



الجمهورية العربية السورية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم هندسة السيارات والآليات الثقيلة

تحديد المؤشرات الديناميكية والاقتصادية في السيارة الكهربائية العاملة

على خلايا الوقود - المدخرات

**" Determining the Dynamic and Economic Parameters of
Electric Powered Vehicles by Fuel Cells- Batteries "**

أطروحة مقدمة لنيل درجة الدكتوراه في الهندسة الميكانيكية

(اختصاص هندسة الآليات والمحركات)

إعداد الطالب المهندس

ربيع عدنان علو

المشرف المشارك

الأستاذ الدكتور عباس صندوق

المشرف

الأستاذ الدكتور مسلم طعمة

العام الدراسي : 2022 - 2023

خلفية البحث :

تم بحث الجوانب النظرية بشقيها المرجعي من خلال الدراسات المرجعية والحاسوبية من خلال النمذجة والمحاكاة التي تمت إضافة إلى الجانب العملي من خلال تصميم نموذج مركبة كهربائية مخبرية لتتم التجارب العملية عليه .

هدف البحث :

تصميم وتنفيذ نموذج حقيقي مخبري لمركبة كهربائية، واختبار أدائها على منصة اختبار أداء السيارات (الدينامومتر) من أجل تحديد المؤشرات الديناميكية والاقتصادية المعبرة عنها، مع إجراء محاكاة حاسوبية لنموذج حقيقي لمركبة كهربائية تستخدم مرة منبع قدرة هو عبارة عن المدخرات ومرة أخرى يكون منبع القدرة هو خلايا الوقود .

أهمية البحث :

تكمن أهمية البحث في إيجاد الطرائق المناسبة لربط الأجزاء الميكانيكية في السيارة الكهربائية مع الأجزاء المولدة للطاقة الكهربائية والناقلة للحركة (المحرك) ، مع تبيان مردود هذا الاستخدام والتغيرات الحاصلة في بنية السيارة والآليات العاملة وغيرها بما يؤمن الاستخدام الأمثل لأجزاء السيارة الكهربائية .

منهج البحث وأدواته :

إن منهج البحث نظري وتحليلي وتطبيقي وقد تم استخدام العلاقات الرياضية المعبرة عن ديناميك المركبة الكهربائية المصممة لوضع النموذج الرياضي لها والانتقال من هذا النموذج إلى النموذج الحاسوبي في بيئة برنامج ماتلاب (2017،2021) ثم الانتقال إلى مرحلة البحث التجريبي مع القيام بالتجارب العملية على النموذج المخبري المصمم باستخدام جهاز الدينامومتر.

النتائج العملية :

كانت النتائج مرضية وواقعية وأعطت الفرق بين قيم المحددات الديناميكية للمركبة الكهربائية المصممة في الحالة النظرية الحسابية والحالة المخبرية العملية ، مع تحديد المؤشرات الاقتصادية المثلى خلال التصميم العملي .

الاستنتاجات والمقترحات من وجهة نظر الباحث :

يمكن العمل على جعل التصميم العملي للنموذج المخبري للمركبة الكهربائية نموذج قابل للتطبيق وبمزايا جيدة ، مع إمكانية إدخال تعديلات على التصميم النهائي تزيد من الكفاءة في أثناء العمل للوصول إلى سيارة كهربائية كاملة مزودة بمصدر تغذية مستقل .

فصول الدراسة

شملت الفصول الآتية :

الفصل الأول : في هذا الفصل تم استعراض عدداً من الدراسات المرجعية ذات الصلة بموضوع البحث ، مع استعراض مقتضب لنتائج هذه الدراسات ، ومدى الترابط والاستفادة من النتائج التي توصل لها الباحثون في الدراسات المرجعية ، مع خطة البحث التي ستم هذه الدراسة وفقها .

الفصل الثاني : في هذا الفصل تم عرض الدراسة النظرية لبحثنا بالكامل من خلال وضع مخطط التصميم للسيارة الكهربائية المراد تصميمها مع الأجزاء المكونة لها كلها ونظام قيادتها ، ليصار بعدها في أثناء الفصل إلى استعراض كل جزء على حدة وتبيان وظائفه وخصائصه التشغيلية، ومدى حاجته في تصميم السيارة الكهربائية كاملة .

الفصل الثالث : في هذا الفصل في تناول نظام القيادة الكهربائية وكيفية التحكم به وفقاً للمحرك الكهربائي المستخدم باقتضاب مع تبيان طرائق التحكم وتنظيم السرعة في المحركات الكهربائية من أجل قيادتها ، ليتم بعدها استعراض خصائص ومنحنيات الأداء للمحركات الكهربائية لأنها الجزء الأساسي في النظام الكهربائي للسيارة الكهربائية ولأنها، العنصر الذي يتم التحكم به خلال المسير لتأمين متطلبات الحركة للسيارة الكهربائية ، ليصار بعدها إلى وضع النموذج الحاسوبي

العام الذي يضم عدداً من الدارات الفرعية التي تعبر عن دارات القيادة لكل الأجزاء الكهربائية التي تتحكم بالمحرك وتنظم عمله، يتم بعدها محاكاة عمل المحرك الكهربائي المقترح استخدامه في التصميم العملي على حمولات عدة وحالات عمل تم تبيانها خلال الفصل المذكور .

الفصل الرابع : في هذا الفصل تم وضع النموذج الرياضي العام الذي يوصف ديناميكية السيارة الكهربائية المقترح تصميمها ضمن خوارزمية علاقات ، يتم بعدها وضع النموذج الحاسوبي العام لهذه العلاقات الرياضية ضمن بيئة ماتلاب ومحاكاة عمل السيارة الكهربائية المقترح تصميمها وفقاً للمحددات الديناميكية المعبرة عن أداء السيارة الكهربائية بالنظر إلى مدخل هذا النموذج هو زاوية ميل الطريق ، وتم مناقشة عدة حالات عمل للسيارة وفق هذا النموذج لنخلص إلى زاوية الميل القصوى التي تستطيع السيارة التغلب عليها ، كما يبين الفصل المذكور .

الفصل الخامس : في هذا الفصل تم استعراض بعض أسعار السيارات الكهربائية الحديثة من الشركات الصانعة المختلفة، يتم بعدها تبيان الكلف الاقتصادية للسيارة المخبرية المصممة من قبلنا وفق مراحل التصميم التي استمرت على مدى سنوات عدة ، ووفقاً لتغير الأسعار في هذه المراحل ، كما يبين متن الفصل.

الفصل السادس : في هذا الفصل تم إجراء التجارب العملية على المركبة الكهربائية المصممة ، استعرضنا الأجهزة والمعدات التي استخدمت في أثناء إجراء هذه التجارب مع ذكر القيم والنتائج كلها التي حصلنا عليها في أثناء ذلك، وتم مناقشة هذه النتائج التي حصلنا عليها ، كما هو موضح في متن الفصل .

الفصل السابع : وهو الفصل الأخير في هذه الرسالة جرى فيه ذكر المقترحات والتوصيات التي خرج بها البحث ، كما تم وضع الأعمال المميزة التي قمنا بها خلال سير أبحاث هذه الرسالة من مقالات علمية تم نشرها خلال البحث، واستعرضت أيضاً بنود براءة الاختراع التي تم الحصول عليها من خلال التعديل المقترح على تصميم السيارة الكهربائية، كما يبين الفصل المذكور .

وفي نهاية الرسالة هناك فهرس بالمراجع العلمية التي تم الاستعانة بها لإتمام هذا البحث وإغناء فصوله العملية كلها .

الفصل الأول

الدراسات المرجعية

الفصل الأول: الدراسات المرجعية

1 1 - مقدمه :

تمتاز السيارات الكهربائية بأنها هادئة ، ولا ينتج عنها أي انبعاثات غازية وأنها عالية الكفاءة، إن المصدر الرئيسي الوحيد للطاقة فيها هي الكهرباء وتنقل هذه الطاقة إلى العجلات ، أما في السيارات الهجينة هناك على الأقل مصدر ان مختلف لل طاقة اللازمة للقيادة ، الأقل محرك الاحتراق الداخلي والآخر يكون كهربائي . يحدد أداء السيارات الكهربائية عموماً من خلال الطاقة المخزنة التي يمكن من خلالها الحصول على خرج أعظمي ،حيث تكون هذه الطاقة إما على شكل مدخرات كهروكيميائية أو خلية وقود مرتبطة وموصولة مع خزان الهيدروجين .

وفقاً للتطبيقات الخاصة ،السيارات الكهربائية المزودة بمدخرات نستطيع أن نصنفها ضمن السيارات السياحية أو سيارات صناعية . السيارات الصناعية يمكن استخدامها للنقل في مقرات الشركات ،و عموماً لا يوصى باستخدامها على الطرق العامة ، كما هو الحال في السيارات السياحية ،إذ تبلغ أعلى سرعة لهذه الشاحنات 50 كم/سا،ونظراً لانخفاض كثافة الطاقة للمدخرات المستعملة فيها . [1]

1 2 -تاريخ وتطور السيارات الكهربائية EV وتطورها :

في الوقت الذي سار فيه تطور سيارة الاحتراق الداخلي التي تعمل بالبنزين أو الديزل على قدم وساق في القرن الماضي تراجع تطور السيارة الكهربائية،وقد غير ذلك اختراع الترانزيستور في الأربعينيات من القرن العشرين، فقد بدأت إحدى الشركات عام 1947 في إنتاج أول سيارة تعمل بالطاقة الكهربائية وباستخدام الترانزيستور واستطاعت إنتاج سيارة سميت **هيني كيلوات Henney Kilowatt**. ومع نجاح عمل تلك السيارة الكهربائية، فقد اتضح أن سعرها مرتفع بالمقارنة بسعر السيارات التقليدية، وانتهى إنتاجها عام 1961 لعدم الإقبال عليها.

في 3 يوليو/تموز 1971 استحوذت عربة تعمل بالكهرباء على اسم أول سيارة كهربائية يقودها الإنسان على سطح القمر .فقد كانت العربة القمرية Lunar rover من ضمن البعثة الفضائية إلى القمر مع أبولو 15،وقد أنتجت شركة **بوينغ** هذه السيارة ليستعملها رواد الفضاء على القمر،وكانت مزودة بأربعة محركات تعمل بالتيار المستمر ومتصل كل منها بعجلة من العجلات

الأربع للسيارة، وزوج من مدخرات فضة -زنك وهيدروكسيد البوتاسيوم، يبلغ جهد كل منها الكهربي 36 فولت

1-2-1- الاهتمام بالسيارة الكهربائية في التسعينيات



الشكل (1-1) سيارة كهربائية من إصدار شركة General Motors، يبلغ مداها 160 كيلومتر وتعمل ببطارية NiMH عام 1999.

بعد غياب عن السوق وحدث أزمة البترول العالمية عام 1973، بدأ الاهتمام مرة ثانية بالسيارة الكهربائية، ليس فقط من أجل خفض الاعتماد على البترول المستورد. بل أيضا من وجهة ضرورة المحافظة على البيئة، وأصدرت كاليفورنيا قوانين لإجبار شركات السيارات على إنتاج سيارات ملائمة للبيئة بحيث تشكل 10 % من مجموع السيارات في تلك الولاية حتى عام 2003 إلا أن السيارات الكهربائية المنتجة كانت مرتفعة السعر، فكان ثمنها ضعف أو ثلاثة أضعاف ثمن السيارات المعتادة ولم تنجح السيارة الكهربائية على استجلاب المشتري، وهذا ما عمل على نبذ صناع السيارات لصناعة السيارات الكهربائية، والالتفات فقط إلى تطوير محركات البنزين لتقليل العادم.

1-2-2- التطور بعد عام 2000

صنعت بعض السيارات الاختبارية بعد عام 2000 واستطاعت السير بسرعات تبلغ 210 كيلومتر/ساعة، وأخرى تستطيع السير مسافة 400 كيلومتر، ولكنها تجريبية، ولا يقبل الناس

على شراؤها كثيرا ، نظرا لارتفاع أسعارها وثقل مدخراتها . كما أن إعادة شحن مجمع تلك السيارة يستغرق 8 ساعات ، وهذا وقت طويل .

وقد بدأت بعض شركات السيارات العالمية في إنتاج سيارة كهربائية متطورة بعد عام 2005 وعرضها للبيع إلا أن مدخراتها لا زالت ثقيلة مرتفعة السعر . ت هتم كثير من الحكومات في الولايات المتحدة الأمريكية و اليابان وألمانيا بتشجيع شركاتها الوطنية للسيارات على تطوير مراكم للسيارة الكهربائية بقصد خفض أسعارها . تدعم الحكومات مصانع السيارات والمعاهد العلمية بمليارات الدولارات لتشجيعها على تكثيف الجهود في هذا السبيل .

- تدعم الولايات المتحدة الأمريكية شركات صناعة السيارات الأمريكية بنحو 2 مليار دولار لتحسين مراكم السيارات.
- تدعم حكومة ألمانيا شركات السيارات الألمانية بنحو 5 مليارات يورو لتحسين مراكم السيارات، وإنتاج سيارات أكثر ملائمة للبيئة وخفض كمية العادم الضارة وغرض برنامج التطوير الموضوع عام 2009 أن تتطور صناعة السيارات الكهربائية في ألمانيا وأن تنتشر تلك السيارات في ألمانيا بحجم مليون سيارة من هذا النوع حتى عام 2020.
- الصين لها مشروع كبير في هذا المضمار، فالصين وقد فانتها صناعة السيارات المعتادة لمدة تبلغ نحو قرن من الزمان بالمقارنة بالعالم الغربي واليابان، إلا أنها تعمل الآن على اختصار هذا الوقت والدخول مباشرة في مجال إنتاج السيارة الكهربائية وتطوير المدخرات الكهربائية التي يمكن إعادة شحنها، وقد توصلت بالفعل إلى ذلك في مجال مراكم المحمول التي تعمل بالليثيوم أيون، وتبذل الجهد أيضا في مجال ال مدخرات الكهربائية الجيدة والمنخفضة السعر.
- ينحصر التطور الحالي (2009) بالنسبة للسيارات الكهربائية على سيارات صغيرة قصيرة المدى، علاوة على ذلك نجد أن مدى تلك السيارات لا زال تحت 200 km/h ، ولكن العمل يسير بنشاط في عدد كبير من مصانع السيارات المرموقة وبتشجيع ودعم مالي من الحكومات في العالم لتطوير المدخرات التي تعمل على أساس مدخرة الليثيوم Li-Tec من تلك المدخرات ما نجح خلال الاختبار في إعادة شحنها 3000 دورة، أي إن المدخرة صالحة للعمل -من حيث المبدأ - لمسافة كلية مقدارها 300 كيلومتر والصعوبة الحالية هي صعوبة زيادة مدى السيارة فوق 200 km/h بشحنة واحدة للمدخرة ، وخفض زمن إعادة الشحن، إذ يستغرق شحن ال مدخرة حاليا نحو 8 ساعات، لا تتحرك خلالها السيارة .

- في عام 2010 بدأت السلطات في ألمانيا بتجهيز برنامج لاختبار السيارات الكهربائية، حيث بدأت مصالح حكومية عدة وبعض الشركات الكبيرة بلستيراد سيارات من هذا النوع ومن المشكلات العالقة مشكلة تأمين المستخدم للسيارة من الجهد الكهربائي العالي اللازم لتسيير السيارة، حيث تحتاج إلى جهد كهربائي يبلغ نحو 650 فولط ، كذلك لا بد من اختبار المدخرة الثقيلة التي تبلغ نحو 120 كيلوغرام للسيارة الصغيرة في حالة حوادث الاصطدام، وأن لا تكون سببا لاشتعال السيارة.
- من جهة أخرى، فإن إعادة شحن مدخرة السيارة بالكهرباء المولدة بالفحم والبترو ل توفر على البيئة تراكم ثاني أكسيد الكربون في الجو، وذلك بأن إنتاج 20 كيلو واط ساعي من الكهرباء في محطة توليد كهرباء تنتج 120 غراماً من ثاني أكسيد الكربون لكل كيلومتر تسييره السيارة ، لذلك فمن مصلحة البيئة أن يكون إنتاج الكهرباء بطريقة خالية من تولد ثاني أكسيد الكربون، أي بالطاقة المستدامة وبالطاقة النووية.
- الصين بدأت من عام 2010 في إنتاج سيارة كهربائية للاستعمال الشخصي بالاشتراك مع إحدى شركات السيارات الأمريكية وعرضها في السوق الأمريكي ،وتعمل الصين على الأخذ باللقانة المتطورة وتطويعها للاستخدام داخل البلاد ،وتتميز الصين بانخفاض أجور اليد العاملة، وقدرتها على المنافسة في السوق العالمي الكبيرة ،يضاف إلى ذلك السوق الداخلي الكبير، فالصينيون يحتاجون إلى مئات الملايين من السيارات، ومئات الملايين من الصينيين تطمع في الحصول على سيارة ، إذ يرتفع المستوى المعيشي في الصين ارتفاعا سنويا كبيرا ،وأصبح شراء سيارة في متناول نسبة كبيرة من الشعب. وتحاول الصين أن تكون رائدة في مجال السيارة الكهربائية لبيعها في الداخل أيضا من أجل خفض استهلاك منتجات النفط، وتخفيض اعتمادها على استيراد النفط من الخارج، وكذلك تخفيض وطأة التطور الصناعي السريع على ما يسببه من كميات ضخمة من النفايات تطرد إلى الجو، وتؤثر على البيئة تأثيرا ضارا .

1-2-3- تطور السيارة الكهربائية بعد عام 2010 :

- بدأت اليابان منذ السنوات العشر الأخيرة بالاهتمام بإنتاج السيارات الهجينة ، وهي سيارات تستخدم مدخرات إلى مسافة نحو 200 كيلومتر، ويمكن العمل بالبنزين أيضا إضافة للسير على المدخرات .
- اتخذت معظم شركات السيارات الأوروبية طريق تطوير خلايا الوقود التي تعمل بغاز الهيدروجين، ويجمع السبب في ذلك إلى أن مدخرات الليثيوم أيون و المجمع عموما تحتاج لمدة 8 ساعات لإعادة شحن المدخرة ، إضافة إلى الثمن العالي لتلك المدخرات وارتفاع وزنها،وقد بينت الاختبارات الأولية على سيارات كهربائية أوروبية تسير بخلايا الوقود أن شحن العربة بالهيدروجين لا يستغرق إلا 3 دقائق تكفي لشحن 4 كيلوجرام من الهيدروجين في السيارة تمكنها من السير مسافة 400 كيلومتر،لذلك سيتأخر تقديم السيارات الأوروبية في الأسواق بعض الوقت من أجل تطوير خلية الوقود من جهة ، وإنشاء شبكة البنية التحتية لتعميم توزيع وقود الهيدروجين ، ومع ذلك فلم تترك الشركات الأوروبية والأمريكية مضمار مدخرات الليثيوم أيون تماما وإنما يشترك كثير منهم مع الصين ودول شرق آسيا في تطويرها لكي لا يفوتها التطور في هذا المضمار . يختلف الجيل التالي من المركبات البديلة التي تم طرحها في الأسواق بدءا من العام 2010 ستختلف عن نموذج السيارات المهجنة التي تعمل بالبنزين والكهرباء السابقة، لأنها مجهزة بنوع جديد من مدخرات الليثيوم التي من شأنها أن توفر أساسا للسيارات العاملة بالمدخرات بصورة كاملة، بما في ذلك نموذج جديد من سيارة تويوتا القادرة على قطع 19 إلى 27 كم من دون بنزين. حققت بعض نماذج «الجيل الثالث» حقوق نجاحا تكنولوجيا أبعد من ذلك، بما في ذلك نموذج شيفروليه فولت، التي ستكون كهربائية بالكامل عند عرضها في عام 2010، حيث ستقطع حتى 385 كم في المدن. كذلك نموذج ليف نيسان، الذي من المقرر أن يصل إلى صالات العرض في 2010 أو 2011، الذي سيقطع حتى 588 كم بالاعتماد كليا على الكهرباء ،في حين أن طراز سيارة تسلا الكهربائية الكاملة 2.0 (روسترز) التي تبلغ سرعتها أكثر من 400 كم/سا وتسارعها 1،9 ثانية لسرعة 100 كم وهي ذات دفع رباعي يمكن لها أن تقطع مسافة 1000 كم على الطرق السريعة. [2]

1 3 -دراسة مرجعية حول السيارات الكهربائية EV :

تنوعت الشركات الصانعة للسيارات الكهربائية تنوعاً كبيراً ، ودخلت حيز التنافس فيما بينها من خلال الأنواع والمزايا الكثيرة التي تحاول إدخالها في تصنيع السيارات الكهربائية لتحقيق كل شركة أكبر قدر ممكن من الانتشار حول العالم ، وفيما يأتي الجدول (1-1) الذي يبين لنا أنواع عدة من السيارات الكهربائية مع المواصفات الفنية لكل طراز منها ، مع أهم المزايا والمؤشرات التصميمية التي امتاز بها كل نوع من هذه الأنواع . [3]

الجدول (1-1) أنواع عدة من السيارات الكهربائية مع المواصفات الفنية والمميزات لكل نوع

طراز السيارة	المواصفات الفنية	المميزات
AUDI Metro project Quattro	محرك توربو 4 بستونات + محرك كهربائي 30 KW + مدخرات ليثيوم-أيون	تقطع مسافة 100 كم اعتماداً على المدخرات. تتسارع من 0 وحتى 100 كم/ساعة خلال 7.8 ثانية
CHRYSLER eco voyager FCV	استطاعة الجر الكهربائي 200 kw. تغذية بالهيدروجين لخلايا وقود من نوع PEMFC	تقطع مسافة 200 كم اعتماداً على خلايا الوقود. تتسارع من 0 وحتى 60 كم/ساعة خلال 5 ثانية.
CITROEN c-cactus Hybrid	محرك ديزل 52 kw ومحرك كهربائي 22 kw	استهلاك الوقود 20 لتر لكل 100 كم. السرعة العظمى 150 كم/ساعة.
HONDA FOX EV	استطاعة الجر الكهربائي 50 kw ، وتستخدم المكثفات الفائقة وخلايا الوقود.	المسافة التي تقطعها لشحن كامل تساوي 100 كم
KIA FCV	خلايا وقود باستطاعة 100 kw تغذي محرك كهربائي مركب في الدولاب باستطاعة 100 kw.	مصممة لتقطع 100 كم لشحن كامل.
MITSUBISHI pure EV	محرك كهربائي 30 kw مع مدخرات ليثيوم - أيون	مجموعة مدخرات ليثيوم بوزن 150 كغ تؤمن انتقال السيارة لمسافة 150 كم.
SUBARU G4E	سيارة كهربائية 5 ركاب مزودة بمدخرات ليثيوم - أيون ومحرك كهربائي	مصممة لتقطع 200 كم لشحن كامل. يمكن شحن المدخرة في المنزل خلال 5 ساعات.

