối năng lượng từ hai nguồn động lực chính đến các bánh xe. Nhờ cơ chế này, xe có khả năng chuyển đổi linh hoạt giữa các chế độ vận hành, từ việc sử dụng hoàn toàn động cơ điện ở tốc độ thấp đến kết hợp cả động cơ xăng và điện khi cần tăng tốc hoặc di chuyển trên đường dài. Sự linh hoạt này giúp tối ưu hóa hiệu quả sử dụng năng lượng trong nhiều điều kiện lái xe khác nhau.

Hệ thống HSD hướng tới ba mục tiêu chính:

- Giảm tiêu thụ nhiên liệu: HSD tận dụng động cơ điện trong các tình huống giao thông đô thị hoặc tốc độ thấp, giúp giảm đáng kể lượng nhiên liệu tiêu thụ so với xe chạy xăng truyền thống. Điều này đặc biệt hữu ích tại các thành phố lớn như Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh, nơi kẹt xe thường xuyên xảy ra.

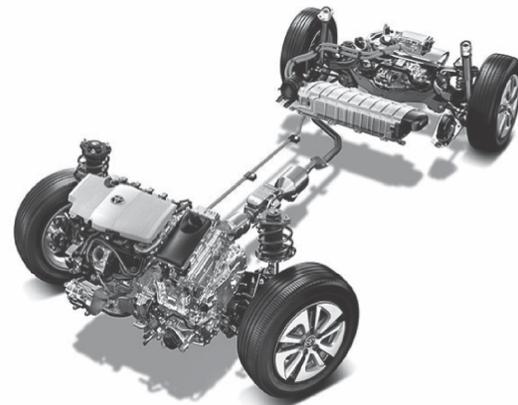
- Giảm phát thải khí CO₂ và chất ô nhiễm: Nhờ khả năng vận hành không phát thải ở chế độ điện và tối ưu hóa quá trình đốt cháy của động cơ xăng, HSD góp phần giảm lượng

khí CO₂, NO_x (ôxit nitơ), và các hạt bụi mịn PM2.5, hỗ trợ cải thiện chất lượng không khí.

- Đảm bảo hiệu suất lái mạnh mẽ và vận hành mượt mà: Sự kết hợp giữa động cơ xăng và động cơ điện mang lại khả năng tăng tốc nhanh, đồng thời đảm bảo trải nghiệm lái xe êm ái, đáp ứng tốt nhu cầu của người dùng mà không phải hy sinh tính tiết kiệm nhiên liệu.

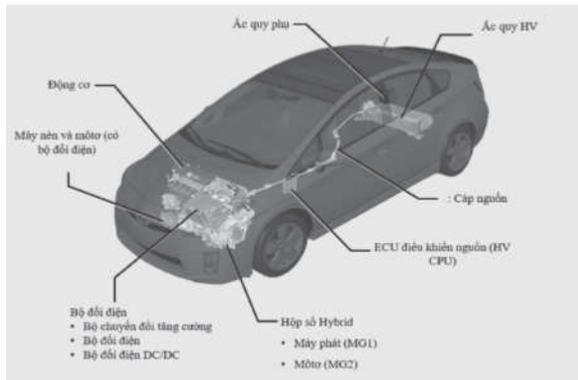
HSD không chỉ là một giải pháp công nghệ tiên tiến mà còn thể hiện cam kết của Toyota trong việc mang lại lợi ích kinh tế, bảo vệ môi trường và nâng cao chất lượng lái xe, đặc biệt phù hợp với điều kiện sử dụng tại Việt Nam.

2.2. Kết cấu nguồn động lực chính trên xe Hybrid [4], [5]



Hình 2. Bố trí nguồn động lực trên xe Hybrid [4]

Các bộ phận chính trên xe Hybrid gồm: Động cơ đốt trong, Động cơ điện MG1, Động cơ điện MG2, Pin cao áp (ắc quy HV), Ắc quy phụ cung cấp nguồn 12V cho các thiết bị điện phụ trên xe. Dây cáp nguồn, ECU điều khiển nguồn, Bộ chuyển đổi bao gồm bộ chuyển đổi tăng cường, bộ đổi điện DC/AV, bộ đổi điện DC/DC (hình 2).



Hình 3. Bố trí động cơ điện MG1 và MG2 trên xe hybrid [4]

MG1: Chủ yếu hoạt động như máy phát điện, chuyển đổi năng lượng từ động cơ xăng thành điện năng để sạc pin hoặc cung cấp cho MG2. MG1 cũng khởi động động cơ xăng khi cần (hình 3).

Động cơ điện MG1 là một thành phần cốt lõi trong hệ thống Hybrid Synergy Drive (HSD) của Toyota, đóng vai trò trung tâm trong việc quản lý năng lượng và tối ưu hóa hiệu suất vận hành của xe hybrid. Với thiết kế dựa trên nguyên lý động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu, MG1 không chỉ đảm nhận chức năng chính là máy phát điện mà còn thực hiện các nhiệm vụ quan trọng như khởi động động cơ xăng và điều chỉnh tốc độ động cơ thông qua bộ chia công suất (Power Split Device - PSD).



