

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

ĐOÀN THỂ NGHĨA

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG HỆ THỐNG ĐỘNG LỰC Ô TÔ HYBRID
KIỂU HAI CHẾ ĐỘ

LUẬN VĂN THẠC SỸ KHOA HỌC

Thái Nguyên - 2023

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

ĐOÀN THỂ NGHĨA

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG HỆ THỐNG ĐỘNG LỰC Ô TÔ HYBRID
KIỂU HAI CHẾ ĐỘ

Chuyên ngành: KỸ THUẬT CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC

Mã số: 8520116

LUẬN VĂN THẠC SĨ KHOA HỌC

KHOA CHUYÊN MÔN
TRƯỞNG KHOA

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

PGS.TS. Lê Văn Quỳnh

PGS.TS. Nguyễn Khắc Tuấn

PHÒNG ĐÀO TẠO

Thái Nguyên - 2023

LỜI CAM ĐOAN

Họ và tên: **Đoàn Thế Nghĩa**

Học viên: Lớp cao học K24- Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp-Đại học Thái Nguyên.

Nơi công tác:

Tên đề tài luận văn thạc sỹ: **Nghiên cứu mô phỏng hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ.**

Chuyên ngành: Kỹ thuật cơ khí động lực

Mã số:

Sau gần hai năm học tập, rèn luyện và nghiên cứu tại trường, em lựa chọn luận văn thạc sĩ với đề tài: **Nghiên cứu mô phỏng hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ.** Được sự giúp đỡ và hướng dẫn tận tình của thầy giáo PGS.TS. Nguyễn Khắc Tuấn, các thầy cô trong khoa Kỹ thuật Ô tô và Máy động lực và sự nỗ lực của bản thân, luận văn đã được hoàn thành đáp được nội dung luận văn thạc sĩ Kỹ thuật Cơ khí động lực.

Em xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của cá nhân em. Các số liệu, kết quả có trong luận văn là trung thực và chưa từng được công bố trong bất kỳ một công trình nào khác trừ công bố của chính tác giả và nhóm nghiên cứu của thầy hướng dẫn.

Thái Nguyên, ngày..... tháng..... năm 2023

HỌC VIÊN

Đoàn Thế Nghĩa

LỜI CẢM ƠN

Trong thời gian học tập nghiên cứu làm đề tài luận văn thạc sĩ, em đã tiếp nhận được sự truyền đạt trao đổi phương pháp tư duy, lý luận của quý thầy cô trong Nhà trường, sự quan tâm giúp đỡ tận tình của tập thể giảng viên Nhà trường, khoa Kỹ thuật Ô tô & MĐL, quý thầy cô giáo trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp –Đại học Thái Nguyên, gia đình và các đồng nghiệp.

Em xin chân thành cảm ơn đến Ban giám hiệu Nhà trường, Tổ đào tạo Sau đại học -Phòng đào tạo, quý thầy cô giáo tham gia giảng dạy đã tận tình hướng dẫn tạo điều kiện để em hoàn thành luận văn này.

Em cũng xin bày tỏ biết ơn sâu sắc đến thầy giáo PGS.TS. Nguyễn Khắc Tuấn và tập thể thầy cô giáo khoa Kỹ thuật Ô tô & MĐL, hội đồng bảo vệ đề cương đã hướng dẫn cho em hoàn thành luận văn theo đúng kế hoạch và nội dung đề ra.

Trong quá trình, thời gian thực hiện mặc dù đã có nhiều cố gắng song do kiến thức và kinh nghiệm chuyên môn còn hạn chế nên luận văn không tránh khỏi sai sót, rất mong được sự đóng góp quý báu của quý thầy cô và các bạn đồng nghiệp tiếp tục trao đổi đóng góp giúp em để luận văn được hoàn thiện hơn.

Xin chân thành cảm ơn !

HỌC VIÊN

ĐOÀN THẾ NGHĨA

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	1
Chương 1	5
TỔNG QUAN VỀ ĐỀ TÀI NGHIÊN CỨU.....	5
1.1. Tổng quan về ô tô hybrid	5
1.1.1. Sơ lược về lịch sử phát triển ô tô hybrid.....	5
1.1.2. Đặc điểm cấu tạo của ô tô hybrid.....	6
1.1.3. So sánh ô tô hybrid với ô tô truyền thống.....	17
1.1.4. So sánh các loại ô tô hybrid	18
1.2. Tổng quan về các nghiên cứu liên quan đến hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ.....	19
1.2.1. Các nghiên cứu trong nước	19
1.2.2. Các nghiên cứu ngoài nước.....	21
1.3. Kết luận chương 1	22
Chương 2 . HỆ THỐNG ĐỘNG LỰC Ô TÔ HYBRID	23
HAI CHẾ ĐỘ.....	23
2.2.Cấu tạo và hoạt động của một số hệ thống động lực hybrid hai chế độ ...	27
2.3.1.Hệ thống động lực hybrid hai chế độ của hãng GM với 2 dây bánh răng hành tinh.....	27
2.3.2 Hệ thống động lực hybrid hai chế độ của hãng Timken	34
2.3.3. Hệ thống động lực hybrid hai chế độ với 3 dây hành tinh.....	38
2.4.Kết luận chương 2	42
Chương 3. MÔ PHỎNG HỆ THỐNG ĐỘNG LỰC Ô TÔ HYBRID.....	43
HAI CHẾ ĐỘ.....	43
3.1. Xây dựng mô hình mô phỏng bằng phần mềm MATLAB/Simulink.....	43
3.1.1. Mô hình toàn hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ	43
3.1.2. Khối động cơ đốt trong	44
3.1.3. Khối tổ hợp động cơ/máy phát.....	45

3.1.5. Khối động lực học thân xe	46
3.1.6. Khối điều khiển	49
3.1.7. Khối vận tốc	50
3.2. Thiết lập các thông số đầu vào cho mô hình mô phỏng	51
3.2.1. Điều kiện làm việc	51
3.2.2. Các thông số của xe.....	52
3.3. Kết quả mô phỏng	53
3.3.1. Trường hợp 1	53
3.3.2. Kết quả mô phỏng trường hợp 2	57
3.3.3. Kết quả mô phỏng trong trường hợp 3.....	62
3.4. Kết luận chương 3	66
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	67
TAI LIỆU THAM KHẢO	69

CÁC TỪ VIẾT TẮT

PSD: Bộ chia công suất

ĐLH: Động lực học

ĐCĐT: Động cơ đốt trong

MG : tổ hợp động cơ máy phát (hoặc máy điện)

S-HEV: ô tô hybrid kiểu nối tiếp

P-HEV: ô tô hybrid kiểu song song

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1- Sơ đồ hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu nối tiếp	7
Hình 1.2 - Sơ đồ hệ thống động lực của ô tô hybrid kiểu song song.....	9
Hình 1.3 - Sơ đồ cấu tạo hệ động lực và bộ chia công suất của ô tô hybrid kiểu hỗn hợp - Toyota Prius	12
Hình 1.4 - Hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu nối tiếp-song song	13
Hình 1.5 Hệ thống hybrid hai chế độ GM Allison (a) và sơ đồ cấu tạo (b) ..	15
Hình 1.6 – Mức tiêu thụ nhiên liệu (dặm/gallon Mỹ).....	16
Hình 1.7 - Sơ đồ hệ thống động lực của ô tô hybrid 2 chỗ[3]	20
Hình 2.1 – Lược đồ bộ truyền bánh răng hành tinh	24
Hình 2.2 - Vận tốc của các khâu trong bộ truyền hành tinh	25
Hình 2.3 - Sơ đồ hai chế độ 2 dãy hành tinh GM	28
Hình 2.4 - Dòng công suất khi khởi hành hoặc lùi xe	29
Hình 2.5 - Chế độ tốc độ thấp	30
Hình 2.6 - Sơ đồ làm việc ở chế độ tốc độ cao	32
Hình 2.7 - Dòng công suất phanh tái sinh.....	33
Hình 2.8 - Hệ thống động lực hybrid Timken.....	34
Hình 2.9 - Sơ đồ khi vận hành ở độ tốc độ thấp của hệ thống hybrid Timken	35
Hình 2.10 - Sơ đồ khi vận hành ở tốc độ cao của hệ thống hybrid Timken ...	36
Hình 2.11 - Sơ đồ khi vận hành ở chế độ nối tiếp của hệ thống hybrid Timken	36
Hình 2.12 - Cấu hình hybrid two-mode hai chế độ với 03 dãy hành tinh	38
Hình 2.13 - Chế độ EVT1	39
Hình 2.14 - Chế độ EVT 2	40
Hình 2.15 - Sơ đồ chế độ tỉ số truyền cố định số 1	40
Hình 2.16 -Sơ đồ chế độ tỉ số truyền cố định 2	41
Hình 2.17 - Sơ đồ chế độ tỉ số truyền cố định 3	41

Hình 2.18 - Sơ đồ chế độ tỉ số truyền cố định 4	42
Hình 3.1 - Sơ đồ mô phỏng toàn bộ hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ	44
Hình 3.2. Sơ đồ cấu trúc khối động cơ đốt trong.....	44
Hình 3.3 - Sơ đồ khối động cơ/máy phát A	45
Hình 3.4 - Sơ đồ khối truyền lực hành tinh.....	45
Hình 3.5 - Sơ đồ lực tác dụng lên ô tô	47
Hình 3.6 - Mô hình động lực thân xe	49
Hình 3.7 - Sơ đồ cấu trúc của khối điều khiển.....	49
Hình 3.8 - Sơ đồ cấu trúc Simulink lựa chọn chu trình thử.....	50
Hình 3.9 - Quan hệ của vận tốc theo thời gian khi tăng tốc ô tô với gia tốc 1,2 m/s ² bắt đầu từ giây thứ 2.....	51
Hình 3.10 - Sự thay đổi vận tốc theo thời gian khi tăng tốc ô tô với gia tốc 2,4 m/s ² bắt đầu từ giây thứ 2.....	52
Hình 3.11 - Chu trình đô thị loại 1 theo chuẩn UN/ECE (ECE 15).....	52
Hình 3.12 - Vận tốc thực và vận tốc tham chiếu	54
khi tăng tốc với gia tốc 1,2 m/s ²	54
Hình 3.13 - Trạng thái chuyển số khi xe tăng tốc với gia tốc 1,2 m/s ²	55
Hình 3.14 - Sự thay đổi tỉ số truyền khi tăng tốc với gia tốc 1,2m/s ²	55
Hình 3.15 – Kết quả mô phỏng tính toán tốc độ của các trục.....	56
Hình 3.16 - Sự thay đổi của các phản lực pháp tuyến và tiếp tuyến tại bánh xe khi xe tăng tốc với gia tốc 1,2 m/s ²	57
Hình 3.17 - Vận tốc thực và vận tốc tham chiếu khi tăng tốc xe với gia tốc a ₂ = 2,4 m/s ²	58
Hình 3.18 - Trạng thái chuyển số khi xe tăng tốc với gia tốc 2,4 m/s ²	59
Hình 3.19 - Kết quả tính toán tỉ số truyền của hệ thống truyền lực i _t trong trường hợp 2.....	60
Hình 3.20 – Tốc độ các trục của M/G A, M/G B, trục ĐCĐT và tốc độ xe... 61	

Hình 3.21 - Phản lực pháp tuyến và phản lực tiếp tuyến tại bánh xe	62
Hình 3.22 - Vận tốc thực và vận tốc tham chiếu khi xe hoạt động theo chu trình thử đô thị loại 1 (ECE 15)	63
Hình 3.23 - Trạng thái chuyển số.....	63
Hình 3.24 - Sự thay đổi tỉ số truyền khi xe chạy theo chu trình ECE 15	64
Hình 3.25 - Tốc độ các trục của M/G A, M/G B và động cơ đốt trong.....	65
Hình 3.26 - Phản lực pháp tuyến và phản lực tiếp tuyến khi chạy xe theo chu trình ECE 15.....	65

DANH MỤC BẢNG

Bảng 1.1. Các chế độ làm việc của hệ thống hai chế độ GM Allison	16
Bảng 1.2 Thông số của động cơ và máy điện trên một số xe hybrid hai chế độ	16
Bảng 3.1. Trạng thái của ly hợp ứng với các chế độ làm việc.....	38
Bảng 3.1. Trạng thái làm việc của ly hợp	46
Bảng 3.2 -Các tham số lốp xe	46
Bảng 3.3. Chế độ làm việc ứng với giá trị của biến trạng thái chuyển số Sh. 50	
Bảng 3.4 -Các thông số cơ bản của xe	53

MỞ ĐẦU

Ngày nay, do sự phát triển mạnh về số lượng các phương tiện giao thông đường bộ làm cho tình trạng ô nhiễm không khí do khí thải của các phương tiện này gây ra đã trở nên ngày càng nghiêm trọng, đặc biệt là ở các đô thị lớn. Để bảo vệ môi trường và nâng cao chất lượng không khí, chính phủ các nước đã đưa ra các quy định ngặt nghèo về tiêu thụ nhiên liệu và khí thải của xe. Đây là động lực chính thúc đẩy các hãng sản xuất ô tô đầu tư phát triển các công nghệ mới, thân thiện với môi trường cho các dòng sản phẩm của mình.

Phát triển ô tô điện là một xu hướng ô tô sạch dẫn đầu trong những năm gần đây. Tuy nhiên, việc sử dụng động cơ điện làm nguồn động lực trên xe vẫn còn tồn tại một số vấn đề như khả năng lưu trữ năng lượng của ắc quy hạn chế, tuổi thọ của ắc quy ngắn, khối lượng động cơ điện và ắc quy lớn, thời gian nạp điện cho ắc quy kéo dài, chi phí, giá thành chung của xe điện cao.

Bên cạnh đó, các loại ô tô sử dụng nhiên liệu thay thế đã được nghiên cứu phát triển như ô tô dùng hydrogen, ô tô chạy bằng pin nhiên liệu (fuel cell), ô tô chạy bằng khí nén... cho đến nay đều tồn tại một số nhược điểm nhất định, chưa dễ thực hiện với thực trạng kinh tế kỹ thuật hiện nay.

Trong bối cảnh đó thì ô tô hybrid (ô tô lai điện) sử dụng kết hợp hai nguồn động lực là động cơ đốt trong và động cơ điện được coi là phương án phù hợp nhất trong giai đoạn phát triển ô tô sạch, nhằm đáp ứng yêu cầu khắt khe về môi trường đô thị và nguy cơ cạn kiệt nguồn nhiên liệu hóa thạch. Với phương án này ngoài việc giải quyết các vấn đề hạn chế của động cơ điện còn phát huy được lợi thế của động cơ đốt trong.

Ô tô hybrid có thể được phân loại theo nhiều cách khác nhau phổ biến là ô tô hybrid với hệ thống động lực kiểu nối tiếp (series hybrid), song song (parallel hybrid) hoặc hỗn hợp (series/parallel hybrid). Trong số đó ô tô hybrid kiểu hỗn hợp là sơ đồ kết hợp giữa sơ đồ nối tiếp và sơ đồ song song, sơ đồ hỗn hợp còn thường biết đến với tên gọi khác là hybrid kiểu

chia công suất (power split hybrid) được sử dụng rộng rãi nhất vì nó phát huy được những ưu điểm và khắc phục được những nhược điểm của các sơ đồ nối tiếp và sơ đồ song song. Hiện nay, ô tô hybrid sử dụng hệ thống động lực kiểu chia công suất có hai cấu hình được thương mại hóa thành công nhất đó là loại chia công suất một chế độ (One-mode Hybrid System) và hai chế độ (Two-Mode Hybrid System). Sơ đồ chia công suất một chế độ được ứng dụng trên ô tô Toyota Prius, Camry và các xe hybrid khác do Toyota sản xuất được biết đến với tên gọi THS (Toyota Hybrid System) thường trang bị trên xe con. Cấu hình hybrid hai chế độ đã được General Motor đưa ra giới thiệu lần đầu tiên vào năm 2003, nhưng khi đó công nghệ này mới chỉ sử dụng cho xe bus. Sau đó, công nghệ này được đưa sang giới thiệu tại Châu Âu và lần đầu tiên được sử dụng cho xe cá nhân trên hai mẫu Chevrolet Tahoe và GMC Yukon năm 2008.

Trong các hệ thống hybrid trước đây thường sử dụng hộp số thường hoặc hộp số tự động và chỉ có duy nhất một đường truyền công suất ra các mô-tơ điện mà không có các cơ cấu truyền động cơ khí, vì vậy sẽ làm giảm hiệu suất truyền động khoảng 20% so với các cơ cấu truyền động cơ khí. Đặc điểm nổi bật nhất của hệ thống hybrid hai chế độ chính là sử dụng hộp số vô cấp điều khiển điện tử ECVT (electric continuously variable transmission), trong đó bố trí cả các mô-tơ dẫn động điện xoay chiều và được vận hành theo hai chế độ: chỉ sử dụng động cơ điện hoặc sử dụng kết hợp cả động cơ điện và động cơ đốt trong. Nhờ cách bố trí như vậy nên ngoài chế độ hoạt động vô cấp, ECVT còn tạo ra các tỷ số truyền cố định giúp nâng cao hiệu suất của hệ thống.

Chính vì những lý do trên, việc nghiên cứu để làm chủ công nghệ xe hybrid nhằm định hướng thiết kế, sản xuất xe hybrid ở nước ta là cần thiết và có tính thời sự hiện nay. Để giải quyết một phần vấn đề nêu trên, tác giả lựa chọn đề tài “Nghiên cứu mô phỏng hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ” làm đề tài luận văn cao học của mình.

Mục đích của luận văn

Xây dựng được mô hình mô phỏng hoạt động của hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ làm cơ sở cho việc nghiên cứu thiết kế ô tô hybrid tại Việt Nam.

Đối tượng nghiên cứu:

Đối tượng nghiên cứu của luận văn là hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ

Phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu động học, động lực học của ô tô với nguồn động lực hybrid kiểu hai chế độ ở một số chế độ làm việc đặc trưng.

Phương pháp nghiên cứu.

Nghiên cứu thông qua phương pháp mô phỏng bằng phần mềm Matlab.

Nội dung và bố cục của luận văn

Nội dung nghiên cứu của luận văn gồm các phần chính như sau:

Chương 1: Nghiên cứu tổng quan

Chương 2: Hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ

Chương 3: Mô phỏng hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ

Kết luận.

Những kết quả mới của luận văn:

- Đã nghiên cứu cơ sở lý thuyết, mô phỏng toán học các chế độ làm việc của hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ;

- Xây dựng được mô hình mô phỏng hệ thống động lực hybrid kiểu hai chế độ bằng phần mềm Matlab Simulink;

- Nghiên cứu tính toán một số thông số động học, động lực học của ô tô trang bị hệ thống động lực hybrid kiểu hai chế độ trong điều kiện tăng tốc liên tục và chuyển động theo chu trình ECE 15.

Ý nghĩa khoa học của luận văn:

Ý nghĩa khoa học của đề tài là góp phần làm sáng tỏ chế độ làm việc ô tô hybrid, sự thay đổi của các thông số động lực học ô tô khi được trang bị hệ thống động lực hybrid kiểu hai chế độ

Ý nghĩa thực tiễn của luận văn:

- Các kết quả của luận văn là cơ sở lý thuyết quan trọng và hữu ích có thể sử dụng để hỗ trợ trong giai đoạn đầu của quá trình thiết kế và phát triển xe hybrid ở nước ta;

- Các kết quả của luận văn có thể làm cơ sở cho việc so sánh với kết quả thực nghiệm trên xe thực.

-Phương pháp tiếp cận của luận văn thông qua mô phỏng lý thuyết cho phép nghiên cứu sự thay đổi của các thông số đầu vào đến các thông số đầu ra một cách nhanh chóng mà không cần đến mô hình thực. Đây có thể là một tài liệu tham khảo cho việc thiết kế hệ thống động lực ô tô nói chung và hệ thống động lực ô tô hybrid nói riêng. Đề tài sẽ góp phần giảm chi phí, tiết kiệm thời gian và giảm giá thành sản phẩm do giảm được thời gian nghiên cứu thực nghiệm. Vì vậy, đề tài có ý nghĩa thực tiễn rất lớn.

Thái Nguyên, ngày tháng năm 2023

HỌC VIÊN

Đoàn Thế Nghĩa

Chương 1

TỔNG QUAN VỀ ĐỀ TÀI NGHIÊN CỨU

Nội dung của chương 1 tập trung vào phân tích đặc điểm cấu tạo của các loại ô tô hybrid, so sánh giữa các loại ô tô với nhau. Trong chương này cũng trình bày tổng quan về ô tô hybrid hai chế độ và một số công trình nghiên cứu liên quan trên cơ sở đó xác định nội dung bố cục của luận văn.

1.1. Tổng quan về ô tô hybrid

1.1.1. Sơ lược về lịch sử phát triển ô tô hybrid

Ô tô điện được ra đời lần đầu tiên vào năm 1834. Trong suốt những thập kỷ nửa sau thế kỷ 19, nhiều công ty đã sản xuất ô tô điện ở Hoa Kỳ, Anh, và Pháp. Những xe ô tô đầu tiên mà con người sử dụng là ô tô điện. Tuy nhiên, do những hạn chế về công nghệ ắc quy và đặc biệt là do sự tiến bộ vượt bậc của công nghệ động cơ đốt trong, ô tô điện đã dần bị thay thế và hầu như không còn tồn tại từ sau những năm 1930.

Tới những năm đầu của thập kỷ 70 thế kỷ trước, hai vấn đề lớn của nhân loại là ô nhiễm môi trường do khí thải và an ninh năng lượng do sự hữu hạn của các nguồn năng lượng hóa thạch (than đá, dầu mỏ, và khí đốt) đã dần trở nên bức thiết. Người ta bắt đầu quan tâm trở lại đến ô tô điện như một giải pháp hiệu quả cho các vấn đề này. Thời gian đầu, ô tô điện vẫn chỉ là một đối tượng nghiên cứu; các mẫu xe điện đều là sự chuyển đổi từ xe ô tô thông thường dùng động cơ đốt trong. Ngày nay, các nhà sản xuất ô tô lớn đều đã và đang cho ra đời các sản phẩm ô tô điện được thiết kế và chế tạo với những công nghệ đặc thù cho xe điện, chứ không phải là một sản phẩm hoán cải như trước.

Vào đầu thế kỷ 20 các nhà sản xuất xe của Mỹ đã sử dụng động cơ xăng, điện và hơi nước một cách song song. Họ sớm nhận ra rằng hai hay nhiều động cơ kết hợp lại sẽ làm tăng tính hiệu quả của động cơ. Và kết

quả của giả thuyết đó là động cơ hybrid (động cơ xăng điện) ra đời vào năm 1905 do một kỹ sư người Mỹ phát minh. Thời kỳ đó phát minh này không được mấy người quan tâm bởi vì động cơ đốt trong khi đó còn khá rẻ so với động cơ xăng điện có cùng công suất. Sau 70 năm, khi cuộc khủng hoảng dầu lửa xảy ra, vấn đề tiết kiệm nhiên liệu mới được quan tâm nhiều và đây chính là lý do để động cơ hybrid được nghiên cứu lại. Tuy nhiên, 30 năm trước, do một số quy định nên động cơ hybrid đã bị trì hoãn. Ngày hôm nay những chiếc xe như Toyota Prius hay Honda Accord loại hybrid đã trở nên phổ biến, được nhiều người tiêu dùng yêu thích. Liệu hybrid có phải là xu hướng của xe trong tương lai? Một trong những lý do nữa khiến hybrid ngày càng được quan tâm đó là môi trường sống. Như chúng ta biết động cơ đốt trong sẽ thải ra khí carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂) và khí hydro-carbon (HC) chưa đốt, đây là những nhân tố chính gây ô nhiễm môi trường. Các hiện tượng như sự nóng lên của toàn cầu hay hiện tượng “El Nino” xảy ra một phần là hậu quả của việc sử dụng động cơ dầu diesel và xăng.

Sự phát triển của công nghệ hybrid sẽ giúp hạ giá thành nhiên liệu, theo ước tính lượng xe hybrid được sản xuất sẽ tăng gấp đôi mỗi năm, một dự báo rất lạc quan trong tương lai.

1.1.2. Đặc điểm cấu tạo của ô tô hybrid

Hệ thống động lực của ô tô hybrid phổ biến hiện nay được cấu thành từ một động cơ đốt trong (ĐCĐT) và một hoặc nhiều động cơ điện (MG). Trong các tài liệu chuyên ngành bằng tiếng Anh, các thuật ngữ: "hybrid car", "hybrid vehicle", "hybrid road vehicle" và "hybrid electric vehicle" thường được sử dụng để chỉ loại ô tô hybrid có hệ thống động lực như vậy. Trong luận văn này, sử dụng thuật ngữ "xe hybrid" và "ô tô hybrid" khi đề cập đến các ô tô có hệ thống truyền lực có đặc điểm cấu tạo như trên.