فيما يأتي الجدول (1-2) الذي يبين أمثلة على بعض السيارات الكهربائية المتوفرة تجارياً في الأسواق ، ومقارنة مع بعض المؤشرات التصميمية فيما بينها: [1]

الجدول (1-2) مقارنة بين بعض المؤشرات التصميمية للسيارات الكهربائية المتوفرة تجارياً

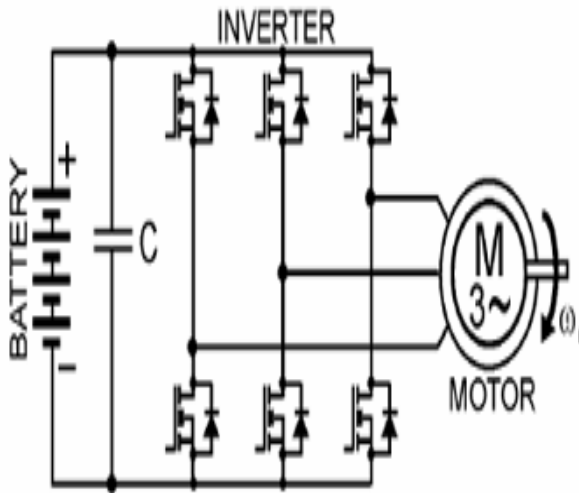
نوع المركبة	نوع المدخرات	استطاعة أو قدرة المحرك الكهربائي (kw)	زمن التسارع من 0 - 50 كم/سا (ثانية)	السرعة العظمى (km/h)	المسافة المقطوعة كل دورة شحن (km)	استهلاك الطاقة خلال مسافة معينة بالسرعة المثالية (kwh/100km)
سيارة سياحية	نيكل-كاديوم	21	9	90	80	18
سيارة سياحية	نيكل-ميتل هيدريد	49	7	130	200	26
سيارة سياحية	ليثيوم -أيون	62	6	120	200	23
سيارة فان	حمض رصاصية	80	7	120	90	35

مثلاً سيارة تسلا الكهربائية من طراز 2.0 رباعية الدفع التي تعد من أحدث السيارات الكهربائية وأكثرها تقنية في التصميم والتصنيع ، يبلغ تسارعها من 5 إلى 100 كم حوالي 9،1 ثانية ، وإذا قارنا هذا التسارع مع سيارات أخرى تقليدية رياضية ذات جودة تصميمية وتقنية عالية مثل بورش 918 فسنجد أنها تحتاج إلى 2،2 ثانية وكذلك البوغاتي شيرون ستحتاج للزمن نفسه، أما بالنسبة إلى العزم الناتج في السيارات الكهربائية فهو مختلف من طراز إلى آخر ، كما أنه يتبع لنوع المحرك المستخدم في الجر إذ يجب أن يلبي احتياجات السيارة وفقاً للأحمال التي من الممكن أن تتعرض لها خلال المسير ووفقاً لهذه الأحمال يجري اختيار المحرك الملائم .[3]

أما الآن فسوف نورد بعضاً من الدراسات المرجعية ذات الصلة بموضوع بحثنا :

دراسة مرجعية أولى [4] وفيها قام الباحث Guzinski من جامعة كدانسك للتكنولوجيا بالآتي:

1. استخدام المحرك التحريضي ثلاثي الطور بدلاً من محرك التيار المستمر التسلسلي في السيارة الكهربائية .
2. استخدام معرج توتر تغذية يقوم بتحويل التوتر المستمر الذي تعطيه المدخرات في السيارة إلى توتر متناوب.
3. السيارة مزودة بمحرك تيار مستمر تسلسلي باستطاعة 1.6 كيلوات يتغذى من مجموعة مدخرات حاضمية استطاعتها 180 أمبير ساعي ومجموعة ليصبح توترها 36 فولت.
4. قام الباحث باستخدام محرك تحريضي ثلاثي الطور باستطاعة 3 كيلوات وتوتر بين الأطوار 24 فولت وسرعة دوران 2835 دورة في الدقيقة .
5. حُدِّت استطاعة المحرك التحريضي لتحقيق العزم الديناميكي اللازم للمحرك عندما تتحرك السيارة بسرعة 25 كيلومتر في الساعة.
6. يبين الشكل (1-2) الدارة الكهربائية للمعرج المستخدم الذي جرى وضع النموذج الملائم له في بيئة ماتلاب و السيارة التجريبية المصممة .



الشكل (1-2) الدارة الكهربائية للمعرج المستخدم مع صورة توضيحية للسيارة المصممة

أكد الباحث أن المحرك المقترح مع نظام قيادته يمكن أن يشكل حلاً فنياً واقتصادياً ملائماً للاستخدام في السيارات الكهربائية الحديثة لما له من مميزات بالمقارنة مع المحركات الأخرى من حيث الوزن والحجم والثمن والوثوقية في التشغيل. [4]

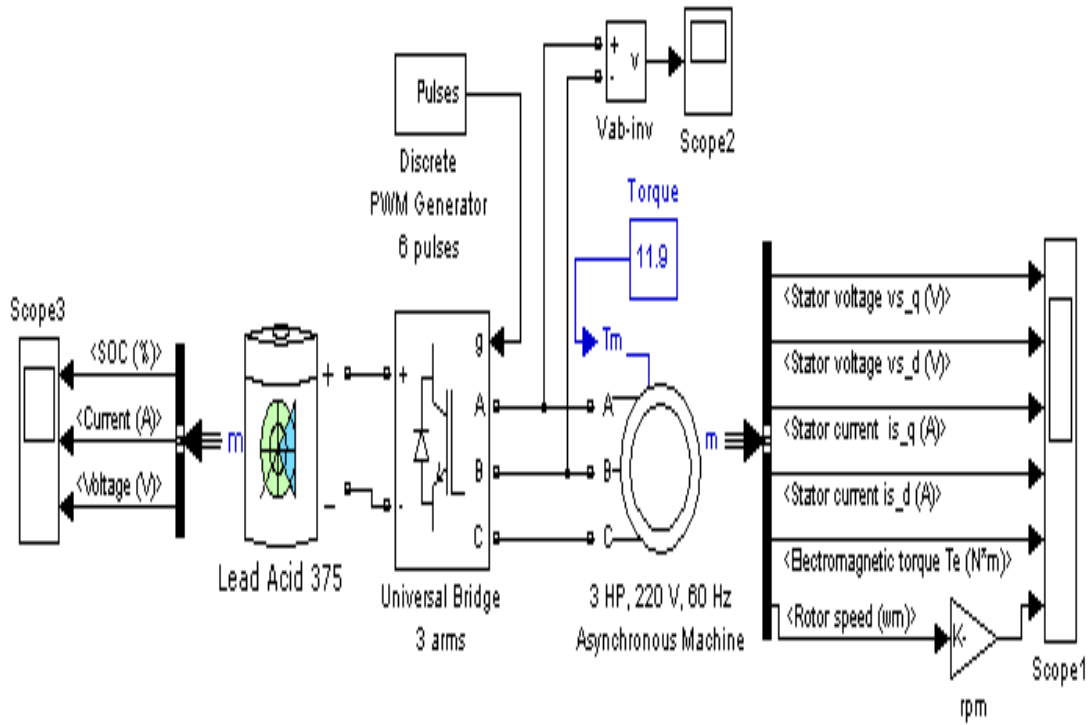
دراسة مرجعة ثانية [5] وفيها قام الباحثون Bambang و Soebagio و Mauridhi من معهد التقنية الوطني في أندونيسيا بعرض تصميم لسيارة كهربائية صغيرة باستخدام بيئة ماتلاب في تموز عام 2011 حيث : [5]

1. استخدم الباحثون مدخرات الحمض الرصاصية بتوتر إجمالي لهذه المدخرات بلغ 375 فولت، واستخدمت نظراً لما لها من مميزات في تكرار عمليات الإقلاع.

2. استخدم الباحثون محرك تحريضي ثلاثي الأطوار توتره يساوي 220 فولت وتردده 60 هرتز، مع معرج مقاد باستخدام مبدأ تعديل عرض النبضة .

3. تم تركيب المدخرات والمحرك على هيكل سيارة من نوع هوندا لكي يتم تحويلها إلى سيارة كهربائية .

4. تم حساب العزم الميكانيكي اللازم للتحريك في وضعيات مختلفة وبسرعات مختلفة لكي يتم وضع النموذج الملائم لمحاكاة السيارة الكهربائية المصممة في بيئة برنامج ماتلاب ، كما هو مبين في الشكل الآتي (1-3) .



الشكل (1-3) يوضح النموذج العام للسيارة التي تمت محاكاة عملها [5]

دراسة دكتوراه مرجعية ثالثة [6] اعتمد فيها الباحث وسيم سعيد ، بإشراف د.عباس صندوق ومشاركة د. غيث ورقوزق من جامعة دمشق في بحثه عن السيارات الكهربائية على الآتي :

1. اعتمد محرك تيار مستمر في عملية الجر ، حيث بين أن “ الهدف الأساسي للرسالة هو دراسة إدارة الطاقة بين المصادر المختلفة والمحرك وليس قيادة المحرك بحد ذاتها ولذلك فإن نوع المحرك ومقارنة أداء الأنواع المختلفة اعتبره خارج نطاق الدراسة “ .
2. قام الباحث بنمذجة هذا المحرك مع وجود منبع تغذية كهربائي .
3. قام الباحث بوضع نموذج رياضي لخلية الوقود وفقاً لمعادلات رياضية.
4. قام الباحث بعدها بنمذجة المدخرات ودراسة الفوارق الأساسية بينها وبين المكتفات فائقة السعة ، ليخلص إلى النتيجة الآتية :

خلايا الوقود غير قادرة على تقديم تيارات حمل متغيرة نظراً للاستجابة الديناميكية البطيئة لها ، لذلك سيتم تعويض الاستجابات السريعة في الحمل (في أثناء التسارع أو التباطؤ) باستخدام المكتفات الفائقة السعة (كثافة استطاعة عالية) ، أما عند

استقرار استطاعة كهربائية خارج مجال استطاعة خلايا الوقود الأعظمية زيادة أو نقصانا سيتم استخدام المدخرات (كثافة الطاقة العالية).

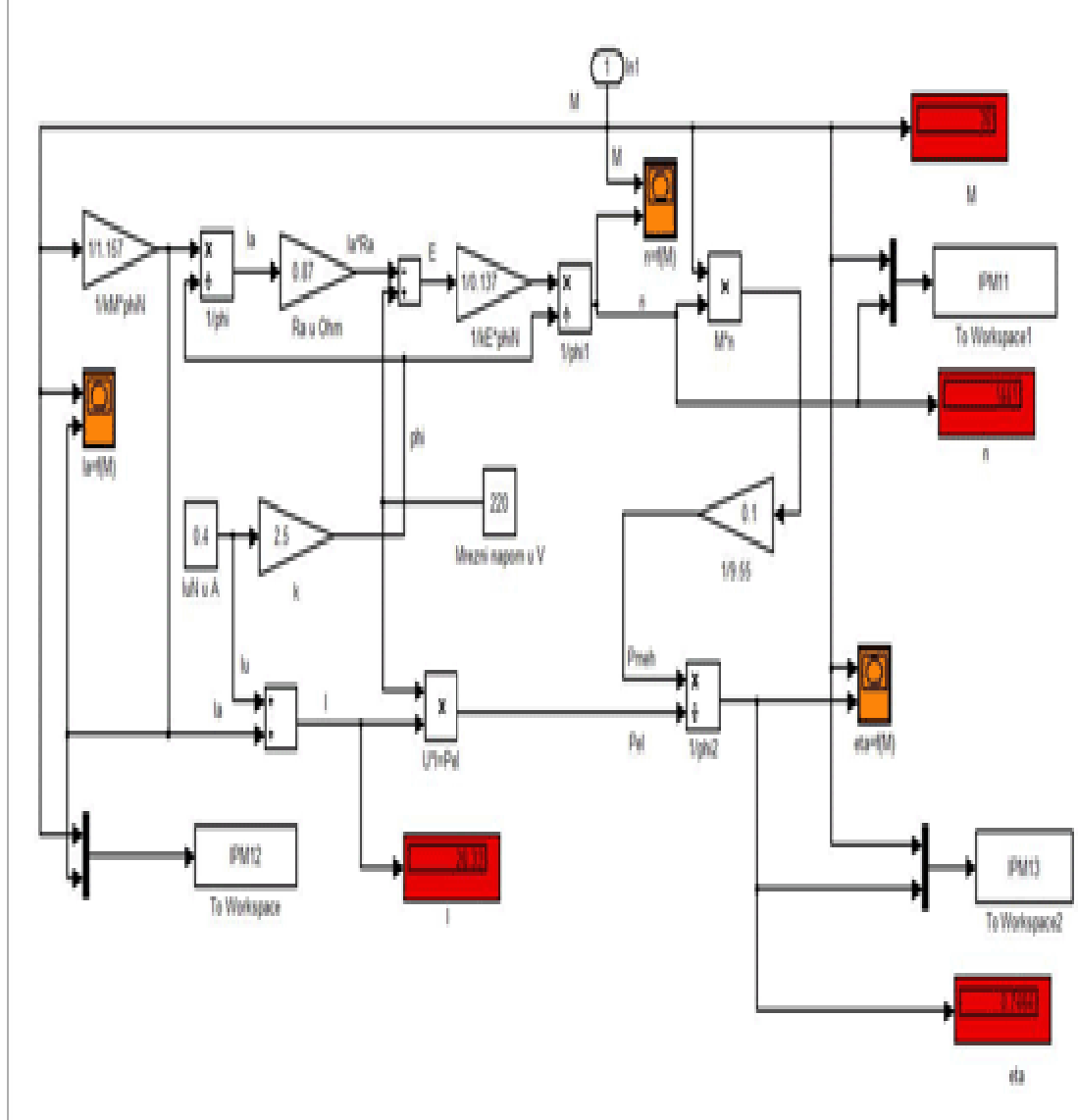
توصيات الباحث تركزت في النقاط الآتية :

1. اختيار المحرك - خلايا الوقود - المدخرات - المكثفات
 2. تبين له أن المتحكم المستخدم غير قادر على تقدير إشارات التيار بالشكل المطلوب
لمثل هذه الأنظمة لأنه لا يعطي القيم الوسطية للقراءات، لذلك اقترح إكمال البحث باستخدام كروت تحصيل أدق وذات استقرار أعلى.
 3. اقترح الباحث استكمال البحث على مركبة حقيقية وربط المحرك والمنابع عليها للحصول على مركبة فعلية.
 4. يمكن التوسع في دراسة الجدوى الاقتصادية لإدارة المنابع باستخدام برامج التحكم بالزمن الحقيقي والتي تحوي نماذج فيزيائية لإلكترونيات القدرة التي تمثل كلاً من المتحكم والقيادة.
 5. يمكن تطوير البحث باستخدام ألواح كهروضوئية لزيادة استقلالية المركبة.
 6. اقترح الباحث استكمال الدراسة من ناحية تحديد عدد الأكذاس الممكن استخدامها ضمن المركبة بحيث يتم إدخال عدد من الأكذاس حسب طلب الحمولة لضمان عمل خلايا الوقود عند القيم الحدية المثلى لها. [6]
- دراسة مرجعية رابعة [7] عرض الباحثان Philip Krein،Rayan Kroeze من جامعة Illinois في الولايات المتحدة عام 2011 نتائج عملهما لوضع نموذج محاكاة للمدخرات الكهربائية لربطه مع نظام المحاكاة الديناميكي للسيارة الكهربائية، يستطيع هذا النموذج محاكاة عمل مدخرات من نوع ليثيوم - أيون ومدخرات من نوع نيكل ميتال هيدرات ومدخرات من نوع الرصاصية الحامضية ويمكن استعماله لتحديد حالة الشحن SOC والمميزات $V - I$ للمدخرات وأداء المدخرات في الحالة الديناميكية وتمت النمذجة لهذا النظام في بيئة ماتلاب . [7]

دراسة مرجعية خامسة [8] عرض الباحث Kresimir،Miklosevic ورفاقه من جامعة University of Osijek في كرواتيا عام 2009 نتائج بحثهم العلمي حول أداء نظام قيادة محرك التيار المستمر المستخدم في السيارة الكهربائية باستعمال النمذجة والمحاكاة في بيئة

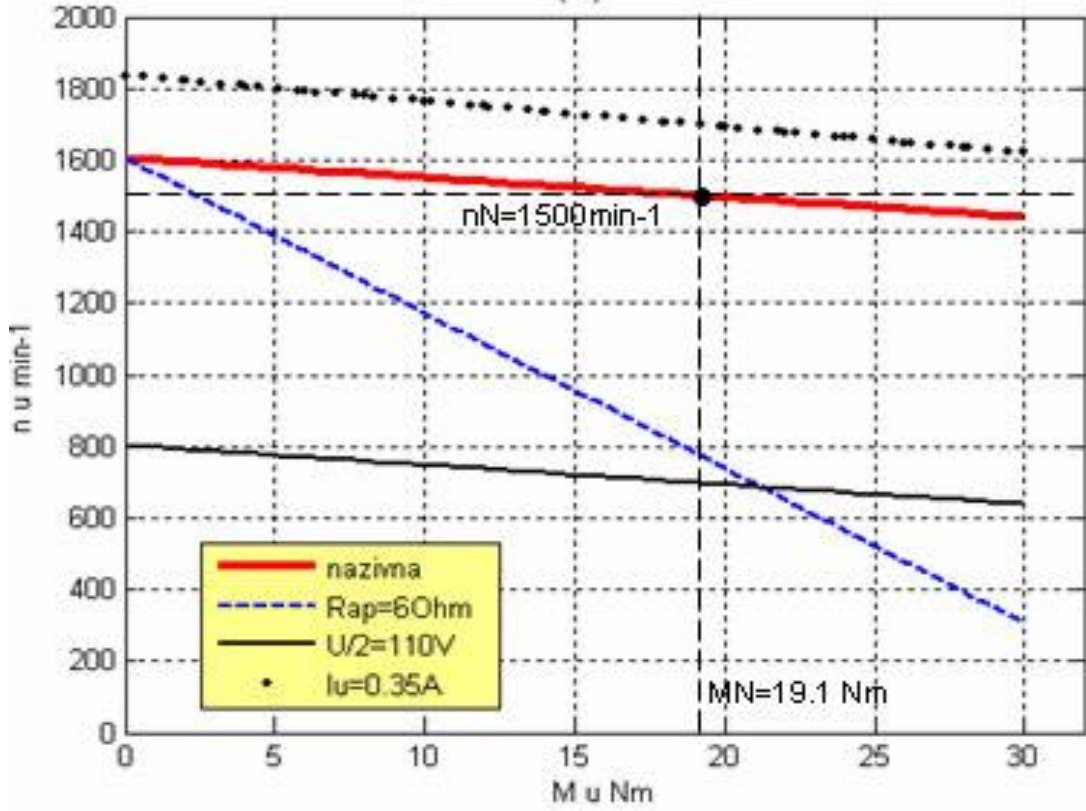
ماتلاب.

تم إدراج معادلات تشغيل محرك التيار المستمر ، كما تم تحديد مميزات و محددات المحرك الذي ستجرى عليه التجارب العملية المخبرية، واعتماداً عليها تم وضع مخطط النمذجة والمحاكاة في بيئة ماتلاب ، كما هو مبين في الشكل (4-1) .



الشكل (4-1) مخطط النمذجة والمحاكاة في بيئة ماتلاب

النتائج المخبرية ونتائج النمذجة والمحاكاة التي تم الحصول عليها موضحة في الشكل الآتي (5-1) الذي يبين مميزة السرعة كتابع للعزم لأجل محددات مختلفة للمحرك . [8]



الشكل (5-1) منحني السرعة كتابع للعزم من أجل محددات مختلفة للمحرك [8]

دراسة مرجعية سادسة بعنوان: مقارنة الخصائص الديناميكية للسيارات الكهربائية والتقليدية [9]

تناولت الدراسة الآتي:

تختلف السيارات الكهربائية عن السيارات التقليدية من حيث منحنيات الاستطاعة والعزم للمحركات المستخدمة في هذه السيارات ، ومن ثم ما ينجم عنه اختلاف في الخصائص الديناميكية لكل منها . تم استخدام الطرائق الرياضية بناء على البيانات المتوفرة لكل من السيارات التقليدية والكهربائية، وجرى تحليل شامل للخصائص الديناميكية للسيارات .

دراسة تحليلية :

جرى مقارنة ثلاث سيارات مختلفة ، اثنتان منها تقليدية والمحرك المستخدم في إحداها يعمل على البنزين ، والأخرى تعمل على الديزل ، أما السيارة الثالثة فكانت كهربائية مقادة بمحرك تحريضي

ثلاثي الطور ولم تأخذ الدراسة بالحسبان الاختلافات الموجودة في المؤشرات الديناميكية والاستطاعة النوعية بين السيارات الثلاث ،مع تشابه نوع السيارات والشركة المصنعة لها.

دراسة مرجعية سابعة بعنوان :تقييم مجال نقل القدرة للسيارات الكهربائية ونماذجها . [10]

الهدف من الدراسة :

العمل على تطوير النماذج المبسطة المستخدمة لنقل القدرة في تصميم السيارات الكهربائية من أجل العمل على تطبيقها في الإصدارات الجديدة للسيارات الكهربائية الموجودة والمنتجة حديثاً .
النماذج التي تم العمل على تطويرها معتمدة على المعلومات الصادرة عن شركة سيارة نيسان ليفو تيسلا رودستر .

دراسة تحليلية :

في هذا المرجع جرى مقارنة سيارتين كهربائيتين ببعضهما من دون وجود نوع آخر للسيارات التقليدية أو الهجينة ، وتم الحصول على بعض الخصائص والمؤشرات الديناميكية للسيارة الكهربائية .

وفيما يأتي الجدول (3-1) الذي يقارن بين الدراسات المرجعية السابقة والجانب المستفاد من هذه الدراسة في بحثنا المعتمد :

الجدول (3-1) مقارنة بين الدراسات المرجعية السابقة

الدراسة المرجعية	مجال عمل الباحث لمحاكاة السيارة الكهربائية المصممة	توصيات الباحث	الاستفادة من البحث في موضوعنا
الدراسة الأولى[4]	سيارة كهربائية مزودة بمحرك ثلاثي الأطوار استطاعته 3 kW توتر بين الأطوار 24 فولط وسرعة دوران 2835 دورة بالدقيقة	المحرك المقترح مع نظام قيادته يمكن أن يشكل حلاً فنياً واقتصادياً ملائماً للاستخدام في السيارات الكهربائية الحديثة مما له	تحديد نوع المحرك الكهربائي الملائم للاستخدام في التطبيق العملي من خلال تكوين فكرة

		من مميزات بالمقارنة مع المحركات الأخرى من حيث الوزن والحجم والتمن والوثوقية في التشغيل.	عن المواصفات المطلوبة للمحرك ونظام قيادته.
الدراسة الثانية [5]	تحويل سيارة تقليدية إلى سيارة كهربائية إضافة إلى حساب العزم الميكانيكي اللازم للتحريك في وضعيات مختلفة وبسرعات مختلفة لكي يتم وضع النموذج الملائم لمحاكاة السيارة الكهربائية المصممة	قام الباحثون بنمذجة النظام الكهربائي في السيارة واستناداً إلى هذه النمذجة والمحاكاة فقد حددت استطاعة المدخرات اللازمة لتشغيل السيارة في مختلف الفرضيات	القيام بأعمال نمذجة مشابهة للسيارة المصممة في بحثنا مع تبيان آلية احتساب العزم الميكانيكي اللازم تطبيقه في بيئة ماتلاب
الدراسة الثالثة	دراسة إدارة الطاقة بين منابع المختلفة والمحرك وليس قيادة المحرك بحد ذاتها	خلايا الوقود غير قادرة على تقديم تيارات حمل متغيرة نظراً للاستجابة الديناميكية البطيئة لها لذلك سيتم تعويض الاستجابات السريعة في الحمل باستخدام المكثفات الفائقة السعة ، أما عند استرجار استطاعة كهربائية خارج مجال استطاعة خلايا الوقود الأعظمية زيادة أو نقصاناً سيتم استخدام المدخرات ، واقتراح تطبيق الدراسة على مركبة حقيقية	التعرف على مصادر التغذية المختلفة في السيارات الكهربائية إضافة لآلية وضع النموذج الرياضي والنمذجة لكل مصدر منها (خلايا وقود + مدخرات + مكثفات فائقة السعة)
الدراسة	نمذجة عمل المدخرات	وضع نموذج عام	آلية نمذجة

الرابعة [7]	المستخدمة بمختلف أنواعها في السيارات الكهربائية	للمدخرات في بيئة ماتلاب	المدخرات ووضع النموذج الملائم لها
الدراسة الخامسة [8]	نظام قيادة محرك تيار كهربائي مستمر	وضع نتائج النمذجة للسرعة كتابع للعزم لمحددات مختلفة	كيفية ربط السرعة الخطية الممكن الحصول عليها من خلال التحكم في المحرك
الدراسة السادسة [9]	تحليل تفصيلي للخصائص الديناميكية للسيارات التقليدية والكهربائية باستعمال الطريقة الرياضية والبيانات المتوفرة	-	كيفية وضع خوارزمية العلاقات الرياضية المعبرة عن ديناميك السيارة الكهربائية والاختلاف عن ديناميك السيارة التقليدية
الدراسة السابعة [10]	مقارنة بين سيارتين كهربائيتين بهدف معرفة بعض الخصائص لهذه السيارات	-	وضع واعتماد النموذج المبسط الذي تم استخدامه في التصميم العملي للسيارة الكهربائية المنفذة

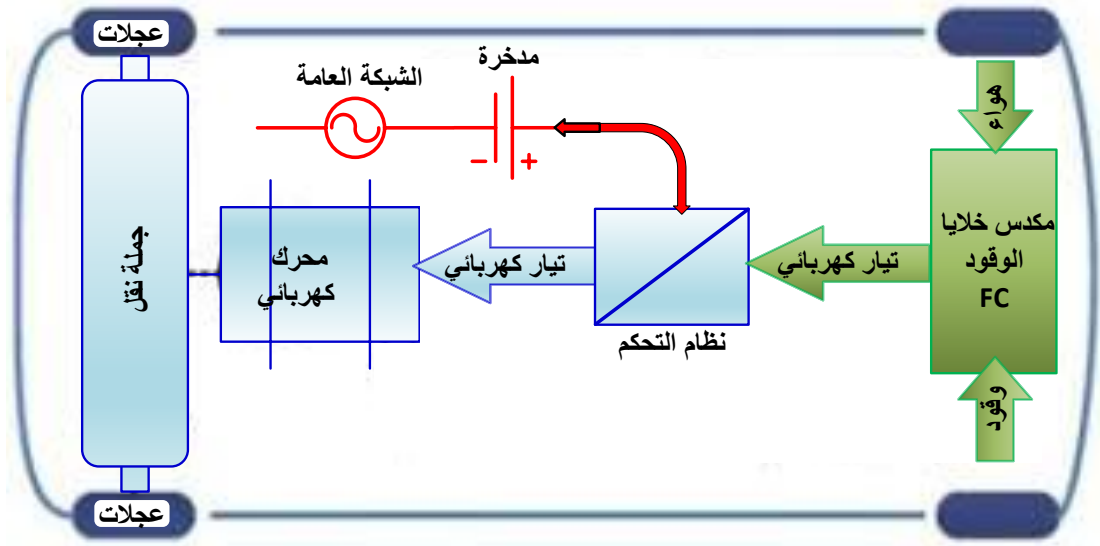
الفصل الثاني

الدراسة النظرية

الفصل الثاني : الدراسة النظرية

2 1 - مخطط يبين أجزاء السيارة الكهربائية EV :

يوضح الشكل (1-2) وهو مخطط مبسط الأجزاء التي تتكون منها السيارات الكهربائية بشقيها (العاملة على خلايا الوقود + المدخرات)، وآلية انتقال الطاقة وتحول التيار الكهربائي حتى الوصول إلى العجلات ، حيث يعبر اللون الأزرق عن التجهيزات الأساسية المستخدمة في أنواع السيارات الكهربائية المختلفة ، في حين يعبر اللون الأخضر عن مجموعة التجهيزات المستخدمة في السيارات الكهربائية العاملة على خلايا الوقود، بينما يعبر المخطط السابق بشقيه (اللون الأحمر + الأزرق) عن التجهيزات المستخدمة في السيارات الكهربائية العاملة على المدخرات فقط .