Hình 4. Kết cấu động cơ động cơ MG2 - đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM) [4]

Động cơ điện MG2 là một trong hai thành phần cốt lõi của hệ thống Hybrid Synergy Drive (HSD) do Toyota phát triển, đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo hiệu suất vận hành và tính bền vững của xe hybrid. Được thiết kế như một động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu, MG2 không chỉ chịu trách nhiệm truyền công suất trực tiếp đến bánh xe mà còn thực hiện chức năng phanh tái sinh, góp phần thu hồi năng lượng và nâng cao hiệu quả sử dụng nhiên liệu. Sự hiện diện của MG2 trong hệ thống HSD thể hiện sự kết hợp hoàn hảo giữa công nghệ tiên tiến và mục tiêu giảm thiểu tác động môi trường, khẳng định vị thế của Toyota trong lĩnh vực xe lai.

Về mặt cấu tạo, MG2 là một động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu với các thành phần chính bao gồm stator, rotor, bộ mã hóa vị trí và hệ thống làm mát, tất cả được thiết kế để đáp ứng yêu cầu truyền động mạnh mẽ và hiệu quả. Mỗi thành phần này đều được tối ưu hóa nhằm đảm bảo hiệu suất cao, độ bền lâu dài và khả năng vận hành ổn định trong các điều kiện khắc nghiệt (hình 3).

Stator của MG2 được xây dựng từ các cuộn dây đồng quấn chặt quanh lõi thép từ tính, tạo ra từ trường xoay khi nhận dòng điện từ bộ chuyển đổi (inverter). Thiết kế stator được tinh chỉnh để chịu tải cao, đặc biệt trong các tình huống như tăng tốc đột ngột hoặc duy trì tốc độ lớn trên đường cao tốc. Để ngăn ngừa quá nhiệt – một vấn đề thường gặp trong quá trình hoạt động cường độ cao – stator được tích hợp hệ thống làm mát bằng chất lỏng, đảm bảo nhiệt độ luôn duy trì ở mức tối ưu. Sự kết hợp giữa vật liệu chất lượng cao và công nghệ làm mát tiên tiến giúp stator của MG2 hoạt động ổn định và bền bỉ trong suốt vòng đời của xe.

Rotor, phần quay của MG2, chứa các nam châm vĩnh cửu được sắp xếp theo cấu

trúc cực từ đối xứng, tương tác với từ trường stator để tạo ra chuyển động. Nam châm vĩnh cửu trong MG2 có độ bền từ tính vượt trội, cho phép động cơ duy trì hiệu suất cao mà không bị suy giảm theo thời gian. Rotor được thiết kế để hoạt động hiệu quả trong dải tốc độ rộng, từ thấp đến cao, mang lại khả năng cung cấp mô-men xoắn tức thời khi khởi động và công suất ổn định ở tốc độ lớn. Điều này đặc biệt hữu ích trong các tình huống thực tế như di chuyển trong đô thị hoặc vượt qua địa hình dốc, nơi MG2 cần đáp ứng nhanh chóng và mạnh mẽ (hình 4).

Bộ mã hóa vị trí là một yếu tố không thể thiếu trong cấu tạo của MG2, đảm bảo việc theo dõi chính xác vị trí rotor trong suốt quá trình vận hành. Dữ liệu từ bộ mã hóa được truyền đến bộ điều khiển điện tử (ECU), cho phép điều chỉnh dòng điện vào stator một cách chính xác và tức thời. Nhờ vậy, MG2 có thể kiểm soát tốc độ và mô-men xoắn một cách mượt mà, tối ưu hóa hiệu quả năng lượng và phản ứng nhanh với các yêu cầu từ người lái. Sự phối hợp giữa các thành phần này tạo nên một động cơ MG2 không chỉ mạnh mẽ mà còn thông minh, phù hợp với các tiêu chuẩn kỹ thuật khắt khe của công nghệ hybrid.

Hệ thống làm mát bằng chất lỏng là một điểm nhấn quan trọng trong thiết kế của MG2. Trong quá trình truyền công suất hoặc phanh tái sinh, động cơ sinh ra nhiệt lượng đáng kể, và hệ thống làm mát đóng vai trò tản nhiệt hiệu quả, bảo vệ các thành phần khỏi hiện tượng quá nhiệt. Thiết kế này không chỉ nâng cao độ bền mà còn đảm bảo MG2 duy trì hiệu suất tối ưu ngay cả khi hoạt động liên tục trong thời gian dài. Tóm lại, cấu tạo của MG2 là sự kết hợp giữa kỹ thuật cơ khí chính xác và công nghệ điện tử hiện đại, tạo nền tảng cho vai trò quan trọng của nó trong hệ thống HSD.