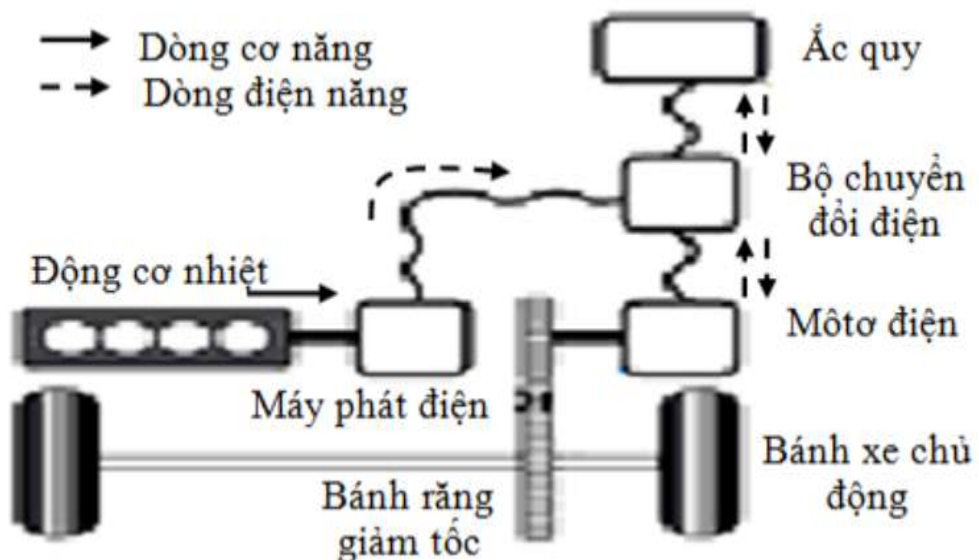
Căn cứ vào cách thức liên kết giữa động cơ đốt trong và động cơ điện, tỷ lệ công suất của động cơ đốt trong và của động cơ điện được sử

dụng để dẫn động bánh xe chủ động, sự phân phối về thời gian làm việc của ĐCDT và của MF trong quá trình vận hành, ô tô hybrid hiện đại được phân thành 3 loại [6,7, 14,15]: ô tô hybrid kiểu nối tiếp, ô tô hybrid kiểu song song và ô tô hybrid kiểu hỗn hợp.

Ô tô hybrid kiểu nối tiếp

Ô tô hybrid kiểu nối tiếp (Series Hybrid Electric Vehicle), sau đây viết tắt là S-HEV.

Các thành tố cơ bản của hệ động lực của S-HEV bao gồm: một ĐCDT, một hoặc một số ĐCD, một MF, bộ AQ, bộ chuyển đổi điện và cặp bánh răng giảm tốc (xem **Hình 1.1**). Về cơ bản, hệ động lực của S-HEV chỉ khác hệ động lực của ô tô điện ở chỗ có thêm một ĐCDT và MF.



Hình 1.1- Sơ đồ hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu nối tiếp

Ở S-HEV, ĐCDT chỉ có chức năng lai MF để cung cấp điện cho ĐCD hoặc nạp điện cho AQ, ĐCD đảm bảo 100% công suất yêu cầu để dẫn động các bánh xe chủ động thông qua một cặp bánh răng giảm tốc. ĐCD chạy bằng điện từ AQ hoặc trực tiếp từ MF. Trong hệ truyền động của S-HEV chỉ cần một cặp bánh răng giảm tốc bố trí giữa ĐCD và vi sai, thay cho hộp số nhiều cấp ở ô tô truyền thống. Trong trường hợp ĐCD được bố trí trực tiếp trong các moayơ của bánh xe chủ động, SHEV thực tế

không có hệ truyền động cơ khí, thay vào đó là hệ truyền động điện gọn nhẹ hơn và tiêu hao ít năng lượng hơn.

ĐCĐT trên S-HEV nói riêng và trên các loại ô tô hybrid khác nói chung, thường được thiết kế để có thể hoạt động như một máy phát điện (sau đây gọi là *mô-tơ-máy phát điện liên hợp*, viết tắt là MG) để có thể tận dụng động năng của ô tô trong quá trình phanh hoặc xuống dốc. Một số mẫu S-HEV cho phép nạp điện AQ bằng điện lưới trong thời gian ô tô không hoạt động nhằm mục đích giảm chi phí vận hành do giá điện lưới thường thấp hơn giá điện được sản xuất bằng ĐCĐT trên xe.

Ưu điểm:

- Động cơ tách rời nên mô men nên tốc độ và mô men của động cơ độc lập với tốc độ và mô men theo yêu cầu, đồng thời có thể luôn được duy trì làm việc ở vùng làm việc tối ưu của nó với sự tiêu thụ nhiên liệu và phát thải nhỏ nhất.

- Sự ngắt nối giữa động cơ và bánh xe còn cho phép động cơ có thể hoạt động ở vùng hiệu suất cao.

- Khả năng gia tốc tốt.

- Cấu tạo đơn giản.

Nhược điểm:

- Năng lượng bị biến đổi qua lại nhiều lần gây tổn thất đáng kể.

- Động cơ điện phải có công suất lớn.

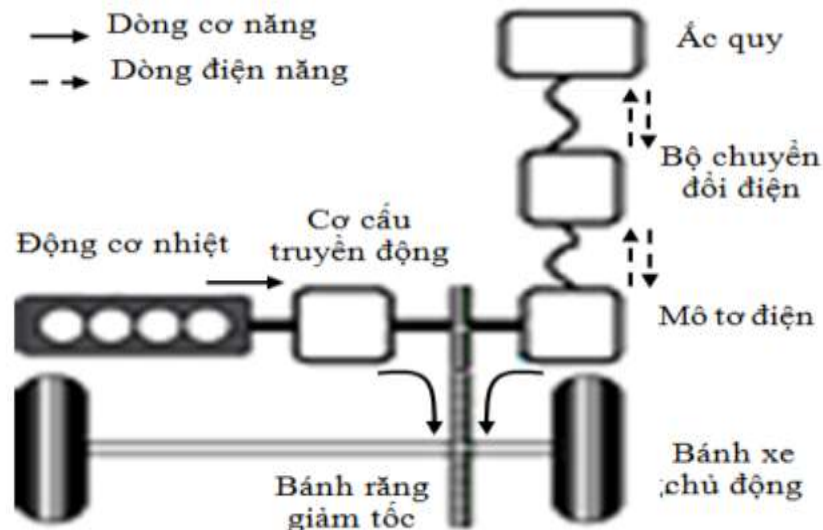
- Kết cấu cồng kềnh.

b) Ô tô hybrid kiểu song song

Ô tô hybrid kiểu song song (P-HEV) có các nguồn động lực tương tự như ở S-HEV, tức là cũng bao gồm một ĐCĐT và một MG. ĐCĐT và MG của P-HEV được liên kết với bánh xe chủ động thông qua các ly hợp sao cho bánh xe chủ động có thể được dẫn động chỉ bằng ĐCĐT hoặc chỉ bằng MG hoặc bằng cả hai đồng thời. ĐCĐT và MG có thể được liên kết với nhau theo các phương án như sau:

- *ĐCĐT và MG liên kết song song trên một trục (xem Hình 1-2):* Ở phương án này, tốc độ quay của ĐCĐT và MG phải được đồng bộ hóa, momen quay truyền đến bánh xe chủ động là tổng momen quay của ĐCĐT và MG. Khi chỉ một nguồn động lực làm việc, nguồn động lực còn lại phải hoạt động ở chế độ không tải hoặc không hoạt động nếu được trang bị các ly hợp một chiều.

- *ĐCĐT và MG liên kết nối tiếp trên một trục:* ĐCĐT và MG phải có cùng tốc độ quay. Nếu MG nằm giữa ĐCĐT và hộp số thì MG có thể có momen quay dương hoặc âm, tùy thuộc vào chế độ vận hành. Honda Insight là mẫu P-HEV điển hình áp dụng phương án này.



Hình 1.2 - Sơ đồ hệ thống động lực của ô tô hybrid kiểu song song

- *ĐCĐT và MG liên kết qua mặt đường:* ĐCĐT truyền momen quay đến bánh xe chủ động qua hệ truyền động cơ khí truyền thống, MG được liên kết với bánh xe chủ động qua một trục khác. AQ được MG nạp điện nhờ tận dụng động năng của xe khi phanh hoặc động năng của xe ở chế độ hành trình. Trong trường hợp này, công suất của ĐCĐT được truyền đến MG thông qua mặt đường. Phương án này có ưu điểm đặc biệt trong trường hợp ô tô nhiều cầu chủ động, trong đó ĐCĐT và MG sẽ liên kết cơ khí với các cầu khác nhau. Xe đạp máy có ĐCĐT tích hợp trong moayơ của bánh xe

trước và pedal quay bánh sau là ví dụ về kiểu hybrid song song có các nguồn động lực liên kết qua mặt đường.

Hầu hết các mẫu P-HEV hiện nay được trang bị ĐCĐT với vai trò là nguồn động lực chính, còn MG chỉ đóng vai trò trợ giúp khi tăng tốc hoặc leo dốc. Với cấu hình như vậy, cả ĐCĐT và MG đều hoạt động với khoảng 50% công suất cực đại khi ô tô chạy với tốc độ trung bình, ĐCĐT phát công suất gần tối đa và MG phát khoảng 50 % công suất hoặc nhỏ hơn ở tốc độ lớn. Trên thị trường hiện nay, P-HEV có thị phần lớn hơn so với S-HEV. Honda Insight, Honda Civic and Honda Accord là những mẫu P-HEV điển hình và chiếm thị phần đáng kể trong thời gian gần đây. General Motors Parallel Hybrid Truck (PHT), Saturn VUE Hybrid, Aura Greenline Hybrid, Chevrolet Malibu Hybrid cũng là những ô tô hybrid được xếp vào nhóm P-HEV.

Ưu điểm:

- Công suất của ô tô sẽ mạnh hơn do sử dụng cả hai nguồn năng lượng.
- Mức hoạt động của động cơ điện ít hơn động cơ đốt trong nên dung lượng ắc quy nhỏ và gọn nhẹ hơn.
- Kết cấu gọn nhẹ.

Nhược điểm:

- Kết cấu phức tạp, giá thành cao.

c) Ô tô hybrid kiểu hỗn hợp

Ô tô hybrid kiểu hỗn hợp (SP-HEV) kết hợp cả hai hệ thống nối tiếp và song song nên tận dụng tối đa các ưu điểm của hai kiểu ô tô Hybrid kể trên. Hệ thống này chiếm ưu thế trong việc chế tạo các xe Hybrid.

Ô tô hybrid kiểu hỗn hợp (SP-HEV), còn được gọi là *ô tô hybrid chia công suất* (power-split hybrid vehicle) hoặc *ô tô hybrid kiểu nối tiếp-song song* (series-parallel hybrid vehicle).

Hệ động lực của Toyota Prius được xem là điển hình của SP-HEV và được trình bày dưới đây để minh họa đặc điểm cấu tạo và nguyên lý hoạt động của hệ động lực SP-HEV. Hệ động lực hybrid của Toyota Prius, thường được viết tắt là THS (Toyota Hybrid System), được cấu thành từ các thành tố cơ bản với chức năng sau đây [19,20, 25]:

- Động cơ xăng 4 kỳ hoạt động theo chu trình Atkinson (ĐCĐT) có chức năng dẫn động các bánh xe chủ động và lai mô-tơ-máy phát điện liên hợp MG1;

- Mô-tơ-máy phát điện liên hợp MG2 có chức năng chính là phối hợp với ĐCĐT dẫn động các bánh xe chủ động và chức năng phụ là phát điện nạp cho AQ trong quá trình phanh. MG2 có tính năng động lực học cao để đảm bảo ô tô rời chỗ nhẹ nhàng và tăng tốc tốt.

- AQ cao áp và AQ phụ: AQ phụ 12 V có chức năng duy trì hoạt động của hệ thống điều khiển. AQ cao áp có chức năng cung cấp điện cho MG2. AQ cao áp thường xuyên được nạp điện từ máy phát MG1 trong quá trình ô tô chạy và từ MG2 trong quá trình phanh.

Bộ chia công suất (Power Split Device) có cấu trúc và hoạt động tương tự như một hộp số bánh răng hành tinh. Giá đỡ các bánh răng hành tinh liên kết với ĐCĐT và được xem như đầu vào của hộp số, bánh răng mặt trời liên kết với MG1, vành răng liên kết với MG2 (Hình 1-3b).

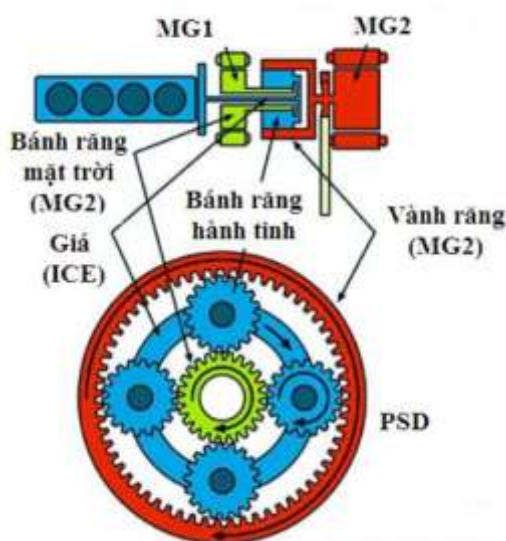
Toyota Prius được chế tạo trong những năm gần đây được trang bị hệ động lực có cấu trúc và nguyên lý hoạt động tương tự như các Toyota Prius thế hệ trước nhưng các thành tố cơ bản như ĐCĐT, MG1, MG2 và AQ cao áp được nâng cấp chất lượng hoặc điều chỉnh một số thông số tính năng.

Chiến lược điều khiển THS được thực hiện bằng bộ điều khiển điện tử trung tâm trong suốt quá trình hoạt động của ô tô. Có thể phân biệt các chế độ hoạt động đặc trưng sau đây:

(1) *Chế độ điện*: Chế độ điện bao gồm các chế độ như ô tô bắt đầu chuyển động, chạy từ từ, xuống dốc trên đoạn đường có độ dốc nhỏ. Ở chế độ điện, ĐCĐT không hoạt động, MG2 chạy bằng điện từ AQ. Toyota Prius được trang bị ắc quy cao áp có dung lượng vừa phải (6,5 Ah) nên chỉ cho phép hoạt động ở chế độ điện trong một thời gian tương đối ngắn;

(2) *Chế độ hành trình* (còn gọi là *chế độ chạy bình thường*) là chế độ ô tô chạy đường dài. Công suất của ĐCĐT được chia cho bánh xe chủ động và máy phát điện MG1 với tỷ lệ sao cho ĐCĐT làm việc ở vùng có hiệu suất tối ưu. MG2 chạy bằng điện từ máy phát. Nếu dung lượng của AQ thấp, một phần công suất của máy phát dùng để nạp điện cho AQ;

(3) *Chế độ trợ lực* (còn gọi là *chế độ gia tốc tối đa*): Trong các điều kiện mà ĐCĐT không đáp ứng được (*tăng tốc để vượt xe phía trước, leo dốc, v.v.*), MG2 sẽ chạy bằng điện từ AQ cao áp để trợ lực cho ĐCĐT;



Hình 1.3 - Sơ đồ cấu tạo hệ động lực và bộ chia công suất của ô tô hybrid kiểu hỗn hợp - Toyota Prius

(4) *Chế độ nạp AQ* (còn gọi là *chế độ giảm tốc và phanh*):

AQ được nạp điện trong quá trình phanh hoặc xuống dốc bằng điện từ MG2 hoặc bằng điện từ MG1 ở chế độ hành trình. Đối với Toyota Prius, bộ điều khiển trung tâm đảm bảo AQ phải luôn được nạp đầy, tức là không yêu cầu nạp điện thủ công;

(5) Chế độ chia công suất ngược:

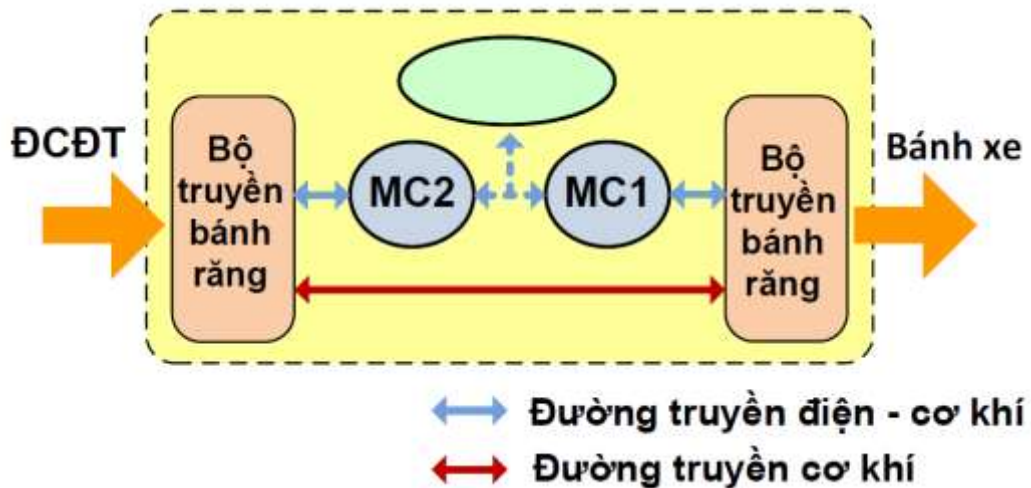
Ô tô chạy ở chế độ hành trình và AQ đầy điện. AQ cung cấp điện cho cả MG2 để dẫn động bánh xe và cho cả MG1. MG1 chạy sẽ làm ĐCĐT quay chậm hơn với mục đích giảm tiêu hao nhiên liệu trong khi momen quay không đổi. Có thể liệt kê một số đặc điểm của THS như sau:

- THS cho phép ô tô hoạt động theo kiểu hybrid song song, tức là các bánh xe chủ động có thể được dẫn động chỉ bằng ĐCĐT hoặc chỉ bằng ĐCĐ hoặc bằng ĐCĐT và ĐCĐ đồng thời;

- Mặc dù ĐCĐT, MG1 và MG2 được liên kết với nhau thông qua một hộp số cơ khí, nhưng PSD hoạt động như một hộp số vô cấp, cho phép ĐCĐT thường xuyên làm việc ở vùng có suất tiêu thụ nhiên liệu tối ưu;

- PSD có nhược điểm là hiệu suất phụ thuộc nhiều vào lượng công suất được chia cho đường điện (MG1) vì năng lượng được biến đổi qua lại nhiều lần (*động năng* → *điện năng* → *động năng*). Ở những chế độ như vậy, hiệu suất chỉ đạt khoảng 70% so với 98% ở chế độ cơ khí thuần túy.

d) Ô tô hybrid kiểu hai chế độ



Hình 1.4 – Hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu nối tiếp-song song

Hệ thống động lực hybrid kiểu nối tiếp-song song hay còn gọi là hệ thống hybrid chia công suất là hệ thống ra đời sớm và thành công nhất trong các hệ thống động lực hybrid. Hệ thống này được sử dụng trên cả ba thế hệ của Toyota Prius, các mẫu xe Toyota Lexus khác cũng như trên xe

Ford Escape. Hệ thống trên các xe này, công suất từ động cơ đốt trong được phân chia qua bộ chia công suất (PSD) nằm ở phía đầu vào và đặc tính truyền công suất được biểu thị bằng mối quan hệ duy nhất cho toàn bộ dải tốc độ. Vì vậy, hệ thống này còn được gọi là hệ thống chia công suất đầu vào (input power split) hoặc hệ thống EVT một chế độ vì động cơ đốt trong, động cơ điện và máy phát điện cùng nhau tạo thành một loại hộp số có thể cung cấp tỉ số truyền biến thiên liên tục (electric continuously variable transmission).

Ưu điểm của hệ thống chia công suất chính là khả năng chuyển đổi linh hoạt giữa sơ đồ nối tiếp và song song, có khả năng tách rời ĐCĐT khỏi bánh xe miễn là đáp ứng được công suất đầu ra, điều đó làm tối ưu hóa mức tiêu thụ nhiên liệu của ĐCĐT. Tuy nhiên, trong hệ thống chia công suất xảy ra hiện tượng tuần hoàn công suất. Hiện tượng này phụ thuộc vào tỉ số truyền tốc độ và đôi khi giá trị công suất tuần hoàn tăng lên rất lớn. Vì vậy, để đáp ứng được yêu cầu chuyển động, các máy điện phải có kích cỡ tăng lên đáng kể. Sự tuần hoàn công suất dẫn đến tổn thất vô ích và làm cho hiệu suất của hệ thống truyền lực giảm đi. Điều này chính là lý do làm cho các ô tô hybrid kiểu chia công suất như Toyota Prius có hiệu suất thấp ở dải tốc độ cao.

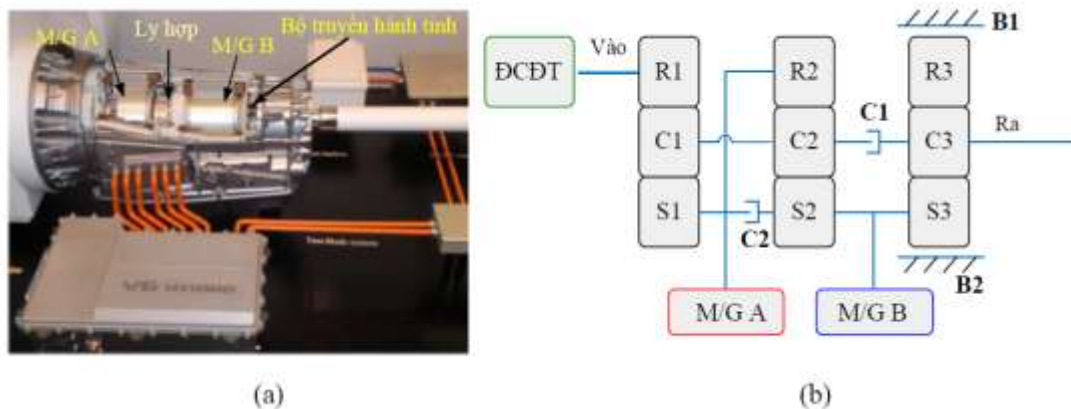
Để khắc phục nhược điểm trên và cải thiện hiệu suất của hệ thống động lực một chế độ người ta sử dụng hệ thống hai hoặc nhiều chế độ. So với hệ thống một chế độ hệ thống nhiều chế độ có nhiều bộ truyền bánh răng hành tinh và các cơ cấu điều khiển như phanh, ly hợp hơn.

Hệ thống động lực hybrid hai chế độ có thể hoạt động ở chế độ chia công suất đầu vào (input power split) và chế độ chia hỗn hợp (compound power split). Chia công suất đầu vào có nghĩa là công suất động cơ đốt trong được truyền đến một bộ phận đầu vào và sau đó được chia thông qua một thiết bị PSD thành hai đường dẫn, đường dẫn cơ khí và đường dẫn điện. Chia công suất hỗn hợp có nghĩa là, ngoại trừ thiết bị PSD chia đầu vào, có một thiết bị PSD khác ở đầu ra, có chức năng kết hợp công suất

phân chia trước đó lại với nhau. Chế độ phân chia đầu vào thường được sử dụng cho tốc độ xe thấp, trong khi chế độ phân chia hỗn hợp hoạt động tốt hơn cho điều kiện tốc độ cao hoặc tải trọng lớn. Ngoài ra, nhờ sự bổ sung các ly hợp và phanh hệ thống này còn có thể tạo ra các tỉ số truyền cố định cho phép vận hành ở chế độ song song cũng như tăng hiệu suất của hệ thống.

Trên hình 1.5 giới thiệu hệ thống động lực hybrid kiểu hai chế độ của hãng GM ra mắt năm 2007. Hệ thống sử dụng 03 dãy hành tinh, 2 ly hợp C1, C2 và hai phanh B1, B2. Sơ đồ này cho phép hoạt động ở chế độ chia công suất đầu vào, chế độ chia hỗn hợp và ngoài ra bổ sung 04 tỉ số truyền cố định. Bảng 1.1. trình bày các chế độ làm việc tương ứng với trạng thái đóng mở của các ly hợp và phanh.

Trên bảng 1.2 và hình 1.6. trình bày đặc tính của nguồn động lực và so sánh mức tiêu hao nhiên liệu của một số ô tô hybrid hai chế độ thông dụng như: BMW active hybrid X 6, Cadillac Escalade hybrid, Chevrolet Silverado hybrid, Chevrolet Tahoe Hybrid, Mercedes ML450 hybrid.



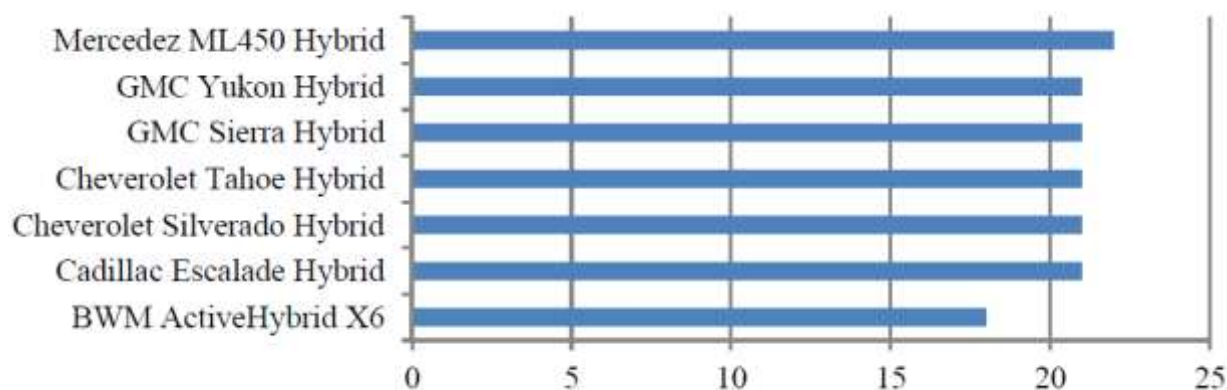
Hình 1.5 Hệ thống hybrid hai chế độ GM Allison (a) và sơ đồ cấu tạo (b)

Bảng 1.1. Các chế độ làm việc của hệ thống hai chế độ GM Allison

	Chế độ	B1	C1	B2	C2
Tỉ số truyền biến thiên	Chia công suất đầu vào	x			
	Chia công suất hỗn hợp		x		
Tỉ số truyền cố định	Số 1	x			x
	Số 2	x	x		
	Số 3		x		x
	Số 4		x	x	

Bảng 1.2 Thông số của động cơ và máy điện trên một số xe hybrid hai chế độ

TT	Đời xe	Dung tích động cơ (l)	Công suất động cơ (kW)	Công suất máy điện (kW)	Mô men máy điện (Nm)	Dung lượng ác quy (kWh)
1	BMW active hybrid X 6	4.4	300	67	280/260	2.4
2	Cadillac Escalade hybrid	6	248	60	320/320	2.4
3	Chevrolet Silverado hybrid	6	248	60	320/320	1.8
4	Chervrolet Tahoe Hybrid	6	248	60	320/320	1.8
5	Mercedes ML450 hybrid	3.5	205	60	260/234	2.4

**Hình 1.6** – Mức tiêu thụ nhiên liệu (dặm/gallon Mỹ)

1.1.3. So sánh ô tô hybrid với ô tô truyền thống

Ô tô hybrid hiện đại có những đặc điểm cơ bản sau đây:

So với ô tô truyền thống, ô tô hybrid có những ưu điểm và nhược điểm sau đây:

(1) Ô tô hybrid tiết kiệm nhiên liệu hơn và phát thải ít hơn:

Ô tô hybrid được phát triển chủ yếu do áp lực của vấn đề tiết kiệm nhiên liệu và giảm mức độ phát thải. Mục tiêu này đạt được nhờ những đặc điểm sau đây:

- ĐCĐT của ô tô hybrid nhỏ hơn nên tổn thất năng lượng ít hơn;
- Ở S-HEV và SP-HEV, tốc độ quay của ĐCĐT có thể độc lập hoàn toàn đối với vận tốc của ô tô nên ĐCĐT được cho làm việc ở những chế độ tối ưu về phương diện tiết kiệm nhiên liệu hoặc phát thải;

- Tái sử dụng động năng của ô tô trong quá trình phanh và xuống dốc;

Cho phép ĐCĐT không hoạt động ở các chế độ đặc biệt như: chờ trước đèn đỏ, chạy không tải, xuống dốc...