الشكل (1-2) مخطط مبسط يوضح مكونات السيارة الكهربائية

وتشمل منابع التغذية في السيارة الكهربائية (المدخرات ، خلايا الوقود ، المكثفات فائقة السعة) :

2 2 - المدخرات :

إذا ما أخذت المعايير المتعلقة بالتكاليف بعين الاعتبار فإن مدخرات الحمض الرصاصية تعد مصدر الطاقة المستخدم في معظم الأحيان في السيارات الصناعية ، أما حديثاً فإنه يتم استبدالها في السيارات الكهربائية على نحو متزايد بمدخرات النيكل - الليثيوم .

يوضح الجدول (1-2) أهم المؤشرات المعتمدة في تحديد المدخرات ومقارنتها مع بعضها . [1,2]

الجدول (1-2) مقارنة بين أنواع المدخرات وفق محدداتها ومؤشراتها التشغيلية [1,2]

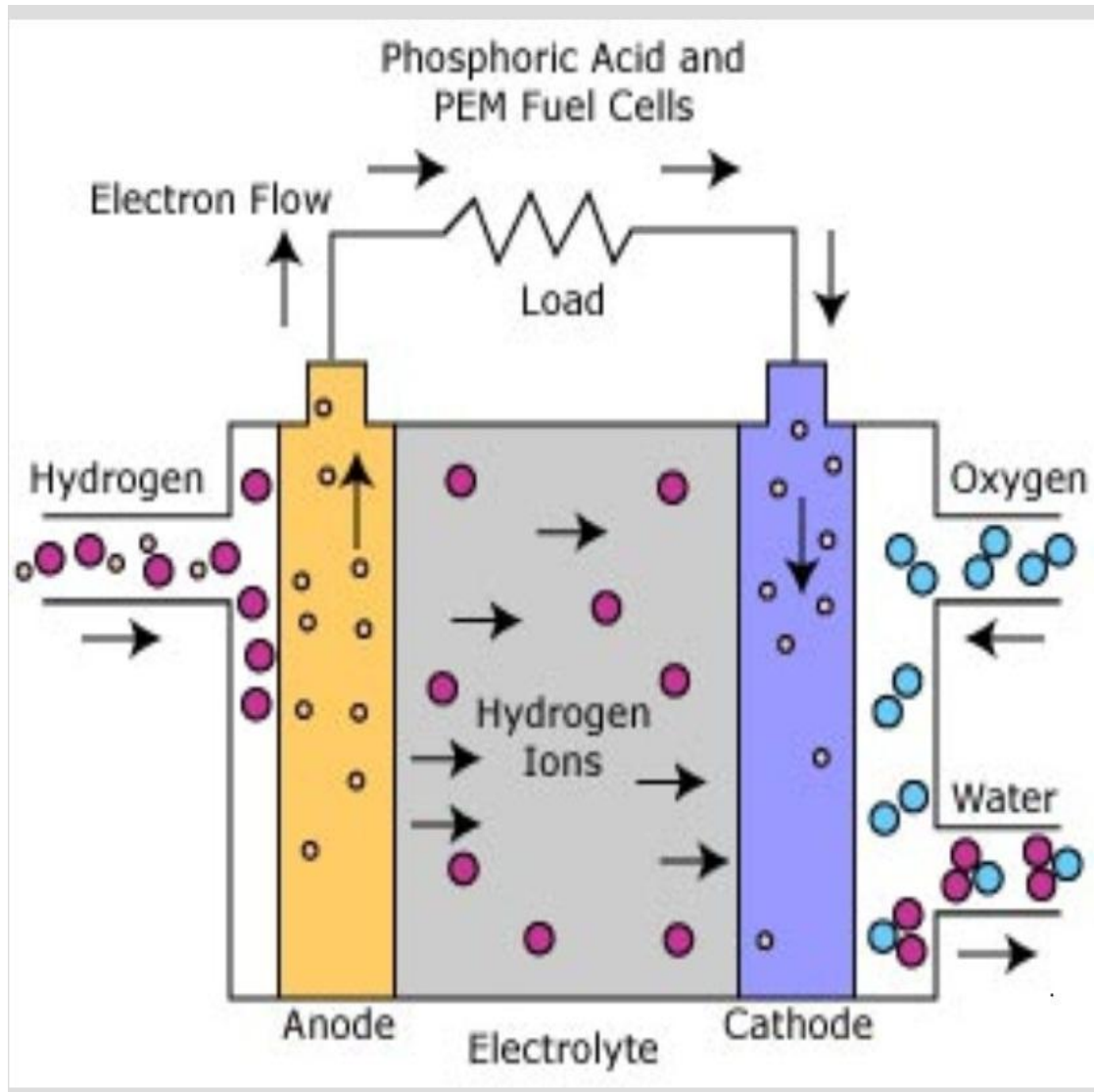
الخصائص	مدخرات الحمض الرصاصية	مدخرات النيكل نيكل - كاديوم نيكل - ميتيل هيدريد	مدخرات الليثيوم ليثيوم - أيون ليثيوم - بوليمر
جهد الخلية الواحدة (فولط)	2	1.2	4 - 3
كثافة الطاقة الكهربائية (wh/kg)	30 ÷ 25	100 ÷ 35	150 ÷ 60
المردود الطاقي للمدخرة	% 85 ÷ 75	% 85 ÷ 60	% 90 ÷ 85
عدد مرات الشحن خلال مدة الخدمة بكاملها	900÷600 (سياحية) 1500÷1200 (سيارة صناعية)	أكثر من 1000 قد تصل إلى 2000	أكثر من 10,000
مجال درجة الحرارة الذي تعمل عنده المدخرة (درجة مئوية)	55 ÷ 10	55 ÷ 20-	60 ÷ 10-
المسافة الإجمالية المتوقعة للسير (كم)	70 ÷ 50 كم	100÷80 نيكل - كاديوم 121 نيكل -ميتل هيدريد	193 ليثيوم -أيون 483 ليثيوم -بوليمر
مدة الخدمة الإجمالية (سنوات)	8÷7 (سيارة صناعية) 5 (سيارة سياحية)	10	-

في حين أن هنالك انخفاضاً ونقصاً في الطاقة للمدخرات المستخدمة في السيارات الكهربائية خلال السير؛ هناك حاجة لإعادة شحنها ويتم ذلك بوصلها بمأخذ التيار الكهربائي (كهرباء الشبكة العامة) ؛ فمثلاً إذا احتاجت جميع السيارات الكهربائية في ألمانيا بالوقت نفسه إلى إعادة

الشحن في الليل فإن استطاعة محطات التوليد تستطيع توفير وتأمين الطاقة الكافية لشحن أكثر من 10 ملايين سيارة . تقدم مأخذ التيار الكهربائي المنزلية التي تشحن من خلالها مدخرات السيارات الكهربائية فقط 3.7 كيلو واط من الطاقة الكهربائية ، هذا يعني بأننا بحاجة لحوالي ساعة كاملة من الشحن لتقديم طاقة كافية تجعل السيارة الكهربائية تسير لمسافة لا تتجاوز 20 كم . يعتمد زمن الشحن على استطاعة السيارة ونوع التيار ؛ فتحتاج سيارة كهربائية طاقة تخزينها 40 كيلوات ساعي نحو 11 ساعة لشحنها بالتيار المنزلي ذي الطور الواحد (16 أمبير و 3,7 كيلو واط) (في حين أنها تشحن لمدة 4 ساعات عند توصيلها بتيار ثلاثي الأطوار 16 أمبير ، 11 كيلو واط)، وتحتاج السيارة الكهربائية ذات طاقة التخزين 12 كيلو واط ساعي إلى نحو ثلاث ساعات لشحنها بالمنزل (بتيار أحادي الطور) في حين تشحن بتيار ثلاثي الأطوار خلال 1 ساعة. [1,2]

2 3 - خلايا الوقود :

هي خلايا كهروكيميائية تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية من خلال الطاقة المخزنة بالهيدروجين . أكثر أنواع الوقود الشائعة والمستخدمه لهذه التطبيقات هي الهيدروجين (H_2) والميثانول (CH_3OH) في الاحتراق ، تنتج خلية الوقود ذات الكفاءة العالية القليل من الانبعاثات الضارة . وفقاً لتصميم هذه الخلايا يمكن أن نستخدمها لمجال عريض من الطاقة من عدة واط إلى كثير من الميغا واط . يوضح الشكل (2-2) يبين خلية الوقود والأجزاء المكونة لها . [11]



الشكل (2-2) خلية الوقود والأجزاء المكونة لها ومبدأ عملها [11]

لا يتطلب عمل خلايا الوقود درجات حرارة خاصة ؛ فبعض أنواعها تعمل عند درجة حرارة الوسط المحيط في حين أن أنواع وتصاميم أخرى يترافق تشغيلها بارتفاع الحرارة الكهربائية إلى درجات حرارة تصل إلى 1000 درجة مئوية كما في الجدول (2-2) الذي يوضح بعض أنواع خلايا الوقود ومؤشرات التشغيلية وذلك حسب كل نوع . [1]

الجدول (2-2) بعض أنواع خلايا الوقود ومحدداتها التشغيلية [1]

نوع خلية الوقود	الكهرليت	درجة الحرارة درجة مئوية	كفاءة الخلية %	التطبيقات التي تستخدم كل نوع
AFC <i>Alkaline Fuel Cell</i>	KOH	90 ÷ 60	60 ... 50	أبراج الهواتف النقالة + تطبيقات الجر
PEMFC <i>Proton Exchange Membrane Fuel Cell</i>	Polymer electrolyte	80 ÷ 50	60... 50	الهواتف النقالة + تطبيقات الجر
DMFC <i>Direct Methanol Fuel Cell</i>	Membrane	130 ÷ 110	40...30	الهواتف النقالة
PAFC <i>Phosphoric Acid Fuel Cell</i>	H ₃ PO ₄	220 ÷ 160	55	تطبيقات الجر
MCFC <i>Molten Carbonate Fuel Cell</i>	Alkaline carbonates	660 ÷ 620	65...60	تطبيقات الجر
SOFC <i>Solid Oxide Fuel Cell</i>	ZrO ₂	1000 ÷ 800	65...55	التطبيقات الثابتة وتطبيقات الجر

تُعد خلايا وقود **PEMFC** (خلية الوقود ذات غشاء التبادل البروتوني) الأكثر استخداماً في السيارات الكهربائية العاملة على خلايا الوقود ، لأنها الأفضل في تطبيقات الجر بسبب تصميمها الملائم للعمليات الديناميكية اللازمة في السيارات ، وهذه الخلايا تستخدم الهيدروجين مصدراً للطاقة .

يخزن الهيدروجين ضمن خزانات خاصة في السيارة غالباً يكون عددهم اثنين اسطوانية الشكل ، وهذه الخزانات مضغوطة وذات قوة كافية لتقاوم الصدمات من أجل الأمان، والاسطوانات ملفوفة بألياف الكربون ، وتخزن الهيدروجين حتى ضغط يصل إلى حوالي 34 ميغا باسكال وتكون كتلته 32.5 كغ وحجمه 186 ليترًا ، وهو يكفي لتقطع السيارة مسافة 500 كيلو متر.

يلاحظ أن هذا الخزان من ناحية الحجم يشكل 90% تقريباً من حجم أسطوانة سعتها تقريباً 200 ليتر ، وهي بالتالي كبيرة إلى حد ما من أجل الاستخدام في السيارات السياحية، ومن ثم تم العمل على زيادة الضغوط ضمن الخزان عند تخزين الهيدروجين من أجل حل هذا الإشكال ، وتم الوصول إلى ضغوط تصل إلى 700 بار = 70 ميغا باسكال.

مع العلم أنه توجد مصادر أخرى للطاقة عند استخدام أنواع مختلفة من خلايا الوقود ، مثل الميثانول (CH_3OH) ، وهو متوفر ورخيص الثمن ، لكن لا ينصح باستخدامه ، لأنه يؤدي إلى تآكل المعدن بسرعة وهو قليل الكفاءة . [1]

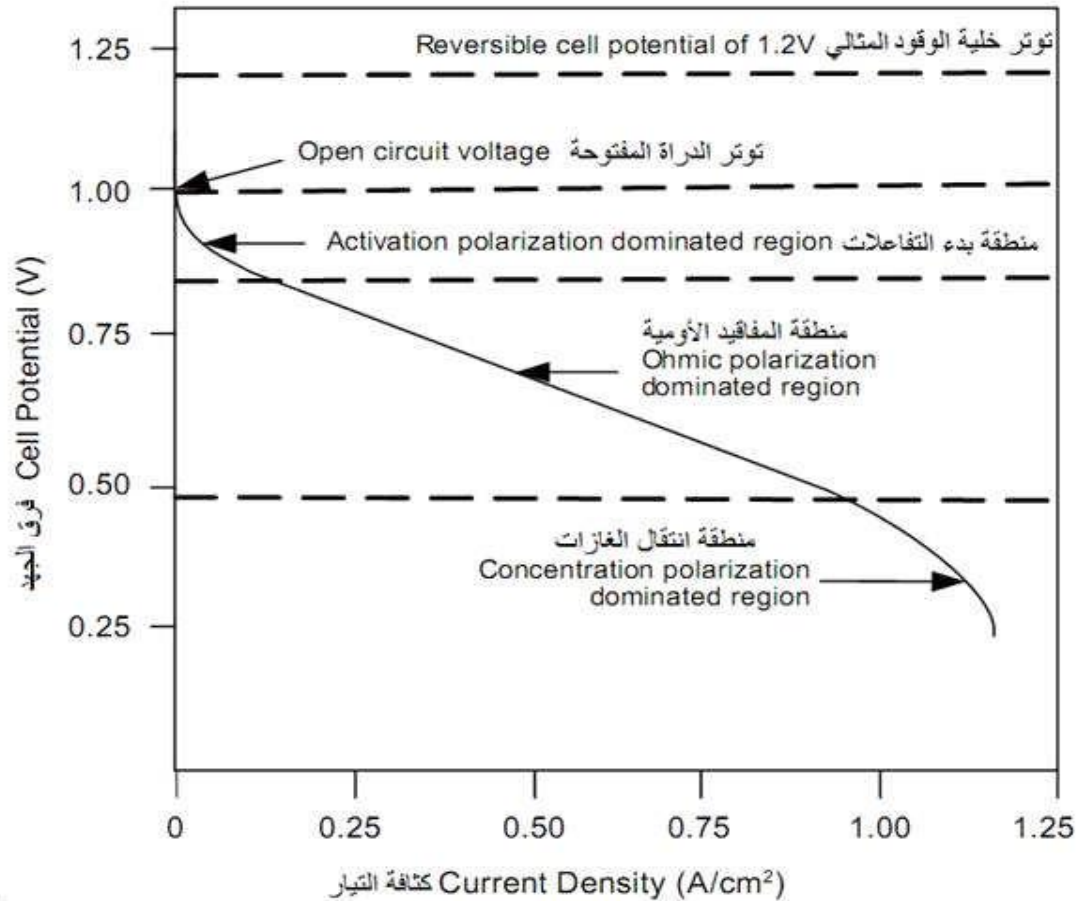
تجمع خلايا الوقود في السيارة الكهربائية ضمن غلاف واحد يدعى كدس خلايا الوقود ، وتكون كمية الاستطاعة التي نحصل عليها من خلال هذا ال كدس تتعلق بحجمه ، فمثلاً من أجل الحصول على توتر أعلى يجب زيادة عدد الخلايا (وصل تسلسلي) ، في حين نحتاج إلى زيادة مساحة السطح للخلايا لزيادة التيار . [12]

تستخدم السيارة الكهربائية العاملة على خلايا الوقود الهيدروجين وقوداً وتتضمن محركاً كهربائياً ونظام قيادة كهربائياً يستخدم التيار الكهربائي الناتج عن كدس خلايا الوقود PEMFC الذي ينتج استطاعة أو قدرة حوالي 90 كيلو واط . [13]

إن الوظائف الرئيسية للغشاء البوليمري الرطب هي التوصيل للبروتونات من المصعد إلى جانب المهبط لخلية الوقود وفصل المواد المتفاعلة . تبحث صناعة السيارات دوماً عن أغشية منخفضة

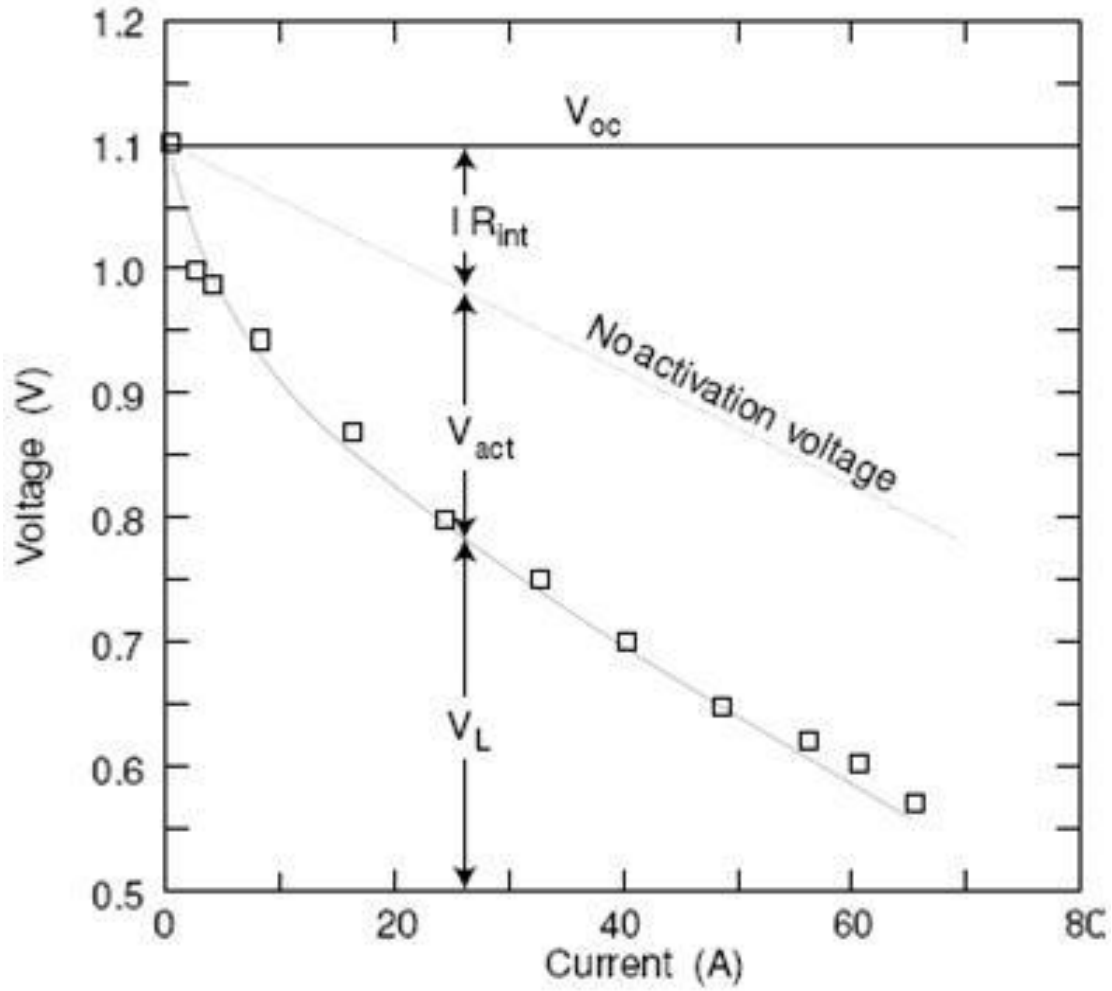
التكلفة التي يمكن تشغيلها في درجات حرارة مناسبة من دون الحاجة إلى إدارة متطورة من أجل تبريدها . [14]

يبين الشكل (3-2) الذي يبين منحنى العمل لخلايا الوقود PEMFC . [15]



الشكل (3-2) منحنى العمل لخلايا الوقود ذات غشاء التبادل البروتوني [15]

في الواقع العملي ، يسلك المنحني المميز لمعظم خلايا الوقود سلوكاً غير خطي ، وذلك عند تضمين ضياعات التفاعل في أثناء الحسابات ، كما في الشكل (4-2) . [15]



الشكل (4-2) منحنى العمل المميز لمعظم خلايا الوقود [15]

V_{oc} : توتر الدارة المفتوحة .

V_L : التوتر المقدم للحمل .

V_{act} : ضياع التفعيل .

VR_{int} : الضياع في المقاومة الداخلية للخلية .

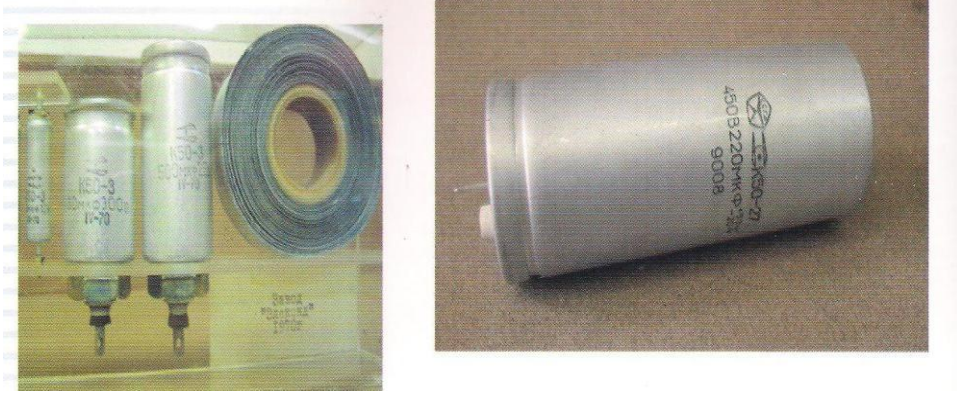
2 4 - المكثفات فائقة السعة :

هي عبارة عن مكثفات ذات سعات كبيرة جداً بالمقارنة مع المكثفات التقليدية ، لكن على حساب مجال التوتر . تملك هذه المكثفات كثافة طاقة بالنسبة لوحدة الحجم أو الوزن تصل إلى 100

ضعف المكثفات التقليدية ، وكذلك تستطيع استقبال وإعطاء الشحنات بشكل أسرع من المدخرات، وكذلك تتحمل دورات شحن وتفريغ أكبر من المدخرات القابلة للشحن .