MG2 đảm nhận hai vai trò chính trong hệ thống Hybrid Synergy Drive: truyền công suất đến bánh xe và thực hiện phanh tái sinh. Cả hai chức năng này đều góp phần quan trọng vào việc nâng cao hiệu suất tổng thể, tiết kiệm năng lượng và cải thiện trải nghiệm lái xe.

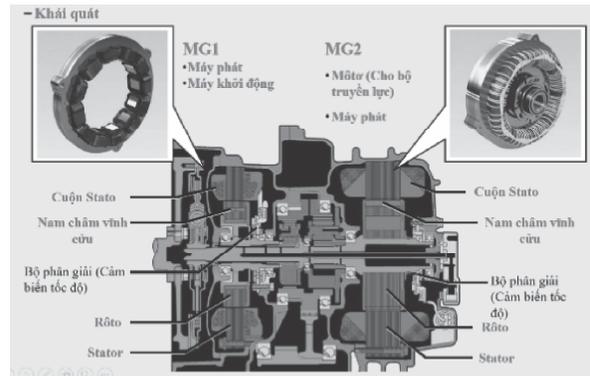
Trước hết, MG2 hoạt động như động cơ kéo chính, chịu trách nhiệm truyền công suất trực tiếp đến bánh xe để hỗ trợ xe di chuyển. Trong chế độ chạy hoàn toàn bằng điện (EV mode), MG2 sử dụng năng lượng từ pin để vận hành xe mà không cần đến động cơ xăng, đặc biệt phù hợp ở tốc độ thấp hoặc khi khởi động trong môi trường đô thị. Điều này giúp giảm tiêu thụ nhiên liệu và khí thải, mang lại lợi ích rõ rệt về môi trường. Khi xe yêu cầu công suất lớn hơn – chẳng hạn như khi tăng tốc mạnh hoặc leo dốc – MG2 phối hợp với động cơ xăng thông qua bộ chia công suất, cung cấp lực kéo bổ sung để đảm bảo hiệu suất tối ưu. Khả năng tạo mô-men xoắn tức thời của MG2 mang lại cảm giác lái mượt mà và nhạy bén, đặc biệt ở tốc độ thấp, nơi động cơ xăng thường kém hiệu quả.

Vai trò thứ hai của MG2 là thực hiện phanh tái sinh, một quá trình chuyển đổi năng lượng động học thành điện năng khi xe giảm tốc hoặc phanh. Trong chế độ này, MG2 chuyển sang hoạt động như một máy phát điện, thu hồi năng lượng và truyền trở lại pin để sạc. Quá trình phanh tái sinh không chỉ giúp tiết kiệm năng lượng mà còn giảm hao mòn cho hệ thống phanh cơ học, kéo dài tuổi thọ của các bộ phận liên quan. Đặc biệt trong điều kiện giao thông đô thị với tần suất dừng và khởi động cao, phanh tái sinh của MG2 có thể cải thiện hiệu suất nhiên liệu đáng kể, với một số ước tính cho thấy khả năng tiết kiệm tới 30% năng lượng so với xe truyền thống. Sự linh hoạt trong việc chuyển đổi giữa hai vai trò này được điều khiển bởi ECU, dựa trên các thông số như tốc độ xe, mức sạc pin và hành vi của người lái.

Sự phối hợp giữa MG2 và các thành phần khác trong hệ thống HSD là một điểm nhấn đáng chú ý. Khi người lái nhấn ga để tăng tốc, ECU kích hoạt MG2 để cung cấp công suất tức thời, trong khi nhả ga hoặc phanh, MG2 chuyển sang chế độ phát điện để thu hồi năng lượng. Quá trình chuyển đổi này diễn ra liền mạch và không gây gián đoạn, đảm bảo xe vận hành hiệu quả trong mọi tình huống. Nhờ vậy, MG2 không chỉ là một động cơ kéo mà còn là một công cụ quản lý năng lượng thông minh, góp phần tạo nên sự thành công của hệ thống hybrid Toyota.

MG2 được tích hợp nhiều công nghệ tiên tiến, giúp nó nổi bật so với các động cơ điện thông thường và đáp ứng tốt các yêu cầu khắt khe của hệ thống hybrid. Một trong những đặc điểm nổi bật là khả năng hoạt động trong dải tốc độ rộng, từ rất thấp đến rất cao, mà không làm giảm hiệu suất. Điều này cho phép MG2 cung cấp mô-men xoắn lớn ở tốc độ thấp – hỗ trợ xe khởi động hoặc tăng tốc nhanh – đồng thời duy trì công suất ổn định ở tốc độ cao trên đường dài. Tính năng này đặc biệt quan trọng trong việc đảm bảo xe hybrid vận hành linh hoạt trong cả môi trường đô thị lẫn đường cao tốc.