(2) Hầu hết các mẫu ô tô hybrid hiện nay có giá bán cao hơn ô tô truyền thống:

Để đảm bảo tính năng kỹ thuật cần thiết, kích thước nhỏ gọn và tuổi thọ hợp lý, các thiết bị điện (ĐCĐT, MF, AQ, v.v.) trang bị cho ô tô hybrid thường là loại cao cấp với giá thành cao hơn. Một số vấn đề khác liên quan đến ô tô hybrid cũng đã được đề cập đến như sau:

(1) Vật liệu chế tạo:

Công nghiệp chế tạo các loại thiết bị điện cao cấp trang bị cho ô tô hybrid tiêu thụ một lượng lớn vật liệu đặc biệt được chế biến từ đất hiếm. Cho đến nay, trên 90 % lượng đất hiếm được sử dụng trên toàn thế giới do Trung Quốc cung cấp;

(2) Vấn đề tuổi thọ của hệ động lực:

Hầu hết ô tô hybrid hiện nay đều được thiết kế để ĐCĐT không hoạt động ở một số chế độ đặc biệt như: chờ trước đèn đỏ, phanh, xuống dốc

hoặc chạy ở tốc độ thấp. Như vậy, trong quá trình vận hành, ĐCĐT ở ô tô hybrid sẽ được tắt và khởi động lại nhiều lần hơn so với ô tô truyền thống. Đặc điểm này có thể làm giảm tuổi thọ của ĐCĐT do chất lượng bôi trơn thường rất thấp và chế độ nhiệt thường không tối ưu ở giai đoạn ngay sau khởi động;

(3) Vấn đề ô nhiễm môi trường do AQ:

Hầu hết ô tô hybrid hiện nay được trang bị AQ loại Nickel - Metal Hydride hoặc Lithium Ion. Cả hai loại này được đánh giá là thân thiện với môi trường hơn so với AQ loại axit - chì và Nickel - Cadmium. Mặc dù vậy, vẫn tồn tại những hoài nghi về tác hại của nguồn rác thải AQ đối với môi trường và sức khỏe con người;

(4) Vấn đề an toàn giao thông:

Trong báo cáo năm 2009 của National Highway Traffic Safety Administration (USA) có nhận định rằng: trong một số hoàn cảnh, ô tô hybrid có xu hướng gây tai nạn giao thông cho người đi bộ và đi xe đạp nhiều hơn so với ô tô truyền thống. Ô tô hybrid va chạm với người đi bộ và đi xe đạp nhiều hơn khi rẽ ở các góc phố. Báo cáo cũng chỉ ra rằng không có sự khác nhau về tai nạn giao thông khi ô tô chạy trên các đường lớn.

1.1.4. So sánh các loại ô tô hybrid

(1) Hiệu suất của ĐCĐT :

- Do chỉ có chức năng lai máy phát điện nên ĐCĐT trên S-HEV làm việc ở tốc độ quay không đổi với suất tiêu thụ nhiên liệu thấp nhất, không phụ thuộc vào vận tốc của ô tô. Hiệu suất của động cơ xăng trên S-HEV có thể đạt đến trị số gần giới hạn lý thuyết (khoảng 37 %), trong khi hiệu suất trung bình của động cơ xăng trên ô tô truyền thống và trên P-HEV chỉ đạt dưới 30% [15];

- Khi hoạt động trên đường cao tốc, P-HEV có mức tiêu thụ nhiên liệu thấp hơn S-HEV do không cần biến đổi cơ năng của ĐCĐT thành điện năng để cung cấp cho ĐCĐ;

- ĐCĐT trên SP-HEV có hiệu suất trung bình thấp hơn so với ĐCĐT trên SHEV nhưng cao hơn so với ĐCĐT trên P-HEV;

(2) *Công suất của ĐCĐ và dung lượng của AQ*: ĐCĐ của S-HEV phải có công suất lớn, đảm bảo ô tô đạt được các thông số tính năng động lực học tối đa theo thiết kế (*tốc độ cực đại, gia tốc cực đại, khả năng leo dốc, v.v.*), trong khi phần lớn các chế độ vận hành yêu cầu công suất thấp hơn. Với P-HEV và S-HEV có tính năng động lực học tương đương, P-HEV được trang bị bộ AQ và ĐCĐ nhỏ hơn do có ĐCĐT cùng làm việc khi yêu cầu công suất lớn;

(3) *Hệ thống truyền động*: S-HEV có hệ thống truyền động đơn giản nhất so với các kiểu ô tô hybrid khác. Do chỉ có ĐCĐ có liên hệ cơ khí với bánh xe chủ động nên không cần trang bị hộp số nhiều cấp cho S-HEV, thay vào đó chỉ cần một cặp bánh răng giảm tốc bố trí giữa ĐCĐ và vi sai. Do chỉ có truyền động điện giữa ĐCĐ với tổ hợp ĐCĐT-máy phát điện nên có nhiều lựa chọn về vị trí bố trí tổ hợp này.

1.2. Tổng quan về các nghiên cứu liên quan đến hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ

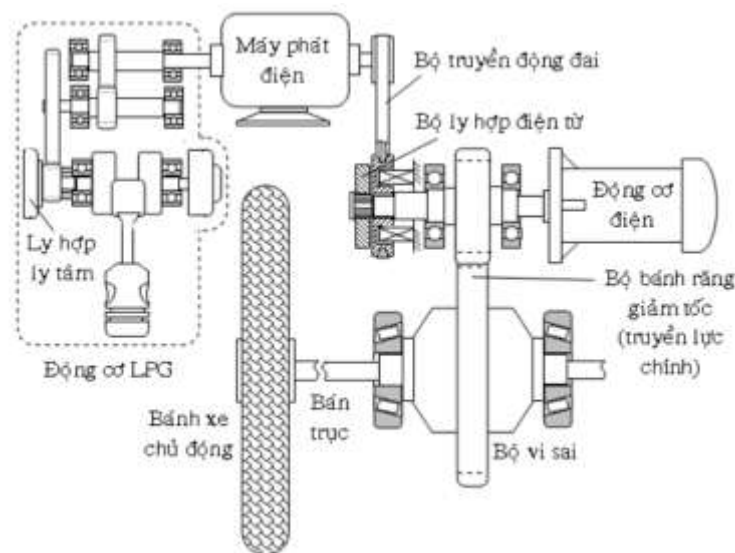
1.2.1. Các nghiên cứu trong nước

Ở nước ta đã có một số công trình nghiên cứu liên quan đến hệ thống động lực ô tô hybrid. Tuy nhiên, các nghiên cứu chuyên sâu riêng về ô tô hybrid kiểu hai chế độ còn khá hạn chế. Có thể kể ra một số công trình liên quan như dưới đây.

Trong luận văn thạc sĩ "*Nghiên cứu thiết kế, chế tạo, thử nghiệm bộ phân phối công suất trang bị trên mô hình xe hybrid kiểu hỗn hợp*" của học viên Nguyễn Trí Thành [6] được phát triển trên cơ sở kế thừa sản phẩm của đề tài khoa học TR2002-13-05 nói trên. Học viên đã thiết kế và chế tạo bộ chia công suất (PSD) mô phỏng theo cấu trúc PSD của Toyota Prius, tính chọn công suất của máy phát điện MF và lắp ráp trên mô hình ô tô 2 chỗ ngồi. Động cơ xăng và máy phát điện được liên kết với nhau thông qua ly

hợp điện từ có chức năng giúp mô phỏng cơ chế hoạt động của hệ động lực hybrid kiểu hỗn hợp. Do mục tiêu của đề tài là phục vụ dạy-học nên các bộ phận được chế tạo với kích thước lớn và được "khai triển" cho dễ quan sát nên bộ PSD này không thể sử dụng được cho xe thật chạy trên đường.

Hình 1.7 thể hiện sơ đồ hệ thống động lực hybrid do GS.TSKH Bùi Văn Ga và Nguyễn Quân của Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng thiết kế [5]. Ô tô thiết kế có hai chỗ ngồi, khối lượng toàn bộ xe 500kg, vận tốc cực đại 70km/h. Cơ cấu truyền động cơ khí của ô tô được chia ra làm hai nhóm chính: phát điện và bộ truyền động liên kết với cầu chủ động.



Hình 1.7 - Sơ đồ hệ thống động lực của ô tô hybrid 2 chỗ[3]

Các bộ phận cơ bản của ô tô hybrid giới thiệu ở trên đều có sẵn trên thị trường nên việc chế tạo có tính khả thi cao, đặc biệt động cơ xăng được cải hoán để chạy bằng khí dầu mỏ hóa lỏng, là những điểm đặc trưng của sản phẩm. Tuy nhiên, tương tự như những nghiên cứu đã giới thiệu ở trên, bài toán tối ưu hóa độ lớn của các nguồn năng lượng và tham số điều khiển hệ động lực hybrid hầu như chưa được đề cập đến hoặc nếu có thì có thể đã được giải bằng phương pháp "thử và sai" hoặc bằng kinh nghiệm của người nghiên cứu.

Năm 2016, tác giả Trần Tuấn Anh trong đề tài luận văn thạc sĩ của mình [6]. Nghiên cứu phối hợp nguồn động lực cho xe hybrid bằng phần

mềm AVL - Cruise đã xây dựng thành công mô hình xe hybrid kiểu song song trên phần mềm AVL-Cruise và thực hiện chạy mô phỏng để đánh giá tính năng bằng phần mềm AVL-Cruise, kết quả mô phỏng cho thấy so với xe thường cùng cấu hình mức tiêu thụ nhiên liệu giảm tới 30%, giảm lượng phát thải gây ô nhiễm môi trường, phát thải NOx giảm 60%, CO giảm 25% và HC giảm đến 25%.

Trong tài liệu [24], tác giả Nguyễn Khắc Tuân đã trình bày mô hình mô phỏng ô tô hybrid kiểu hỗn hợp. Một số kết quả mô phỏng sự kết hợp công suất, trạng thái làm việc của các động cơ, máy điện, thực hiện phanh tái sinh đối với ô tô Toyota Prius trong một số chu trình thử được trình bày.

1.2.2. Các nghiên cứu ngoài nước

Ở ngoài nước, đã có nhiều các công bố liên quan đến hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ. Trong tài liệu [7], tác giả đã trình bày nghiên cứu tổng quan về ô tô hybrid, xây dựng mô hình toán học các hệ thống động lực ô tô hybrid và xây dựng mô hình mô phỏng bằng phần mềm Advisor đồng thời tiến hành nghiên cứu thực nghiệm trên xe thực.

Trong công bố [9], Jeffrey D. Wishart cũng đã trình bày nghiên cứu tổng quan về xe hybrid và thực hiện mô phỏng với đối tượng là ô tô hybrid kiểu hai chế độ, kết quả công bố cho thấy ô tô với nguồn động lực hybrid kiểu hai chế độ có ưu điểm vượt trội khi làm việc với chu trình thay đổi liên tục và tải trọng lớn, đây sẽ là công nghệ được ứng dụng rộng rãi.

Tài liệu [17] các tác giả Thomas J. Böhme, Benjamin Frank đã đưa ra các kết quả nghiên cứu liên quan đến điều khiển tối ưu hệ thống động lực ô tô hybrid.

Tương tự tài liệu [14], Antoni Szumanowski đã trình bày tổng quan về công nghệ hybrid trên ô tô hiện đại, phương pháp mô hình hóa và mô phỏng ô tô hybrid.

Trong tài liệu [11] các tác giả đã công bố nghiên cứu liên quan đến công nghệ hiện đại trang bị trên hệ thống động lực ô tô hybrid và ô tô điện.

Phân tích, đánh giá, so sánh các cấu hình ô tô hybrid thông dụng trên thị trường hiện nay.

Còn các công trình [18,19,20,25] trình bày những nội dung liên quan đến cấu trúc cơ bản, nâng cao của hệ thống động lực trên ô tô hybrid và ô tô điện cũng như nguồn năng lượng trang bị trên xe.

1.3. Kết luận chương 1

Trong chương 1 tác giả đã nghiên cứu đặc điểm cấu tạo của các loại ô tô hybrid, so sánh giữa các loại ô tô hybrid với nhau, so sánh ô tô hybrid và ô tô truyền thống về phương diện cấu trúc, tính kinh tế nhiên liệu, mức độ phát thải gây ô nhiễm môi trường... Qua nghiên cứu cho thấy, hệ thống động lực hybrid chia công suất hoặc còn biết đến với tên gọi khác là hệ thống một chế độ được sử dụng phổ biến ở các xe ô tô hybrid hiện nay. Tuy nhiên, nhược điểm lớn của hệ thống một chế độ là có hiệu suất thấp ở dải tốc độ cao. Hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ là một cấu hình nâng cao của hệ thống hybrid chia công suất được sử dụng phổ biến trên các xe hybrid cỡ lớn và một số xe bus đã khắc phục được nhược điểm của hệ thống một chế độ nhờ bổ sung thêm chế độ chia công suất hỗn hợp ở dải làm việc tốc độ cao. Chính vì vậy, hệ thống động lực hybrid kiểu hai chế độ được chọn là đối tượng nghiên cứu của đề tài. Luận văn được bố cục thành 03 chương. Chương 1, nghiên cứu tổng quan về hệ thống động lực ô tô hybrid và các công bố liên quan. Chương 2, nghiên cứu cơ sở lý thuyết, cấu tạo và hoạt động của một số hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ. Chương 3, tiến hành xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống động lực ô tô hybrid hai chế độ trên cơ sở lý thuyết trình bày ở chương 2, đồng thời mô phỏng tính toán một số thông số động học động lực học của ô tô hybrid hai chế độ ở một số điều kiện làm việc đặc trưng. Cuối cùng, luận văn trình bày các kết luận chính và đề xuất hướng nghiên cứu, phát triển của đề tài.

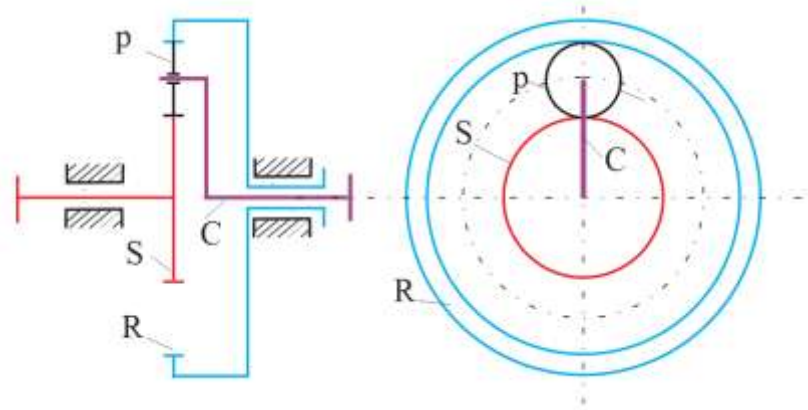
Chương 2 . HỆ THỐNG ĐỘNG LỰC Ô TÔ HYBRID HAI CHẾ ĐỘ

Từ phân tích trong chương 1 cho thấy ứng dụng hệ thống động lực hybrid trên ô tô là một giải pháp tốt nhằm giảm tiêu hao nhiên liệu và ô nhiễm môi trường. Trong những năm gần đây, dòng xe hybrid hai chế độ đã trở thành một xu hướng trên thị trường. Hầu hết các loại xe hybrid này sử dụng bộ truyền bánh răng hành tinh làm bộ chia công suất. Trong chương này, cấu tạo và nguyên lý làm việc của bộ truyền hành tinh và một số hệ thống động lực hybrid hai chế độ điển hình được phân tích chi tiết làm cơ sở lý thuyết cho việc xây dựng mô hình mô phỏng ở chương 3.

2.1. Truyền động bánh răng hành tinh

Phân tích các tài liệu liên quan đến hệ thống truyền lực trên ô tô hybrid cho thấy, nhiều xe hybrid hiện nay thay thế hộp số tự động truyền thống bằng một hệ thống truyền động bánh răng hành tinh có thể cung cấp các chức năng của hộp số biến thiên liên tục. Động cơ đốt trong, động cơ điện và máy phát điện cùng nhau tạo thành một loại hộp số có thể cung cấp tỉ số truyền biến thiên liên tục, được gọi là hộp số vô cấp điều khiển điện tử e-CVT (electric continuously variable transmission).

Một bộ truyền bánh răng hành tinh được cấu tạo từ các bánh răng hành tinh, bánh răng mặt trời và bánh răng ngoại luân. Các bánh răng P trục quay di động trong quá trình làm việc được gọi là bánh răng hành tinh. Khâu trên đó đặt bánh hành tinh được gọi là cần và được ký hiệu là C. Khi làm việc cần quay quanh một trục cố định được gọi là trục chính. Các bánh răng ăn khớp với bánh hành tinh và có trục trùng với trục chính được gọi là các bánh trung tâm hoặc bánh răng mặt trời S (bánh S). Bánh răng R có răng trong còn được gọi là bánh ngoại luân. Như vậy có thể thấy bộ truyền hành tinh có 3 trục: trục của bánh răng mặt trời, trục của bánh răng bao và trục của cần dẫn. Trong ba trục này, có thể sử dụng bất kỳ một trục làm trục vào hoặc trục ra .



Hình 2.1 – Sơ đồ bộ truyền bánh răng hành tinh

C. Trục dẫn hoặc giá hành tinh; S. Bánh răng mặt trời

P. Bánh răng hành tinh; R. Bánh răng ngoại luân (bánh răng bao)

Để hiểu rõ quan hệ tốc độ/mô men xoắn bên trong bộ truyền bánh răng hành tinh, trước tiên chúng ta sẽ xem xét quan hệ này đối với một bộ truyền bánh răng đơn giản. Vận tốc V tại một điểm nằm trên vòng tròn chia đối với trục của bánh răng được xác định như sau:

$$V = \omega \cdot r \quad (2.1)$$

Trong đó: ω là tốc độ góc của bánh răng, r là bán kính vòng chia.

Ở bộ truyền bánh răng đơn giản, hai bánh răng tiếp xúc với nhau thì tại điểm tiếp xúc cả hai bánh răng này sẽ có cùng tốc độ. Vì vậy, quan hệ vận tốc góc của hai bánh răng sẽ như sau:

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad (2.2)$$

Quan hệ giữa bán kính các bánh răng và số răng của bánh răng đó cũng có thể viết như sau:

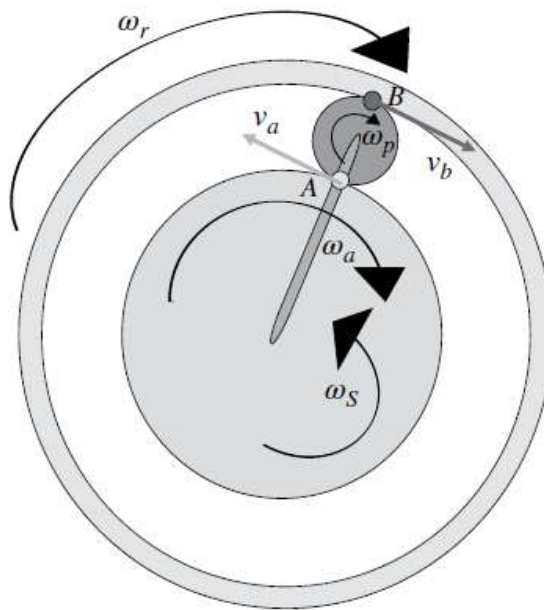
$$2\pi r_i = p \cdot N_i \quad (2.3)$$

Trong đó: N_i - số răng của bánh răng i ; r_i - bán kính vòng chia; p : bước răng

Nếu bánh răng i và bánh răng j tiếp xúc với nhau thì chúng phải có cùng bước răng p . Vì vậy, chúng ta có:

$$\frac{r_i}{r_j} = \frac{N_i}{N_j} \quad (2.4)$$

Xét bộ truyền bánh răng hành tinh trên **hình 2.2** có hai điểm tiếp xúc: điểm A giữa bánh răng mặt trời và bánh răng hành tinh, điểm B giữa bánh răng hành tinh và bánh răng bao.



Hình 2.2 Vận tốc của các khâu trong bộ truyền hành tinh

Từ sơ đồ trình bày trên hình 2.2, vận tốc của các điểm tiếp xúc A và B có thể xác định như sau:

Đối với điểm A:

$$\begin{aligned} v_a &= \omega_s r_s \\ v_a &= \omega_p r_p - \omega_c r_a \end{aligned} \quad (2.5)$$

Đối với điểm B:

$$\begin{aligned} v_b &= \omega_r r_r \\ v_b &= \omega_p r_p + \omega_c r_a \end{aligned} \quad (2.6)$$

Như vậy ta sẽ có hai phương trình sau:

$$\omega_s r_s = \omega_p r_p - \omega_c r_a \quad (2.7)$$

$$\omega_r r_r = \omega_p r_p + \omega_c r_a \quad (2.8)$$

Từ hai phương trình trên ta có:

$$\omega_r r_r = \omega_s r_s + 2\omega_c r_a \quad (2.9)$$

Ta lại có

$$r_a = r_r - r_p \text{ và } 2r_p + r_s = r_r \text{ nên}$$

$$r_a = \frac{r_r + r_s}{2}$$

Vì vậy

$$\omega_r r_r = \omega_s r_s + \omega_c (r_s + r_r) \quad (2.10)$$

Để sử dụng biểu thức trên thuận lợi hơn, ta quy ước hướng quay theo chiều kim đồng hồ sẽ được coi là hướng dương và hướng ngược chiều kim đồng hồ là âm. Như có thể thấy trong hình 2.2, không phải tất cả các vận tốc góc đều có cùng hướng. Vì vậy, chúng ta có thể viết lại phương trình trên bằng cách kể đến hướng tham chiếu:

$$\omega_r r_r = -\omega_s r_s + \omega_c (r_s + r_r)$$

Vì

$$2\pi r_i = p \cdot N_i$$

Nên ta có

$$\omega_r N_r + \omega_s N_s = \omega_c (N_s + N_r) \quad (2.11)$$

Hay

$$\frac{N_r}{N_s + N_r} \omega_r + \frac{N_s}{N_s + N_r} \omega_s = \omega_c \quad (2.12)$$

Đối với bộ truyền bánh răng hành tinh, người ta thường đưa ra thông số đặc trưng ký hiệu là k của bộ truyền. Thông số được tính như sau:

$$k = \frac{N_r}{N_s} \quad (2.13)$$

Do vậy ta có

$$\frac{k \cdot \omega_r + \omega_s}{1 + k} = \omega_c \quad (2.14)$$

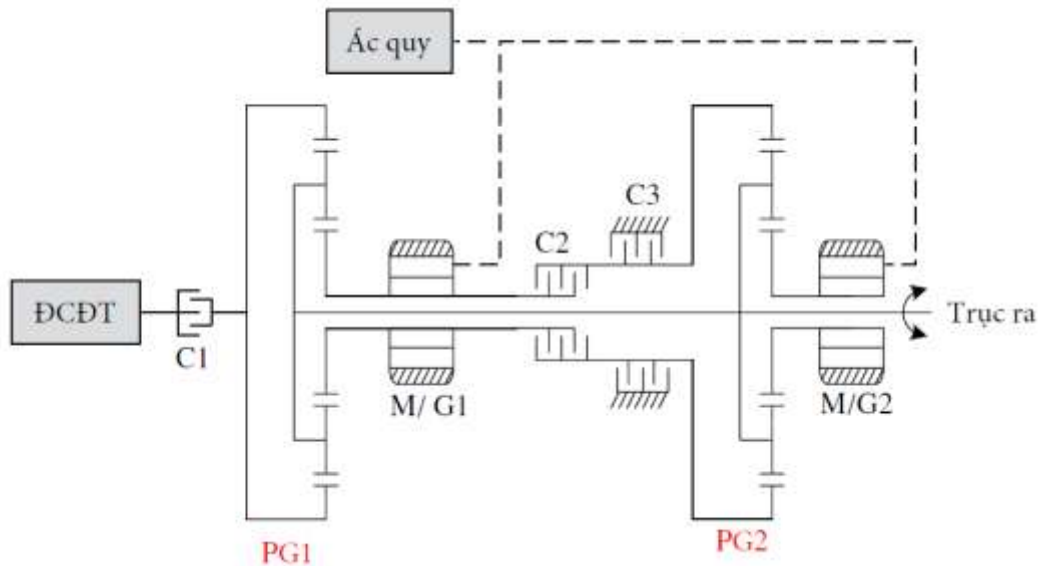
Các công thức xây dựng trên là cơ sở để xác định quan hệ mô men và tốc độ giữa các khâu trong hệ thống động lực của ô tô hybrid kiểu hai chế độ.