تستخدم هذه المكثفات في التطبيقات التي تتطلب دورات شحن وتفريغ سريعة وباستطاعات عالية ، كما هو الحال في حالات الكبح بإعادة القدرة أو تخزين الطاقة لمدة قصيرة عند الإقلاع، كما هو الحال في السيارات الكهربائية .

فيما يأتي الشكل (5-2) ، (6-2) الذي يوضح بالصورة الأولى المكثفات العادية وفي الصورة الثانية المكثفات فائقة السعة :



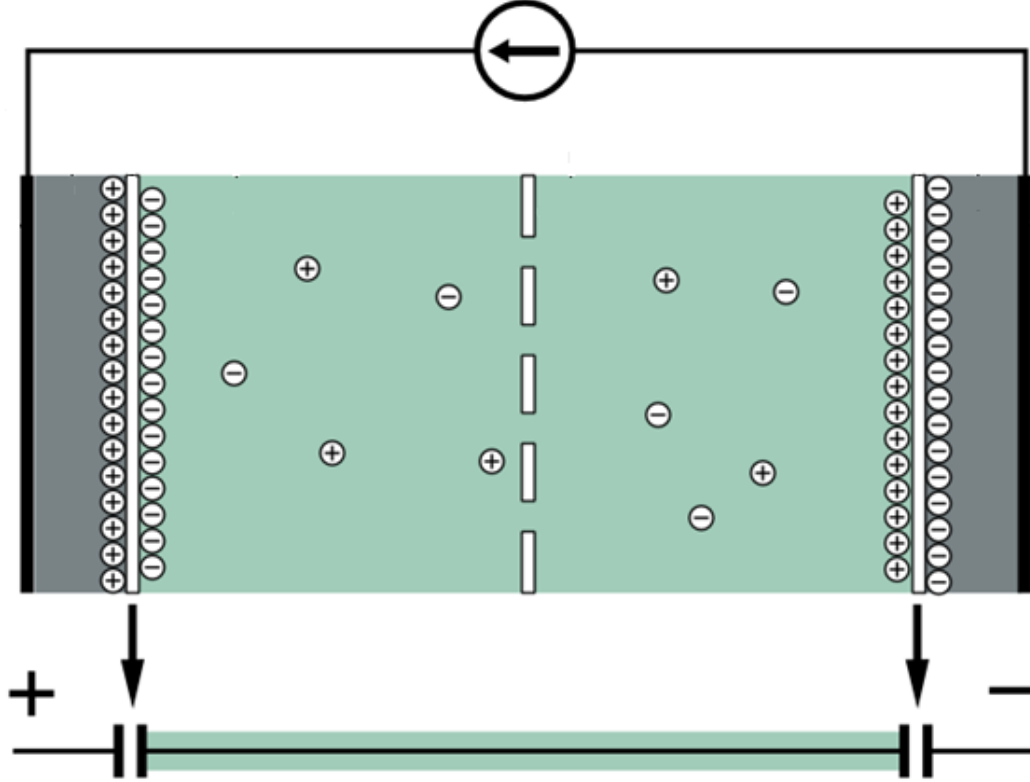
الشكل (5-2) المكثفات العادية [6]



الشكل (6-2) المكثفات العادية والمكثفات فائقة السعة [6]

تتألف المكثفات الفائقة السعة من قطبين من الكربون أو مشتقاته يفصل بينهما غشاء يسمح بمرور الشوارد فقط مع كهربية غني بالشوارد ، وعندما يتم شحن القطب عن طريق تطبيق توتر

خارجي تتحرك الشوارد ضمن الكهرليت بحيث تتحرك الشوارد الموجبة نحو القطب السالب ، والشوارد السالبة نحو القطب الموجب ، فينشأ على الحد الفاصل بين القطبين والكهرليت طبقة متساوية الشحنة ، وهذه المكثفات على خلاف المكثفات التقليدية لا تستخدم عوازل صلبة ، ولكن تنشأ السعة مما يعرف بالطبقة المضاعفة ذات الكهرباء الساكنة ، وهي تنتج على السطح الفاصل بين كل قطب والكهرليت ، كما يبين الشكل (7-2) الآتي:



الشكل (7-2) مبدأ عمل المكثفات فائقة السعة [6]

من الشكل السابق نجد أنه تنشأ لدينا طبقة تسمى طبقة هيلمهولتز الناتجة من انفصال الشحنات في الكهرليت واقتربها من الشحنات في الأقطاب على الحد الفاصل بين القطب والكهرليت ، وحسب مادة القطب وشكله فقد تتسرب بعض الشحنات إلى داخل القطب ، ولذلك تنشأ سعتان على أطراف المكثف C1 و C2 ، وهما على التسلسل والسعة المكافئة لهما تكون :

$$C_{eq} = \frac{C1 \cdot C2}{C1 + C2} \quad (2-1)$$

عندما يكون المكثف يملك أقطاباً متماثلة نحصل على سعتين متساويتين ، والسعة المكافئة تكون مساوية لنصف إحداهما ، أما في حال عدم التماثل تكون السعة المكافئة هي الأصغر .

فيما يأتي يبين الجدول (2-3) أهم خصائص وميزات المكثفات فائقة السعة على المكثفات العادية والمدخرات خاصة مدخرات شوارد الليثيوم :

الجدول (2-3) أهم مميزات المكثفات فائقة السعة مقارنة مع المكثفات العادية ومدخرات الليثيوم

المؤشر	المكثفات التقليدية	المكثفات فائقة السعة			مدخرات الليثيوم أيون
		مكثفات ثنائية الطبقة مع ذاكرة استعادة	لتطبيقات الطاقة	المكثفات الهجينة (ليثيوم أيون)	
مجال درجة الحرارة (C)	40- إلى 125+	40 - إلى 70+	20- إلى 70 +	20 - إلى 70+	20 - إلى 60 +
توتر الخلية (V)	4 إلى 630	1.2 إلى 3.3	2.2 إلى 3.3	2.2 إلى 3.8	2.5 إلى 4.2
دورات الشحن والتفريغ	غير محدودة	10^5 إلى 10^6	10^5 إلى 10^6	$2 * 10^4$ إلى 10^5	500 إلى 10^4
السعة الطاقية (Wh/Kg)	0.01 إلى 0.3	1.5 إلى 3.9	4 إلى 9	10 إلى 15	100 إلى 265
مدة إمكانية الحفاظ على الطاقة في درجة الغرفة	قصيرة (أيام)	متوسطة (أسابيع)	متوسطة (أسابيع)	طويلة (أشهر)	طويلة (أشهر)
مردود التخزين (%)	99	95	95	90	90
دورة الحياة في درجة حرارة الغرفة (سنة)	أكبر من 20	5 إلى 10	5 إلى 10	5 إلى 10	3 إلى 5

يمكن القول عن الجدول السابق أن المكثفات العادية لها عدد غير محدود من دورات الشحن والتفريغ ، وحسب العازل المستخدم قد يصل توتر التشغيل إلى أكثر من 550 فولط ، ومنها ما تستجيب للتوترات المتناوبة ، في حين أن المكثفات الفائقة السعة يمكن أن تخزن طاقة أكبر بحوالي من 10 إلى 100 مرة لكنها لا تستخدم مع التوتر المتناوب . أما عند مقارنتها مع المدخرات فهي تستطيع تقديم تيار إقلاع عالٍ ، ولا يوجد خطورة من زيادة الشحن ، والمواد المستخدمة فيها أقل سمية ، أما المدخرات فتمتاز بثبات التوتر عند التفريغ ، لكن هنالك ضياع كبير في الطاقة مع وجود خطر القصر على المدخرة .

تُحدّد كمية الطاقة الممكن استخدامها في المركبة ، والمقدمة من المكثف من خلال العلاقة المعبرة عن كمية القدرة المخزنة في المكثف التي تعطى بالشكل الآتي :

$$E = 0.5 * C_R * V^2 \quad (2-2)$$

حيث إن : E : الطاقة المخزنة في المكثف (جول) ، C_R : السعة الاسمية للمكثف (فاراد) ، V : توتر المكثف (فولط) .

من العلاقة السابقة يمكننا حساب الطاقة المخزنة في المكثف بمجرد معرفتنا توتره مع اعتبار أن سعة المكثف ثابتة .

من خلال استخدام المكثفات فائقة السعة في السيارات الكهربائية يمكننا تعويض الاستجابات السريعة في الحمل (خلال التسارع والتباطؤ) ، وذلك لأن خلايا الوقود غير قادرة على تقديم تيارات حمل متغيرة بسرعة ، نظراً لاستجاباتها البطيئة وحاجتها لمدة زمنية معينة للوصول إلى درجة حرارة التشغيل . [16,17,6]

2 5 - المعرج والمحول inverter & converter :

2-5-1- مقدمه :

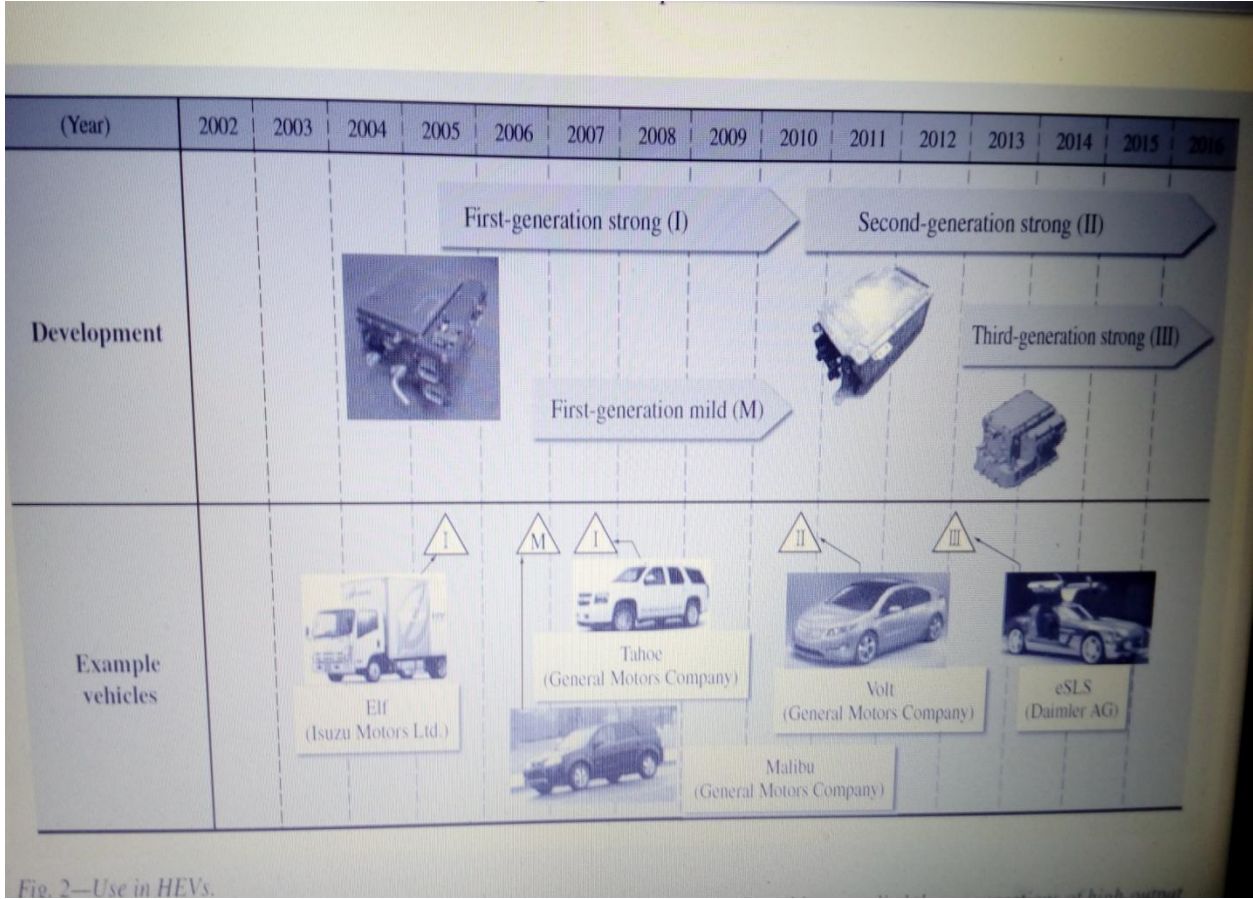
تقنية المعرج inverter : تعني تحويل التيار الخارج من منبع التغذية ، الذي يكون تياراً مستمراً إلى تيار متناوب يغذي المحرك الكهربائي ، في حين أن المبدل يعني تحويل قيمة التوتر المأخوذ من منبع التغذية زيادةً أو إنقاصاً حسب الحالة شحن أو تفريغ .

2-5-2- العمل في الماضي :

لتحقيق التسارع والتباطؤ المطلوب في السيارات الكهربائية والهجينة الذي تؤدي وحدة المبدلات فيه دوراً أساسياً من خلال تحويل التيار المستمر القادم من المدخرات إلى تيار متناوب من أجل ملائمة متطلبات التردد من أجل تحقيق سرعة السيارة ، والتحكم ببقية أجزاء النظام التي تتعامل مع التيار المتناوب من أجل التحكم بسرعة المحرك الكهربائي وقيادة العزم والاستطاعة .

إن متطلبات الأداء لنظام القيادة الكهربائية في السيارات الكهربائية والهجينة هي :

1. صغر الحجم (وهي مهمة لضمان إمكانية تثبيت النظام في السيارة) .
 2. كفاءة عالية لزيادة مجال عمل السيارات الكهربائية .
 3. تحقيق استطاعة عالية ليكون هنالك تزويد متكافئ للطاقة من أجل تحقيق خاصية التسارع المطلوبة .
 4. موثوقية العمل ضمن ظروف العمل الشاقة والصعبة .
- بالاعتماد على نوع المحرك المستخدم ولتأمين التوافق اللازم بين المحرك والمدخرات، لا بد من الحاجة إلى مبدل يؤمن مجالاً واسعاً ومناسباً من التوتر الذي يقدم لنظام القيادة .
- بدأت الشركات بإنتاج معرجات من النمط (full – scale) للسيارات الهجينة والكهربائية مع تبريد مباشر منذ عام 2005 ، هذه المعرجات المنتجة قادرة على التحكم وقيادة محرك كهربائي واحد أو محركين وتعمل حتى 42 فولط . وطورت الشركات المنتجة هذا الإصدار الأساسي من المعرجات حتى وصلت لتوليد مشترك بين الأجزاء كلها ، حيث تم استخدام المعرجات ذات الجانب الأحادي للتبريد المباشر في إصدار الجيل الثاني من المعرجات ، أما من الجيل الثالث وصاعداً فقد تم استخدام الجانب المزدوج من التبريد المباشر . كما يبين الشكل (2-8) :



الشكل (8-2) مراحل تطور إنتاج المعرجات وأجيالها [18]

2-5-3- ميزات المعرج ذي الكثافة الطاقية العالية :

تتضمن متطلبات المعرج المستخدم في السيارات الهجينة والكهربائية خصائص تحكم تمتد من السرعات المنخفضة للمحرك إلى السرعات العالية والبنية المتينة و المتانة والتحمل الحراري والاهتزاز ومتطلبات ضرورية يجب أن تتوفر في المعرج ،كما أن خاصية التوافق الكهرومغناطيسي (EMC) تخفض الشارديه غير المرغوبة للكهرومغناطيسية . حديثاً تطور المعرج ذو الكثافة الطاقية العالية من خلال الميزات الآتية :

1. استخدام وحدة (عنصر) استطاعة مع مقاومة حرارية منخفضة ، IGBTs وديودات مع ضياعات أقل وأداء أعلى .
2. قيمة أقل للتيار الرئيسي وسعة مثالية .
3. تصميم قنوات الماء لتؤمن كفاءة تبريد عالية مع ضياع ضغط أقل .
4. تصميم لوحة تيار التحكم بالمحرك من أجل أمان وظيفي عالٍ .

5. تصميم الطبقة المدمجة مع حجم صغير ووزن قليل .

6. الابتعاد عن تعقيد مساعدات المعرج .

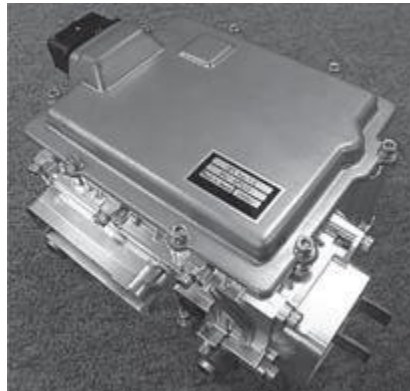
2-5-4- المعرج الأساسي أو الجيل الثالث للمعرج :

يظهر الشكل (2-9) المعرج المصمم من الجيل الثاني والقادر على قيادة محركين ومع جانب أحادي لتبريد التيار (طبقة تبريد واحدة) .



الشكل (2-9) معرج من الجيل الثاني [18]

في حين يوضح الشكل (2-10) المعرج المصمم من الجيل الثالث (الأساسي) الذي يقود محركاً واحداً فقط، ويستخدم عنصراً مع طبقة مزدوجة (ثنائية) من أجل تبريد التيار، مع ميزات كثافة استطاعية عالية تصل إلى 35 kw/l ، وهي أعلى ب 5.6 مرات من الكثافة الاستطاعية لعنصر التوليد في الجيل الأول.



الشكل (2-10) معرج من الجيل الثالث [18]

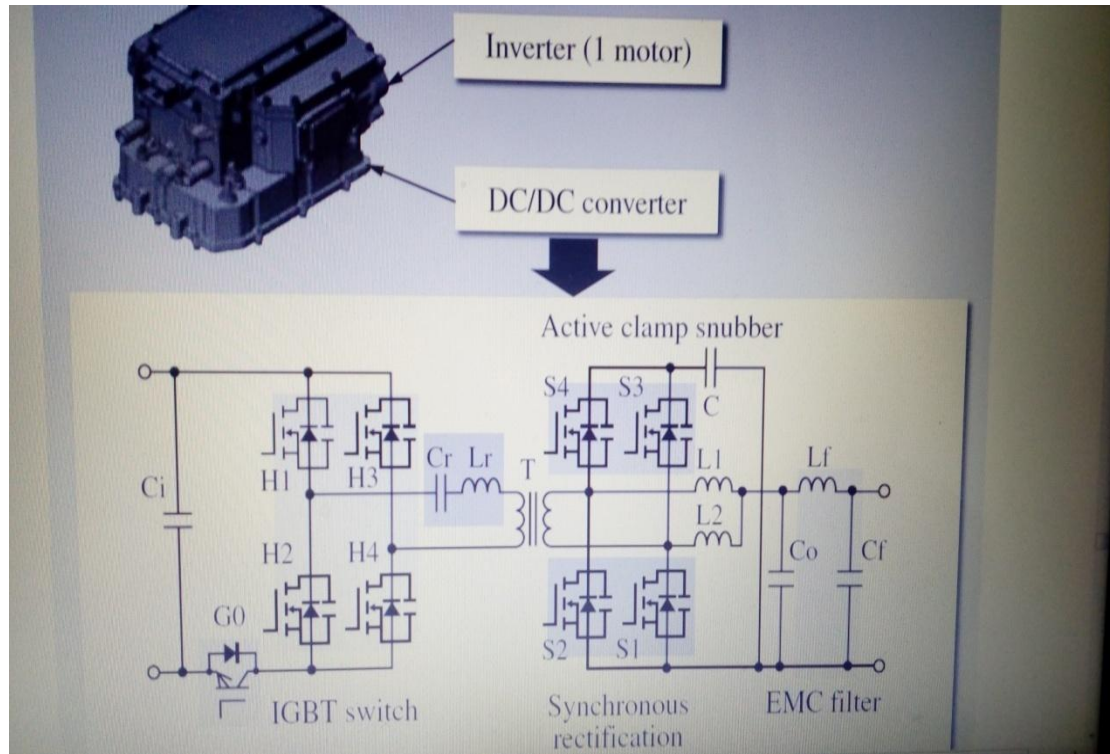
إن الأهداف في الجيل الجديد من هذه المعرجات كان تبسيط تنسيق السيارة تصميمياً وتقصير فترات التطوير وعدد مرات التصميم ، من خلال استخدام عنصر للطاقة مع طبقة مزدوجة لتبريد التيار.

سيكون حجم المعرج الجديد أصغر بحدود 3.5 مرة ، وهذا ما يجعل التركيب في السيارة سهلاً إلى حد كبير .

2-5-5- المقطع أو المبدل DC/DC converter :

في السيارات الهجينة والكهربائية نظام الشحن أكثر من 12 فولط ، ولكنها تتطلب محولاً ، يتم تزويد الطاقة من خلاله بواسطة نظام رفع الجهد إلى قيم تتراوح من 150 فولط إلى 450 فولط حسب الإصدارات ، وكما سبق أن ذكرنا فإنه يجب أن يخفض الجهد على 12 فولط عند الشحن.

استجابة لما سبق قامت الشركات المصنعة بتطوير خاصية المقطع (DC/DC) بالتكامل مع وظيفة المعرج ضمن وحدة متكاملة تستطيع أن تتشارك بالميزات بين المقطع والمعرج، مثل نظام التبريد وموصلات رفع التوتر ، وتم صنعها على نحو أسهل من أجل إمكانية تحميلها في السيارة ، كما يبين الشكل (2-11) الآتي :



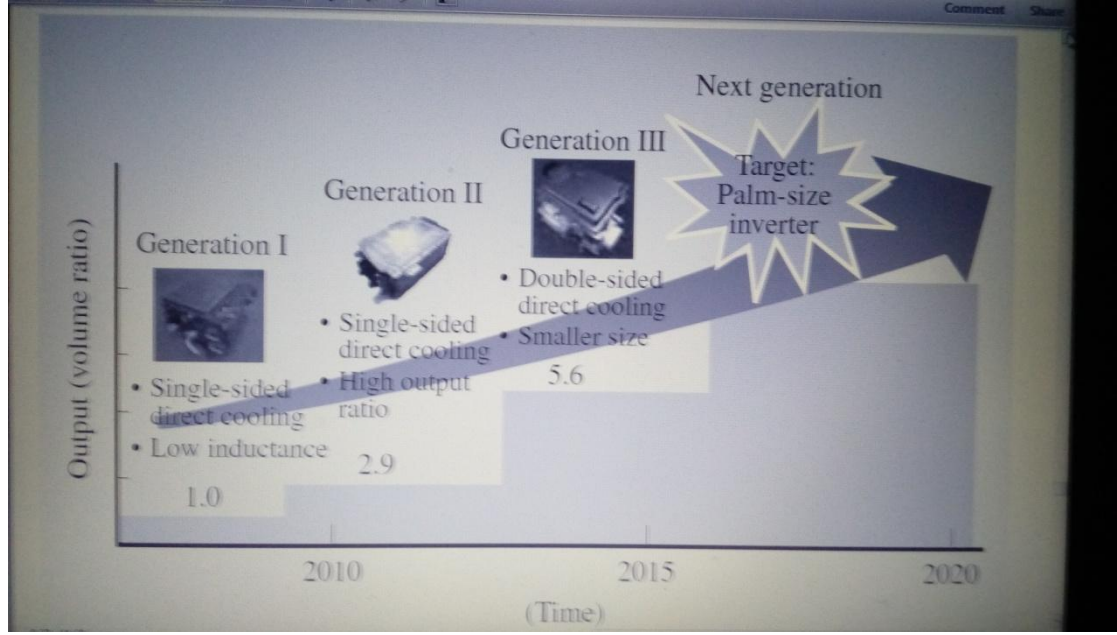
الشكل (11-2) وحدة متكاملة لعمل المعرج والمقطع [18]

يتضح من نقاط التطوير وفق المخطط السابق مشبك التيار النشط إضافة إلى IGBT لطريقة التبديل التي تنتج 3 كيلو واط DC/DC ، كما يحقق هذا المقطع مردود عالي يصل إلى 92% ، ويمكن أن يصل إلى 95% تحت شروط عمل معينة ، وهو يدعم العمليات ثنائية الاتجاه .