Ngoài ra, MG2 được thiết kế để chịu tải cao trong thời gian ngắn, chẳng hạn như khi xe cần vượt qua địa hình khó khăn hoặc tăng tốc đột ngột. Để đạt được điều này, Toyota đã sử dụng các vật liệu chất lượng cao như nam châm vĩnh cửu có độ bền từ tính vượt trội và lõi thép từ tính chống mài mòn. Công nghệ sản xuất hiện đại cũng được áp dụng để đảm bảo MG2 không chỉ mạnh mẽ mà còn duy trì hiệu suất ổn định trong suốt vòng đời dài của xe. Những cải tiến này giúp MG2 đáp ứng tốt các yêu cầu kỹ thuật nghiêm ngặt, đồng thời giảm thiểu nhu cầu bảo trì.



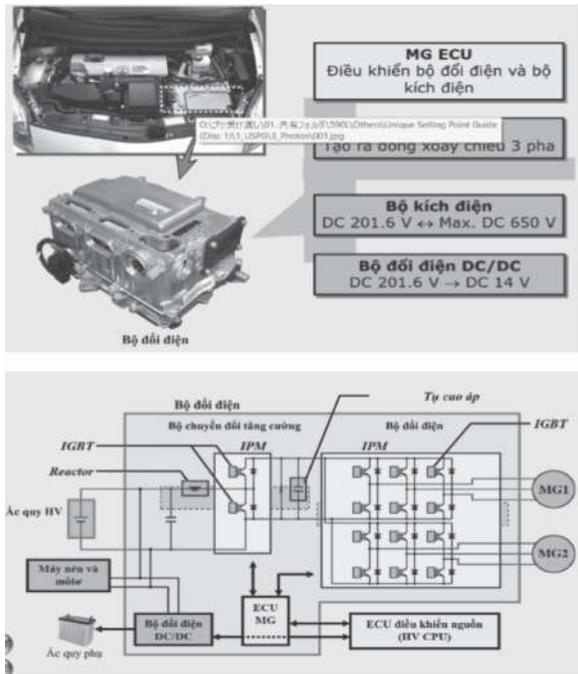
Hình 5. Kết cấu và chức năng của động cơ điện MG1, MG2 [4]

Hệ thống điều khiển thông minh là một yếu tố then chốt khác làm nên sức mạnh của MG2. Động cơ này được kết nối chặt chẽ với ECU, nhận dữ liệu thời gian thực từ các cảm biến về tốc độ, tải trọng và nhiệt độ. Dựa trên thông tin này, ECU điều chỉnh dòng điện cấp vào stator một cách chính xác, tối ưu hóa hiệu suất và giảm tổn thất năng lượng. Chẳng hạn, khi xe di chuyển ở tốc độ ổn định, MG2 có thể giảm công suất để tiết kiệm năng lượng, trong khi ở tình huống cần tăng tốc, nó lập tức cung cấp lực kéo tối đa. Sự kết hợp giữa công nghệ vật liệu, thiết kế cơ khí và điều khiển điện tử đã biến MG2 thành một động cơ hiệu quả và linh hoạt, đóng vai trò không thể thiếu trong hệ thống HSD.

MG2 không chỉ là một động cơ điện mà còn là một giải pháp kỹ thuật toàn diện, góp phần định hình sự thành công của hệ thống Hybrid Synergy Drive. Với thiết kế động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu tiên tiến, MG2 mang lại hiệu suất cao, độ bền vượt trội và khả năng vận hành linh hoạt, đáp ứng tốt các yêu cầu khắt khe của công nghệ hybrid. Vai trò kép của nó – vừa truyền công suất, vừa thực hiện phanh tái sinh – đã giúp tối ưu hóa hiệu suất nhiên liệu, giảm khí thải và nâng cao trải nghiệm lái xe, đồng thời thể hiện cam kết của

Toyota trong việc phát triển các giải pháp giao thông bền vững (hình 5).

2.3. Cấu tạo và chức năng của bộ đổi nguồn trên xe [1], [4], [6]



Hình 6. Sơ đồ bộ điều khiển nguồn trên xe [6]

Bộ chuyển đổi tăng cường (hình 6), đưa điện áp từ 201,6V lên điện áp cao nhất 650V, tác dụng của bộ chuyển đổi tăng cường (Boost Converter), để giảm tổn thất nhiệt. Công suất của động cơ P xác định theo công thức [2], [7].

$$P = U.I \quad (W) \quad (1)$$

Trong đó:

- U: Điện áp (V);
- I: Cường độ dòng điện (A).

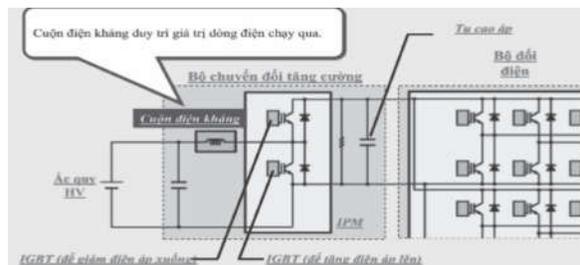
Khi công suất tiêu thụ trên tải không đổi P (hằng số), nếu U tăng, tăng từ 201,6 lên 650 thì dòng điện I sẽ giảm. Khi giảm cường độ

dòng điện I có tác dụng giảm tổn thất nhiệt Q, xác định theo công thức:

$$Q = R.I^2 \quad (J) \quad (2)$$

Trong đó:

- Q: Nhiệt lượng tổn hao (J);
- R: Điện trở (Ω);
- I: Cường độ dòng điện (A).