2.2 Cấu tạo và hoạt động của một số hệ thống động lực hybrid hai chế độ

2.3.1. Hệ thống động lực hybrid hai chế độ của hãng GM với 2 dãy bánh răng hành tinh

Trong kết cấu hệ thống động lực hybrid kiểu hai chế độ của hãng GM với 2 dãy hành tinh, động cơ đốt trong được nối với bánh răng bao của dãy hành tinh PG1 thông qua ly hợp C1. Tổ hợp máy điện MG1 được nối với bánh răng mặt trời của dãy hành tinh P1. Cần dẫn của dãy hành tinh PG1 được nối với truyền lực chính thông qua trục ra. Trong khi đó, máy điện MG2 được nối với bánh răng mặt trời của dãy hành tinh PG2. Cần dẫn của dãy hành tinh PG2 cũng được nối với trục ra. Có một vị trí kép của ly hợp hoặc nối với bánh răng bao của dãy hành tinh PG2 với vỏ hoặc bánh răng bao của dãy PG2 tới trục của MG1. Thông qua việc điều khiển các ly hợp C2 và C3 có thể hình thành nhiều chế độ làm việc. Động cơ đốt trong trong

hệ thống này có thể duy trì ở vận tốc tối ưu và duy trì sự kết hợp với mô men bằng cách điều khiển tỉ số giữa tốc độ vào và tốc độ ra của hai máy điện nhằm đảm bảo mức tiêu hao nhiên liệu ít nhất. Động cơ đốt trong có thể ngừng hoặc làm việc ở chế độ không tải khi xe lùi, khởi hành hoặc ở chế độ yêu cầu công suất thấp.



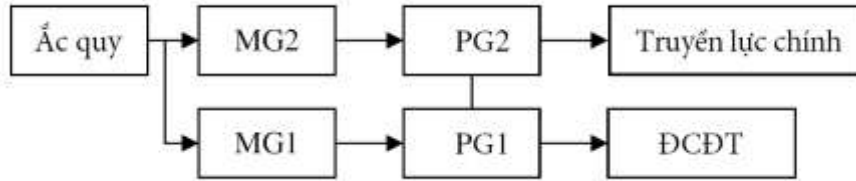
Hình 2.3 - Sơ đồ hai chế độ 2 dây hành tinh GM

Trong các tính toán và mô tả dưới đây ta sẽ sử dụng các ký hiệu sau, ω ký hiệu tốc độ góc; T – mô men xoắn; N – số răng của bánh răng và P – công suất. Các chỉ số: s – bánh răng mặt trời; r – bánh răng bao; c – cần dẫn; 1- bộ truyền bánh răng hành tinh 1; 2- bộ truyền bánh răng hành tinh 2; M/G1 hay g – tổ hợp động cơ /máy phát 1; M/G2 (hoặc m) – tổ hợp động cơ/máy phát 2; *out* – trục ra hay truyền lực chính.

a. Chế độ 0: khởi hành hoặc lùi xe

Trong chế độ khởi hành hoặc lùi xe, hệ thống được làm việc ở chế độ chỉ động cơ điện, ly hợp C2 mở, ly hợp C3 đóng. Trong chế độ này có hai khả năng vận hành của động cơ đốt trong, hoặc là động cơ ngừng làm việc hoặc làm việc ở tốc độ không tải (khoảng 800 v/p) bằng cách điều chỉnh tốc độ của máy điện MG1. Mô men xoắn của MG1 không được truyền tới

truyền lực chính. Trong khi đó MG2 cung cấp mô men xoắn cần thiết để khởi hành hoặc lùi xe. Hình 2.4 trình bày dòng công suất khi xe khởi hành hoặc lùi.



Hình 2.4 – Dòng công suất khi khởi hành hoặc lùi xe

Quan hệ tốc độ mô men và mô men trong trường hợp này như sau:

$$\omega_{out} = \frac{N_{s2}}{N_{s2} + N_{r2}} \omega_m \quad (2.15)$$

$$T_{out} = \frac{N_{s2}}{N_{s2} + N_{r2}} T_m \quad (2.16)$$

Ở một số kết cấu, ly hợp C1 bị loại bỏ. Vì vậy, động cơ đốt trong luôn được nối với bánh răng bao của dây hành tinh PG1, bởi vì cần dẫn của dây hành tinh PG1 luôn được nối với truyền lực chính, MG1 cần được điều khiển để tốc độ động cơ bằng không hoặc giữ ở tốc độ xác định

$$\omega_g = \frac{N_{s1} + N_{r1}}{N_{s1}} \omega_{c1} - \frac{N_{r1}}{N_{s1}} \omega_e \quad (2.17)$$

b) Chế độ 1 - dải tốc độ thấp

Chế độ 1 còn được gọi là chế độ ở dải tốc độ thấp hoặc chế độ tốc độ thấp. Trong chế độ này, các ly hợp C1 và C3 đóng, ly hợp C2 mở. Dây hành tinh số 2 làm việc giống như bộ giảm tốc của tổ hợp MG2. Hình 2.5 minh họa kết nối cơ khí của bộ phận truyền lực. Động cơ đốt trong có thể điều khiển ăng ngắt một vài xilanh để tiết kiệm nhiên liệu và giảm ô nhiễm

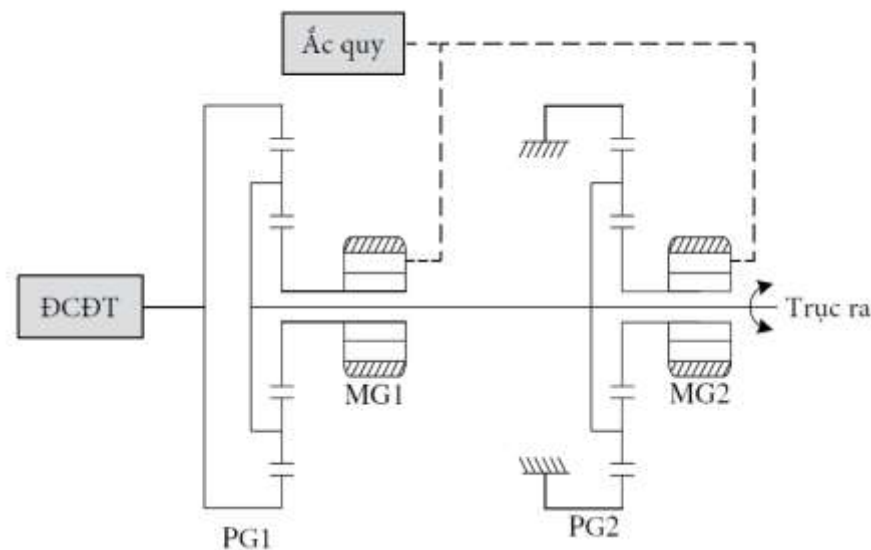
môi trường dựa trên yêu cầu về công suất cần cung cấp cho xe. Trong trường hợp này, quan hệ tốc độ và mô men của các khâu ở trạng thái làm việc ổn định có thể biểu diễn như sau:

$$T_g = \frac{N_{s1}}{N_{r1}} T_e \quad (2.18)$$

$$\omega_{c1} = \frac{N_{r1}}{N_{s1} + N_{r1}} \omega_e + \frac{N_{r1}}{N_{s1} + N_{r1}} \omega_g \quad (2.19)$$

$$\omega_{out} = \omega_{c2} = \omega_{c1} = \frac{N_{s2}}{N_{s2} + N_{r2}} \omega_m \quad (2.20)$$

$$T_{out} = \frac{N_{r1} + N_{s1}}{N_{r1}} T_e + \frac{N_{s2} + N_{r2}}{N_{s2}} T_m \quad (2.21)$$



Hình 2.5 – Chế độ tốc độ thấp

Các chế độ làm việc khác nhau trong chế độ 1 có thể mô tả như sau:

i) Chế độ chỉ có động cơ đốt trong làm việc (CVT 1): MG2 tắt và MG1 có thể hoặc làm việc ở chế độ động cơ điện hoặc làm việc ở chế độ máy phát điện, Khi MG1 làm việc, dây hành tinh PG1 làm việc như một bộ kết hợp công suất kiểu tốc độ để kết nối tốc độ của động cơ đốt trong và MG1. Nếu MG1 làm việc ở chế độ máy phát, công suất động cơ đốt trong được chia giữa truyền lực chính và MG1 với công suất sinh ra bởi MG1

nạp cho ác quy. Vì ác quy có thể nạp đầy điện nhanh chóng nên chế độ này nói chung sẽ diễn ra ngắn;

ii) Chế độ kết hợp (CVT2): MG làm việc để hỗ trợ công suất cho chuyển động của xe. Bộ truyền hành tinh PG2 hoạt động như một bộ kết nối kiểu mô men để bổ sung mô men của động cơ đốt trong và MG2. Khi cần thiết cả MG1 và MG2 có thể làm việc ở chế độ động cơ để cung cấp mô men lớn nhất cho chuyển động của xe.

iii) Chế độ chia công suất (CVT3): MG2 làm việc ở chế độ máy phát để sạc cho ác quy còn MG1 có thể làm việc ở chế độ động cơ hoặc máy phát.

c) Chế độ 2: dải tốc độ cao

Chế độ 2 còn được gọi là chế độ ở dải tốc độ cao hoặc chế độ tốc độ cao. Ở chế độ này các lý hợp C1 và C2 đóng, C3 mở. Bánh răng mặt trời của dãy hành tinh PG1 nối với bánh răng bao của dãy hành tinh PG2 thông qua MG1, nghĩa là, MG1, S1 và R2 sẽ có cùng tốc độ. Ở chế độ làm việc này, ĐCĐT nói chung giữ ở tốc độ làm việc ổn định để đảm bảo tiết kiệm nhiên liệu nhất. MG1 và MG2 được điều khiển làm việc có thể ở chế độ động cơ hoặc chế độ máy phát tùy thuộc vào vận tốc chuyển động của xe và công suất yêu cầu. Trong trường hợp này, quan hệ tốc độ và mô men ở các khâu ở trạng thái làm việc ổn định như sau:

$$T_g = \frac{N_{s1}}{N_{r1}} T_e + \frac{N_{r2}}{N_{s2} T_m} \quad (2.22)$$

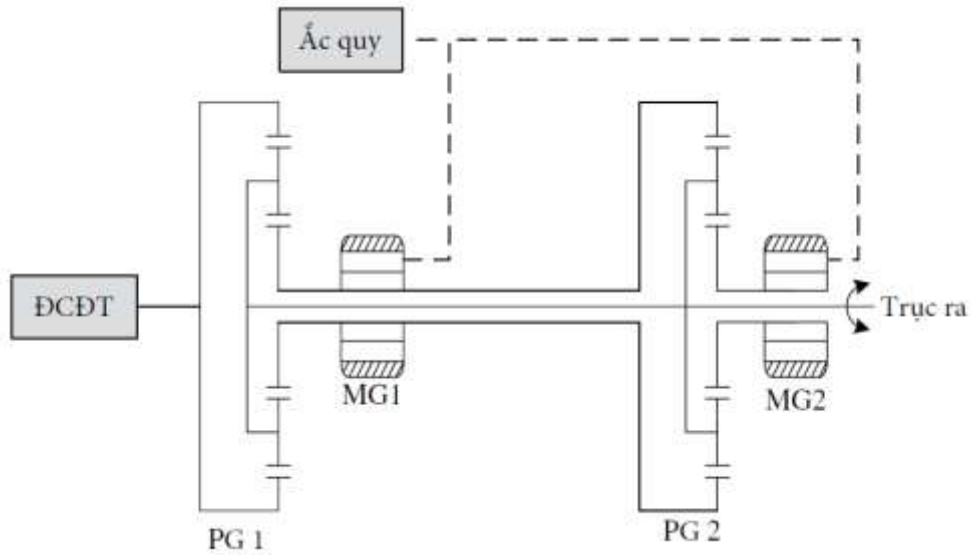
$$\omega_{c1} = \frac{N_{r1}}{N_{s1} + N_{r1}} \omega_e + \frac{N_{s1}}{N_{s1} + N_{r1}} \omega_g \quad (2.23)$$

$$\omega_{c2} = \frac{N_{r2}}{N_{s2} + N_{r2}} \omega_g + \frac{N_{s2}}{N_{s2} + N_{r2}} \omega_m \quad (2.24)$$

$$\omega_{c1} = \omega_{c2} \quad (2.25)$$

$$\omega_{r2} = \omega_{s1} = \omega_g \quad (2.26)$$

$$T_{fd} = \frac{N_{r1} + N_{s1}}{N_{r1}} T_e + \frac{N_{s2} + N_{r2}}{N_{s2}} T_m \quad (2.27)$$



Hình 2.6 – Sơ đồ làm việc ở chế độ tốc độ cao

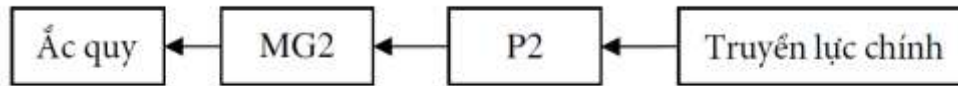
Tương tự như chế độ 1, tùy thuộc vào công suất yêu cầu ĐCĐT có thể được điều khiển bằng cách ngắt một vài xilanh để giảm tiêu hao nhiên liệu và ô nhiễm môi trường.

d) Chế độ 3: chế độ phanh tái sinh

Trong chế độ phanh tái sinh, ly hợp C1 và C2 nhả, còn ly hợp C3 đóng để khóa bánh răng bao của dây hành tinh PG2 với vỏ. ĐCĐT và MG1 ngắt, MG2 cung cấp mô men phanh cần thiết cho xe và đồng thời lưu trữ năng lượng do phanh tái sinh vào ắc quy. Trên hình minh họa dòng công suất khi phanh tái sinh. Trường hợp này, quan hệ của tốc độ và mô men giữa các khâu như sau:

$$\omega_m = \frac{N_{s2} + N_{r2}}{N_{s2}} \omega_{out} \quad (2.28)$$

$$T_m = \frac{N_{s2}}{N_{s2} + N_{r2}} T_{out} \quad (2.29)$$



Hình 2.7 - Dòng công suất phanh tái sinh

Hệ thống phanh ma sát trên xe có thể được điều khiển phối hợp với phanh tái sinh để tạo ra mô men phanh lớn nhất, giữ cho xe ổn định và tránh được hiện tượng bánh xe bị bó cứng. Trong trường hợp này MG2 chỉ cung cấp một phần mô men phanh.

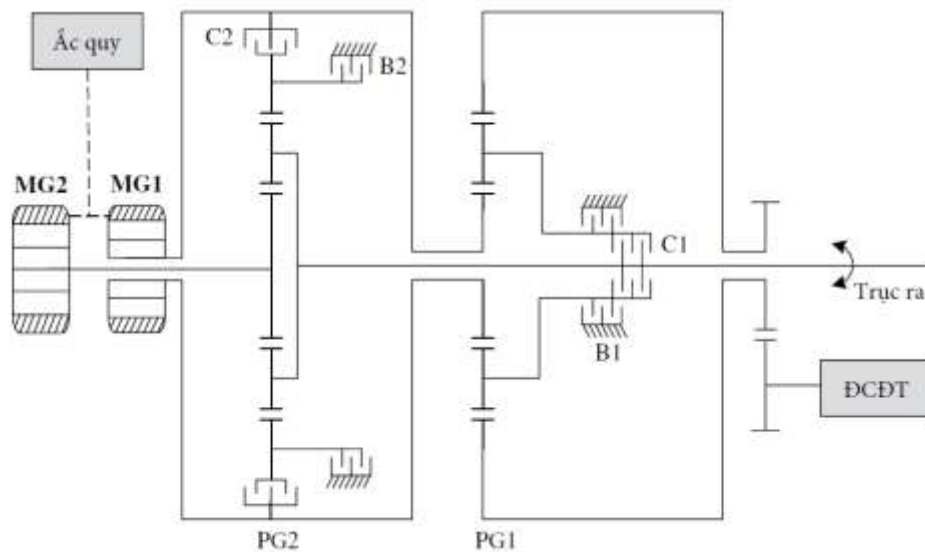
e) Chuyển đổi giữa các chế độ làm việc

Nói chung, quá trình chuyển đổi chế độ làm việc được thực hiện ở điều kiện có thể giảm thiểu nhiều cơ học đối với toàn bộ hệ thống xe. Xe thường được khởi động bởi MG2 khi tắt ĐCĐT (Chế độ 0). MG1 được bật trước khi chuyển sang chế độ 1 sao cho tốc độ ĐCĐT đạt khoảng 800 vòng/phút. Quá trình chuyển đổi từ chế độ 0 sang chế độ 1 được đặc trưng bởi việc khởi động ĐCĐT. Điều này thường xảy ra khi nhu cầu công suất đạt đến một mức nhất định mà MG2 không còn khả năng cung cấp mô-men xoắn cần thiết. Công suất yêu cầu cần có là sự kết hợp giữa tốc độ xe, yêu cầu tăng tốc, tải trọng xe và điều kiện đường xá.

Quá trình chuyển đổi từ chế độ 1 sang chế độ 2 xảy ra khi bánh răng mặt trời của dây hành tinh PG1 và bánh răng bao của dây hành tinh PG2 đạt cùng tốc độ. Nói cách khác, do bánh răng bao của PG1 được nối với vỏ (tốc độ bằng không), quá trình chuyển đổi từ Chế độ 1 sang Chế độ 2 sẽ xảy ra khi tốc độ bánh răng mặt trời của PG1 hoặc MG1 đạt đến giá trị bằng không. Tương tự, quá trình chuyển đổi từ Chế độ 2 sang Chế độ 1 cũng xảy ra khi tốc độ của MG1 bằng không.

Quá trình chuyển đổi từ chế độ 1 sang chế độ 3 hoặc chế độ 2 sang chế độ 3 được kích hoạt khi người lái thực hiện phanh (bàn đạp phanh được nhấn).

2.3.2 Hệ thống động lực hybrid hai chế độ của hãng Timken



Hình 2.8 - Hệ thống động lực hybrid Timken

Hệ thống truyền động hybrid Timken thể hiện trong hình 2.8 cũng là một hệ thống hybrid hai chế độ [8]. Hệ thống được cấu tạo gồm hai động cơ điện, MG1 và MG2, hai bộ truyền bánh răng hành tinh PG1 và PG2, hai ly hợp C1, C2 và hai khóa B1 và B2.

Động cơ được nối với bánh răng bao của bộ truyền hành tinh PG1; MG1 được nối với bánh răng mặt trời của PG1 và qua ly hợp (C2) với bánh răng bao của dây hành tinh PG2; MG2 được nối với bánh răng mặt trời của PG2; cần dẫn của PG2 được kết nối với trục ra; cần dẫn của của PG1 được kết nối qua ly hợp C1 với trục ra hoặc có thể bị khóa bởi B1. Bằng cách điều khiển hai ly hợp và hai khóa, hệ thống có thể hoạt động ở dải cao hoặc dải thấp, dựa trên điều kiện vận hành của xe. Các chế độ làm việc của hệ thống như sau:

a) *Chế độ 0 – Chế độ khởi hành hoặc lùi xe*

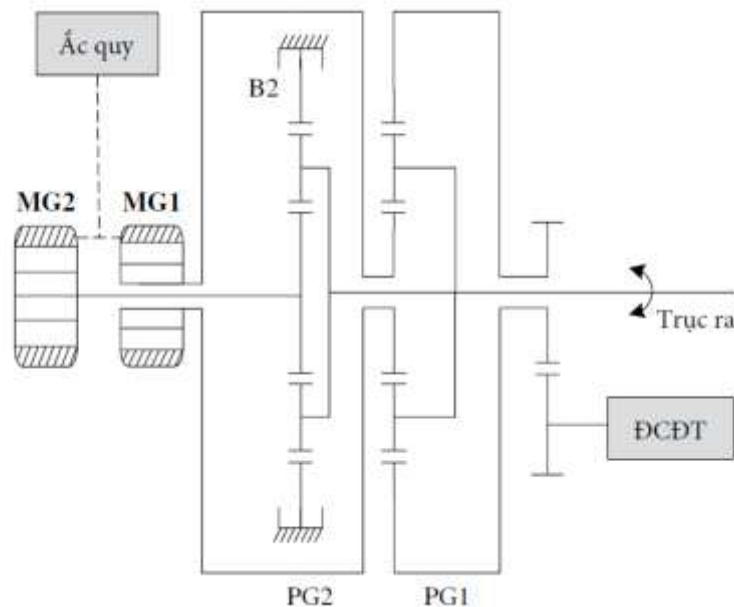
Xe có thể được khởi hành bằng máy điện MG2. Ở chế độ này, phanh B2 khóa bánh răng bao của dây hành tinh PG2. Mô-men xoắn máy điện MG2 được truyền qua bánh răng mặt trời của dây PG2 đến vật mang P2. Do bánh răng mặt trời của P1 ăn khớp với bánh răng vành khuyên của P2

nên bánh răng mặt trời của P1 cũng bị khóa. Trong trường hợp này, giá đỡ của P1 cần được khóa bởi B1 để động cơ cũng bị chết máy. Các phương trình biểu diễn quan hệ tốc độ và mô men các khâu như sau:

$$\omega_{mg2} = \omega_{s2} = \frac{N_{s2}}{N_{s2} + N_{r2}} \omega_0 \quad (2.30)$$

$$T_0 = \frac{N_{s2} + N_{r2}}{N_{s2}} T_{mg2} \quad (2.31)$$

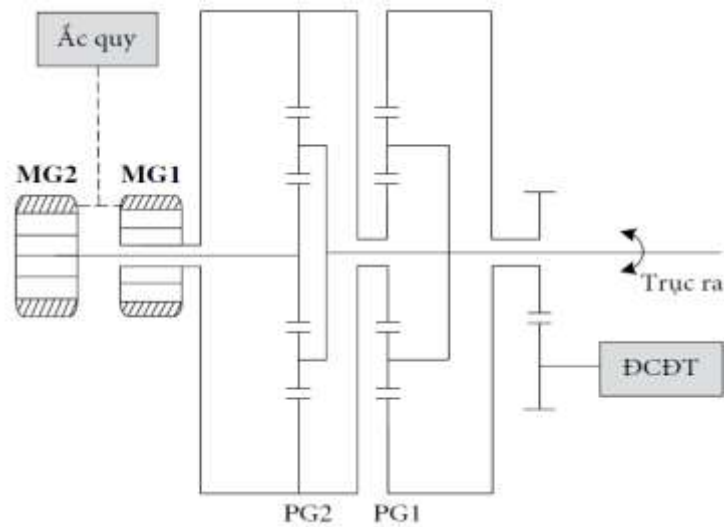
b) *Chế độ 1 – chế độ vận hành ở tốc độ thấp*



Hình 2.9 - Sơ đồ khi vận hành ở độ tốc độ thấp của hệ thống hybrid Timken

Ở chế độ này, phanh B2 khóa bánh răng bao của bộ truyền hành tinh PG2; ly hợp C1 nối với DCĐT như trên hình.... Vận hành của chế độ này tương tự như hệ thống hai chế độ của GM.