2-5-6- الخلاصة :

تم التعرف على الأجيال وكيف تطورت ، كما أن إصدارات التصنيع في كل منهما توجد نية في استمرار الأبحاث والعمل على تطويرها خاصة من خلال تطوير جهاز القدرة وتصميم عنصر الطاقة ، كما هنالك أيضاً توجه نحو الاستمرار في صنع معرجات صغيرة الحجم وتستطيع زيادة خرجها (استطاعتها) لتلائم حالات العمل المختلفة وتكون في متناول اليد .

كما يبين الشكل (2-12) :



الشكل (2-12) مراحل تطور إنتاج المعرجات والمقطعات [18]

من المتوقع في المستقبل ، أن معرجات السيارات الكهربائية سوف تجد تقنية جديدة مبتكرة تجعل إمكانية تصنيعها بواسطة كربون السيلكون (SIC) ، ومن جانب آخر استخدام أنصاف النواقل ، وميزات هذا النظام إمكانية الدمج من أجل إنقاص في الكلفة الإجمالية لقيادة النظام. [18]

2 6 - أنواع المحركات الكهربائية المستخدمة في الجر :

تقوم الشركات الصانعة للسيارات بالتعاون مع مؤسسات البحث العلمي و الجامعات التقنية بإجراء الأبحاث العلمية لتطوير أنواع عدة من المحركات الكهربائية و ملائمتها للاستخدام في السيارات الكهربائية ، ولتصنيع النماذج الأولية من هذه المحركات ، واختبارها و تجربتها لاختيار الملائم منها للوظيفة المطلوبة . تعددت أنواع المحركات الكهربائية لغرض الاستخدام في السيارات الكهربائية من محركات تيار مستمر ، والمحركات التحريضية ، والمحركات ذات المقاومة المغناطيسية المتغيرة .

يبين الجدول (2-4) أنواع المحركات الكهربائية المستخدمة في التحريك والجر في عدد من السيارات الكهربائية المنتجة حالياً :

الجدول (2-4) يبين بعض أنواع المحركات الكهربائية المستخدمة في السيارات الكهربائية [3]

نوع السيارة	المحرك الكهربائي المستخدم
بيجو - فرنسا Peugeot	محرك تيار مستمر
نيسان - اليابان Nissan	محرك مستمر ذو مغناطيس دائم
هوندا - اليابان Honda	محرك ذو مغناطيس دائم
تويوتا - اليابان Toyota	محرك ذو مغناطيس دائم
شفرولية - أمريكا Chevrolet	المحرك التحريضي
ب.م دبليو. - ألمانيا BMW	المحرك التحريضي
مرسيدس - ألمانيا Mercedes	المحرك التحريضي

من خلال الدراسات المرجعية يمكن الملاحظة أن الاستخدام الأوسع والأكثر انتشاراً حالياً هو للمحرك التحريضي ثلاثي الأطوار، و يليه محرك التيار المستمر ذي التهيج التسلسلي . [3]

فيما يأتي شرح عن الأنواع المختلفة لهذه المحركات مع بيان مزايا ومساوئ كل نوع ، ونقاط الاختلاف فيما بينها :

2 6 1 - محرك التيار المستمر التسلسلي (series – wound direct – current drive) :

يُعد هذا النوع من المحركات البسيطة ، يكون توتر المحرك فيه مضبوطاً بالتوافق مع التيار المطلوب والتوتر المطبق من المدخرات والواصل إلى المحرك وذلك في الحالات كلها.

مع أن مردود هذه الأنواع من المحركات منخفضة لكنها مستخدمة في أغلب السيارات الصناعية إلى اليوم ، وذلك بسبب بساطة التصميم وقلة التكلفة .

يقدم هذا المحرك عزمًا كبيراً جداً عند الإقلاع ، لكنه لا يستطيع الحفاظ عليه عند السرعات العالية لهذه المحركات وللسيارات المستخدمة فيها ، وهو يسمح باستخدام مرحلة واحدة لنسب الغيار في جملة نقل الحركة .

2 6 2 - محرك التيار المستمر مستقل التهيج أو التحريض (excited direct) :

في هذا النوع من محركات التيار المستمر يقدم التهيج الناتج عن مغناطيس المحرك للمتحكم من أجل تشغيله ، وهي تعتمد على قياس المحرك ، والحقل المغناطيسي الناتج سيكون ضعيفاً نسبياً . تبدأ شدة الحقل بالانخفاض مع سرعة المحرك الطبيعية التي تم الحصول عليها مع توتر المحرك الكامل الناتج من ملف التهيج وأعظم تيار للحقل .

خلال التسارع الابتدائي مع تيار أعظمي للحقل يتم من خلال جهاز التحكم الإلكتروني لملف التهيج تحديد قيمة التيار الواصل للمحرك التي تجعل المحرك يصل إلى السرعة الاسمية الموافقة لتوتر كامل للمحرك مطبق من ملف التهيج .

في حال انخفاض شدة حقل القوة المغناطيسية فإن تيارات ملف التهيج الثابتة تنتج طاقة خرج ثابتة نسبياً . تيار عضو الإنتاج يجب عادة أن ينخفض قبل الوصول للسرعة العظمى .

يُعد هذا التصميم أكثر تعقيداً من التصميم السابق ، وهذا النوع يمكن أن يستخدم مع مراحل متعددة لجملة نقل الحركة ، وذلك لإنقاص أو تخفيض كلفة المحرك ووزنه .

تستخدم نسبة قليلة جداً من السيارات الكهربائية اليوم محركات التيار المستمر؛ لأنها تعتمد اعتماداً أكبر على محركات التيار المتناوب ثلاثية الأطوار المتزامنة أو غير المتزامنة ، وذلك لقلة الحاجة للقيام بأعمال صيانة على أجزائه ومكوناته ، لأن المسفرت أو حلقات الانزلاق في محركات التيار المستمر يجب أن تتبدل بانتظام ، وإن على فترات طويلة نسبياً.

2 6 3 - محركات التيار المتناوب ثلاثية الأطوار اللاتزامنية (المحركات التحريضية ثلاثية الطور) :

تُعد هذه المحركات بسيطة التصميم والأكثر اقتصادية ، وهي الأصغر من حيث القياس والوزن مقارنة مع محركات التيار المستمر . إن التحكم في محركات التيار المتناوب ثلاثية الأطوار المستخدمة في السيارات الكهربائية هو الأكثر تعقيداً ، إذا ما قارناه مع التحكم في محركات التيار المستمر .

تكون هذه المحركات التحريضية ذات مردود أعلى مقارنة مع محركات التيار المستمر، لكنها ليست هادئة وسلسلة كالكفاءة التي نحصل عليها في محركات التيار المتناوب ثلاثية الأطوار اللاتزامنية مع مغناطيس دائم .

2 6 4 - محركات التيار المتناوب ثلاثية الأطوار مع مغناطيس دائم (تزامنية) محركات تزامنية ذات أقطاب دائمة :

يتسم هذا النوع من المحركات بمردود عالي في مجال الأحمال الجزئية لأنه يستخدم مغناطيساً دائماً يولد لنا حقل تهيج (تحريض) . وجود المغناطيس الدائم يجعل هذا النوع من المحركات أكثر سعراً مقارنة مع تصميم المحركات التحريضية .

لا يمتلك هذا النوع من المحركات القدرة على العمل بتغيير تيار التهيج ، ولكن مع ذلك فإن التحكم بتيار التهيج يعوض من خلال زيادة رد الفعل المتولد من تيار الجزء الثابت الممكن فعلياً استمراره في الخرج ؛ لذلك فإن نسبة التغيير ذات المرحلة الواحدة هي في العموم كافية في مثل هذه الأنواع .

2 7 - جملة نقل الحركة للعجلات :

استطاعت السيارات الكهربائية لفت وكسب الانتباه من قبل صانعي السيارات لأنها أكثر ملائمة ، وتمتلك مكونات أقل بالمقارنة مع سيارات محركات الاحتراق الداخلي ، وحصل ذلك بعد التطور الذي تم على مدخرات الليثيوم أيون الذي ساعد على زيادة إنتاج السيارات الكهربائية.

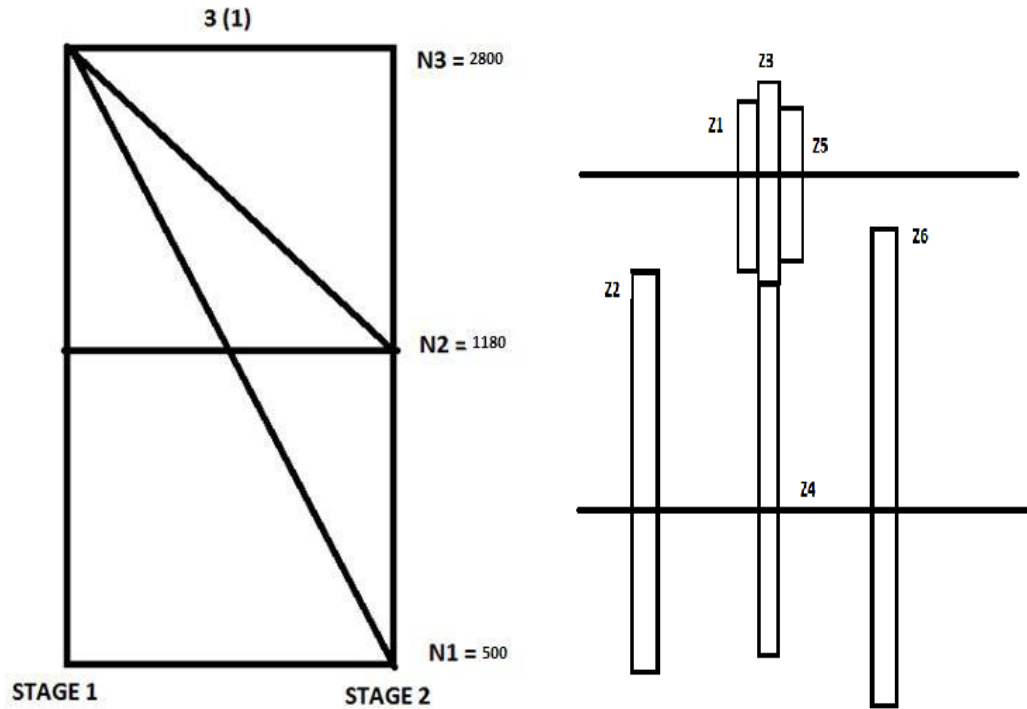
يوجد في السيارات الكهربائية المنتجة تجارياً مرحلة تخفيض سرعة واحدة فقط في جملة نقل الحركة ، إضافة إلى متحكمات في المحرك الكهربائي المستخدم ، ويعود ذلك إلى أن المزايا الكهربائية للمحركات التي تجعلها تعمل بما يكفي لتحقيق التكافؤ المطلوب من أجل تأمين متطلبات القيادة الأساسية .

يمكن أن يكون نظام جملة نقل الحركة متعدد السرعات المقترح استخدامه في السيارات الكهربائية مفيداً ، إذا كان التصميم معد لجملة نقل الحركة خاصاً بالسيارات الكهربائية ؛ لأن تصميم جملة نقل الحركة التقليدية المستخدم في محركات الاحتراق الداخلي غير ملائم مع أنه يؤمن مجال العمليات الأمثل لمحرك الاحتراق الداخلي بدون الحاجة إلى محرك كهرباء . يميل نظام جملة نقل الحركة اليدوي لأن يكون كبير الحجم ويستخدم مكونات ثابتة للثبيت وتبديل السرعات ، وهذا ما يؤدي لضياعات طاقة والحصول على مردود أقل إذا ما تم استخدامه في السيارات الكهربائية .

بشكل مشابه نظام جملة نقل الحركة الأتوماتيكي التقليدي أيضاً ليس هو الحل بسبب وزنه الثقيل ، ولأنه سوف يضاف كما هو بصورة شاملة إلى نظام السيارة الكهربائية.

إذا جمعنا الكفاءة المختلفة بين السيارات الكهربائية التقليدية مع سرعة واحدة لنسب التخفيض والسيارات الكهربائية التي تستخدم جملة نقل حركة متعددة السرعات (تصميم خاص للسيارات الكهربائية) ، نستطيع أن نقارن بين المخططات البيانية للأداء لكل نوع من السيارات الكهربائية حسب جملة نقل الحركة المستخدمة مع ملاحظة نقاط الاختلاف الحاصلة في المخططات مع تطبيق الشروط نفسها على النوعين .

مؤشرات جملة نقل الحركة المقترحة :



الشكل (2—13) المسننات ومؤشرات مرحلتي التعشيق في علبة المسننات [15]

تتكون المحددات المتعلقة بجملة نقل الحركة المقترحة من مرحلتين أو ثلاث مراحل للسرعات هي : المحرك الكهربائي المستخدم استطاعته 50 HP مع سرعة عظمى تصل إلى 2800 دورة بالدقيقة وسرعة دنيا تصل ل 500 دورة بالدقيقة . إن المسننات المستخدمة من النوع الحلزوني الذي يكون قادراً على تأمين دعم عالٍ جداً خلال الأحمال والقوى التي تستمر لمدة طويلة من

الوقت ، عدد أسنان كل مسنن مستخدم مبينة في الجدول الآتي (2-5) مع نسب التغيير لحالة ثلاثة أزواج من المسننات :

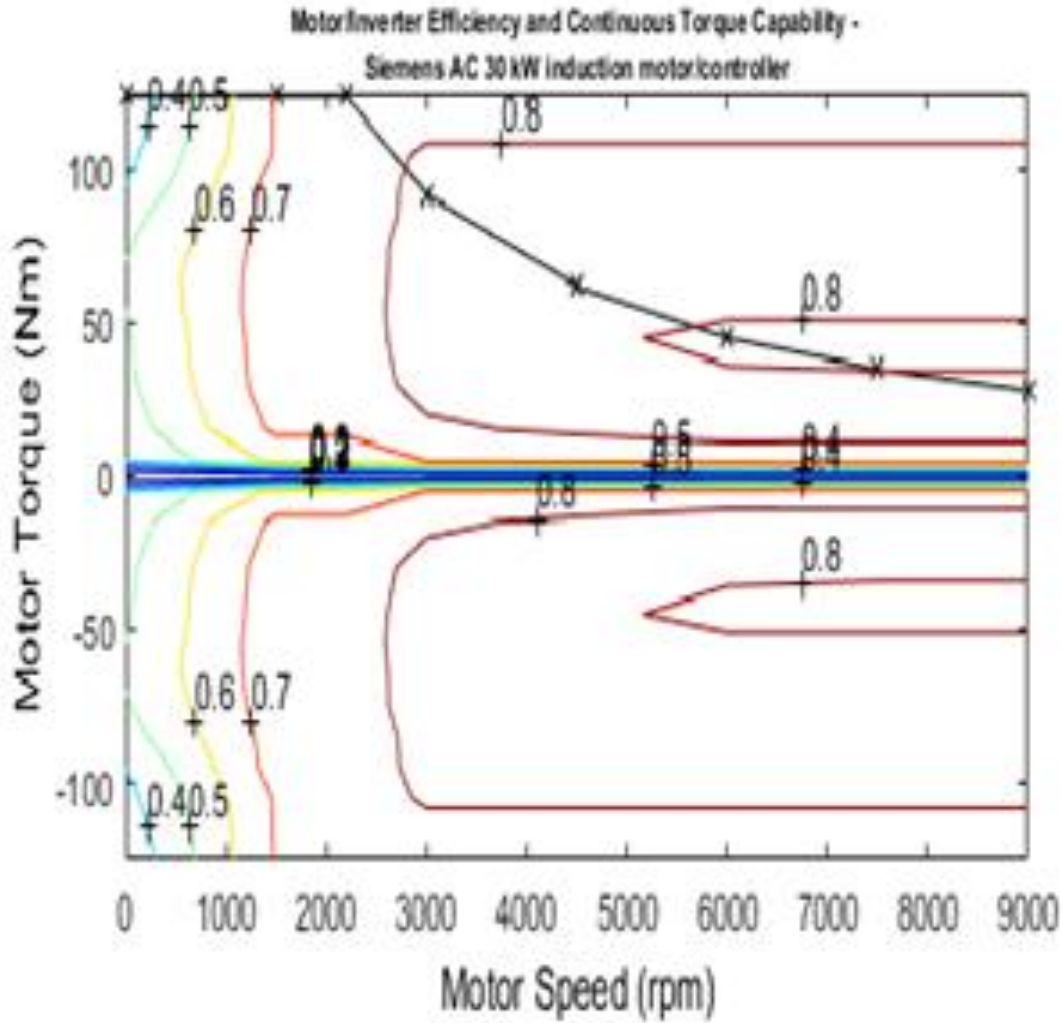
الجدول (2-5) يبين عدد الأسنان المستخدم مع نسب التغيير [15]

رقم المسنن	عدد الأسنان	نسبة التغيير
Z1	39	$Z6/Z5 = 5.6$
Z2	93	
Z3	66	$Z2/Z1 = 2.37$
Z4	66	
Z5	20	$Z4/Z3 = 1$
Z6	112	

كما نجد أن عرض المسنن 25 مم ، وطول العمود الحامل للمسننات 210 مم .

يبين الشكل (2-14) العلاقة بين عزم المحرك الكهربائي وسرعة دوران المحرك من أجل محرك تيار متناوب استطاعته 40 HP يستخدم على سيارة كهربائية وزنها 870 كغ تعمل على مدخرات ليثيوم أيون تحوي 36 خلية ، طاقة كل خلية 6AH .

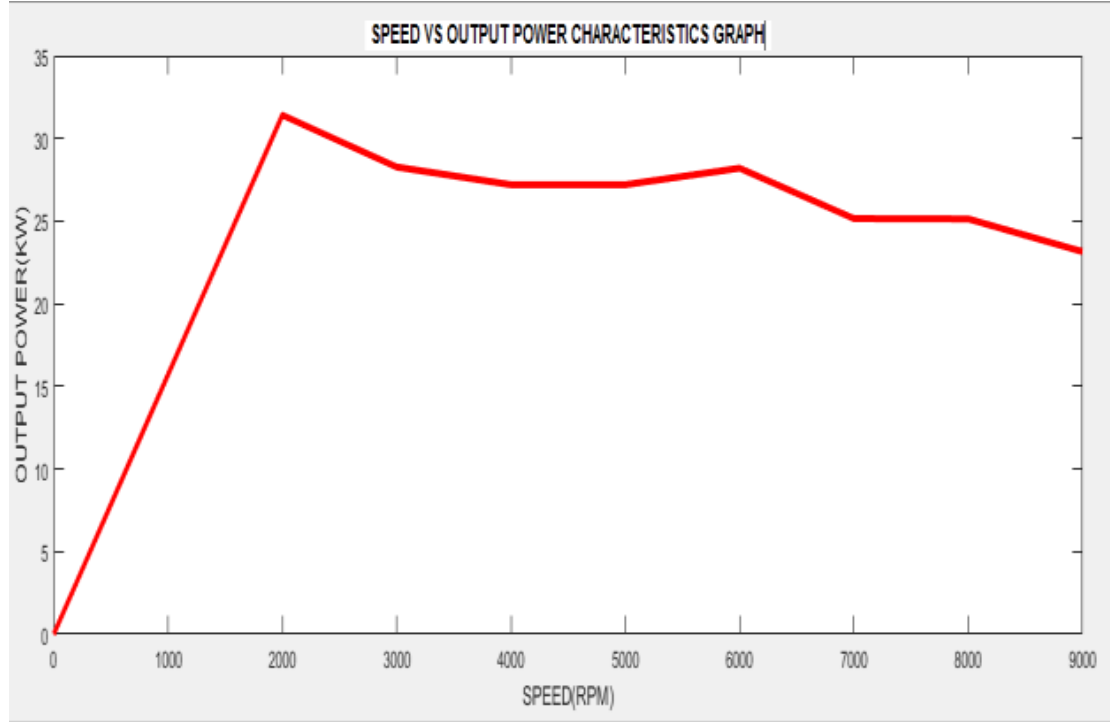
هذا المحرك يتطلب عزم إقلاع عالٍ لكن هذا العزم يميل إلى الانخفاض مع زيادة السرعة .



الشكل (2-14) العلاقة بين عزم المحرك وسرعة الدوران [15]

يبين الشكل (2-15) العلاقة بين سرعة دوران المحرك واستطاعة الخرج ، حيث نجد أنه مع زيادة الاستطاعة المطلوبة بوساطة المحرك عالي المردود ، تختلف مع زيادة سرعة المحرك . في الحالة الطبيعية نحن نستخدم نسبة تخفيض واحدة للسرعة وهي ليست قادرة على تعديل سرعة المحرك وتحقيق رفع المردود المطلوب .

إن الهدف من استخدام نظام جملة نقل الحركة متعدد السرعات هو السماح بعمل المحرك بشكل خطي في منطقة المردود المثالي ، ومن ثم هذا سيساعد في إنقاص الطاقة المستهلكة ، وهذا ما يعني استخدام مدخرات أصغر ، وهكذا نستطيع أن نساعد في رفع وزيادة المجال للسيارات الكهربائية . [19]

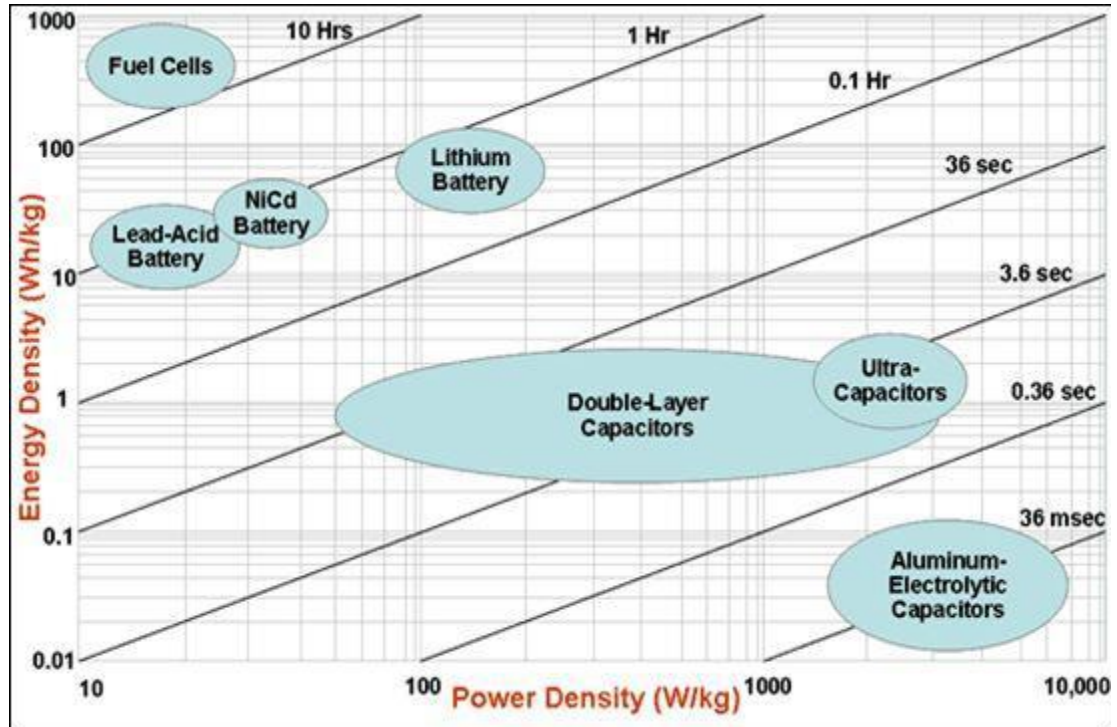


الشكل (2 - 15) مخطط يبين العلاقة بين سرعة دوران المحرك واستطاعة الخرج . [15]

2 8 - حالات عمل واستخدام منابع الطاقة المختلفة في السيارة الكهربائية :

إن منابع الطاقة المستخدمة في السيارات الكهربائية هي (خلايا الوقود + المدخرات + مكثفات فائقة السعة) وهذه المنابع لا تعمل ولا تستخدم في الوقت نفسه في السيارة الكهربائية ، ولكن هنالك حالات وظروف يفضل بها عمل أحد هذه المنابع ، وذلك لتجانس حالات العمل هذه مع خصائص المنبع المستخدم ، فمثلاً خلايا الوقود غير قادرة على تقديم تيارات حمل متغيرة نظراً للاستجابة الديناميكية البطيئة لها ، لذلك سيتم تعويض هذه الخاصية المفقودة في خلايا الوقود التي لا يمكن لها أن تلبي حالات تسارع وتباطؤ السيارة ؛ نظراً لأنه في هاتين الحالتين نحتاج إلى استجابات سريعة في الحمل تعويضها وتلبي هذه الاستجابات المكثفات الفائقة السعة ، أما عندما تتطلب حركة السيارة استرجار استطاعة كهربائية خارج مجال الاستطاعة التي يمكن لخلايا الوقود العمل فيها وتلبيتها زيادة أو نقصان يمكن لنا استخدام المدخرات . يُعد مفهوم كثافة الاستطاعة (الذي يعبر عن الاستطاعة الأعظمية الممكن استرجارها بالنسبة إلى واحدة الكتلة W/Kg) ومفهوم كثافة الطاقة (الذي يعبر عن الطاقة الممكن صرفها من المنبع لأجل واحدة الكتلة Wh/kg) ، أحد أهم المفاهيم في عالم التخزين ؛ لأنها تحدد المنبع الأمثل للطاقة الواجب استخدامه حسب التطبيق المناسب له ؛ فمثلاً عند الحاجة للتشغيل لأزمنة طويلة نبحث عن

مصادر ذات كثافة طاقة عالية مثل المدخرات التي تملك كثافة طاقة عالية يمكن الاستفادة منها في زيادة زمن التشغيل للمركبة ، في حين أنه في حال كان المطلوب سحب استطاعة كبيرة بصرف النظر عن الزمن نبحث عن المصادر ذات كثافة الاستطاعة العالية ، مثل المكثفات فائقة السعة بحيث يمكن استخدامها عند الإقلاع أو عند الكبح كما سبق وذكرنا . يوضح الشكل الآتي (16-2) مجال العمل الأمثل لكل نوع من مصادر ومصادر التغذية الثلاثة المستخدمة في السيارات الكهربائية حسب كثافة الطاقة وكثافة الاستطاعة الممكن تقديمها . [6]



الشكل (16-2) يوضح خصائص ومجال العمل لكل نوع من مصادر التغذية المستخدمة في السيارات الكهربائية [6]

2 9 - القوى والاستطاعات المؤثرة في حركة السيارة

2 9 ± - قوى مقاومة حركة السيارة

تطبق قوى الشد المستهلكة لمصدر القدرة في السيارة على العجلات القائدة ، وذلك من أجل التغلب على كل القوى المقاومة لحركة السيارة والفائض من هذه القوى يتم صرفه إما من أجل زيادة تسارع السيارة فقط في السيارات التقليدية ، أو من أجل زيادة التسارع للسيارة وإعادة الشحن للمدخرات في السيارات الكهربائية عند الحاجة .