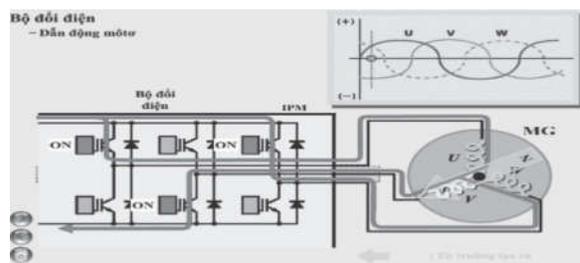


Hình 7. Vị trí IGBT của bộ Buck/Boost trong sơ đồ

Dòng điện giảm thì nhiệt lượng Q tổn hao sẽ giảm theo tỷ lệ bình phương của dòng điện.

Trong sơ đồ sử dụng 2 thiết bị đóng cắt với tần số cao IGBT, trong đó IGBT phía trên khi hoạt động có tác dụng giảm điện áp (tương đương mạch Buck), còn IGBT phía dưới khi hoạt động có tác dụng tăng điện áp (hình 7).

Sau khi điện áp được tăng lên giá trị lớn nhất 650V, sử dụng bộ nghịch lưu gồm 6 IGBT biến đổi điện áp một chiều DC thành điện áp xoay chiều AC, cấp cho động cơ hoạt động (hình 8).



Hình 8. Quy luật đóng/mở các IGBT đảm bảo hoạt động của Máy điện MG2

2.4. Tính toán, thiết kế các chương trình mô phỏng bộ chuyển đổi trên Matlab - Simulink [2], [3], [4], [7]

2.4.1. Bộ chuyển đổi tăng áp và hạ áp (Buck/Boost converter) cấp điện cho động cơ và chế độ sạc pin

a. Thông số kỹ thuật [6]

Loại động cơ: Xoay chiều đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM). Công suất tối đa: 53kW (tương đương khoảng 72 mã lực). Mô-men xoắn cực đại: 163 Nm. Điện áp tối đa hệ thống: 600V (thông qua bộ kích điện áp từ pin). Truyền động trực tiếp: Động cơ điện này chịu trách nhiệm chính trong việc truyền động bánh xe ở chế độ thuần điện (EV Mode) hoặc hỗ trợ tăng tốc tức thời cùng động cơ xăng. Tái tạo năng lượng: Đóng vai trò như một máy phát điện khi xe giảm tốc hoặc phanh (Phanh tái tạo), chuyển đổi động năng thành điện năng để sạc lại cho pin Hybrid. Pin Hybrid: Loại Nickel-Metal Hydride (NiMH) với điện áp danh định khoảng 201.6V, dung lượng 6.5 Ah.

b. Thông số tính toán cho bộ chuyển đổi Buck/Boost Converter [4]

- Điện áp thấp áp $V_L = 201.6V$ (Phía ắc quy nguồn đầu vào);
- Điện áp phía cao áp $V_H = 650V$ (Phía tải);
- Tần số đóng cắt $f_{sw} = 20kHz$;
- Công suất đầu ra $P = 53 kW$;
- Hiệu suất $\eta = 95\%$.

c. Tính chọn hệ số tỉ lệ chu kỳ xung D [4]

Chế độ Boot (201.6V 650 → V):

$$D = 1 - \frac{V_L \cdot \eta}{V_H} = 1 - \frac{201,6 \cdot 0,95}{650} = 0,706$$

Chế độ Buck (650V 201.6 → V):

$$D = \frac{V_L}{V_H \cdot \eta} = \frac{201,6}{650 \cdot 0,95} = 0,325$$

d. Tính toán dòng điện

Dòng điện phía thấp áp (I_L):

$$I_L = \frac{P}{V_L \cdot \eta} = \frac{53000}{201,6 \cdot 0,95} = 277,5A$$

Dòng điện phía thấp áp (I_H):

$$I_L = \frac{P}{V_H} = \frac{53000}{650} = 81,5A$$

e. Tính toán phần tử lọc, cuộn dây và tụ điện

Cuộn cảm (L), tính dòng gợn sóng tối đa $\Delta I_L = 0,2 \cdot I_L = 0,2 \cdot 277,5 = 55,5$

Tính giá trị điện cảm cuộn dây:

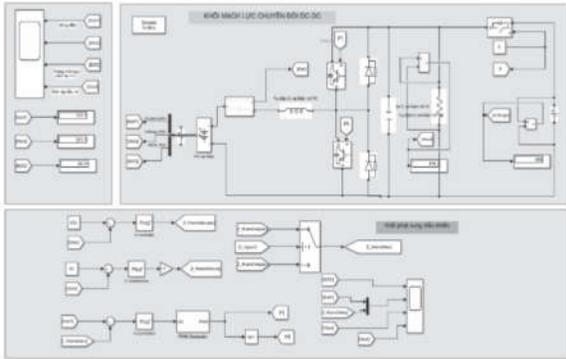
$$L = \frac{V_L \cdot D_{boot}}{f_{sw} \Delta I_L} = \frac{201,5 \cdot 0,706}{20.000 \cdot 55,5} = 128 \mu H$$

Tụ điện đầu ra (C_H - phía 650V) chọn độ gợn áp $\Delta V_H = 1\% \cdot 650V = 6,5V$

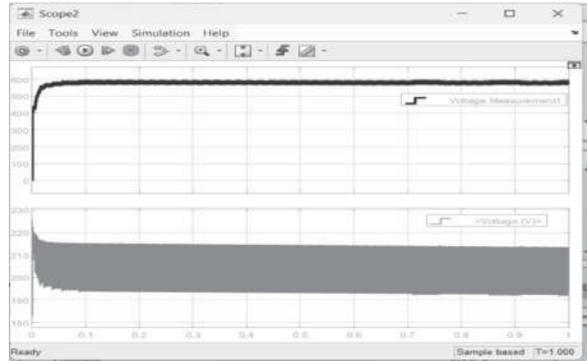
$$C_H = \frac{I_H \cdot D_{boot}}{f_{sw} \Delta V_H} = \frac{81,5 \cdot 0,706}{20.000 \cdot 6,5} = 433 \mu F$$

f. Chương trình mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink [2], [3], [4]

Chương trình mô phỏng trên Matlab/Simulink bao gồm 2 khối, khối mạch lực gồm nguồn điện phía thấp áp là Pin xe ô tô điện với mức điện áp danh định $V = 201.6V$, cuộn dây có giá trị điện cảm được tính toán $L = 128 \mu H$, tụ điện C với giá trị điện dung $C = 433 \mu F$. Mạch lực sử dụng 2 linh kiện IGBT để đóng cắt mạch với tần số cao $f_{sw} = 20.000Hz$. Tải phía cao áp là điện trở $R = 7.79 \Omega$. Mạch điều khiển đóng cắt, là mạch tạo tín hiệu [P] và [N], tín hiệu này được đưa vào chân điều khiển của IGBT, IGBT sẽ ở trạng thái ON-OFF (hình 9).



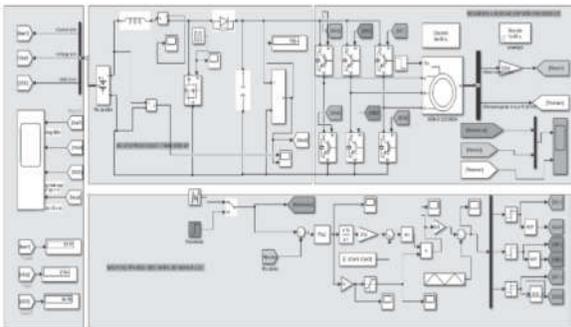
Hình 9. Chương trình mô phỏng trên Matlab/Simulink khối Buck/Boost [4]



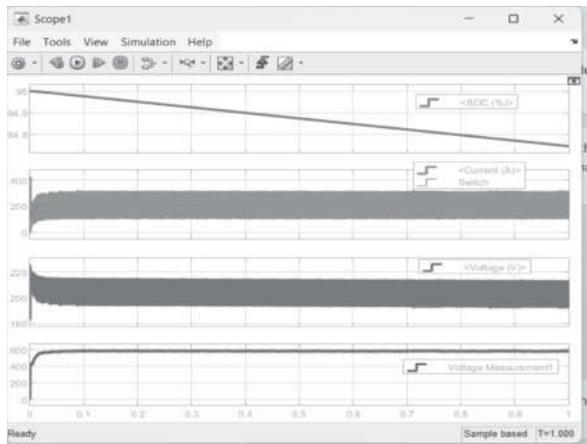
Hình 11. Điện áp nguồn Pin và điện áp sau bộ đổi Boot tăng lên 650V [4]

2.4.2. Ứng dụng Matlab/Simulink tính toán, mô phỏng bộ nghịch lưu, biến đổi dòng điện một chiều 650V cấp cho động cơ MG2 [3], [4]

Chương trình lập trình trên Matlab/Simulink, bộ nghịch lưu biến đổi DC-AC (hình 10):



Hình 10. Chương trình mô phỏng trên Matlab/Simulink khối nghịch lưu, biến đổi dòng điện một chiều 650V cấp cho động cơ MG2 [4]