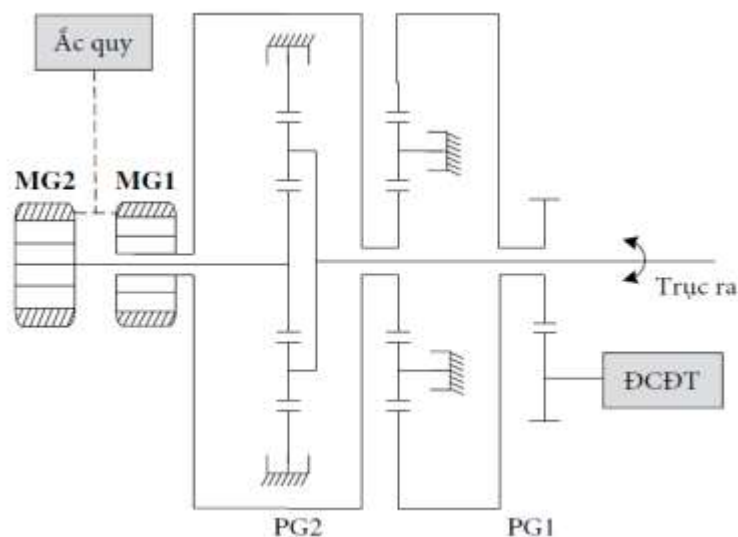
b) Chế độ 2 – chế độ vận hành ở tốc độ cao



Hình 2.10 - Sơ đồ khi vận hành ở tốc độ cao của hệ thống hybrid Timken

Khi hoạt động tốc độ cao, ly hợp C1 kết nối với cần dẫn của bộ truyền bánh răng hành tinh PG1; ly hợp C2 nối với máy điện MG1 (Hình 2.10). Bánh răng mặt trời của dây hành tinh PG1, bánh răng bao R2 và MG1 sẽ có cùng tốc độ. Chế độ này cũng giống như hệ thống truyền động hybrid hai chế độ của GM.

c) Chế độ 3 - chế độ vận hành nối tiếp



Hình 2.11 - Sơ đồ khi vận hành ở chế độ nối tiếp của hệ thống hybrid Timken

Hệ thống truyền lực cũng có thể hoạt động ở chế độ nối tiếp bằng cách khóa giá đỡ của dây hành tinh PG1 và bánh răng bao của dây hành tinh PG2. Ở chế độ này (Hình 2.11), công suất ĐCĐT được truyền tới MG1 thông qua bánh răng mặt trời của dây hành tinh PG1 (với giá đỡ bị khóa). Điện do MG1 tạo ra sẽ được phân phối

đến MG2, dẫn động bánh răng mặt trời của PG2, bánh răng này sẽ dẫn động cần dẫn của P2 với bánh răng bao bị khóa. Các phương trình mô-men và tốc độ trong trường hợp này như sau:

$$\omega_0 = \omega_{s2} = \frac{N_{s2}}{N_{s2} + N_{r2}} \omega_{mg2} \quad (2.32)$$

$$\omega_{mg1} = \frac{N_{r1}}{N_{s1}} \omega_e \quad (2.33)$$

$$T_0 = \frac{N_{s2} + N_{r2}}{N_{s2}} T_{mg2} \quad (2.34)$$

$$T_{mg1} = \frac{N_{s1}}{N_{r1}} T_e \quad (2.35)$$

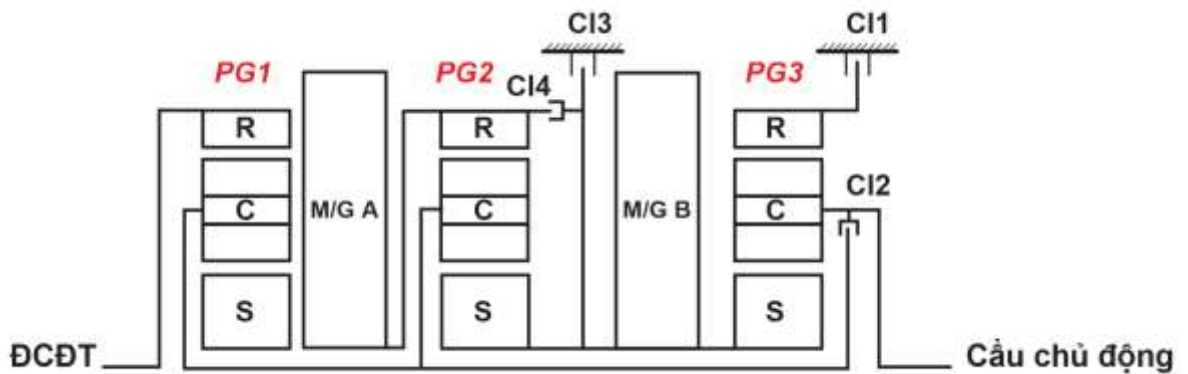
d) Chuyển đổi chế độ làm việc

Tương tự như bất kỳ hệ thống truyền động hybrid nào khác, quá trình chuyển đổi giữa các chế độ khác nhau trong hệ thống động lực hybrid Timken diễn ra vào thời điểm có thể giảm thiểu gây ra nhiễu cơ học đối với toàn hệ thống. Ví dụ, cần dẫn của dây hành tinh PG1 được khóa bởi phanh B1, ĐCĐT có thể được khởi động bởi MG1. Để nối cần dẫn của PG1 với trục truyền lực chính, trước tiên cần nhả phanh B1, sau đó tốc độ của MG1 sẽ được điều khiển sao cho ly hợp C1 sẽ tăng tốc đến cùng tốc độ với trục truyền lực chính, cuối cùng ly hợp C1 đóng sẽ gắn cần dẫn của dây hành tinh PG1 với trục truyền lực chính.

Tương tự, để nối bánh răng bao của dây hành tinh PG2 với bánh răng mặt trời của dây PG1 (và MG1), tốc độ bánh răng mặt trời của PG1 và MG1 trước tiên được đưa xuống 0 và sau đó ly hợp C2 sẽ nối hai phần này với nhau.

2.3.3. Hệ thống động lực hybrid hai chế độ với 3 dây hành tinh

Ở cấu trúc này, HTTL hybrid hai chế độ gồm 3 bộ truyền bánh răng hành tinh và bốn ly hợp, sự kết hợp này cho phép HTTL làm việc ở 4 tỉ số truyền cố định và 2 chế độ phân chia công suất. Chế độ phân chia công suất được sử dụng để chuyển tiếp giữa các chế độ tỉ số truyền cố định. Tỉ số truyền cố định giúp tăng hiệu suất HTTL. Đối với chế độ chia công suất thứ nhất, chỉ ly hợp C1 đóng, còn ở chế độ chia công suất thứ hai chỉ ly hợp C2 đóng. Vì đóng 2 ly hợp luân phiên nhau làm giảm 1 bậc tự do và vì vậy ta được một tỉ số truyền cố định.



Hình 2.12 - Cấu hình hybrid two-mode hai chế độ với 03 dây hành tinh

Bảng 3.1. Trạng thái của ly hợp ứng với các chế độ làm việc

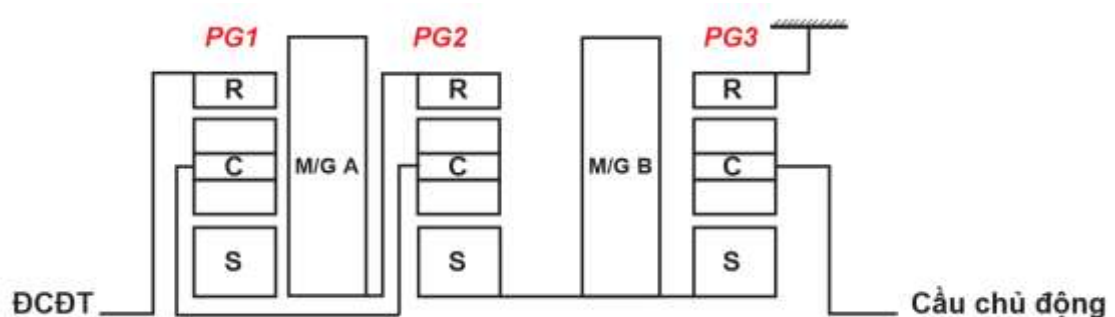
Chế độ	C1	C2	C3	C4
EVT 1	1	0	0	0
EVT 2	0	1	0	0
FG 1	1	0	0	1
FG 2	1	1	0	0
FG 3	0	1	0	1
FG 4	0	1	1	0

a) Chế độ 1 (chế độ EVT1 cho tốc độ chậm)

Đây là chế độ chia công suất đầu vào (input –power split) ở tốc độ thấp. Ở chế độ này chỉ có ly hợp C1 đóng các ly hợp còn lại ở trạng thái mở. Quan hệ giữa mô men xoắn và tốc độ giữa các khâu như sau:

$$T_{out} = \left(T_e \frac{k_1 + 1}{k_1} \cdot \frac{1}{k_2 + 1} + T_{M1} \right) (k_3 + 1) \quad (2.36)$$

$$(1 + k_3) \cdot n_{out} = \frac{1 - k_1 \cdot k_2}{1 + k_1} n_{M1} + \frac{k_1 + k_1 \cdot k_2}{1 + k_1} n_e \quad (2.37)$$



Hình 2.13 - Chế độ EVT1

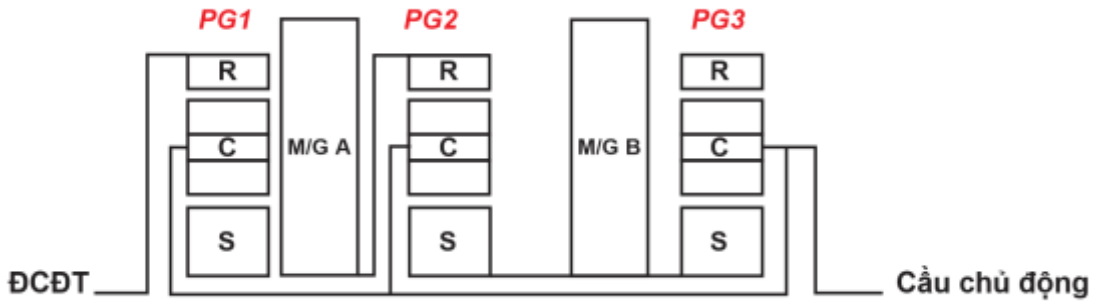
Từ công thức trên cho thấy EVT1 có chức năng của một hộp số có tỉ số truyền vô cấp trong đó tỉ số truyền có thể điều chỉnh bằng cách điều khiển tốc độ của động cơ điện

b) Chế độ 2 (EVT2 cho tốc độ nhanh)

Đây là chế độ chia công suất hỗn hợp ở chế độ tốc độ cao, ở chế độ này chỉ ly hợp C2 đóng các ly hợp khác mở. Quan hệ giữa mô men và tốc độ của các khâu trong hệ thống truyền lực như sau:

$$T_{out} = T_e \frac{k_1 + 1}{k_1} + T_{M2} (k_2 + 1) \quad (2.38)$$

$$(1 + k_1) \cdot n_{out} = n_{M1} + k_1 \cdot n_e \quad (2.39)$$



Hình 2.14 - Chế độ EVT 2

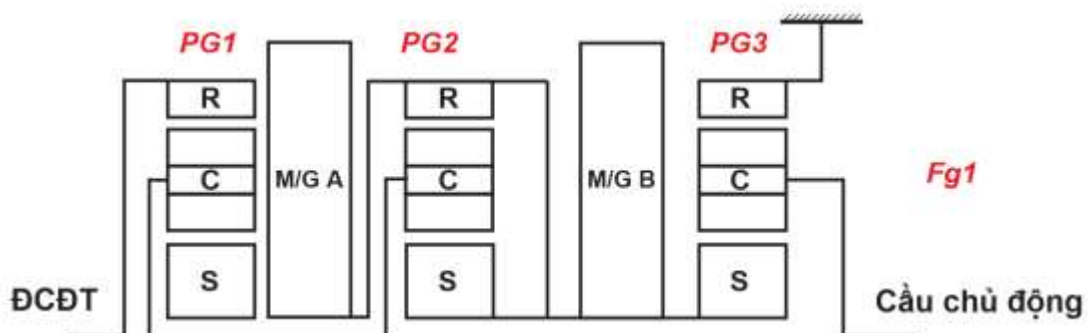
Cũng giống như chế độ EVT1, EVT 2 có chức năng của một hộp số có tỉ số truyền vô cấp trong đó tỉ số truyền có thể điều chỉnh bằng cách điều khiển tốc độ của động cơ điện

c) *Chế độ 3 (chế độ có tỉ số truyền cố định số 1)*

Ở chế độ 3, hai ly hợp C1 và C4 được điều khiển đóng, còn hai ly hợp C2 và C3 mở. Tỉ số truyền của cả hai dây hành tinh đều bằng 1, lúc này PG1 tự khóa. Quan hệ giữa tốc độ và mô men của các khâu trong trường hợp này như sau:

$$n_{out} = \frac{1}{k_3 + 1} \cdot n_e \quad (2.40)$$

$$T_{out} = (T_e + T_{M2}) \cdot (k_3 + 1) \quad (2.41)$$



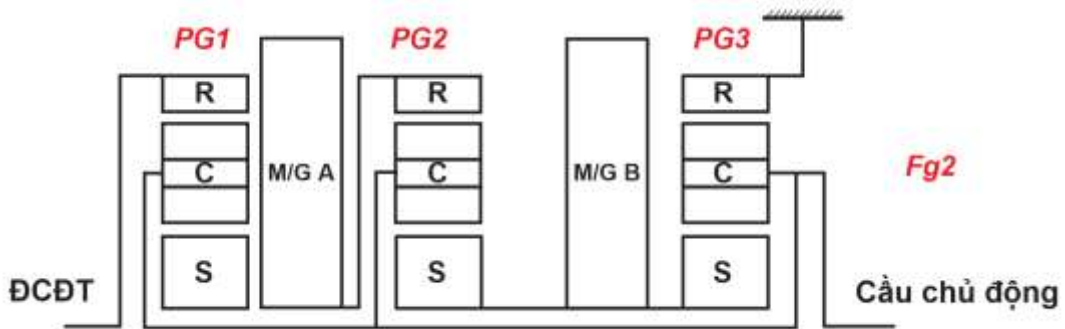
Hình 2.15 - Sơ đồ chế độ tỉ số truyền cố định số 1

d) Chế độ 4 (chế độ tỉ số truyền cố định số 2)

Ở chế độ này cả 2 ly hợp C1, C2 đóng, các ly hợp C3, C4 mở. Quan hệ giữa mô men và tốc độ của các khâu trong trường hợp này như sau:

$$n_{out} = \frac{k_1.k_2}{k_3 + k_1.k_2} . n_e \quad (2.42)$$

$$T_{out} = T_e \left(\frac{k_3}{k_1.k_2} + 1 \right) T_{M2} (k_3 + 1) \quad (2.43)$$



Hình 2.16 - Sơ đồ chế độ tỉ số truyền cố định 2

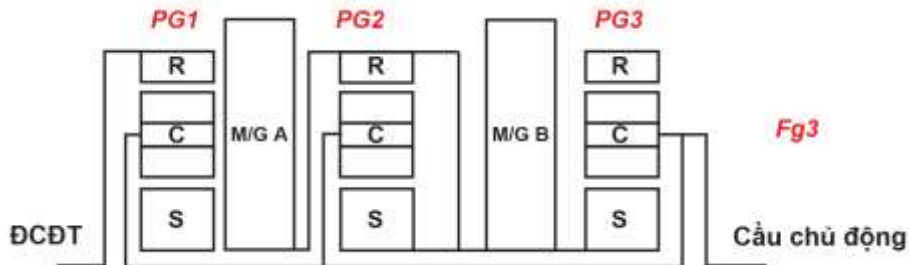
e) Chế độ 5 (chế độ tỉ số truyền cố định số 3)

Ở chế độ này các ly hợp C2 và C4 đóng, ly hợp C1 và C3 mở. Quan hệ mô men và tốc độ giữa các khâu như sau:

$$n_{out} = n_e \quad (2.44)$$

$$T_{out} = T_e + T_{M2} \quad (2.45)$$

Trong trường hợp này PG1, PG2, PG3 đều tự khóa và tỉ số truyền bằng 1.



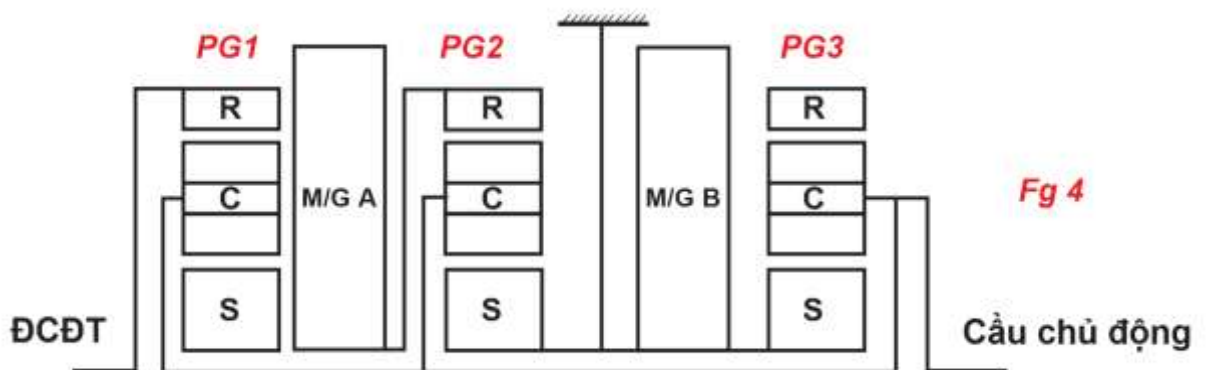
Hình 2.17 - Sơ đồ chế độ tỉ số truyền cố định 3

f) Chế độ 6 (chế độ có tỉ số truyền cố định số 4)

Ở chế độ 6, các ly hợp C2 và C3 đóng, ly hợp C1 và C4 mở. Quan hệ giữa mô men và tốc độ của các trục trong trường hợp này như sau

$$n_{out} = \frac{k_1.k_2}{k_1.k_2 - 1} . n_e \quad (2.46)$$

$$T_{out} = T_e \left(1 - \frac{1}{k_1.k_2} \right) \quad (2.47)$$



Hình 2.18 - Sơ đồ chế độ tỉ số truyền cố định 4

Chế độ EVT1 phù hợp với tốc độ thấp và EVT2 chế độ tốc độ cao, chế độ FG2 là chế độ trung gian chuyển tiếp EVT1 và EVT2.

2.4. Kết luận chương 2

Chương 2 đã hoàn thành một số nội dung chính, cụ thể như sau:

- Phân tích cấu tạo hoạt động của bộ truyền hành tinh là bộ phận quan trọng trong hệ thống truyền lực của ô tô hybrid kiểu hai chế độ, làm cơ sở cho việc tính toán động học động lực học cho các hệ thống động lực ô tô hybrid khác nhau;

- Nghiên cứu, xây dựng mô hình toán học các chế độ làm việc của một số hệ thống động lực hybrid kiểu hai chế độ điển hình của hãng GM và Timken.

Chương 3. MÔ PHỎNG HỆ THỐNG ĐỘNG LỰC Ô TÔ HYBRID HAI CHẾ ĐỘ

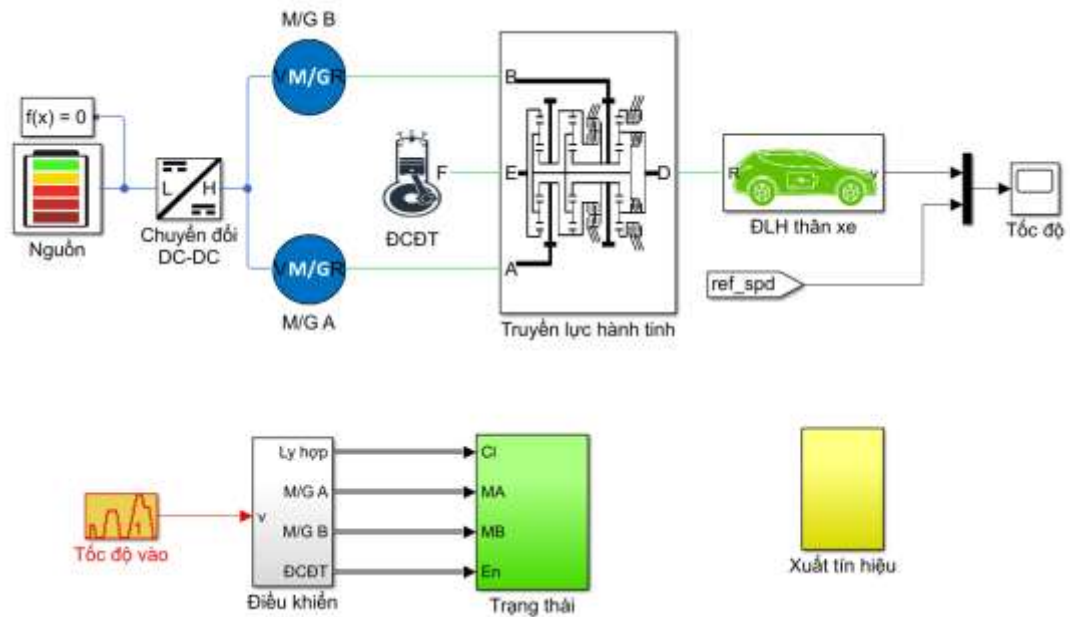
Nội dung của chương này trình bày phương pháp xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ bằng phần mềm Malab-Simulink và phân tích đánh giá một số kết quả thu được khi mô phỏng, tính toán các thông số động học và động lực của ô tô trong các điều kiện: tăng tốc với gia tốc không đổi và chạy xe theo chu trình thử ECE 15.

3.1. Xây dựng mô hình mô phỏng bằng phần mềm MATLAB/Simulink

3.1.1. Mô hình toàn hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ

Mô hình toàn hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hỗn hợp được xây dựng dựa trên tính toán lý thuyết ở chương 2 và dựa trên việc thừa kế các mô hình mô phỏng mẫu, bổ xung xây dựng thêm các khối chức năng nhờ sự hỗ trợ của công cụ Simscape, Simulink trong phần mềm Matlab. Mô hình gồm các khối cơ bản sau:

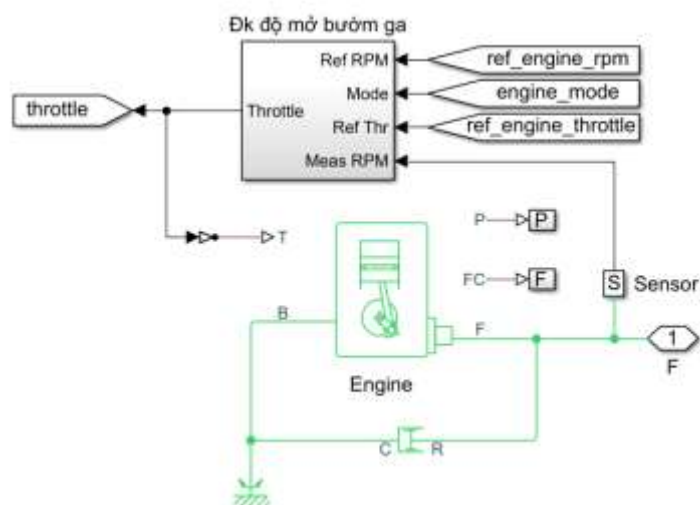
- Khối động cơ đốt trong;
- Khối tổ hợp động cơ /máy phát;
- Khối nguồn và bộ chuyển đổi điện DC-DC;
- Khối hệ thống truyền lực hành tinh;
- Khối điều khiển gồm các khối con để chọn chế độ làm việc của các ly hợp điều khiển trạng thái chuyển số, chế độ làm việc của các động cơ/máy phát và động cơ đốt trong;
- Khối động lực học thân xe;
- Khối tốc độ dùng để tạo ra tín hiệu vận tốc đầu vào tham chiếu cho mô hình.



Hình 3.1 - Sơ đồ mô phỏng toàn bộ hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ

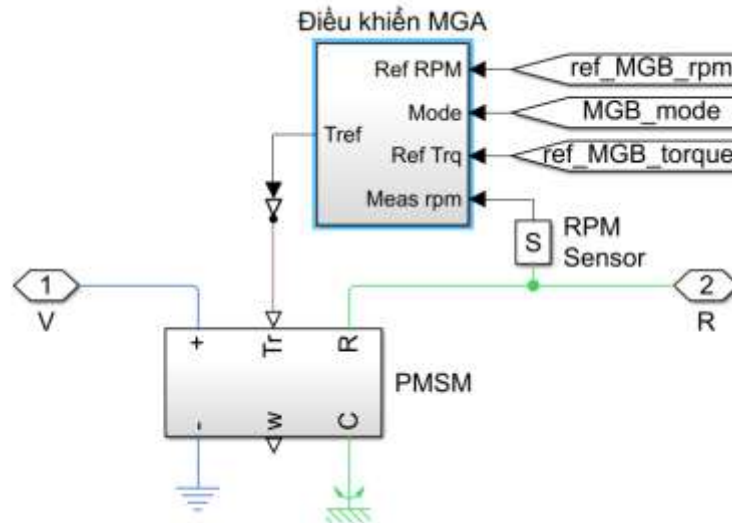
3.1.2. Khởi động cơ đốt trong

Để mô phỏng động cơ đốt trong tác giả sử dụng mô hình động cơ Generic Engine (hình 3.2), mô hình này cho phép xác định quan hệ phụ thuộc của tốc độ, mô men xoắn, công suất động cơ vào độ mở của bướm ga (throttle).



Hình 3.2. Sơ đồ cấu trúc khối động cơ đốt trong

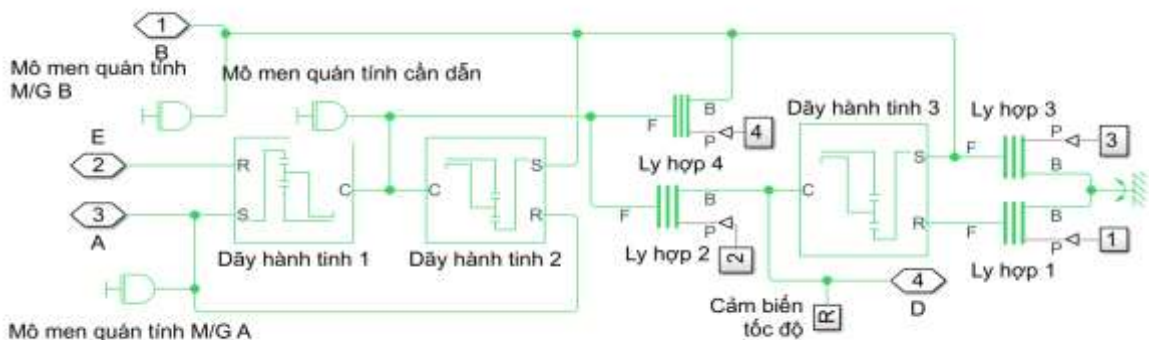
3.1.3. Khối tổ hợp động cơ/máy phát



Hình 3.3– Sơ đồ khối động cơ/máy phát A

Mô hình khối động cơ máy phát gồm có 02 tổ hợp: tổ hợp động cơ máy phát A (M/G A) và tổ hợp động cơ máy phát B (M/G B). Mỗi tổ hợp sử dụng loại máy điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor). Tín hiệu điều khiển động cơ này gồm: số vòng quay tham chiếu (ref_MG_rpm), mô men tham chiếu (ref_MG_torque) chế độ làm việc của động cơ (MG_mode) và tốc độ của khâu hành tinh nối với máy điện qua cổng R. Cổng V là cổng vật lý nhận tín hiệu điện áp từ nguồn.

3.1.4. Khối truyền lực hành tinh



Hình 3.4 – Sơ đồ khối truyền lực hành tinh

Khối truyền lực hành tinh được xây dựng theo mô hình truyền lực của hãng GM gồm 3 dãy hành tinh và 04 ly hợp như trình bày trong chương 2. Đầu vào là tín hiệu từ hai tổ hợp động cơ/máy phát M/G B, M/G A và động cơ đốt trong tương ứng với các cổng 1, 2 và 3; đầu ra là tín hiệu cấp cho khối động lực học ô tô tại cổng 4. Trạng thái đóng/mở của các ly hợp sẽ tạo ra các tỉ số truyền khác nhau của hộp số.