تتكون قوى مقاومة حركة السيارة من القوى الآتية : [20]

قوة مقاومة تدحرج (دوران) عجلات السيارة P_f ، قوة مقاومة الميل (الصعود أو الهبوط) P_i ،
قوة مقاومة الهواء P_w ، قوة مقاومة عطالة السيارة P_j .

لأنه يجب أن تكون قوة شد السيارة في كل لحظة مساوية لمجموع هذه القوى كحد أدنى مع أخذ
اتجاه التأثير بالحسبان ، علماً أنه يتم العمل على جعل هذه القوى أقل ما يمكن في أثناء تصميم
السيارة ، وسنتحدث عن كل قوة على حده .

- قوة مقاومة تدحرج (دوران) عجلات السيارة P_f : Rolling Resistance

وتدعى اختصاراً قوة مقاومة التدحرج ، وهي القوة الناتجة عن جميع عوائق تدحرج عجلات
السيارة عدا قوة مقاومة الميل والهواء و العطالة ، وهذه العوائق المشكلة لقوة مقاومة التدحرج
هي: تبدل شكل إطارات عجلات السيارة ، وكذلك تبدل شكل سطح الطريق خلال الحركة ،
إضافة إلى الاحتكاك في مركز محاور العجلات ، والاحتكاك في سطح التماس بين عجلات
السيارة و سطح الاستناد ، المقاومات الناتجة عن حركة السيارة على الطرق غير المستوية حيث
تتشكل قوى عطالة معاكسة للتأثير تتسبب في ضياع جزء من القدرة المحركة للسيارة ، إضافة
إلى أي قوة مقاومة تدحرج قد تظهر لمختلف الأسباب (مثل الانحراف الجانبي للسيارة أو غيره
...).

ترد محصلة جميع هذه القوى إلى قوة مماسية واحدة تعاكس تأثير قوة شد السيارة وتعين رياضياً
من خلال مقاومة التدحرج f وتساوي لحالة الحركة على طريق مائل بزاوية α على الأفق
بالعلاقة :
$$P_f = f \cdot Mg \cdot \cos \alpha \quad (2-3)$$

حيث أن :

f : معامل التدرج للعجلة ، Mg : وزن السيارة الإجمالي ، α : زاوية ميل الطريق عن خط الأفق

ولحالة طريق أفقي فإن $\alpha = 0$ ومنه $\cos \alpha = 1$ وعليه : $P_f = f \cdot Mg$

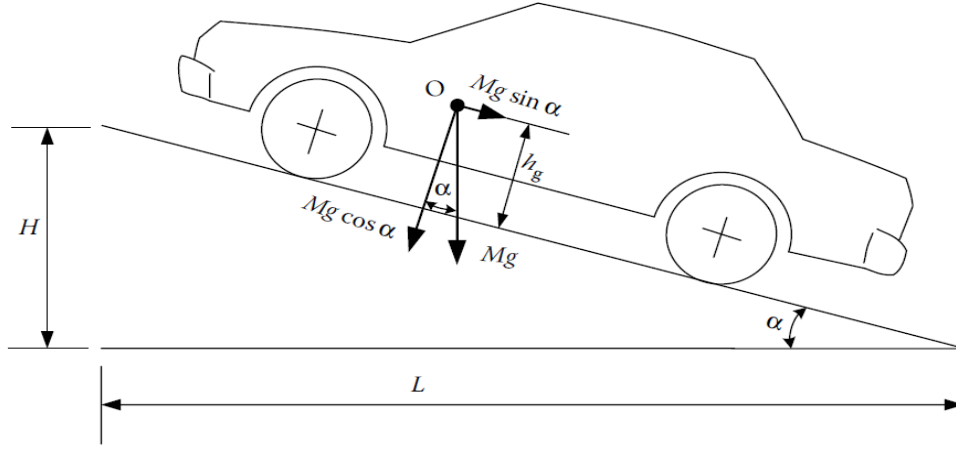
ومنه تكون في هذه الحالة ردود فعل الطريق النازمية المؤثرة في عجلات السيارة في هذه الحالة
مساوية إلى الوزن الإجمالي للسيارة $G_a = Mg$ ، أما قوة مقاومة التدحرج النوعية γf فتعطى

بالعلاقة الآتية :
$$\gamma f = \frac{P_f}{Mg} \quad (2-4)$$

وعليه تكون للطرق المائلة $\gamma f = f \cdot \cos \alpha$ أما للطرق الأفقية فتصبح : $\gamma f = f$.

- قوة مقاومة ميل الطريق (مقاومة التدرج) : Grading Resistance

تتعرض السيارة خلال حركتها على الطرق العامة إلى ميل تحت تأثير الحركة صعوداً أو هبوطاً كما يبين الشكل (2-17) حركة السيارة المتزنة صعوداً على طريق مائل على الأفق بزاوية α وتترافق حركة السيارة صعوداً بظهور مقاومة إضافية تتعلق بقيمتها بمقدار زاوية ميل الطريق من جهة وبوزن السيارة الإجمالي من جهة أخرى .



الشكل (2- 17) حركة السيارة على طريق مائل [6]

كما في الشكل (2-17) تم تحليل القوة الشاقولية Mg والمركزة في مركز ثقل السيارة إلى قوتين ، إحداها عمودية على سطح الاستناد وتساوي إلى $Mg \cdot \cos \alpha$ ، والثانية موازية له وتساوي إلى $Mg \cdot \sin \alpha$.

إن القوة الشاقولية تنتوزع على عجلات السيارة ، وتستدعي ردود فعل الطريق النازمية عليها ، أما القوة الموازية لسطح الاستناد فتشكل قوة مقاومة إضافية لحركة السيارة ؛ إذ تؤثر في عكس اتجاه الحركة وتدعى بقوة مقاومة الميل لحركة السيارة وهذا لحالة الصعود ، أما لحالة الهبوط فإن هذه القوة تؤثر في اتجاه الحركة وتؤدي دور القوة المحركة للسيارة ، وتضاف لقوة شد السيارة .

- تشكل قوة مقاومة الميل مع قوة مقاومة التدرج مجتمعتين قوة مقاومة الطريق الإجمالية لحركة السيارة $P\phi$ التي تعطى بالعلاقة : $P\phi = Pf \pm Pi$ حيث إن Pi قوة مقاومة الميل التي تعطى بالعلاقة الآتية : $Pi = \pm Mg \cdot \sin \alpha$ ، وفي حال الانتقال إلى

المقادير النوعية للقوى نحصل على العلاقة الآتية التي تعبر عن قوة مقاومة الطريق الإجمالية النوعية $\gamma\phi$:

$$\gamma\phi = \frac{P\phi}{Mg} = f \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha \quad (2-5)$$

إن ميل الطريق يحسب من خلال زاوية ميله على الأفق أو بالنسبة المئوية i لارتفاعه المبين على الشكل ب H إلى مسافة امتداده L ، وتقدر زاوية الميل α بالدرجات ولا يجب أن تتعدى قيمتها العظمى $5 \div 4$ درجات حسب النظم المعتمدة ولهذه الزاوية الصغيرة تصح العلاقة : $\sin \alpha \approx \tan \alpha \approx i$ ويكون : $\cos \alpha \approx 1$ ووفقاً للتقريب السابق تصبح العلاقة للمقادير النوعية للقوى تعطى بالشكل الآتي : $\gamma\phi \approx f \pm i$ أي إن قوة مقاومة الطريق الإجمالية النوعية تساوي بالتقريب إلى معامل التدرج f مضافاً إليه أو مطروحاً منه (حسب حالة الطريق صعوداً أو هبوطاً) ميل الطريق بالنسب المئوية . [20]

- قوة مقاومة عطالة السيارة لحركتها :

تتألف عطالة السيارة الإجمالية من عطالة كتلتها المتحركة حركة مستقيمة خطية ، وعطالة عناصرها المتحركة حركة دورانية ، في أثناء حركة السيارة المتسارعة يستهلك جزء من قوة الشد ليقوم بإعطاء كتلة السيارة تسارعاً خطياً dv/dt ندعوه بقوة مقاومة عطالة السيارة الخطية ونرمز له ب P_{j1} ، والجزء الآخر يصرف لإعطاء عناصر السيارة المتحركة حركة دورانية تسارعاً زاوياً ندعوه بقوة مقاومة العطالة الدورانية للعناصر الدوارة في السيارة ونرمز له ب P_{j2} وعليه فإن قوة مقاومة عطالة السيارة الإجمالية P_j تعطى بالعلاقة:

$$P_j = P_{j1} + P_{j2} \quad (2-6)$$

$$P_{j1} = \frac{Mg}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \quad (2-7) \quad \text{حيث إن :}$$

تشكل $\frac{Mg}{g}$ كتلة السيارة باعتبار Mg وزنها الإجمالي و g التسارع الأرضي الذي يساوي (9.81 m/sec^2) أما P_{j2} فأنها تعطى بالعلاقة الآتية :

$$P_{j2} = \frac{J_m}{r d^2} \cdot i^2 \cdot \mu_m \cdot \frac{dv}{dt} + \epsilon J_k \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \frac{1}{r_d^2} \quad (2-8)$$

ويمثل الحد الأول في هذه العلاقة قوة مقاومة عطالة المحرك وجملة نقل الحركة الدورانية ، في حين يمثل الحد الثاني فيها قوة مقاومة العطالة الدورانية لعجلات السيارة بما فيها القائدة والمقادة باعتبار أن εJ_k يشكل مجموع عزوم عطالة جميع عجلات السيارة بالنسبة إلى محور يمر من مراكزها عمودياً على اتجاه حركتها الخطية ومستوى دورانها ومع ملاحظة أن $i = i_0 + i_k$ ، وعليه استناداً للعلاقات السابقة فإن قوة مقاومة عطالة السيارة تأخذ الشكل التفصيلي الآتي :

$$P_j = \frac{Mg}{g} \cdot \frac{dv}{dt} + J_m \cdot i_0^2 \cdot i_k^2 \cdot \mu_m \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \frac{1}{r_d^2} + \varepsilon J_k \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \frac{1}{r_d^2} \dots \dots (2-9)$$

تشكل هذه المعادلة العلاقة الرياضية الدقيقة التي تحسب من خلالها قوة مقاومة عطالة السيارة الإجمالية ، وهي طويلة ومعقدة ويتم تبسيطها لتصبح سهلة الاستعمال في الحسابات العملية لتصبح على الشكل الآتي :

$$\delta = 1 + \partial 1 \cdot i_k^2 + \partial 2 \quad (2-10)$$

حيث إن :

δ : معامل ازدياد قوة مقاومة العطالة الخطية نتيجة لإضافة قوة مقاومة عطالة العناصر المتحركة حركة دورانية .

$\partial 1$: معامل ثابت يحدد ازدياد قوة مقاومة العطالة P_{j1} بفعل العطالة الدورانية للمحرك وأجهزة جملة نقل الحركة وتقع قيمته لمختلف أنواع السيارات ضمن المجال (0.04 ÷ 0.06) .

$\partial 2$: معامل ثابت يحدد ازدياد P_{j1} بفعل العطالة الدورانية لعجلات السيارة ، وتقع قيمته لأنواع السيارات المختلفة ضمن المجال (0.03 ÷ 0.05) .

تبين علاقة المعامل δ أن قيمته تابعة للقيمة العددية لنسبة التغير في علبة السرعة ، وهي أكبر ما تكون في حالة استعمال نسبة التغير الأولى باعتبارها الأكبر قيمة ، وأخفض ما تكون في حالة استعمال نسبة التغير الأخيرة الأخفض قيمة وتقع للسيارات الشاحنة ضمن المجال (3.0 ÷ 2.5) أما للسيارات السياحية (1.8 ÷ 1.6) ، وهذا من أجل استعمال نسبة التغير الأولى في علبة السرعة $i_k = i_{k \max}$ أما لحالة استعمال نسبة التغير الأخيرة $i_k = i_{k \min}$ فإن المجال للسيارات الشاحنة يصبح (1.08 ÷ 1.06) وللسيارات السياحية (1.06 ÷ 1.04) ÷ . وعليه يستنتج أن عمل السيارة يجب أن لا يطول على نسبة التغير الأولى حيث δ كبيرة

جداً ؛ لذلك تستخدم هذه النسبة لتأمين الانطلاق فقط وبعدها الانتقال بسرعة لنسبة التغير الثانية الأقل بالقيمة العددية ، وعلى هذه النسبة يجب أن يبدأ تسارع السيارة .

- قوة مقاومة الهواء : Air Resistance

تنتج هذه المقاومة نتيجة لاصطدام جزيئات الهواء بمقدمة السيارة على اعتبار السيارة موجودة ضمن كتلة هوائية ساكنة لا يتحرك الهواء فيها ، وتعطى قوة مقاومة الهواء لحركة أي جسم فيه بالعلاقة التالية :

$$P_w = C \cdot \rho \cdot F \cdot V^n \quad (2-11)$$

حيث إن : C : معامل يتعلق بشكل الجسم المتحرك ونوعية سطحه .

ρ : كثافة الهواء ، F : سطح مسقط الجسم على مستوى عمودي على اتجاه الحركة .

V : سرعة حركة الجسم ، n : القوة التي ترفع إليها سرعة الحركة فتتعلق بمقدار هذه السرعة وتساوي إلى الواحد عندما تكون $v \leq 1 \text{ m/sec}$ وإلى اثنين عندما تقع السرعة في المجال : $1 < V \leq 300 \text{ m/sec}^2$ ، وتزداد بازدياد سرعة الحركة .

حركة السيارة تقع ضمن هذا المجال عملياً كما يمكن بالنظر إلى أن كثافة الهواء ثابتة بشكل متوسط لمختلف الظروف الاستثمارية (عدا المناطق الجبلية) مما يمكننا من دمجها مع العامل المتعلق بشكل السيارة ونوعية سطحها ، ويعبر عنهما بمعامل واحد نرسم له بالرمز K فتصبح العلاقة كما يأتي :

$$P_w = K \cdot F \cdot V_a^2 \quad (2-12)$$

ومع اعتماد واحدة سرعة السيارة m/sec و سطح مواجهتها ب m^2 يتضح المعنى الفيزيائي لمعامل مقاومة الهواء K بأنه قوة مقاومة الهواء مقدرة بالكيلو غرام التي يتلقاها كل واحد متر مربع من سطح مواجهة السيارة عند حركة السيارة بسرعة مساوية لواحد متر في الثانية وتكون واحدة قياسه : $K \left(\frac{\text{Kg} \cdot \text{sec}^2}{\text{m}^4} \right)$ ، وكلما كان هذا المعامل أصغر كان شكل السيارة أكثر انسيابية وكانت قوة مقاومة الهواء أصغر .

يمكن أخذ حاصل ضرب $K.F$ باعتباره ثابتاً لسيارة محددة مؤشراً لتقويم مدى انسياب السيارة وتحديد مقاومة الهواء ، ويرمز لهذا العامل بـ W ، ويسمى بعامل انسياب السيارة ووحدة قياسه $W \left(\frac{Kg.sec^2}{m^2} \right)$ عليه تصبح العلاقة كالآتي : $P_w = W.V_a^2$ وتختلف قيمة هذا العامل W حسب نوع السيارة كالآتي :

السيارة السياحية ضمن المجال (0.03 – 0.09) ، السيارة الشاحنة (0.13 – 0.5).

تحسب في أغلب الدراسات سرعة السيارة بالكيلومتر في الساعة ، ولهذا تصبح العلاقة السابقة من خلال إدخال ثابت تحويل السرعة من متر في الثانية إلى كيلو متر في الساعة كما يأتي :

$$P_w = \frac{W.V_a^2}{3.6^2} = \frac{K.F.V_a^2}{13} \quad (2-13)$$

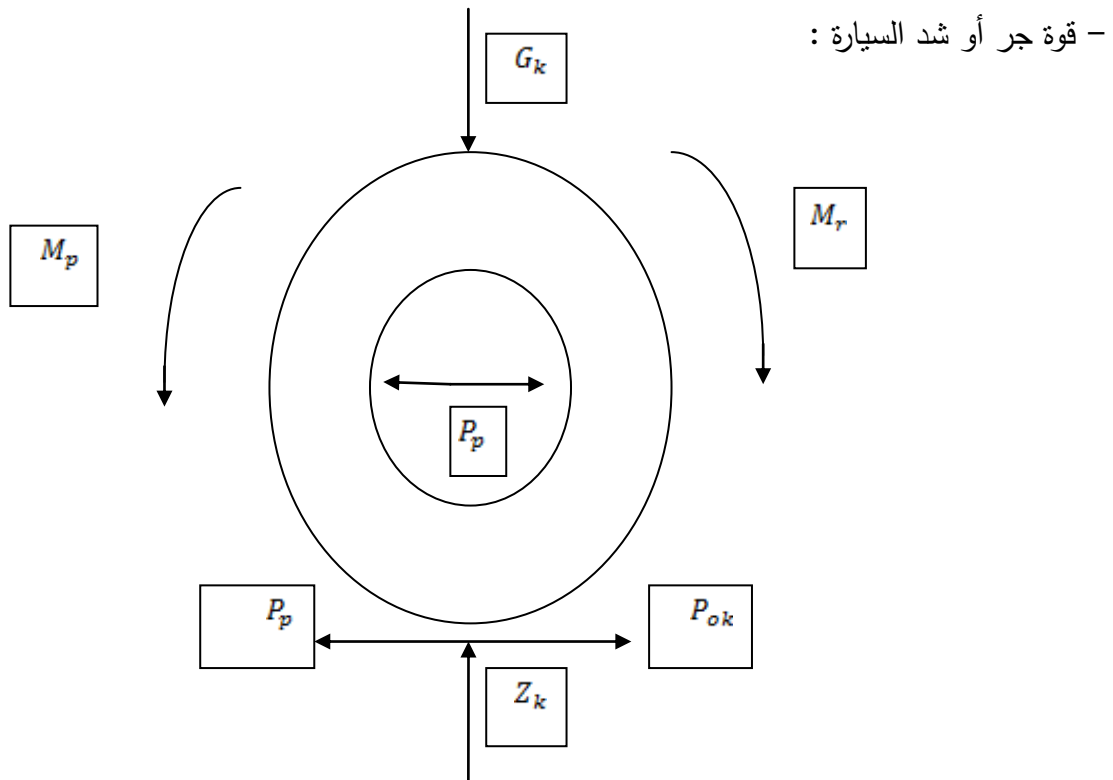
أما المقاومة النوعية للهواء فتعطى بالعلاقة :

$$\gamma_w = \frac{P_w}{Mg} = \frac{W.V_a^2}{3.6^2.Mg} \quad (2-14)$$

—مقاومة الطريق الإجمالية :

تشكل مقاومة التدحرج مجتمعة مع مقاومة الميل مقاومة الطريق الإجمالية لحركة السيارة ، وفي حال تم دمجها معاً من خلال مقاومة الطريق الإجمالية γ_ϕ نحصل على :

$$P_\phi = \gamma_\phi . G_a = f . G_a . \cos \alpha \pm G_a . \sin \alpha \quad (2-15)$$



الشكل (18-2) مخطط توضيحي لإحدى عجلات السيارة القائمة والقوى والعزوم المؤثرة فيها

يبين الشكل السابق (18-2) أن عجلات السيارة القائمة تتعرض لجملة من القوى والعزوم خلال حركتها ، وهي :

G_k : القوة الناعمية المؤثرة في العجلة والنااتجة عن الوزن الإجمالي للسيارة .

M_p : جزء من عزم دوران المحرك الواصل إلى العجلة عبر أجهزة نقل الحركة .

Z_k : رد الفعل الناتج عن القوة الناعمية التي تؤثر بها العجلة في سطح الاستناد G_k ، وهي مساوية لها بالقيمة ومخالفة لها بالإشارة .

P_{ok} : قوة مماسية ناتجة عن تأثير العجلة في سطح الاستناد بسبب عزم الدوران M_p وتسبب هي بدورها رد فعل مماسياً مساوياً لها بالقيمة ومخالفاً بالإشارة وهو P_p .

P_p : قوة جر أو شد السيارة وهي توافق جهة حركتها الخطية .