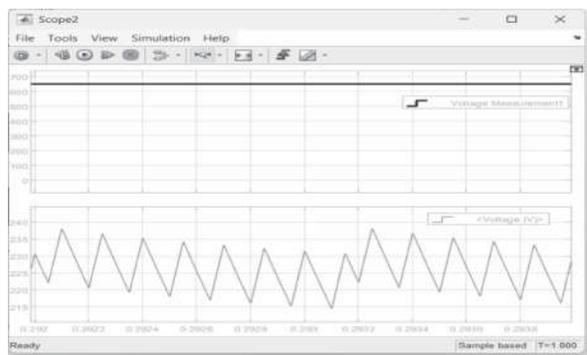
Hình 12. Mối quan hệ giữa trạng thái xả của Pin cao áp (SOC) với điện áp từ Pin cấp cho tải qua bộ biến đổi [4]

- Trạng thái sạc của Pin, khi bộ Buck hoạt động (hình 13, 14):

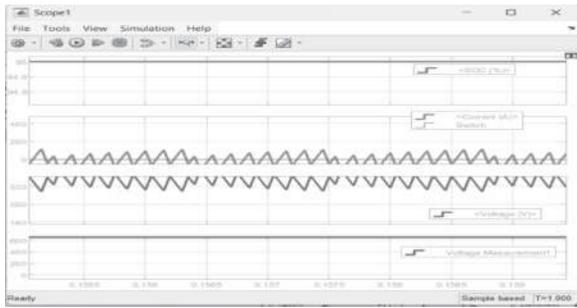
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả tính toán mô phỏng trên Matlab/Simulink, bộ chuyển đổi nguồn một chiều từ Pin cao áp $V = 201.6V$ lên điện áp 600V

Trạng thái xả của Pin khi bộ Boot hoạt động (hình 11, 12):

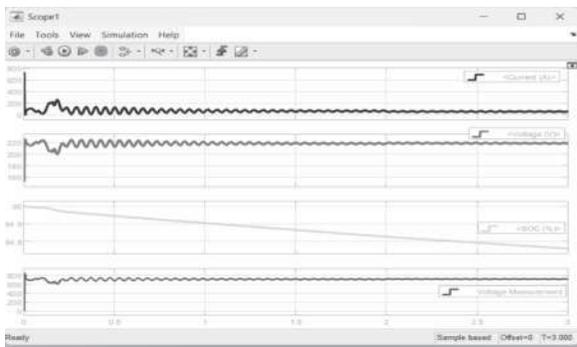


Hình 13. Biến thiên điện áp sạc vào Pin [4]



Hình 14. Biến thiên điện áp sạc, dòng sạc và phân trăm sạc SOC vào Pin [4]

3.2. Kết quả tính toán mô phỏng trên Matlab/Simulink, bộ nghịch lưu biến đổi điện áp một chiều 600V sang điện áp xoay chiều cấp cho động cơ MG2, và điều khiển tốc độ động cơ điện theo tín hiệu đầu vào



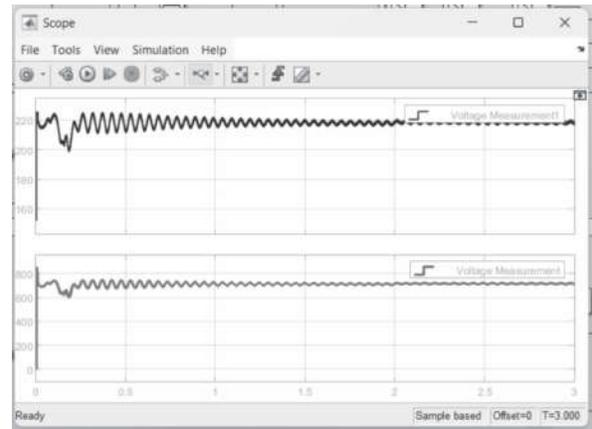
Hình 15. Mô phỏng trạng thái điện áp, dòng điện, phân trăm sạc và điện áp biến đổi tăng áp hệ thống [4]

Đường thứ nhất trên cùng <Current (A)>, mô tả biến thiên của dòng điện I_{pin} theo phụ tải từ Pin cấp cho động cơ trên xe điện (hình 15).

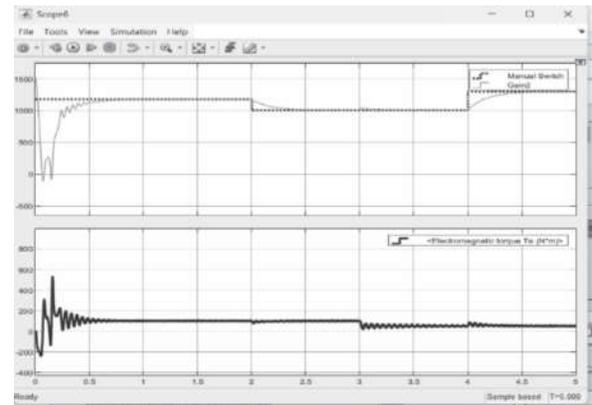
Đường thứ hai, <Voltage (V)> mô tả biến của điện thiên áp U_{bat} theo phụ tải từ Pin cấp cho động cơ trên xe điện (hình 15).