Bảng 3.1. Trạng thái làm việc của ly hợp

Số/Chế độ	Ly hợp 1	Ly hợp 2	Ly hợp 3	Ly hợp 4
Chia công suất đầu vào	1	0	0	0
Chia hỗn hợp	0	1	0	0
1	1	0	0	1
2	1	1	0	0
3	0	1	0	1
4	0	1	1	0

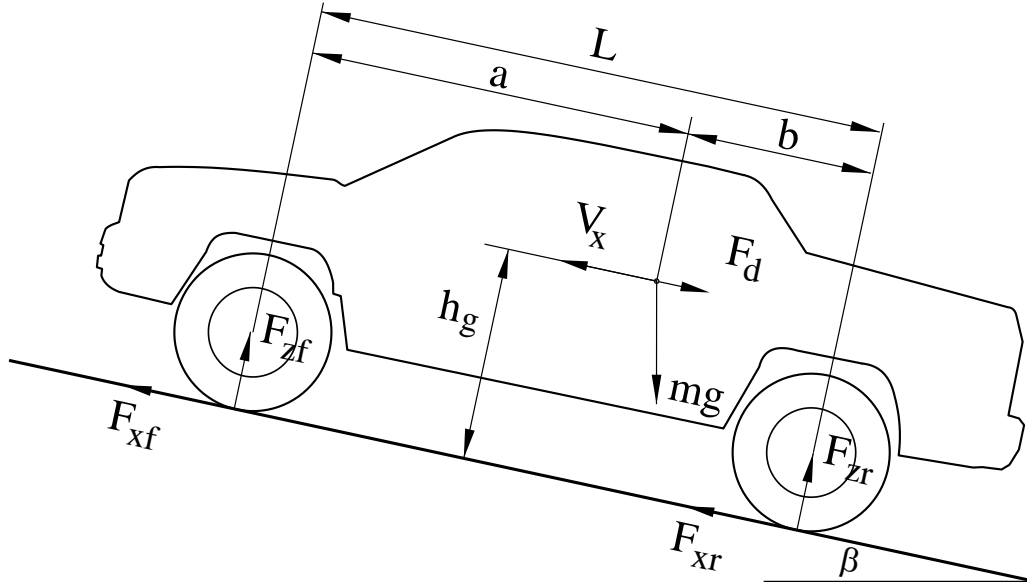
3.1.5. Khối động lực học thân xe

Khối động lực học thân xe được xây dựng gồm truyền lực chính-vi sai, các lớp xe và thân xe. Để mô hình hóa lớp xe, khối lớp trái và lớp phải được sử dụng dựa trên công thức Magic Fomular. Khối này được lấy từ thư viện Tyre & vehicle trong Simscape Driveline. Mỗi khối lớp bao gồm các kết nối: A, H, N, S. Trong đó, cổng kết nối N là cổng đầu vào tín hiệu phản lực pháp tuyến; kết nối S là độ trượt của lớp. Các thông số lớp được tham số hóa tương ứng với các hệ số Công thức ma thuật (Magic Fomular) B, C, D và E được thể hiện trong Bảng 3.1 [1,2].

Bảng 3.2 - Các tham số lớp xe

Loại đường	B	C	D	E
Nhựa khô	10	1.9	1	0.97
Nhựa ướt	12	2.3	0.82	1
Tuyết	5	2	0.3	1
Đóng băng	4	2	0.1	1

Chuyển động của ô tô là do kết quả các lực tác dụng lên xe. Do vậy, để xây dựng mô hình thân xe cần phân tích lực tác dụng lên ô tô trong trường hợp tổng quát (hình 3.5).



Hình 3.5 - Sơ đồ lực tác dụng lên ô tô

Phương trình vi phân mô tả động lực học của thân xe được viết như sau:

$$m\dot{V}_x = F_x - F_d - m \cdot g \cdot \sin\beta$$

$$F_x = n(F_{xf} + F_{xr})$$

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho \cdot A (V_x + V_\omega)^2 \operatorname{sgn}(V_x + V_\omega)$$

(3.1)

$$F_{zf} = \frac{-h(F_d + m \cdot g \cdot \sin\beta + m \cdot \dot{V}_x) + b \cdot m \cdot g \cdot \cos\beta}{n(a + b)}$$

$$F_{zr} = \frac{h(F_d + m \cdot g \cdot \sin\beta + m \cdot \dot{V}_x) + a \cdot m \cdot g \cdot \cos\beta}{n(a + b)}$$

$$F_{zf} + F_{zr} = mg \frac{\cos\beta}{n}$$

Trong đó:

g - gia tốc trọng trường;

β - góc nghiêng của đường;

m : khối lượng của ô tô;

h - chiều cao trọng tâm;

a, b - khoảng cách từ trọng tâm đến cầu trước và cầu sau;

V_x -tốc độ của ô tô;

V_w -tốc độ của gió;

N - Số lượng của bánh xe trên một cầu;

F_{xf}, F_{xr} : lực tiếp tuyến tác dụng lên cầu trước và sau;

F_{zf}, F_{zr} - lực pháp tuyến từ mặt đường tác dụng lên các bánh xe trước và sau;

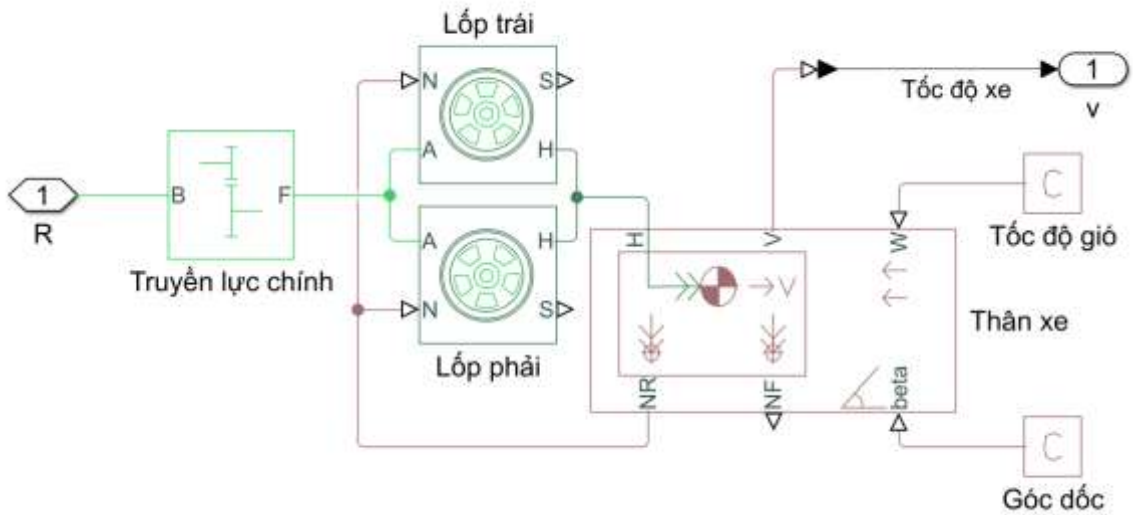
Diện tích cản chính diện của ô tô;

C_d - hệ số cản không khí;

ρ - mật độ không khí;

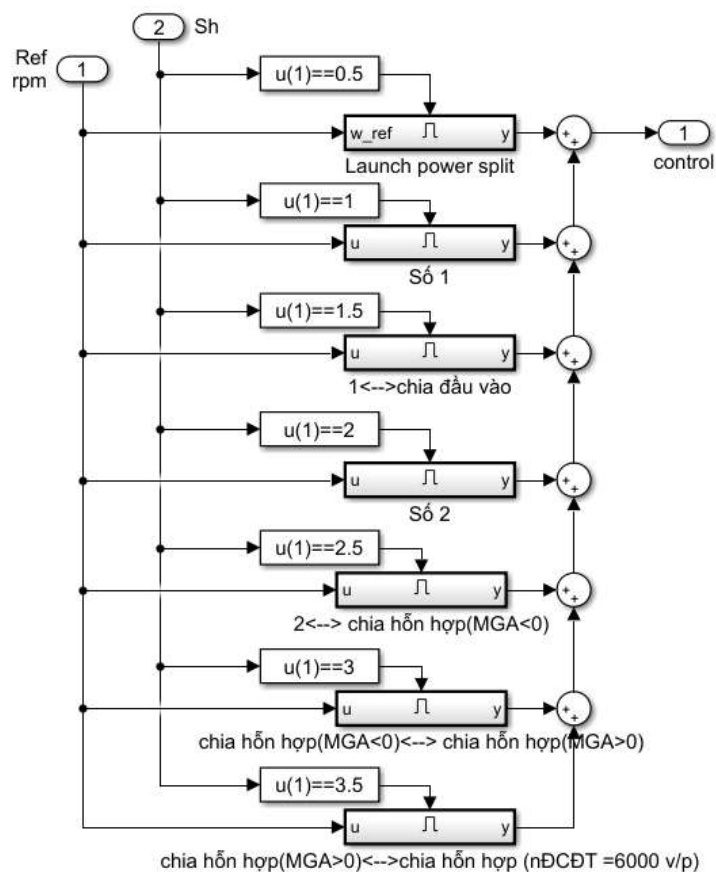
F_d - lực cản không khí.

Khối thân xe được mô tả với các cổng kết nối H, NR, NF, W, beta. Trong đó kết nối H liên quan đến chuyển động tịnh tiến của thân xe; NF và NR là các phản lực pháp tuyến tại bánh xe trước và sau; V là cổng ra tín hiệu tốc độ xe; W là tín hiệu vật lý của tốc độ gió thổi từ phía trước và beta tương ứng với góc dốc của đường. Liên kết khối lốp và thân xe ta nhận được mô hình động lực học lốp và thân xe như trên hình 3.6



Hình 3.6– Mô hình động lực thân xe

3.1.6. Khối điều khiển



Hình 3.7 – Sơ đồ cấu trúc của khối điều khiển

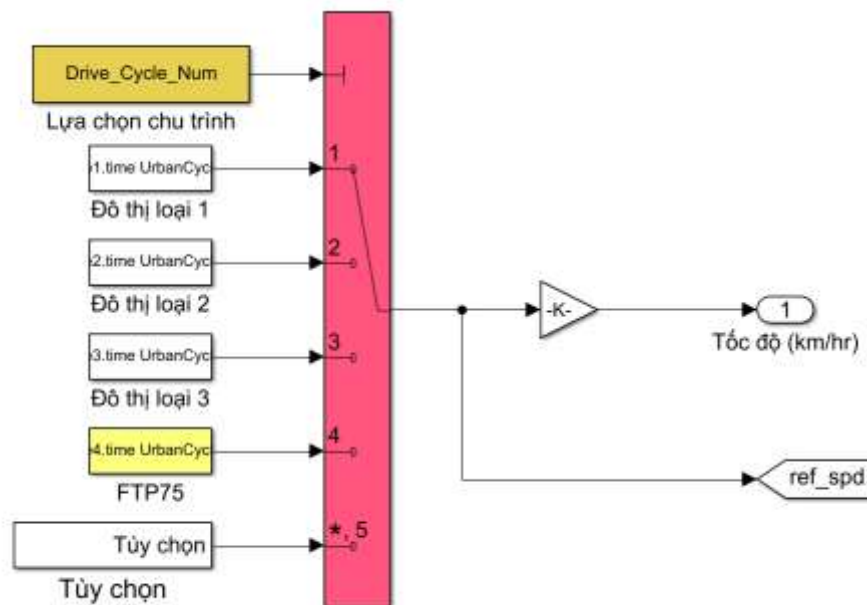
Khối điều khiển được xây dựng gồm hai tín hiệu đầu vào là trạng thái chuyển số Sh (1) và tốc độ tham chiếu của bán trục ứng với vận tốc làm

việc của ô tô (2); tín hiệu ra là tín hiệu điều khiển (control) trạng thái làm việc của động cơ đốt trong, các máy điện M/G A, M/G B và các ly hợp. Tương ứng với giá trị của các tín hiệu vào, khối điều khiển sẽ lựa chọn một số truyền/chế độ làm việc thích hợp, biểu diễn thông qua thông số trạng thái chuyển số Sh.

Bảng 3.3. Chế độ làm việc ứng với giá trị của biến trạng thái chuyển số Sh

Số truyền/ chế độ	Giá trị thông số trạng thái chuyển số (Sh)							
	0.5	1	1,5	2	2,5	3,0	3,5	4
Bắt đầu chia công suất	x							
Số truyền cố định		x		x		x		x
Chia công suất đầu vào			x					
Chia công suất hỗn hợp					x	x	x	

3.1.7. Khối vận tốc



Hình 3.8 – Sơ đồ cấu trúc Simulink lựa chọn chu trình thử

Khối vận tốc cung cấp tín hiệu vận tốc đầu vào mô phỏng điều kiện làm việc của ô tô. Mô hình khối vận tốc cho phép nghiên cứu sự làm việc của ô tô hybrid theo các chu trình thử mẫu UN/ECE và theo điều kiện thiết

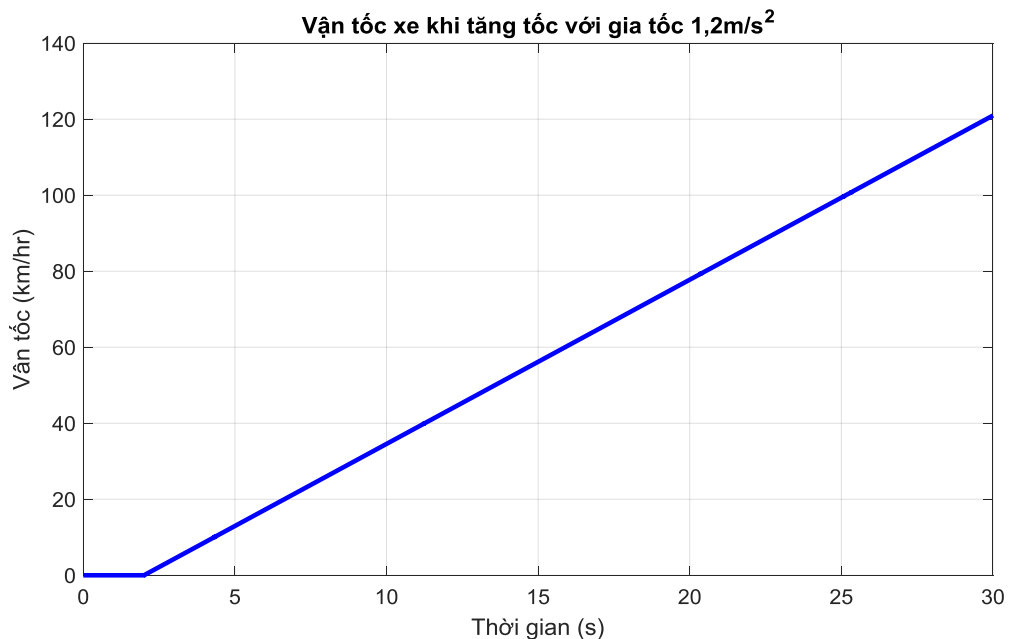
lập tùy chọn (hình 3.8). Các chu trình thử mẫu gồm chi trình đô thị loại 1 (ECE 15), chu trình thử đô thị loại 2,3, và chu trình thử FTP 75. Tốc độ thiết lập tùy chọn ở đây được xây dựng ứng với xe tăng tốc với gia tốc ổn định từ vận tốc ban đầu bằng 0.

3.2. Thiết lập các thông số đầu vào cho mô hình mô phỏng

3.2.1. Điều kiện làm việc

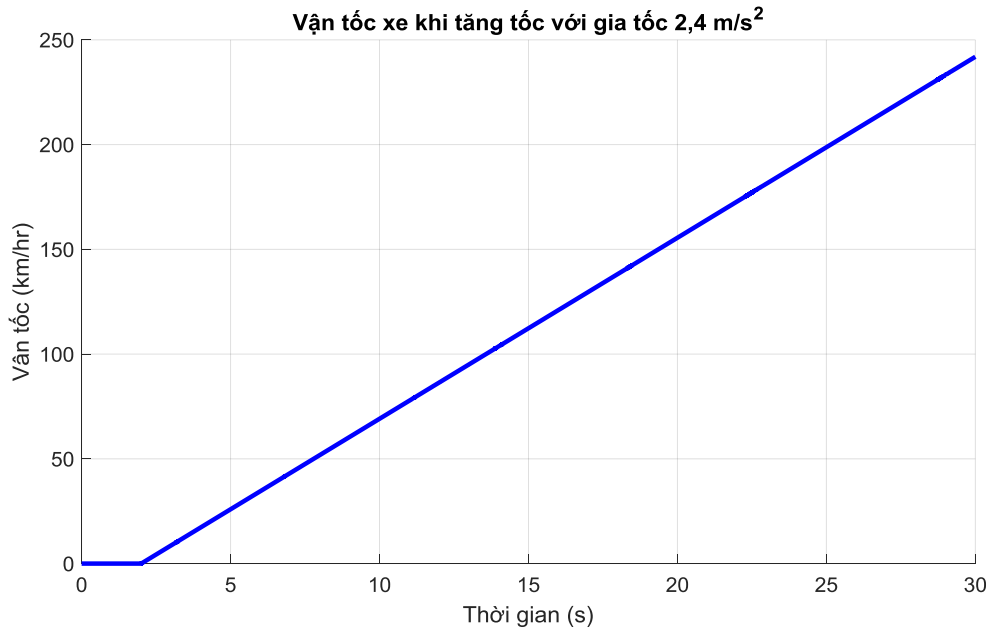
Để thiết lập điều kiện làm việc của xe, đề tài sử dụng khối mô phỏng vận tốc như trên hình 3.8. Trong đó, 03 trường hợp được lựa chọn mô phỏng đó là: 02 trường hợp tăng tốc xe với gia tốc không đổi ($a=1,2 \text{ m/s}^2$; $a=2,4 \text{ m/s}^2$) và 01 trường hợp chạy xe theo chu trình thử mẫu ECE 15.

- Trường hợp 1: tăng tốc xe từ giây thứ 2 của quá trình thử và giữ nguyên gia tốc không đổi $a=1,2 \text{ m/s}^2$ cho đến hết thời gian 30s.



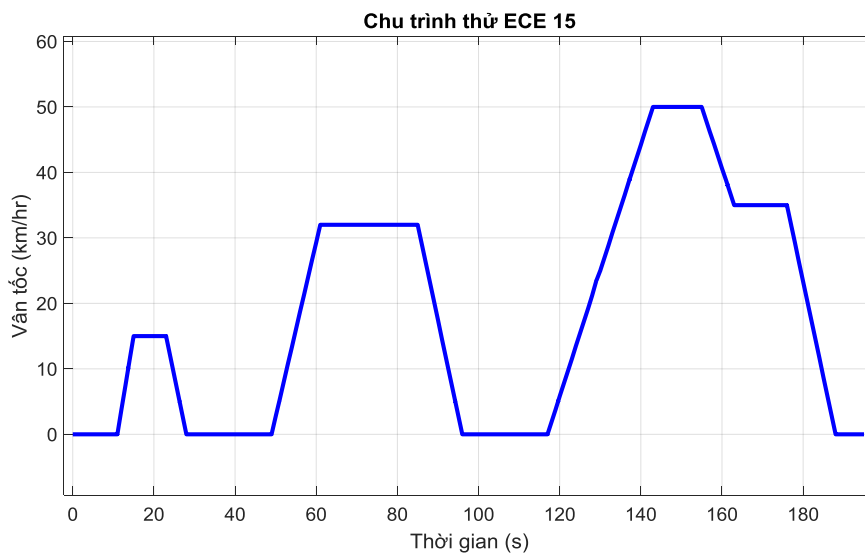
Hình 3.9 – Quan hệ của vận tốc theo thời gian khi tăng tốc ô tô với gia tốc $1,2 \text{ m/s}^2$ bắt đầu từ giây thứ 2

- Trường hợp 2: tăng tốc xe từ giây thứ 2 của quá trình thử và giữ nguyên gia tốc không đổi $a=2,4 \text{ m/s}^2$ cho đến hết thời gian 30s.



Hình 3.10 – Sự thay đổi vận tốc theo thời gian khi tăng tốc ô tô với gia tốc $2,4 \text{ m/s}^2$ bắt đầu từ giây thứ 2

- Trường hợp 3: Chạy xe theo chu trình thử đô thị loại 1 (ECE 15).



Hình 3.11 – Chu trình đô thị loại 1 theo chuẩn UN/ECE (ECE 15)

3.2.2. Các thông số của xe

Các thông số khác của xe được thiết lập bao gồm: các thông số của modul thân xe; động cơ đốt trong; động cơ điện; nguồn; các giá trị tham chiếu của tốc độ và mô men của động cơ đốt trong cũng như các tổ hợp

động cơ/máy phát A và B cung cấp cho khối điều khiển...Trên bảng 3.3. trình bày một số thông số cơ bản của xe.

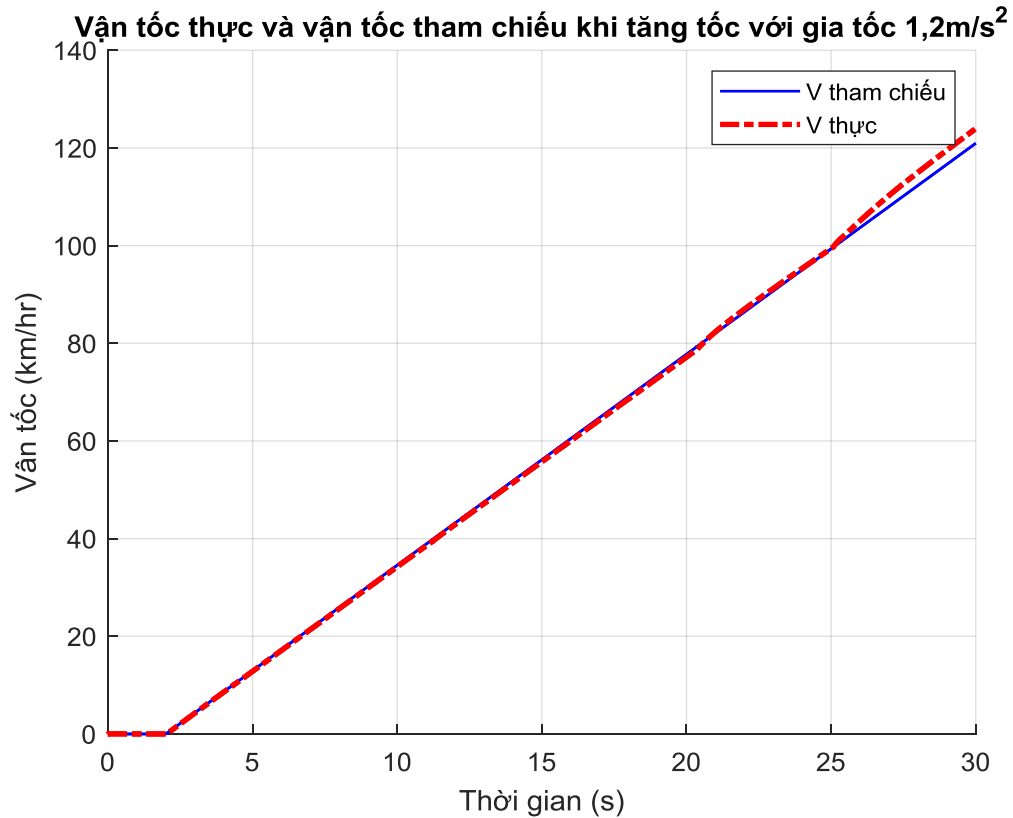
Bảng 3.4 - Các thông số cơ bản của xe

STT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	Khối lượng của ô tô	2000	kg
2	Diện tích cản chính diện	3	m ²
3	Mật độ không khí	1.18	kg/m ³
4	Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu trước	1.4	m
5	Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu trước	1.6	m
6	Chiều cao trọng tâm	0.5	m
7	Bán kính bánh xe	0,3	m
8	Mô men quán tính bánh xe	0.1	kg.m ²
9	Công suất cực đại ĐCĐT	150000	W
10	Tốc độ của động cơ ứng với công suất cực đại ĐCĐT	6000	v/p
11	Số vòng quay không tải ĐCĐT	500	v/p
12	Số vòng quay lớn nhất ĐCĐT	8000	v/p
13	Số vòng quay lớn nhất của máy điện	100000	v/p
14	Mô men lớn nhất máy điện	300	N.m

3.3. Kết quả mô phỏng

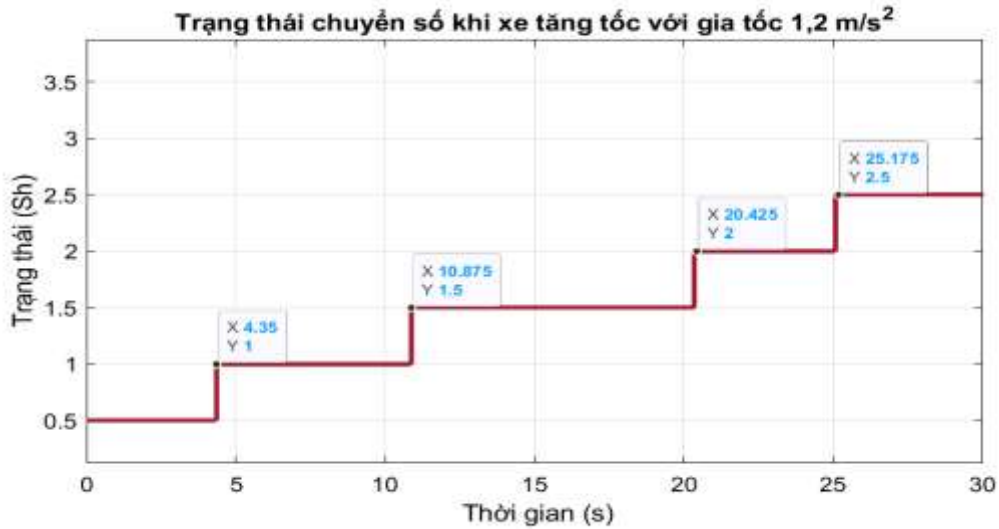
3.3.1. Trường hợp 1

Thực hiện mô phỏng hoạt động của hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ trên mô hình đã xây dựng trong trường hợp xe tăng tốc từ giây thứ 2 của và giữ nguyên gia tốc không đổi $a=1,2 \text{ m/s}^2$ cho đến hết thời gian 30s, ta thu được một số kết quả cụ thể như dưới đây.