يتم إضافة قوتين متساويتين بالقيمة ومختلفتين بالاتجاه إلى مركز العجلة ، وتؤثران في مستوي تدحرج العجلة ، فلا يخل لذلك توازن العجلة وتكون محصلتهما مساويتين الصفر ، وتكون قيمة

كل من هاتين القوتين مساوية لـ P_p ، وتشكل هاتان القوتان مزدوجة يساوي عزمها M_r وهو مساوٍ لعزم الدوران الواصل إلى العجلة M_p ومعاكس له بالتأثير ، ويدعى بالعزم العكسي وتتسبب القوة P_p بحركة العجلة الخطية ، ومن ثم حركة السيارة ، ومما سبق يمكن أن نكتب :

$$M_r = M_p = P_p \cdot r_d \quad (2-16)$$

علماً أن r_d هو نصف قطر العجلة

$$P_p = \frac{M_p}{r_d}$$

تعكس هذه الدراسة حالة الحركة المتزنة للعجلة مع إهمال مقاومة الوسط الهوائي لحركتها نظراً لصغره بالنسبة إلى المقادير الأخرى ، أما في حالة الحركة غير المتزنة فيطرح أو يضاف إلى عزم الدوران M_p حسب الحركة (متسارعة أو متباطئة) عزم المقاومة العطالي للعجلة لوجود قيمة فعلية للتسارع الزاوي لها ، لتصبح العلاقة بالشكل :

$$P_p = \frac{M_p \pm M_{j2}}{r_d} \quad (2-17)$$

ويرمز الرقم 2 هنا إلى العجلات القائدة ويساوي عزم المقاومة العطالي لحركة العجلة M_{j2} إلى عزم عطالة العجلة J_{k2} بالنسبة إلى المحور يمر من مركزها عمودياً على مستوى تدرجها مضروباً بالتسارع الزاوي لحركتها ولمجموع العجلات القائدة نحصل على العلاقة :

$$M_{j2} = \varepsilon J_{k2} \frac{dw_k}{dt} \quad (2-18)$$

علماً أن العلاقة المحددة لقيمة عزم الدوران الواصل إلى العجلات القائدة تعطى بالشكل الآتي :

$$M_p = M_e \cdot i \cdot \mu_m \pm J_m \frac{dw_k}{dt} \cdot i^2 \cdot \mu_m \quad (2-19)$$

وفقاً للعلاقتين السابقتين تصبح العلاقة المعبرة عن قوة الجر P_p مع وجود عزم عطالة كالآتي :

$$P_p = \frac{M_e \cdot i \cdot \mu_m}{r_d} \pm \frac{1}{r_d} (J_m \cdot i^2 \cdot \mu_m + \varepsilon J_{k2}) \cdot \frac{dw_k}{dt} \quad (2-20)$$

ولكن : $\frac{V_k}{w_k} = r_k$ حيث إن V_k : سرعة العجلة الخطية و r_k نصف القطر الكينماتيكي للعجلة والمساوي بشكل تقريبي لنصف القطر الديناميكي r_d ، وعليه تصبح العلاقة بالشكل :

$$P_p = \frac{M_e \cdot i \cdot \mu_m}{r_d} \pm \frac{1}{r_d^2} (J_m \cdot i^2 \cdot \mu_m + \varepsilon J_{k2}) \cdot \frac{dv_k}{dt} \quad (2-21)$$

وهذه العلاقة النهائية بحديها الأول والثاني تحدد قوة جر السيارة التي يمكن تحقيقها نتيجة لعزم دوران المحرك ونسب التغيير في أجهزة جملة نقل الحركة مع الأخذ بالحسبان عطالة الأجزاء المتحركة دورانياً في المحرك وجملة نقل الحركة وعطالة العجلات القائدة أيضاً وتتحدد هذه القوة بقيمتها العظمى بما يمكن تحقيقه منها عن طريق تماسك العجلات القائدة مع سطح الاستناد ، أي :

$$P_{pmax} = \varphi \cdot \varepsilon Z_\varphi \quad (2-22)$$

حيث تساوي هنا Z_φ إلى Z_k ومتى زادت قوة P_p عن القيمة المحددة في العلاقة السابقة وقعت العجلات القائدة في التزحلق ، ولكي تتحقق حركة السيارة يجب أن تكون قوة الجر (الشد) أكبر من مجموع قوى المقاومة التي تعاكس الحركة ، أي :

$$P_p > \varepsilon P_c$$

- التوازن الدفعي والاستطاعي لحركة السيارة :

تعبير الموازنة أو التوازن يعني توزيع مقدار ما إلى مقادير أخرى مع المحافظة على المساواة بين الطرفين باستمرار ، وهذا يعني في السيارة توزيع قوة الشد على مختلف أوجه المقاومات المعاكسة لحركتها ومساواتها لمجموع هذه المقاومات في كل لحظة من لحظات الحركة .

فإن تناقصت قيمة إحدى هذه المقاومات توفر لدينا فائض في قوة الشد يمكن توظيفه لمواجهة زيادة في مقاومات من نوع آخر ، وقد يكون الفائض في قوة الشد بحيث يزيد عن مجموع قوى المقاومة المعاكسة لحركة السيارة وهنا في حالة السيارات التقليدية يكون هذا الفائض من دون استعمال ، وعلى العكس في السيارات الهجينة والكهربائية فيتم استثمار هذا الفائض في إعادة شحن المدخرات خلال الحركة ، وقد يكون العجز من ناحية قوة الشد التي أدنى قيمة من المطلوب للتغلب على قوى المقاومة وهنا تستحيل الحركة .

تعكس هاتان الحالتان اختلال موازنة شد السيارة التي يطلب أن تتحقق في كل لحظة من لحظات الحركة .

بداية سيتم الحديث عن التوازن الدفعي (موازنة شد السيارة) في أثناء حركة السيارة الذي يعبر عنه من خلال معادلة التوازن الدفعي ، تعطى هذه المعادلة بالعلاقة الآتية :

$$P_p = \varepsilon p_c = P_f \mp P_j \pm P_i + P_w \quad (2-23)$$

حيث تكون قوة مقاومة التدحرج وقوة مقاومة الهواء قوى موجبة باستمرار (مع التنويه هنا إلى أننا لم نأخذ بالاعتبار أثر اتجاه سرعة الهواء إن كان مع الحركة أو عكسها) ، أما قوة مقاومة العطالة موجبة في حالة التسارع وسالبة في حالة التباطؤ ، أما قوة مقاومة الميل فتتبع لمكان الحركة فهي موجبة في حال الصعود وسالبة في حالة الهبوط ، وحسب ما سبق في بحث مقاومات الحركة فقد وجدنا وحددنا قيمة كل قوة من قوى مقاومة الحركة ، لذلك سنحدد الآن قيمة قوة جر أو شد السيارة ليصار بعدها إلى تعويض القيم التي حصلنا عليها في المعادلة السابقة . [20]

-معادلة التوازن الدفعي وأشكالها لمختلف حالات حركة السيارة الخاصة :

بعدما تم حساب قوة الشد والحصول على الشكل النهائي التفصيلي لها، حيث يهمل الحد الثاني من هذه العلاقة في الحسابات التحليلية لصغره ،مما يمكننا من التعويض في المعادلة المعبرة عن توازن الشد للسيارة لتصبح العلاقة بالشكل التحليلي المفصل لموازنة شد السيارة في الحالة العامة للحركة كما يأتي :

$$\frac{M_{e.i.\mu m}}{r_d} = f \cdot G_a \cdot \cos \alpha \pm G_a \cdot \sin \alpha \pm \frac{\delta}{g} \cdot G_a \cdot \frac{dV_a}{dt} + \frac{KFV_a^2}{13} \quad (2-24)$$

وبناءً على أخذ علاقة مقاومة الطريق الإجمالية المحسوبة سابقاً بالحسبان تصبح العلاقة المعبرة عن قوة شد أو توازن حركة السيارة على النحو الآتي :

$$\frac{M_{e.i.\mu m}}{r_d} = \gamma_{\varphi} \cdot G_a \pm \frac{\delta}{g} \cdot G_a \cdot \frac{dV_a}{dt} + \frac{KFV_a^2}{13} \quad (2-25)$$

هذا ونستطيع أن نحصل على علاقة موازنة شد السيارة لمختلف حالات حركة السيارة الخاصة .

ففي حالة الحركة المتزنة على طريق مائل حيث تكون سرعة الحركة ثابتة ويكون تسارع السيارة مساوياً للصفر تصبح العلاقة كالآتي :

$$\frac{M_{e.i.\mu m}}{r_d} = f \cdot G_a \cdot \cos \alpha \pm G_a \cdot \sin \alpha + \frac{KFV_a^2}{13} \quad (2-26)$$

في حالة الحركة غير المتزنة على طريق أفقي حيث تكون السرعة متغيرة تصبح العلاقة كالاتي:

$$\frac{M_e \cdot i \cdot \mu_m}{r_d} = f \cdot G_a \pm \frac{\delta}{g} \cdot G_a \cdot \frac{dV_a}{dt} + \frac{KFV_a^2}{13} \quad (2-27)$$

في حالة الحركة المتزنة على طريق أفقي تصبح كالاتي :

$$\frac{M_e \cdot i \cdot \mu_m}{r_d} = f \cdot G_a + \frac{KFV_a^2}{13} \quad (2-28)$$

نعتبر عن معادلة موازنة شد السيارة من خلال المقادير النوعية لقوة الشد وقوى المقاومة كالاتي :

$$\frac{P_p}{G_a} = \gamma_p = \gamma_\varphi \pm \frac{\delta}{g} \cdot \frac{dV_a}{dt} + \frac{KFV_a^2}{13G_a} \quad (2-29)$$

- معادلة التوازن الاستطاعي وأشكالها لحالات حركة السيارة الخاصة المختلفة :

يدعى توزيع الاستطاعة الفعالة لمحرك السيارة على أنواع مقاومات حركتها المختلفة بموازنة استطاعة السيارة . تصرف استطاعة المحرك الفعالة للتغلب على المقاومات التالية المرافقة لحركة السيارة ، وهي :

- مقاومة الاحتكاك المتولدة في ميكانيزمات وأجهزة جملة نقل الحركة من المحرك إلى العجلات القائدة ونرمز لها ب Nr .

- مقاومة تدحرج عجلات السيارة ونرمز لها ب Nf .

- مقاومة الميل (الصعود) ونرمز لها ب Ni .

- مقاومة العطالة لحركة السيارة ونرمز لها ب Nj .

- مقاومة الهواء لحركة السيارة ونرمز لها ب Nw .

عند المساواة بين استطاعة المحرك الفعالة Ne ومجموع الاستطاعات المصروفة على جميع أنواع المقاومات في كل لحظة من لحظات الحركة ، نحصل على العلاقة الآتية :

$$Ne = Nr + Nf + Ni + Nj + Nw \quad (2-30)$$

إن الاستطاعات Nr , Nf , Nw المصروفة على الاحتكاك في ميكانيزمات وأجهزة جملة نقل الحركة وعلى تشوه إطارات عجلات السيارة و سطح الطريق والاحتكاك بينهما ، وأخيراً على مقاومة الهواء تتحول إلى قدرة حرارية ، تهدر في تسخين أجزاء السيارة (ميكانيزمات وأجهزة جملة نقل الحركة والعجلات و سطح انسياب السيارة) وكذلك سطح الطريق والهواء . تُعد هذه الاستطاعات لكونها استطاعات ضائعة تعد استطاعات غير مصنونة وغير قابلة للاسترداد . أما الاستطاعة Ni ، المصروفة للتغلب على مقاومة الصعود فتكتسب من قبل السيارة على شكل قدرة كامنة ، لذلك فهي تعد استطاعة مصنونة ؛ إذ يمكن استردادها في أثناء حركة السيارة على المنحدرات . كذلك الاستطاعة المصروفة على تسارع حركة السيارة Nj تختزن من قبلها على شكل قدرة حركية فتعد بذلك استطاعة مصنونة أيضاً ، حيث يمكن استردادها في أثناء التباطؤ . [20]

مما سبق يكمن الفرق الأساسي والجوهري بين الاستطاعات Nr , Nf , Nw من جهة والاستطاعتين Ni , Nj من جهة ثانية . إضافةً إلى ذلك فإن حركة السيارة المتزنة على طريق أفقي لا تتطلب صرف أي جزء من استطاعة المحرك الفعالة على مقاومتي الصعود و العطالة . هاتان الاستطاعتان لظروف الحركة هذه تساويان الصفر . تصبح علاقة التوازن الاستطاعي للسيارة لهذه الحالة الحالة على الشكل الآتي :

$$Ne = Nr + Nf + Nw \quad (2-31)$$

هذا وتحدد الاستطاعة المصروفة للتغلب على مقاومة الاحتكاك في ميكانيزمات وأجهزة نقل الحركة Nr بواسطة استطاعة المحرك الفعالة Ne ، ومن خلال المردود الميكانيكي لجملة النقل μ_m بالعلاقة الآتية :

$$Nr = (1 - \mu_m) Ne \quad (2-32)$$

أما مردود جملة نقل μ_m فيمكن أن يعين من خلال العلاقة :

$$\mu_m = \frac{Ne - Nr}{Ne} = \frac{No}{Ne} \quad (2-33)$$

حيث تمثل No الاستطاعة الواصلة إلى عجلات السيارة القائدة . من العلاقة السابقة يمكن أن نحدد No كما يأتي :

$$No = \mu_m \cdot Ne \quad (2-34)$$

يمكن لكل استطاعة موجودة في علاقة التوازن الاستطاعي للسيارة أن يكون معبراً عنها من خلال سرعة حركة السيارة الخطية Va وقوة الشد أو قوة المقاومة الموافقة لكل نوع منها على النحو الآتي :

$$N = P \cdot Va \quad (2-35)$$

وتقدر القوة P هنا بالكيلو غرام ثقلي والسرعة Va بالمتري في الثانية والاستطاعة N بالكيلو غرام ثقلي متر في الثانية . للانتقال إلى الواحدات المستخدمة في هذا المجال وهي الكيلو متر في الساعة لقياس السرعة والقوة الحصانية لقياس الاستطاعة ، وعليه تصبح العلاقة المعبرة عن الاستطاعة الواصلة إلى عجلات السيارة القائدة No تعطى بالعلاقة الآتية :

$$No = \mu_m \cdot Ne = \frac{Pp \cdot Va}{270} \quad (2-36)$$

حيث يُعد في العلاقة السابقة الرقم 270 ثابت تحويل للحصول على الاستطاعة ب hp .

أما الاستطاعة المصروفة على مقاومة التدحرج فتساوي إلى :

$$Nf = \frac{f \cdot Ga \cdot \cos \alpha}{270} \cdot Va \quad (2-37)$$

أما الاستطاعة المصروفة على مقاومة الصعود فتساوي إلى :

$$Ni = \frac{Ga \cdot \sin \alpha}{270} \cdot Va \quad (2-38)$$

أما الاستطاعة المصروفة على مقاومة العطالة فتساوي إلى :

$$Nj = \frac{\delta}{g} \cdot \frac{dVa}{dt} \cdot \frac{Ga}{270} \cdot Va \quad (2-39)$$

وأخيراً تساوي الاستطاعة المصروفة على مقاومة الهواء لحركة السيارة إلى :

$$Nw = \frac{kF \cdot Va^3}{13 \cdot 270} \quad (2-40)$$

وعليه تصبح العلاقة (2-41) التالية هي المعبرة عن معادلة التوازن الاستطاعي لحركة السيارة مع أخذ ما سبق بالحسبان كما يأتي مع العلم أن استطاعة كل من الميل و العطالة يمكن أن تكون موجبة أو سالبة:

$$No = \mu_m \cdot Ne = \frac{f \cdot Ga \cdot \cos \alpha}{270} \cdot Va \pm \frac{Ga \cdot \sin \alpha}{270} \cdot Va + \frac{\delta}{g} \cdot \frac{dVa}{dt} \cdot \frac{Ga}{270} \cdot Va + \frac{kF \cdot Va^3}{13 \cdot 270}$$

من المتعارف عليه كما سبق عند حساب معادلة التوازن الدفعي لحركة السيارة أنه يتم التعامل مع مقاومة الطريق الإجمالية ، لا مع كل من مقاومة التدرج ومقاومة الميل على نحو منفصل حيث تجمعان مع بعضهما ضمن استطاعة مقاومة الطريق الإجمالية ، لهذا يمكن لمعادلة التوازن الاستطاعي المعبرة عن حركة السيارة في الحالة العامة أن تأخذ الشكل الآتي :

$$No = \mu_m \cdot Ne = \frac{\gamma \phi \cdot Ga \cdot Va}{270} \pm \frac{\delta}{g} \cdot \frac{Ga}{270} \cdot \frac{dVa}{dt} + \frac{kF \cdot Va^3}{13 \cdot 270} \quad (2-42)$$

تتغير العلاقة المعبرة عن معادلة التوازن الاستطاعي لحركة السيارة وفقاً للحالات الخاصة لهذه الحركة ، فمثلاً لحالة حركة السيارة المتزنة على طريق مائل ، حيث تكون سرعة الحركة ثابتة وتسارع السيارة مساوياً للصفر تصبح العلاقة كما يأتي :

$$No = \mu_m \cdot Ne = \frac{f \cdot Ga \cdot \cos \alpha}{270} \cdot Va \pm \frac{Ga \cdot \sin \alpha}{270} \cdot Va + \frac{kF \cdot Va^3}{13 \cdot 270} \quad (2-43)$$

ولحالة الحركة غير المتزنة على طريق أفقي حيث تكون السرعة متغيرة وزاوية الميل مساوية للصفر تصبح العلاقة كما يأتي :

$$No = \mu_m \cdot Ne = \frac{f \cdot Ga \cdot Va}{270} \pm \frac{\delta}{g} \cdot \frac{dVa}{dt} \cdot \frac{Ga}{270} \cdot Va + \frac{kF \cdot Va^3}{13 \cdot 270} \quad (2-44)$$

أما لحالة الحركة المتزنة على طريق أفقي حيث تكون سرعة حركة السيارة ثابتة وتسارعها بالتالي يساوي الصفر ، وزاوية الميل مساوية للصفر أيضاً تصبح العلاقة كما يأتي :

$$+No = \mu_m \cdot Ne = \frac{f \cdot Ga}{270} \cdot Va + \frac{kF \cdot Va^3}{13 \cdot 270} \quad (2-45)$$

2 - 10 المحددات (المؤشرات) الديناميكية لحركة السيارة :

بداية سنتعرف على العامل الديناميكي لننتقل بعدها للحديث عن المؤشرات الديناميكية لحركة السيارة في حالة الشد من خلال تبيان قيم كل من التسارع وزمن التسارع ومسافة التسارع وفقاً لتغير السرعة ، أما في حالة الكبح فسوف نتعرف على قوة كبح السيارة والمؤشرات الديناميكية لحركة السيارة في هذه الحالة من خلال تبيان تسارع السيارة السالب (تباطؤ السيارة) وزمن كبح السيارة (زمن التوقف) ومسافة التوقف . [20]

- العامل الديناميكي :

هو القوة النوعية المتبقية (الصافية) والمنسوبة إلى الوزن الإجمالي للسيارة ، وهذه القوة تصرف على المقاومة النوعية الإجمالية لحركة السيارة γ_ϕ (تدرج + ميل) ، وبناءً على المحصلة الناتجة من تفاضل قيم (γ_ϕ ، D) تكون حركة السيارة إما متسارعة أو متباطئة وفي كلتا الحالتين تستمر الزيادة أو النقصان حتى تستقر الحركة ويتحقق التوازن في قيمة المحصلة للطرفين ، يرمز للعامل الديناميكي بالرمز D ويعطى بالعلاقة الآتية :

$$D = \frac{P_a}{G_a} = \frac{P_p - P_w}{G_a} \quad (2-46)$$

حيث أن :

P_p : قوة جر أو شد السيارة وهي توافق جهة حركتها الخطية .

P_w : قوة مقاومة الهواء .

ومما سبق فقد قمنا بحساب هاتين القوتين ومن خلال تعويضهما في علاقة المعامل الديناميكي السابقة بعد إهمال الحدود التي لا تدخل في الحسابات كما سبق وذكرنا نحصل على العلاقة :

$$D = \frac{M_e \cdot i \cdot \mu_m}{r_d \cdot G_a} - \frac{K \cdot F \cdot V_a^2}{13 \cdot G_a} \quad (2-47)$$

يتم رسم الخاصية الديناميكية انطلاقاً من نقاط عمل المحرك ونسب غيار علبة السرعة. تعطي المؤشرات الديناميكية إمكانية تعيين خصائص شد السيارة ، وانطلاقاً من هنا فهي بالغة الفائدة للحكم على مدى صلاحية السيارة للعمل في ظروف استثمارية معينة . لتسهيل استعمال هذه المؤشرات للغرض السابق وفي حالة المقارنة الديناميكية لأنواع السيارات المختلفة يتم انتقاء بعض المؤشرات الرئيسية لتستخدم في تقويم خصائص الشد وهذه المؤشرات هي :

- قيم تسارع السيارة :

يتميز التسارع خصائص شد السيارة وسرعتها من حيث تأثيره على السرعة الوسطية ، وتحدد قيمته بالعلاقة الآتية المشتقة من علاقة العامل الديناميكي :

$$J_a = \frac{dV_a}{dt} = (D - \gamma_\varphi) \frac{\delta}{g} \quad (2-48)$$

نجد من العلاقة السابقة أن تسارع السيارة يتناسب طردياً مع العامل الديناميكي وعكساً مع مقاومة الطريق الإجمالية النوعية ومعامل ازدياد عطالة السيارة الخطية الناتج عن إضافة عطالة الأجزاء الدوارة في السيارة . من ثم تكبير قيم العامل الديناميكي تؤدي لرفع قيمة التسارع ، في حين تكون δ ذات تأثير عكسي كما سبق وذكرنا وهي مختلفة حسب كل نسبة تغيير بينما γ_φ ذات التأثير العكسي أيضاً تكون ثابتة لكل النقاط .

- زمن تسارع السيارة :

تسارع السيارة يعطى رياضياً كمشتق السرعة بالنسبة للزمن : $J_a = \frac{dV_a}{dt}$ وعليه :

$d_t = \frac{dV_a}{J_a}$ ، ولإيجاد الزمن الكلي للتسارع يجب مكاملة طرفي العلاقة السابقة ، وتستعمل الطريقة البيانية في تكامل الطرف الثاني لعدم توفر علاقة تحليلية تربط تغير التسارع بالسرعة . بعد القيام بعمليات المكاملة اللازمة فإن حساب قيمة أزمنة التسارع يجري بالتسلسل الآتي وفق العلاقات الآتية وذلك من أجل نسبة تغيير واحدة :

$$t_1 = \frac{\Delta_1}{3.6 \text{ ab}}$$

$$t_n = \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n}{3.6 \text{ ab}} \quad (2-49)$$

لتعيين زمن التسارع الكلي نكرر العملية لجميع نسب التغيير ، علماً أن Δ_n هي مساحة المجالات المقسمة تحت المنحني البياني ، في حين أن a, b هي مقياسي السرعة ومقلوب التسارع .

- مسافة تسارع السيارة :

إن الصيغة الرياضية العامة لتعيين السرعة تعطى بالعلاقة الآتية :

$V = \frac{ds}{dt}$ وهذا يؤدي إلى أن : $ds = v \cdot dt$ ولإيجاد مسافة التسارع الكاملة التي يجب أن

تقطعها السيارة خلال زمن التسارع في مجال تغيره يجب مكاملة طرفي العلاقة وللسبب نفسه

السابق نتبع الطريقة البيانية في مكاملة الطرف الثاني . [20]

- قوة كبح السيارة الكاملة والنوعية :

تشكل جميع المقاومات التي تؤثر قواها في عكس اتجاه حركة السيارة قوى كبح مساعدة لقوة الكبح الرئيسية المتشكلة على عجلات السيارة ، ومن ثم مع الأخذ بالحسبان ما سبق نحصل على العلاقة التي تحدد قوة كبح السيارة الكاملة :

$$P_t = P_\tau + P_f + P_i + P_w \quad (2-50)$$

بالانتقال إلى الصيغة النوعية تصبح العلاقة السابقة على الشكل الآتي :

$$P_T = \gamma_\tau \cdot G_a + f \cdot G_a \cdot \cos \alpha \pm G_a \cdot \sin \alpha + \frac{K.F.V_a^2}{13G_a} \quad (2-51)$$

بما أن قوة الكبح تحدد بقيمتها العظمى بقوة تماسك عجلات السيارة الكابحة مع سطح الطريق فإن قوة كبح السيارة النوعية فسوف تكون مساوية للآتي من وجهة نظر التماسك :

$$\gamma_\tau = \frac{P_{\tau \max}}{G_a} = \frac{\varphi \cdot \varepsilon \cdot Z_\tau}{G_a} = \frac{\varphi \cdot G_a \cdot \cos \alpha}{G_a} = \varphi \cdot \cos \alpha \quad (2-52)$$

في حال كان الطريق أفقياً فإن قيمة قوة الفرملة النوعية سوف تساوي عددياً من وجهة نظر التماسك إلى قيمة معامل التماسك بين عجلات السيارة والطريق . [20]

- تباطؤ السيارة $J_{a\tau}$:

يتعين تباطؤ السيارة في أثناء الكبح من مساواة قوة كبح السيارة الكاملة P_T إلى قوة عطالة السيارة P_j ؛ لأن قوة الكبح يجب أن تعاكس في التأثير قوة العطالة وتساويها في القيمة لتحقيق كبح السيارة . $P_T = P_j$ وبتعويض كل منهما بقيمتها المحددة في العلاقات السابقة نحصل على العلاقة الآتية مع الأخذ بالحسبان أننا أهملنا قوى المقاومة باعتبارها قوى مساعدة على الكبح ما عدا قوة الميل لكونها تكون سالبة أو موجبة :

$$J_{a\tau} = g \cdot (\gamma_\tau \pm \sin \alpha) \quad (2-53)$$

لتحقيق تباطؤ السيارة يجب أن تكون قيمته أكبر من قيمة تسارعها الموجب .