Đường thứ ba, <SOC(%)> mô tả biến thiên phần trăm xả của Pin, khi Pin cấp nguồn cho tải là động cơ trên xe điện (hình 15).

Đường thứ tư, <Voltage Measurement> mô tả biến của điện thiên áp U_H , điện áp được tăng áp qua bộ Boost, theo phụ tải từ Pin cấp cho động cơ trên xe điện (hình 15).



Hình 16. Mô phỏng biến thiên điện áp phía đầu vào từ Pin 201.6V qua bộ tăng áp lên 650V [4]



Hình 17. Mô phỏng đáp ứng tốc độ của động cơ và Mô men theo tải, khi được cấp nguồn điện sau bộ nghịch lưu [4]

Động cơ hoạt động tốt với nguồn điện xoay chiều 3 pha sau, điện áp một chiều khi biến đổi nguồn điện qua bộ nghịch lưu thành điện áp xoay chiều cấp cho động cơ đảm bảo động cơ hoạt động (hình 16, 17).

Động cơ đáp ứng thay đổi tốc độ theo tín hiệu đầu vào, đồng nghĩa việc xe điện tăng

tốc hoặc giảm tốc khi chuyển động từ tín hiệu điều khiển của người lái (hình 17).

Mô men của động cơ điện cũng biến thiên theo tải, khi tốc độ động cơ thay đổi và phụ tải bên ngoài đặt vào động cơ thay đổi.

Kết quả của quá trình tính toán cho thấy, khi nguồn điện 600V DC sau khi được tăng áp, qua bộ nghịch lưu biến thành nguồn xoay chiều 3 pha cấp cho động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu. Động cơ hoạt động, với chương trình điều khiển tốc độ động cơ được lập trình. Động cơ đáp ứng tốt sự biến thiên vận tốc và Mô men khi thay đổi thông số đầu vào (hình 17).

4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả nghiên cứu nêu trên, nhóm tác giả nhận thấy: Kết quả đã xây dựng được các chương trình mô phỏng số bộ biến đổi tăng áp và giảm áp tương ứng với quá trình sạc và xả của Pin, điện áp của Pin là 201.6V lên điện áp 650V. Chương trình mô phỏng bộ biến đổi nghịch lưu, biến đổi điện áp một chiều DC $U = 650V$ sang điện áp xoay chiều cấp cho động cơ MG2 hoạt động. Đồng thời xây dựng chương trình điều khiển tốc độ và mô men của động cơ đáp ứng tín hiệu điều khiển từ đầu vào.

Kết quả mô phỏng số cho ra đồ thị thể hiện mối quan hệ giữa thông số đầu vào là điện áp, dòng điện từ Pin cao áp trên xe Toyota Corolla Altis hybrid 1.8HEV và thông số đầu ra, điện áp tăng áp, tốc độ động cơ, mô men xoắn. Kết quả mô phỏng tính toán giúp người học và người làm công tác kỹ thuật về ô tô có cách nhìn tổng quan hơn, đánh giá chính xác hơn mức độ ảnh hưởng của các đại lượng động học và động lực học trên ô tô đến các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật của xe ô tô du lịch Toyota hybrid. Kết quả nghiên cứu được áp dụng, triển khai sử dụng trong Trường Đại học Công

nghiệp Quảng Ninh cũng như khối trường kỹ thuật và có thể phục vụ cho công tác khai thác sử dụng phục vụ trong các xưởng, ga ra, nhà máy về lĩnh vực Ô tô, ứng dụng trong ngành và phục vụ xã hội. ❖

Ngày nhận bài: **05/01/2026**

Ngày phản biện: **08/01/2026**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Trần Văn Hùng (2011), “*Điện tử công suất*”. NXB. Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh.
- [2]. Trần Quang Thọ (2020), “*Truyền động điện tự động*”. NXB. Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.
- [3]. Nguyễn Phùng Quang (2006), “*Matlab & Simulink dành cho kỹ sư điều khiển tự động*”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [4]. Đề tài NCKH cấp cơ sở (2025), “*Nghiên cứu công nghệ Hybrid Synergy Drive trên xe Ô tô du lịch xăng lai điện hãng Toyota phục vụ học tập tại xưởng thực hành Cơ khí ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh*”. Năm học 2024-2025.
- [5]. Hướng dẫn sử dụng xe Hybrid (2025), hãng Toyota NanKai Hải Phòng.
- [6]. Thông số kỹ thuật Toyota Corolla Cross (2025). <https://oto.com.vn/thong-so-ky-thuat/xe-toyota-corolla-cross-2025-articleid-yr821y>
- [7]. Battery Controller based on Bidirectional Buck/boost Converter with PI Controller modelled in MATLAB. <https://www.youtube.com/watch?v=5INHrLNI3MQ>
- [8]. Web: www.google.com.vn