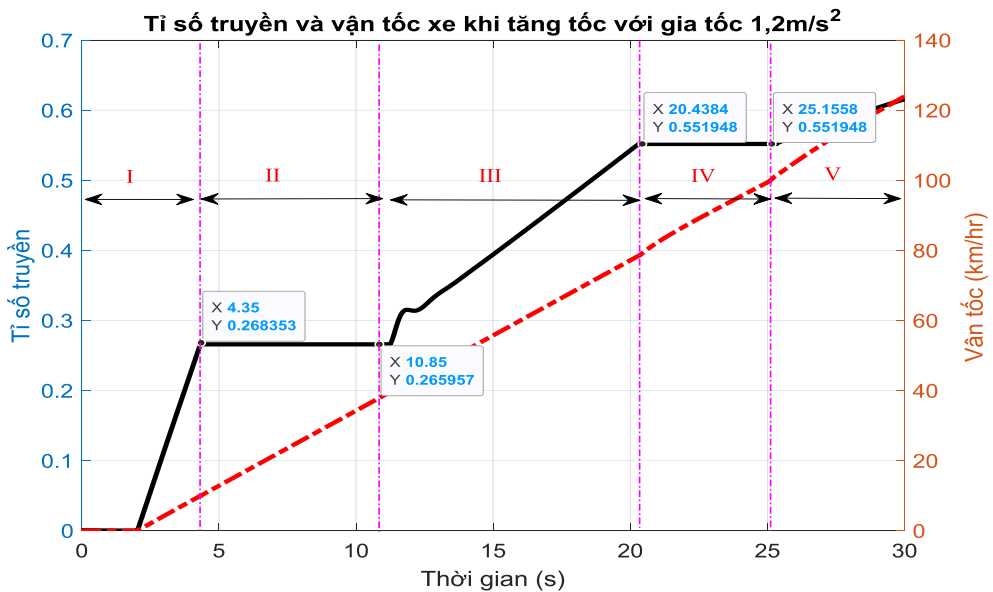
Hình 3.12 – Vận tốc thực và vận tốc tham chiếu
khi tăng tốc với gia tốc $1,2\text{ m/s}^2$

Trên hình 3.12 là kết quả mô phỏng vận tốc của xe trong trường hợp 1, phân tích kết quả cho thấy hệ thống đáp ứng tốt với yêu cầu chuyển động, ở các giá trị vận tốc nhỏ hơn 100 km/h vận tốc thực của xe gần như trùng với vận tốc tham chiếu, giá trị vận tốc thực của xe chỉ có sự chênh lệch tương đối nhỏ so với vận tốc tham chiếu từ giây thứ 25 khi vận tốc xe đạt đến giá trị 100 km/h .



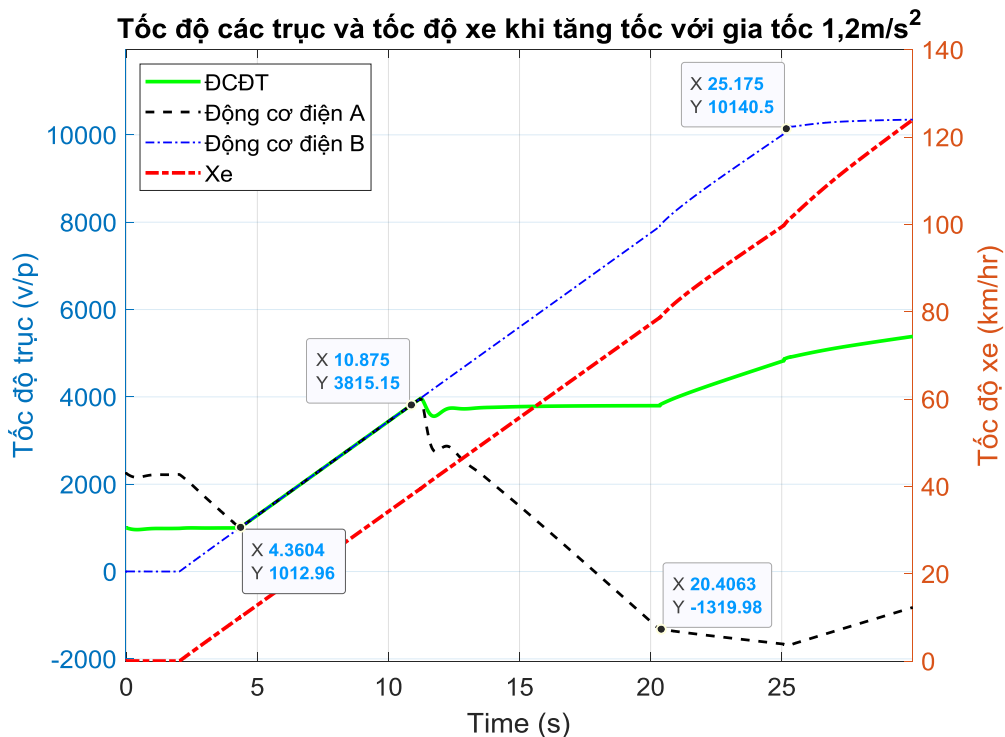
Hình 3.13 – Trạng thái chuyển số khi xe tăng tốc với gia tốc $1,2 \text{ m/s}^2$

Trên hình 3.13. là đồ thị kết quả mô phỏng trạng thái chuyển số. Từ đồ thị ta thấy, trong trường hợp này hệ thống có 5 giai đoạn chuyển số ứng với các chế độ: 1) Chế độ bắt đầu làm việc ứng với khoảng thời gian $t=0-4,3\text{s}$; 2) Chế độ tỉ số truyền cố định ứng với $t=4,3-10,8\text{s}$; 3) Chế độ chia công suất đầu vào ứng với $t=10,8-20,4\text{s}$; 4) Chế độ tỉ số truyền cố định ứng với số 2 trong khoảng $t=20,4-25,1\text{s}$; 5) Chế độ chia công suất hỗn hợp ứng với $t=25,1-30\text{s}$.



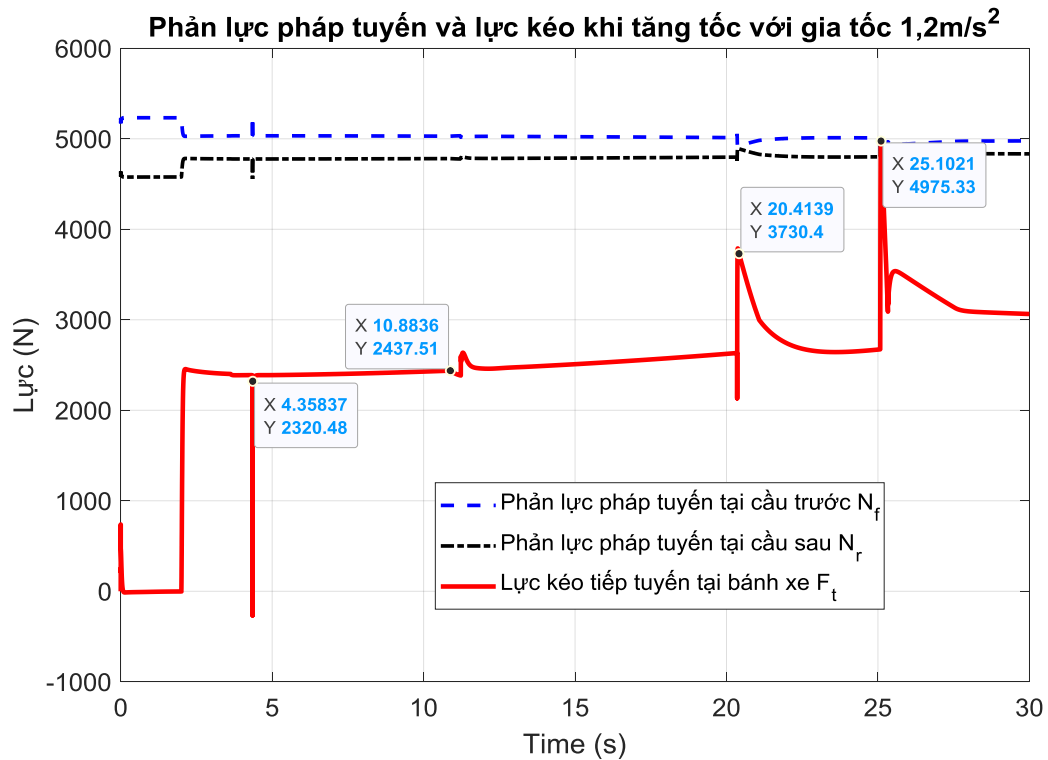
Hình 3.14 – Sự thay đổi tỉ số truyền khi tăng tốc với gia tốc $1,2 \text{ m/s}^2$

Trên hình 3.14 là kết quả tính toán tỉ số truyền của hệ thống truyền lực i_t ($i_t = n_{đcđt} / n_{bántrục}$) trong trường hợp 1. Kết quả tính toán cho thấy ứng với 5 giai đoạn chuyển số khác nhau như mô tả trên hình 3.13 thì tỉ số truyền i_t có sự thay đổi khác nhau; trong đó: có 2 giai đoạn tỉ số truyền giữ cố định là giai đoạn II và IV; 3 giai đoạn tỉ số truyền thay đổi ứng với chế độ chia công suất đó là chế độ bắt đầu chia công suất (I), chia công suất đầu vào (III) và chia công suất hỗn hợp (V).



Hình 3.15 – Kết quả mô phỏng tính toán tốc độ của các trục

Trên hình 3.15 minh họa kết quả mô phỏng tính toán tốc độ của các trục động cơ đốt trong, của trục các tổ hợp động cơ máy phát M/G A, M/G B và tốc độ chuyển động tịnh tiến của xe. Phân tích các kết quả cho thấy giá trị của các tốc độ này có sự thay đổi tương ứng với các thời điểm chuyển chế độ làm việc ứng với thời gian $t=4,3s$; $10,8s$; $20,4 s$ và $25,1s$.

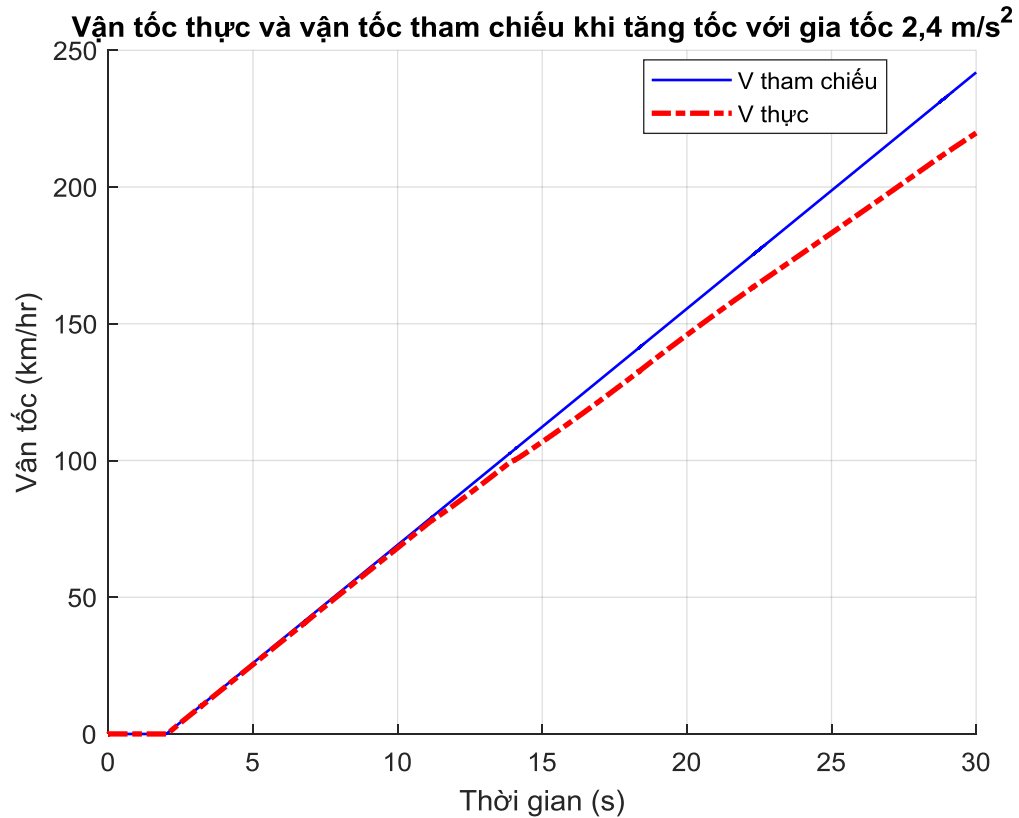


Hình 3.16 - Sự thay đổi của các phản lực pháp tuyến và tiếp tuyến tại bánh xe khi xe tăng tốc với gia tốc $1,2\text{ m/s}^2$

Trên hình 3.16 mô phỏng sự thay đổi của các giá trị phản lực pháp tuyến từ mặt đường tác dụng lên bánh cầu trước N_f , phản lực pháp tuyến tại bánh xe cầu sau N_r và giá trị lực kéo tiếp tuyến tại bánh xe chủ động F_t . Phân tích đồ thị cho thấy, giá trị lực kéo tiếp tuyến có sự thay đổi đúng vào các thời điểm chuyển chế độ làm việc nêu trên, giá trị lớn nhất đạt được $F_{t\max} = 4975\text{ N}$ khi chuyển từ chế độ tỉ số truyền cố định số 2 sang chế độ chia công suất hỗn hợp ($t=25,1\text{s}$).

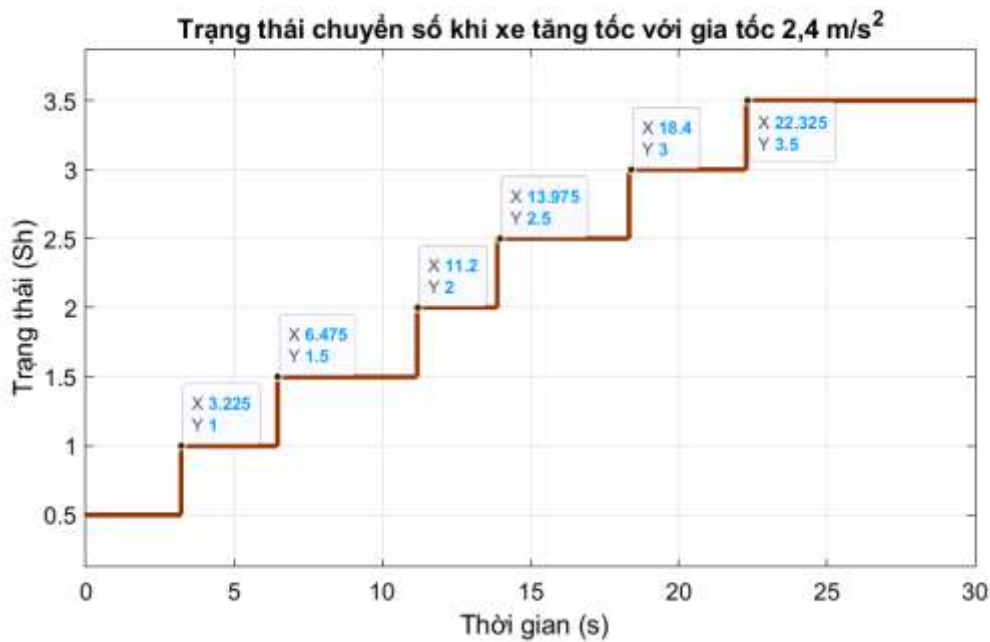
3.3.2. Kết quả mô phỏng trường hợp 2

Để kiểm chứng mô hình đã xây dựng một lần nữa, đề tài tiến hành mô phỏng hoạt động của hệ thống khi tăng tốc từ giây thứ 2 liên tục trong 30 s từ vận tốc ban đầu 0 km/hr với gia tốc gấp 2 lần trường hợp 1 (nghĩa là $a_2=2,4\text{ m/s}^2$). Một số kết quả thu được trình bày trên hình 3.15-3.19.



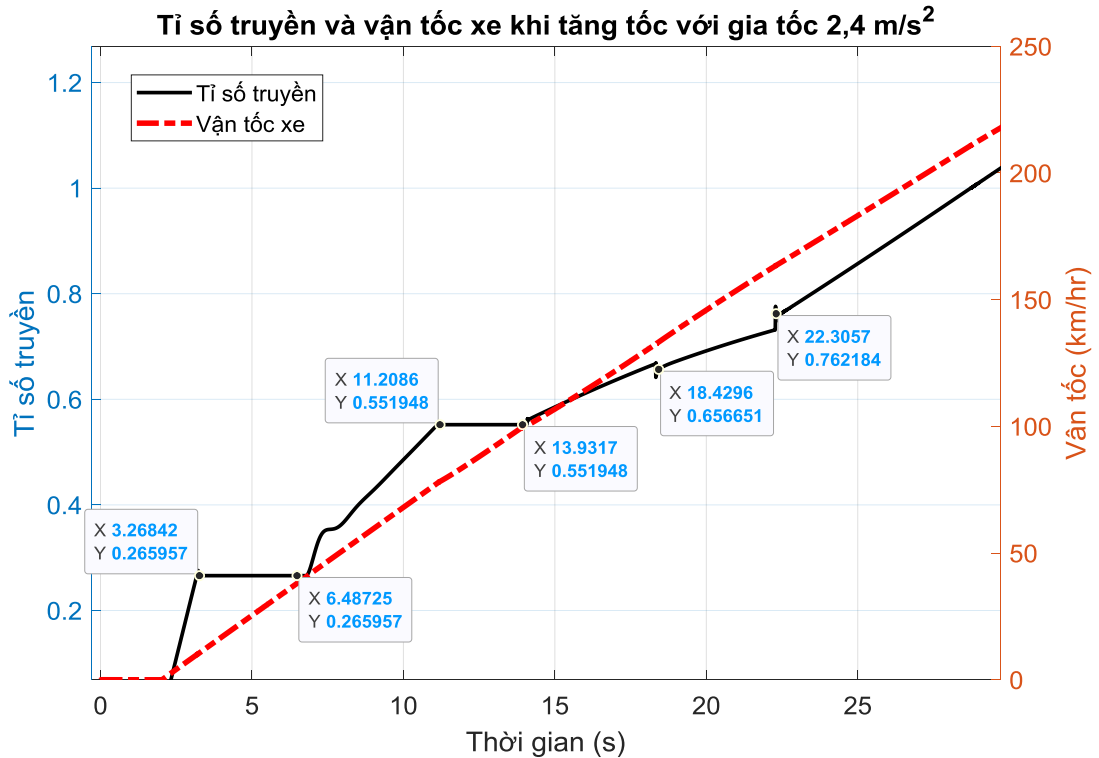
Hình 3.17 – Vận tốc thực và vận tốc tham chiếu khi tăng tốc xe với gia tốc $a_2 = 2,4 \text{ m/s}^2$

Trên hình 3.17 là kết quả mô phỏng vận tốc của xe trong trường hợp 2 khi tăng tốc ô tô liên tục với gia tốc $2,4 \text{ m/s}^2$, phân tích kết quả cho thấy hệ thống đáp ứng khá tốt với yêu cầu chuyển động, ở các giá trị vận tốc nhỏ hơn 100 km/h vận tốc thực của xe gần như trùng với vận tốc tham chiếu, giá trị vận tốc thực của xe chỉ có sự chênh lệch khi vận tốc xe đạt đến giá trị 100 km/h , đến cuối giai đoạn giá trị vận tốc thực đạt được khoảng 219 km/hr trong khi đó vận tốc tham chiếu là 241 km/h , nghĩa là giá trị chênh lệch lớn nhất khoảng $9,1\%$.



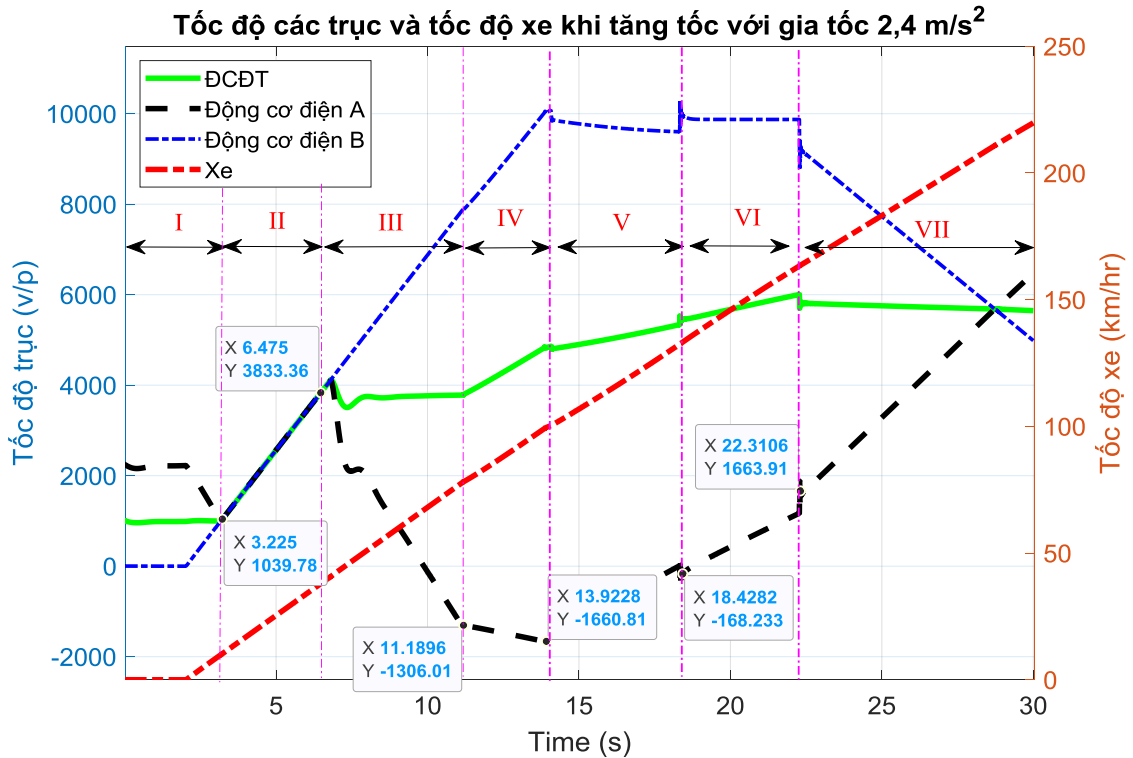
Hình 3.18 – Trạng thái chuyển số khi xe tăng tốc với gia tốc $2,4 \text{ m/s}^2$

Trên hình 3.18. là đồ thị kết quả mô phỏng trạng thái chuyển số. Kết quả mô phỏng cho thấy, trong trường hợp này hệ thống có 7 giai đoạn chuyển chế độ làm việc khác nhau: 1) Chế độ bắt đầu làm việc ứng với khoảng thời gian $t=0-3,2\text{s}$; 2) Chế độ tỉ số truyền cố định ứng với $t=3,2-6,4\text{s}$; 3) Chế độ chia công suất đều vào ứng với $t= 6,4-11,2\text{s}$; 4) Chế độ tỉ số truyền cố định ứng với số 2 trong khoảng $t=11,2-13,9\text{s}$; 5) Chế độ chia công suất hỗn hợp 1 ứng với $t=13,9 -18,4\text{s}$; 6) Chế độ chia công suất hỗn hợp 2 $t=18,4-22,3 \text{ s}$ và 7) Chế độ chia công suất hỗn hợp 3 ứng với $t=22,3-30\text{s}$. Các chế độ chia hỗn hợp 5,6,7 chỉ khác nhau ở việc điều khiển phối hợp giữa ĐCĐT, M/G A và M/G B để giới hạn tốc độ của động cơ đốt trong và M/G B không vượt quá tốc độ lớn nhất cho phép.



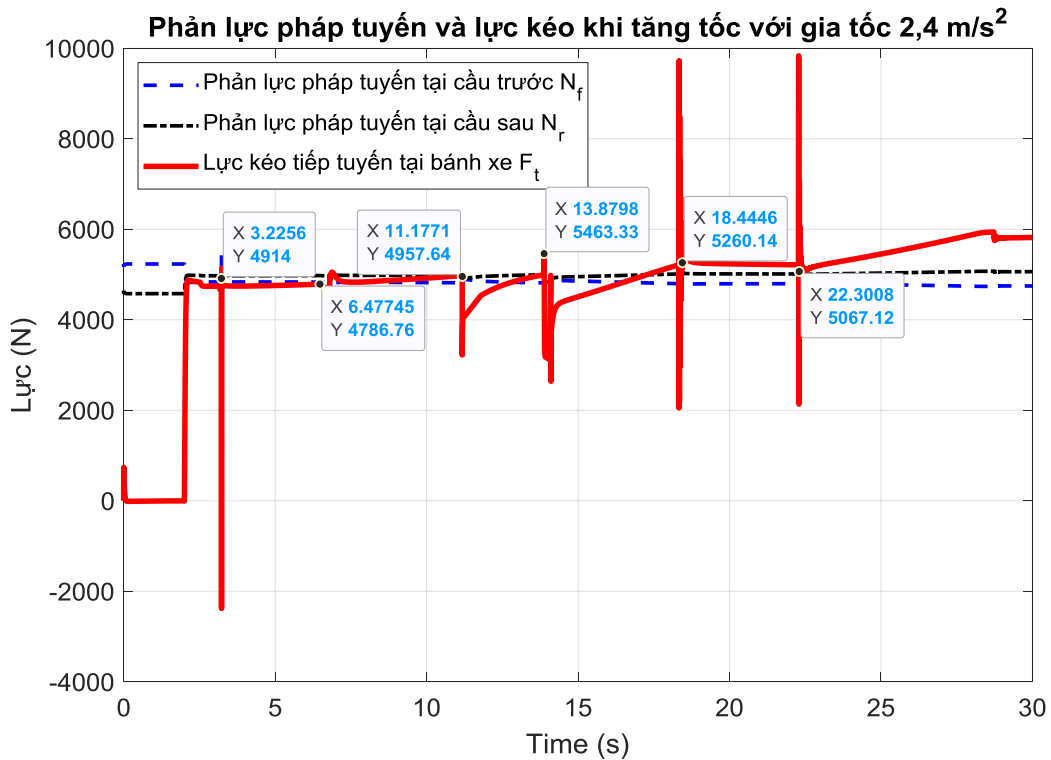
Hình 3.19 - Kết quả tính toán tỉ số truyền của hệ thống truyền lực i_t trong trường hợp 2

Trên hình 3.19 là kết quả tính toán tỉ số truyền của hệ thống truyền lực i_t trong trường hợp 2. Kết quả tính toán cho thấy ứng với 7 giai đoạn chuyển chế độ khác nhau thì tỉ số truyền i_t có sự thay đổi khác nhau; trong đó: có 2 giai đoạn tỉ số truyền giữ cố định là giai đoạn II và IV tương ứng với $t=3,2\text{s} - 6,4\text{s}$ và $t=11,2\text{s}-13,9\text{s}$; 5 giai đoạn tỷ số truyền thay đổi ứng với chế độ chia công suất đó là: chế độ bắt đầu chia công suất I ứng với $t=0-3,2\text{s}$; chia công suất đầu vào (III) $t=6,4 -11,2\text{s}$; và 03 giai đoạn chia công suất hỗn hợp V, VI, VII ứng với các thời điểm $t=13,9 -18,4\text{s}$, $t=18,4-22,3 \text{ s}$ và $t=22,3-30\text{s}$.



Hình 3.20 – Tốc độ các trục của M/G A, M/G B, trục ĐCĐT và tốc độ xe

Trên hình 3.20 minh họa kết quả mô phỏng tính toán vận tốc của trục các tổ hợp động cơ/máy phát A, B và tốc độ trục khuỷu động cơ. Phân tích kết quả từ đồ thị ta nhận thấy, tốc độ các trục có sự thay đổi tương ứng với thời điểm chuyển tiếp giữa các chế độ làm việc tương ứng với 07 giai đoạn khác nhau. Trong đó giai đoạn II (ứng với tỉ số truyền cố định số 1) do ly hợp 1 và 4 đồng thời đóng làm cho tốc độ của các trục của động cơ đột trong và tốc độ các trục của các tổ hợp M/G A và M/G B bằng nhau; trong các giai đoạn chia công suất hỗn hợp V, VI, VIII các tổ hợp M/G A, M/G B và động cơ đột trong được điều khiển phối hợp đảm bảo cho tốc độ M/G B không vượt quá tốc độ cực đại (10000 v/p) tốc độ trục khuỷu không quá 6000 v/p .



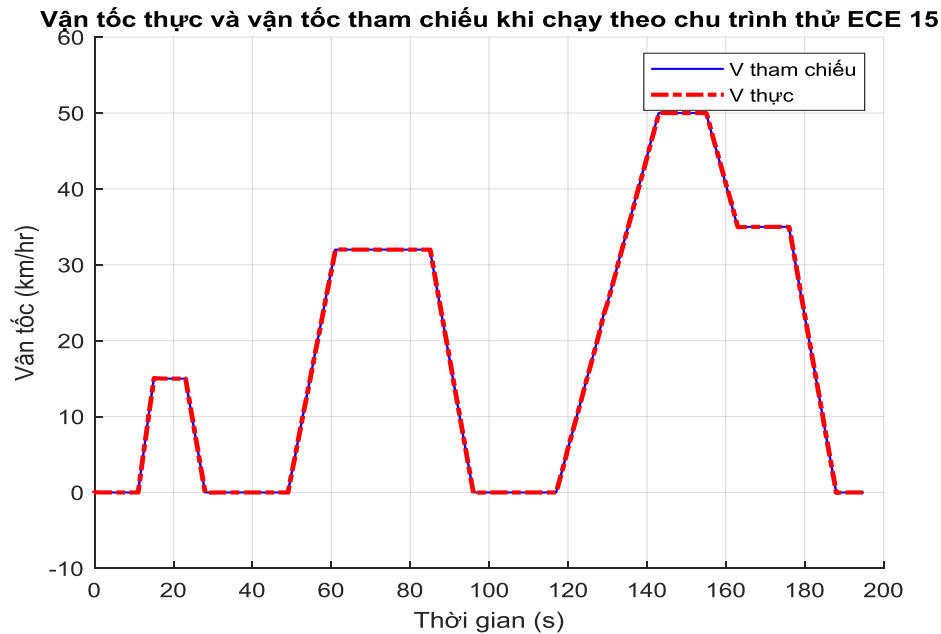
Hình 3.21 – Phản lực pháp tuyến và phản lực tiếp tuyến tại bánh xe

Trên hình 3.21 mô phỏng sự thay đổi của các giá trị phản lực pháp tuyến từ mặt đường tác dụng lên bánh cầu trước N_f , phản lực pháp tuyến tại bánh xe cầu sau N_r và giá trị lực kéo tiếp tuyến tại bánh xe chủ động F_t . Phân tích đồ thị cho thấy, giá trị lực kéo tiếp tuyến cũng có sự thay đổi đúng vào các thời điểm chuyển chế độ làm việc nêu trên, giá trị lớn nhất đạt được F_{tmax} khoảng 6075 N ở chế độ chia công suất hỗn hợp giai đoạn VII ($t=28,1s$).

3.3.3. Kết quả mô phỏng trong trường hợp 3

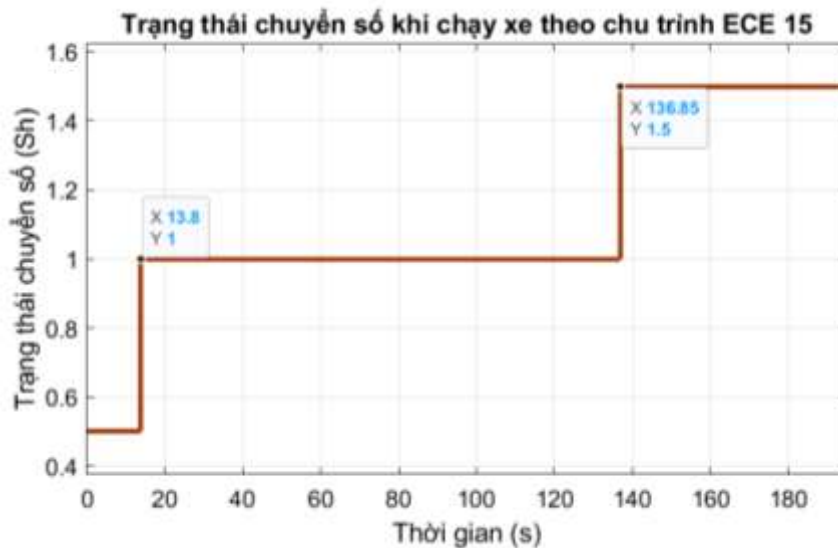
Trong hai trường hợp trước đã mô phỏng hoạt động của hệ thống khi tăng tốc xe liên tục với các giá trị gia tốc khác nhau. Để kiểm tra đáp ứng của mô hình với điều kiện tổng quát hơn đề tài đã tiến hành mô phỏng hoạt động của mô hình trong điều kiện có cả giai đoạn tăng tốc, giảm tốc và giữ ổn định tốc độ. Điều kiện vận tốc đầu vào được chọn tham chiếu theo chu trình thử đô thị loại 1 (ECE 15), trong đó có 03 giai đoạn tăng tốc, giữ

nguyên tốc độ và giảm tốc, vận tốc lớn nhất của chu trình là 50 km/h, tổng thời gian chu trình 195s (hình 3.11).



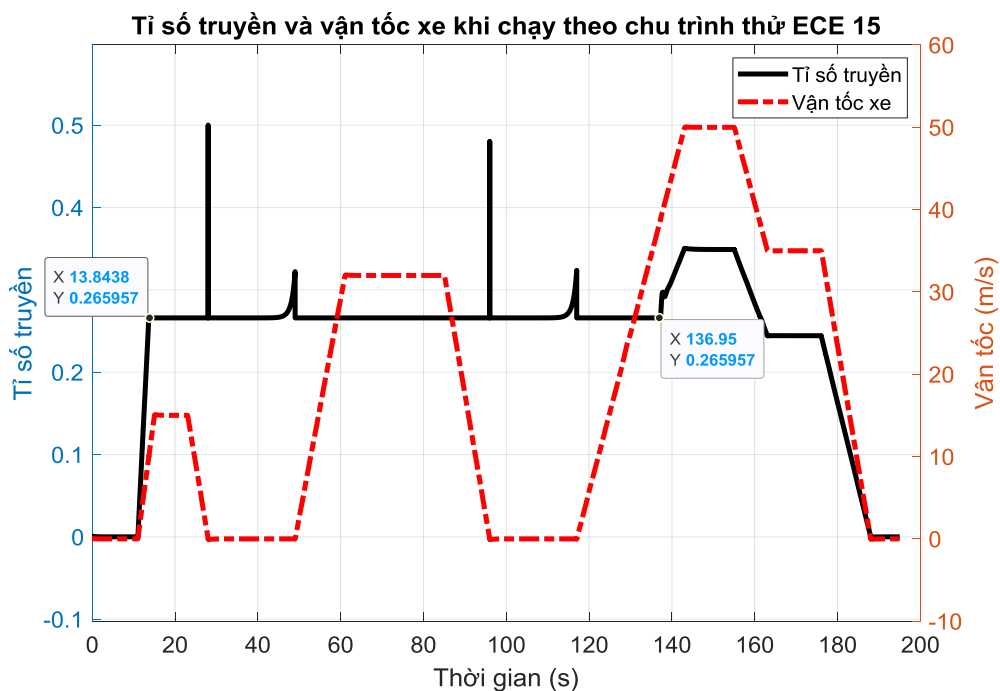
Hình 3.22 – Vận tốc thực và vận tốc tham chiếu khi xe hoạt động theo chu trình thử đô thị loại 1 (ECE 15)

Kết quả tính toán mô phỏng vận tốc của xe khi tham chiếu theo chu trình thử ECE 15 trên hình 3.22 cho thấy trong trường hợp này mô hình đáp ứng hoàn toàn với yêu cầu tốc độ đặt ra, trong suốt chu trình thử vận tốc thực của xe trùng khít hoàn toàn với vận tốc tham chiếu.



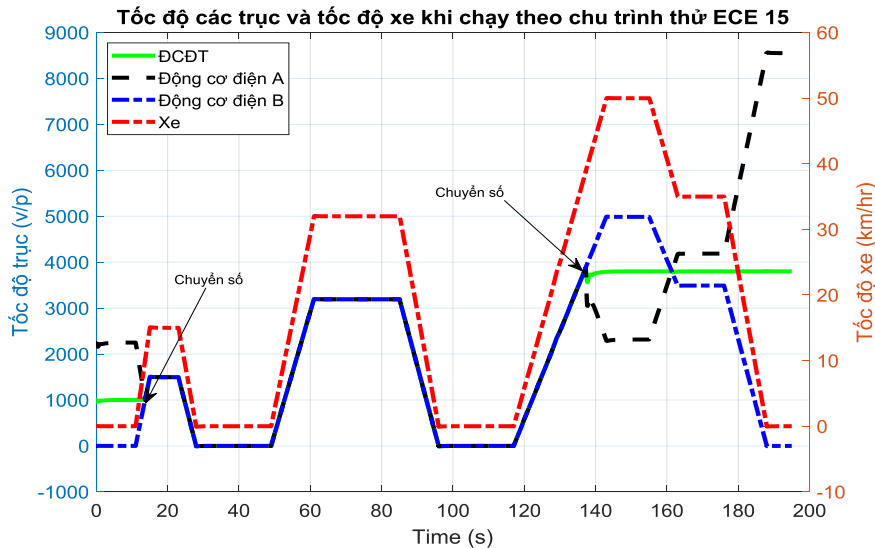
Hình 3.23 – Trạng thái chuyển số

Trên hình 3.23 là đồ thị kết quả mô phỏng trạng thái chuyển số. Kết quả mô phỏng cho thấy, trong trường hợp chạy xe theo chu trình thử ECE 15 hệ thống chỉ cần thực hiện 3 giai đoạn chuyển chế độ làm việc khác nhau: 1) Chế độ bắt đầu làm việc ứng với khoảng thời gian $t=0-13,8$ s; 2) Chế độ tỉ số truyền cố định số 1 ứng với $t=13,8-136,8$ và 3) Chế độ chia công suất đầu vào ứng với $t= 136,8-195$ s.



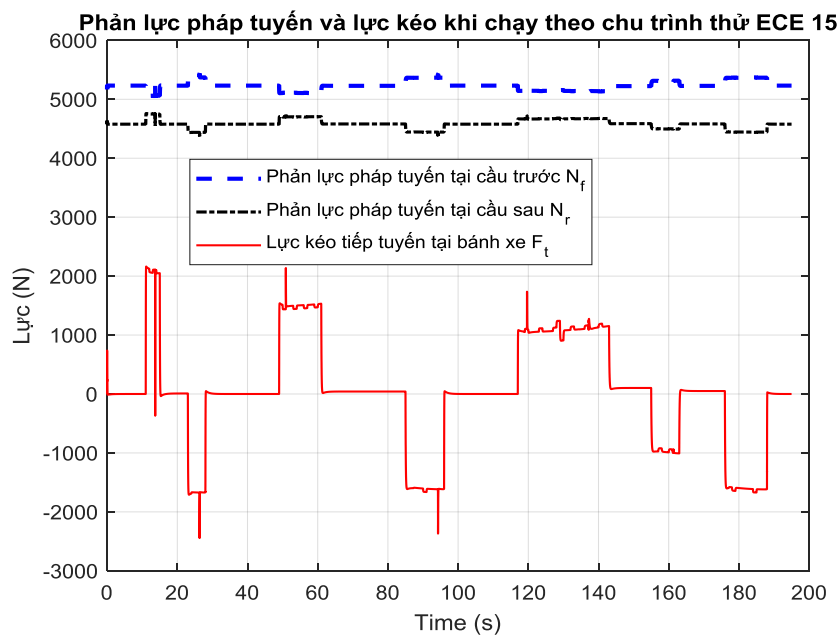
Hình 3.24 – Sự thay đổi tỉ số truyền khi xe chạy theo chu trình ECE 15

Trên hình 3.24 minh họa kết quả tính toán tỉ số truyền của hệ thống truyền lực khi chạy xe theo chu trình thử ECE 15. Phân tích đồ thị và so sánh thời điểm chuyển chế độ làm việc trên hình 3.21 cho thấy: trong giai đoạn 1 khi bắt đầu chia công suất và giai đoạn 3 khi chia công suất đầu vào, tỉ số truyền i_t có sự thay đổi tương ứng với sự thay đổi của vận tốc; trong khi đó, tỉ số truyền trong giai đoạn 2 về cơ bản giữ giá trị cố định bằng khoảng 0,26; trong giai đoạn 2 ngoài giá trị cố định, còn có 4 điểm giá trị tỉ số truyền có bước nhảy ứng với các thời điểm vận tốc xe bằng 0.



Hình 3.25 – Tốc độ các trục của M/G A, M/G B và động cơ đốt trong

Hình 3.25 trình bày đồ thị biến thiên của tốc độ quay các trục của động cơ đốt trong và hai tổ hợp động cơ / máy phát A và B. Phân tích đồ thị cho thấy, trong giai đoạn làm việc ở tỉ số truyền cố định giai đoạn 2 nằm giữa hai thời điểm chuyển số ứng với $t = 13,8 - 136,9s$ tốc độ các trục này bằng nhau do trong giai đoạn này 2 ly hợp 1 và 4 đồng thời khóa; còn trong giai đoạn 3 thực hiện phân chia công suất đầu vào ứng với $t = 136,9 - 195s$, ly hợp số 3 đóng và tốc độ của các trục có sự khác biệt.



Hình 3.26 – Phản lực pháp tuyến và phản lực tiếp tuyến khi chạy xe theo chu trình ECE 15

Trên hình 3.26 trình bày sự thay đổi của các giá trị phản lực pháp tuyến từ mặt đường tác dụng lên bánh cầu trước N_f , phản lực pháp tuyến tại bánh xe cầu sau N_r và giá trị lực kéo tiếp tuyến tại bánh xe chủ động F_t . Phân tích kết quả thu được trên đồ thị cho thấy giá trị lực kéo tiếp tuyến trong trường hợp này có sự thay đổi ngoài phụ thuộc vào các thời điểm chuyển chế độ làm việc còn phụ thuộc vào sự giảm tốc của xe; ở giai đoạn giảm tốc lực F_t có giá trị âm, điều này là do xe phải thực hiện phanh để đảm bảo vận tốc duy trì theo giá trị tham chiếu đặt ra.

3.4. Kết luận chương 3

Trong chương 3 đã xây dựng được mô hình mô phỏng hoạt động của hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ bằng phần mềm Matlab-Simulink. Đã tiến hành mô phỏng hoạt động của mô hình theo 03 điều kiện làm việc khác nhau. Các kết quả mô phỏng, tính toán cho thấy:

i) - Mô hình đã xây dựng đáp ứng tốt yêu cầu chuyển động đặt ra trong cả 03 trường hợp;

ii)- Việc tính toán, mô phỏng xác định các thông số động học động lực học trên mô hình phản ánh đúng quy luật cơ học, hiện tượng vật lý và hoạt động của hệ thống động lực trên xe thực; Mô hình cho thấy rõ sự chuyển giữa hai chế độ chia công suất đầu vào và chia công suất hỗn hợp trên xe;

iii) - Mô hình có thể thay đổi linh hoạt các thông số đầu vào ứng với các điều kiện làm việc, kết cấu hệ thống động lực khác nhau của xe nên cho phép sử dụng khi nghiên cứu tối ưu thông số kết cấu của hệ thống động lực đến tính năng động học và động lực học của xe.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Luận văn cao học với đề tài “Nghiên cứu mô phỏng hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ” đã đạt được một số kết quả sau đây:

- Nghiên cứu tổng quan về ô tô hybrid nói chung và ô tô hybrid với hệ thống động lực kiểu hai chế độ;

- Nghiên cứu cơ sở lý thuyết và xây dựng mô hình toán học mô tả các chế độ làm việc của các hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ điển hình

- Xây dựng được mô hình mô phỏng hệ thống động lực ô tô hybrid kiểu hai chế độ bằng công cụ Simulink – Matlab 2020;

- Thực hiện khảo sát, nghiên cứu trên mô hình mô phỏng đã xây dựng ảnh hưởng của 03 trường hợp chuyển động khác nhau đến thông số động học và động lực học của ô tô, bao gồm: vận tốc thực của xe, tốc độ của động cơ đốt trong và các máy điện; các phản lực pháp tuyến và phản lực tiếp tuyến từ mặt đường tác dụng lên ô tô... và một số thông số khác như sự thay đổi tỉ số truyền, trạng thái làm việc

Từ kết quả mô phỏng, tính toán trong đề tài có thể rút ra một số kết luận sau:

- Mô hình đã xây dựng đáp ứng tốt yêu cầu chuyển động đặt ra trong cả 03 trường hợp;

- Việc tính toán, mô phỏng xác định các thông số động học động lực học trên mô hình phản ánh đúng quy luật cơ học, hiện tượng vật lý và hoạt động của hệ thống động lực trên xe thực; Mô hình cho thấy rõ sự chuyển giữa hai chế độ chia công suất đầu vào và chia công suất hỗn hợp trên xe;

- Mô hình có thể thay đổi linh hoạt các thông số đầu vào ứng với các điều kiện làm việc, kết cấu hệ thống động lực khác nhau của xe nên cho phép sử dụng khi nghiên cứu tối ưu thông số kết cấu của hệ thống động lực đến tính năng động học và động lực học của xe.

Đề tài có thể hoàn thiện theo các hướng sau:

- Xây dựng mô hình một cách chi tiết hơn để có thể nghiên cứu kỹ quá trình phóng, nạp quản lý nhiệt của ác quy;
- Phát triển mô hình mô phỏng hệ thống động lực hybrid đa chế độ và nghiên cứu mô phỏng trong các điều kiện chuyển động phức tạp hơn của ô tô
- Nghiên cứu thực nghiệm để kiểm chứng các kết quả mô phỏng, tính toán trong đề tài.

TAI LIỆU THAM KHẢO

I. TÀI LIỆU TIẾNG VIỆT

- [1]. TS. Trần Văn Nghĩa, Tin học ứng dụng trong thiết kế cơ khí, Nhà xuất bản Giáo dục, 2005
- [2]. Nguyễn Khắc Tuân, Đỗ Thị Tám, Đậu Xuân Hà (2017), “Cân bằng công suất trên ô tô hybrid sử dụng sơ đồ song song”, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, (số 3), 301-305.
- [3]. Trần Tuấn Anh (2016), Nghiên cứu phối hợp nguồn động lực cho xe hybrid bằng phần mềm AVL - Cruise, Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật, Đại học Bách khoa Hà Nội
- [4]. Bùi Văn Ga, Nguyễn Quân, “Thiết kế bố trí hệ thống động lực trên ô tô hybrid 2 chỗ ngồi”, Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng
- [5]. Bùi Văn Ga, Nguyễn Quân, Nguyễn Hương (2009), “Thiết kế xe gắn máy hybrid”, Tạp Chí Khoa Học Và Công Nghệ, Đại Học Đà Nẵng - Số 4 (33).
- [6]. Nguyễn Trí Thành, (2014), Nghiên cứu thiết kế, chế tạo, thử nghiệm bộ phân phối công suất trang bị trên mô hình xe hybrid kiểu hỗn hợp, Luận văn cao học, Trường Đại học Nha Trang.

II. TÀI LIỆU TIẾNG NƯỚC NGOÀI

- [7]. Jeffrey Daniel Wishart, Modelling, Simulation, Testing, and Optimization of Advanced Hybrid Vehicle Powertrains, A Thesis of Doctor of Philosophy , University of Victoria, 2008
- [8]. Yuliang Leon Zhou, Modeling and Simulation of Hybrid Electric Vehicles, Thesis of Mater of Applied Science, University of Victoria, 2007
- [9]. Jeffrey D. Wishart, Review, modelling and simulation of two-mode hybrid vehicle architecture, AMSE Engineering Conference, September 4-7, 2007, Las Vegas, Nevada, USA
- [10] Robert L. Woods, Kent L. Lawrence; Modeling and Simulasion of Dynamic System; Prentice - Hall International, Inc 1998
- [11] Yinye Yang, Kamran Arshad-Ali, Joel Roeleveld and Ali Emadi, State-of-the-art electrified powertrains –hybrid, plug-in, and electric vehicles . Int. J. Powertrains, Vol. 5, No. 1, 2016

- [12] Robert H. Bishop; *Modern Control Systems Analysis and Design Using Matlab and Simulink*; Addison-Wesley, 1999
- [13] T. M. Grewe, B. M. Conlon, and A. G. Holmes, “Defining the general motors 2-mode hybrid transmission,” presented at the Conf. Soc. Automotive Eng., Detroit, MI, 2007, Paper 2007-01-0273
- [14]. Antoni Szumanowski (2013), “Hybrid Electric Power Train Engineering and Technology: Modeling, Control, and Simulation”, Engineering Science Reference.
- [15]. Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Sebastien E.Gay, Ali Emadi (2005), “Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: Fundamentals, theory, and design”, CRC Press LLC.
- [16]. Hilda Bridges (2015), “Hybrid Vehicles and Hybrid Electric Vehicles: New Developments, Energy Management and Emerging Technologies”, Nova Science Publishers, Inc.
- [17]. Thomas J. Böhme, Benjamin Frank (2017), “Hybrid Systems, Optimal Control and Hybrid Vehicles: Theory, Methods and Applications”, Springer.
- [18]. Weiliu (2013), “Introduction to Hybrid Vehicle System Modeling and Control” -John Wiley & Sons, Inc. Publication.
- [19]. Husain I. (2005) *Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals* Taylor & Francis e-Library, 288 p. - ISBN:0-8493-1466-6.
- [20]. Hodkinson R., Fenton J. (2001) *Lightweight Electric/Hybrid Vehicle Design Butterworth-Heinemann*, 280 p. — ISBN:0-7506-5092-3.
- [21]. Wei Liu. (2013) *Introduction to hybrid vehicle system modeling & control*, John Wiley & Sons Press, ISBN 978-1-118-30840-0
- [22]. Nguyen Khac Tuan, Selifonov V. V., *Influence of structural parameters on dynamic loads in manual transmission system of a hybrid electric vehicle*. Science journal MSTU “MAMI”, Russia, No 2, pp. 76 - 78. 2010.
- [23]. Nguyen Khac Tuan et al, World trends in the development of vehicles with alternative energy sources, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol 13, April 2018, pp. 2535-2542.

[24]. Nguyen Khac Tuan, Modeling and Simulation of Series Parallel Hev Using Matlab/Simulink, International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 9(11), 2018, pp. 1590–1599.

[25]. Бахмутов С.В., Карунин А.Л., Селефонов, В.В., Карпухин К.Е. и др.(2007)

Конструктивные схемы автомобилей с гибридными силовыми установками.

М. МГТУ «МАМИ».