- مسافة الكبح :

عملية الكبح هي عبارة عن تحويل القدرة الحركية للسيارة إلى قدرة حرارية عن طريق عمل توقيه قوة كبح السيارة ،وعليه فإنه يمكن لمسافة الكبح أن تتعين من مساواة القدرة الحركية للسيارة المحولة إلى قدرة حرارية في أثناء عملية الكبح إلى العمل الذي تقوم به قوة كبح السيارة . يكون الشكل الرياضي للمساواة السابقة كما يأتي :

$$\frac{G_a(V_a^2 - V_a'^2)}{2g} = P_T \cdot S_T \quad (2-54)$$

يمثل الطرف الأيسر من العلاقة القدرة الحركية للسيارة المحولة إلى قدرة حرارية في أثناء انخفاض سرعتها ، في حين يمثل الطرف الأيمن منها عمل قوة الكبح المرافق لانخفاض سرعة السيارة المذكورة . عندما يكون الكبح تاماً حتى توقف السيارة فإن $V_a'^2$ ستكون مساوية الصفر ، وبتعويض قيمة P_T بعلاقتها السابقة مع الأخذ بالحسبان أن قوة الكبح γ_T أكبر بكثير من قوة مقاومة الهواء وقوة مقاومة التدرج ، ومن ثم إهمال هاتين القوتين لن يؤثر عملياً في مقدار قوة الكبح الإجمالية ؛ وعليه تبقى مقاومة الميل وتصبح العلاقة السابق على الشكل الآتي :

$$S_T = \frac{v_a^2}{2g(\gamma_T \pm \sin \alpha)} = \frac{v_a^2}{2J_T} \quad (2-55)$$

من أجل طريق أفقي تصبح العلاقة على الشكل الآتي :

$$S_T = \frac{v_a^2}{2g \cdot \varphi} \quad (2-56)$$

- زمن التوقف أو زمن كبح السيارة t_T :

إن زمن الكبح الإجمالي لا يقتصر على الزمن المحدد بمدة الكبح الفعال ، وإنما يتضمن مجموع من الأزمنة (رد فعل السائق + زمن استجابة نظام الكبح + زمن تنامي قوة الكبح + زمن الكبح الفعال الموافق لقوة الكبح العظمى + زمن انحلال الكبح) .

يتعلق هذا الزمن على نحو أساسي بسرعة السيارة ، ويعطى بالعلاقة الرياضية الآتية :

$$t_T = \frac{v_a}{j_T} \quad (2-57) \quad [20]$$

خلاصة الفصل :

تم في هذا الفصل استعراض أجزاء ومكونات السيارة الكهربائية بأكملها ، كل جزء على حدة وبشكل مفصل مع تبيان المهمة التي يقوم فيها هذا الجزء ضمن المنظومة الكاملة للسيارة الكهربائية ، إضافة إلى استعراض الأنواع المختلفة لكل جزء من أجزاء السيارة الكهربائية ومراحل تطوره .

ليصار بعدها إلى التعرف على حركة (ديناميك) السيارة والعلاقات الرياضية النازمة له بالكامل إضافة إلى المحددات والمؤشرات الديناميكية النازمة لأداء وعمل السيارة .

الفصل الثالث

نمذجة نظام القيادة الكهربائية

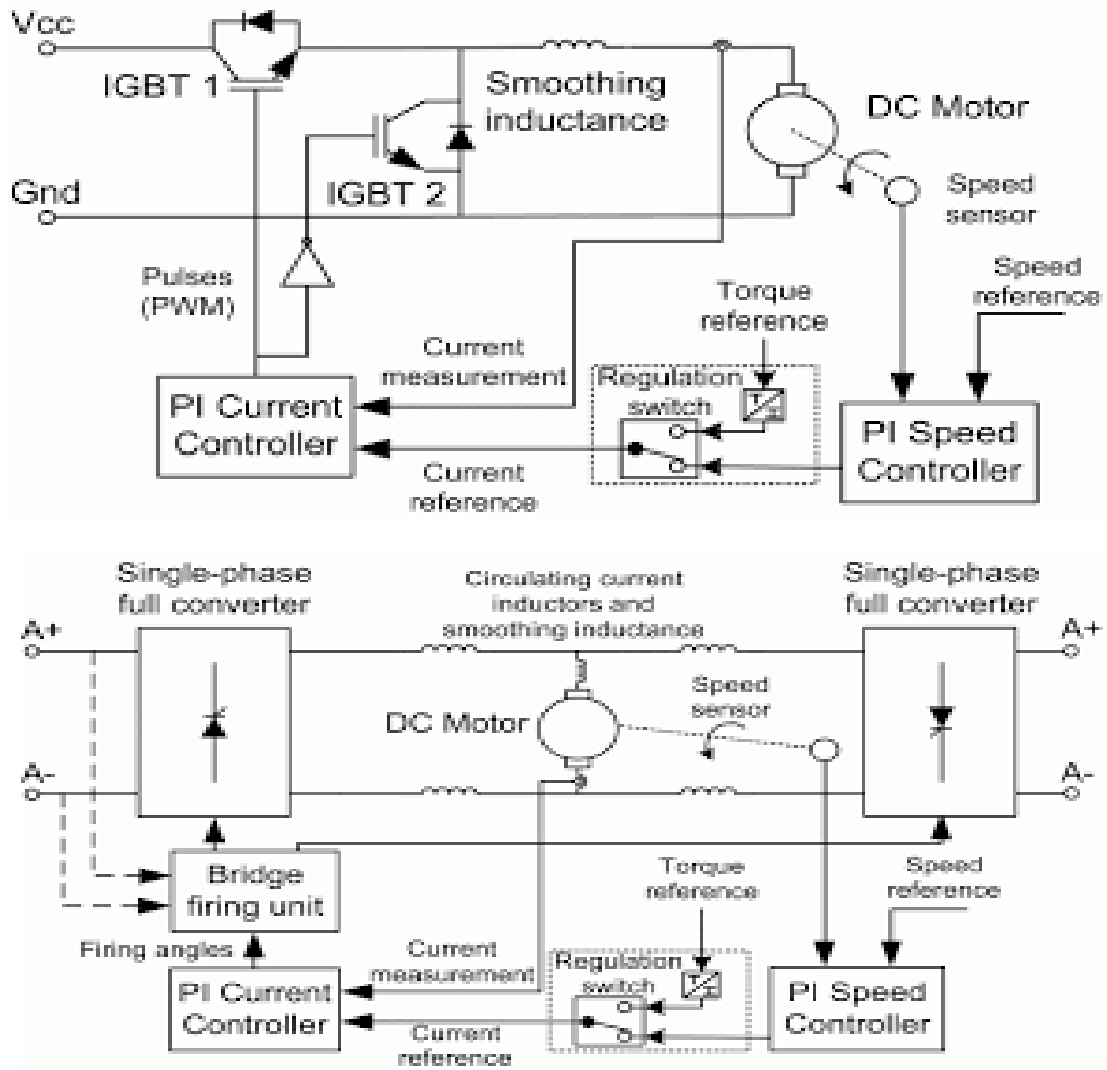
الفصل الثالث : نمذجة نظام القيادة الكهربائية

3-1- نظام قيادة المحركات :

حديثاً تم إدخال محرك التيار المتناوب ومحرك التيار المستمر بدون المسفرت BLM في تصميم السيارات الكهربائية ، ما أدى إلى ازدياد شهرة هذه المحركات في تطبيقات محركات الجر .

إن أحد الاختلافات الأساسية بين السيارات المزودة بمحرك كهربائي والسيارات العاملة على ICE هي أن المحرك الكهربائي له القدرة على تقديم عزم كبير عند السرعات المنخفضة جداً .

يبين الشكل الآتي (3-1) نظام القيادة الأساسية لمحرك التيار المستمر . [21]



الشكل (3-1) نظام القيادة الأساسية لمحرك التيار المستمر [21]

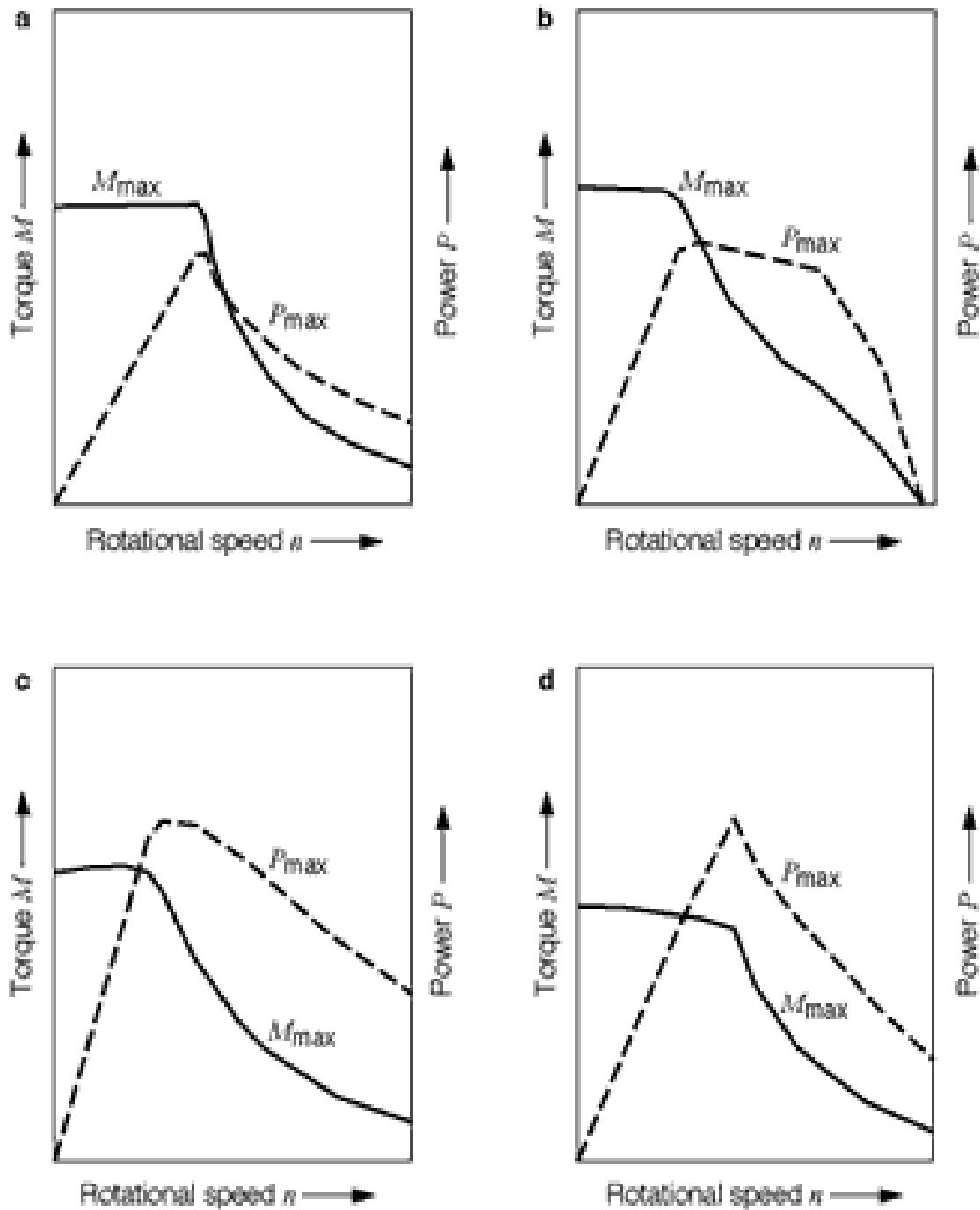
إن تنفيذ نظام قيادة محرك التيار المستمر ذي المسفرات هو الأسهل ، ولكن من ناحية أخرى فإنه مع التعقيد الموجود في تنفيذ نظام القيادة لمحرك التيار المتناوب يقدم أداءً عالياً .

يستطيع النظام المصمم لقيادة محرك التيار المستمر استخدام الدارات المتكاملة ذات التحكم الخطي ، في حين يتطلب المحرك التحريضي الذي يقاد بطريقة التحكم الشعاعي استخدام متحكم MCU ذي أداء عالٍ أو دارات متكاملة ذات وظائف خاصة . يتطلب نظام السيارة الكهربائية مردوداً عالياً ، ومجال سرعةٍ واسعٍ ، ووزن أصغري ، ومنبع تغذية مستمر ذا جهد عالٍ . يتم التحكم بسرعة محرك السيارة الكهربائية عن طريق قواطع استطاعة الكترونية أو مودولات استطاعية تضم (ديودات + ترانزستورات استطاعية للتحكم بمستويات الاستطاعة الكهربائية المقدمة للمحرك) تقوم بتنظيم مستويات الاستطاعة للمحرك . أما سرعة المحرك وعزمه فيمكن التحكم به عن طريق متحكمات أصغرية. تتألف دائرة التحكم الأساسية عادة من ترانزستورات عدة من نوع N-Type IGBT موصولة على التفرع أو من ترانزستورات عدة MOSFETS مع ديودات للمسار الحر (FWDS) مركبة على مادة الأساس نفسها لدائرة الاستطاعة . يتأثر تصميم مرحلة الاستطاعة بنوع المحرك وبطريقة عمله . يجب أن تقدم محركات السيارة الكهربائية عزماً إقلاعياً عالياً ، ومردوداً جيداً ضمن مجال واسع للسرعة ، ووثوقية في العمل عند التطبيقات الصعبة . يحدد نوع محرك جر السيارة الكهربائية وتوتر المدخلة نوع دائرة التحكم التي يمكن أن تجعل المحرك يعمل بأكبر مردود . علماً أن دائرة التحكم لمحرك السيارة الكهربائية تتطلب ترانزستورات استطاعية كبيرة مع ديودات FWD ذات موثوقية وسعر اقتصادي ، وعندها ليس من المهم معرفة نوع المحرك المستخدم .

3-2- خصائص ومنحنيات العزم والاستطاعة لأنواع المحركات الكهربائية المختلفة :

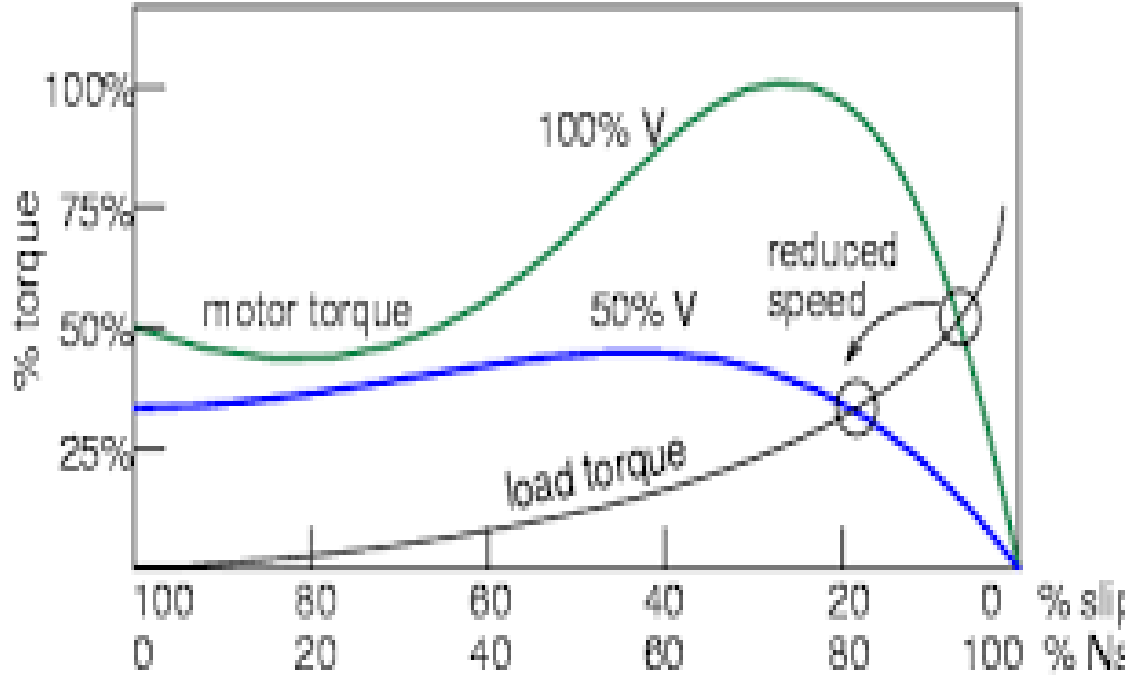
سبق أن تعرفنا على أنواع المحركات الكهربائية المختلفة المستخدمة في تطبيقات الجر ، وبيّن الشكل (3-2) خصائص عمل كل نوع من الأنواع المذكورة لكل من مؤشري (العزم والاستطاعة) كتابع لتغير سرعة الدوران حيث إن : المخطط a هو لمحرك التيار المستمر التسلسلي ، والمخطط b هو لمحرك التيار المستمر مستقل التهيج أو التحريض ، والمخطط c لمحرك تحريضي ثلاثي الطور ، وأخير المخطط d لمحرك تزامني أقطاب دائمة مع مغناطيس

دائم . يُوضح في كل مخطط نقطتا العزم الأعظمي (M_{max}) إضافة إلى الاستطاعة الأعظمية (P_{max}) ، وذلك لكل نوع من المحركات المذكورة . [1]



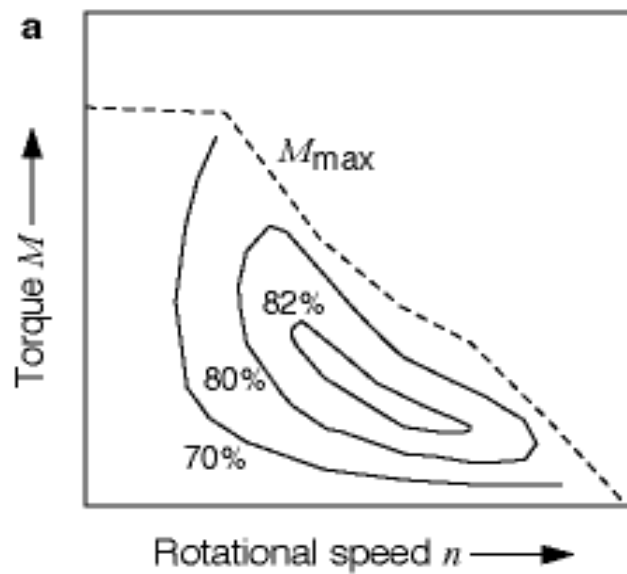
الشكل (2-3) منحنيات أداء بعض أنواع المحركات الكهربائية وعملها آنفة الذكر [1]

يوضح الشكل (3-3) المنحني البياني لمحرك تيار مستمر عند التحميل والمنحني البياني لعزم المحرك عند تغيير قيمة التوتر ، حيث يبين الشكل تغير العزم وفقاً لتغير نسبة الانزلاق وسرعة الدوران :



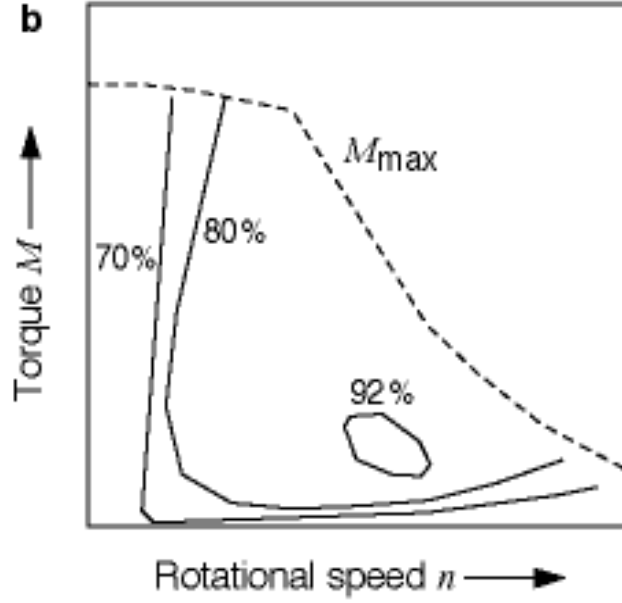
الشكل (3-3) منحنى بياني لمحرك تيار مستمر عند التحميل وعند تغيير التوتر

فيما يأتي المنحني (3-4) الذي يبين مردود محرك التيار المستمر التسلسلي كنسبة مئوية . [1]



الشكل (3-4) منحنى مردود محرك التيار المستمر التسلسلي [1]

فيما يأتي المنحني (3-5) الذي يبين مردود محرك تزامني ثلاثي الأطوار ذيالمغانط الدائمة مع مغناطيس دائم . [1]



الشكل (3-5) منحني كفاءة محرك متناوب ثلاثي الأطوار مع مغناطيس دائم [1]

3-3- تنظيم (تغيير) سرعة دوران المحركات التحريضية ثلاثية الطور :

أما فيما يخص حالات تنظيم وتغيير سرعة الدوران للمحرك الكهربائي فإنه سوف نقتصر في بحثنا على المحركات التحريضية ثلاثية الطور ، لأن المحرك المعتمد في دراستنا سيكون ثلاثي الطور، علماً أننا نحتاج في كثير من التطبيقات العملية إلى تغيير وتنظيم سرعة المحرك في نطاق معين تختلف حدوده على حسب نوع التطبيق ، حيث تعطى علاقة سرعة دوران المحرك التحريضي بالعلاقة الآتية :

$$n = n_1 (1 - s) = \frac{60 f_1}{p} (1 - s) \quad (3-1)$$

من هذه العلاقة يتبين بأنه يمكن تغيير سرعة دوران المحرك إما بتغيير السرعة التزامنية عن طريق تغيير عدد الأقطاب (p) أو التردد (f) أو عن طريق تغيير الانزلاق (s) ويمكن تقسيم طرائق تنظيم السرعة للمحرك التحريضي حسب مكان التأثير إلى :

-تنظيم السرعة بالتأثير من طرف الثابت ، ويضم بدوره تنظيم السرعة بوساطة تغيير عدد الأقطاب ، أو تغيير تردد الشبكة ، أو تغيير التوتر المطبق على المحرك .

-تنظيم السرعة بالتأثير من طرف الجزء المتحرك ، ويضم بدوره تنظيم السرعة بوساطة تغيير مقاومة الدوار ، أو بحقق توتر في أطوار ملف الجزء المتحرك .

تركز هذه الدراسة على تنظيم السرعة وفقاً لتغيرها حسب التردد والجهد المطبق على المحرك .

3-3-1- تنظيم سرعة الدوران للمحرك بتغير التردد :

إن تنظيم السرعة بتغير التردد يحتم علينا تنظيم توتر منبع التغذية ، وإن القوة المحركة الكهربائية للملف الثابت تتناسب مع التردد والفيض المغناطيسي ، كما في المعادلة الآتية :

$$U_1 \approx E_1 = K\phi_m f_1 \quad (3-2)$$

من هذه المعادلة نستنتج لأجل توتر ثابت لمنبع التغذية U_1 فإن تغير التردد يؤدي إلى تغيير الفيض المغناطيسي ، وبمعنى آخر فإن تناقص التردد f_1 يؤدي إلى تزايد الفيض المغناطيسي ، ومن ثم إشباع المحرك وهذا ما يؤدي أن يعمل المحرك على نحو سيء حيث يتزايد تيار المغنطة I_m وأيضاً تيار اللاحمل I_0 ؛ فمثلاً إذا زادت هذه النسبة 10 % فإن قيمة التيار I_m يزداد بمقدار من (20 - 30) % وهذا ما يؤدي إلى تسخين ملفات المحرك وارتفاع درجة حرارتها عن الحد المسموح إضافة إلى إنقاص مردود المحرك .

أيضاً تزايد f_1 يؤدي إلى تناقص الفيض المغناطيسي ، فمن أجل عزم حمولة ثابت على محور المحرك فإنه وفقاً للمعادلة : $T = C_m \phi_m I_2 \cos \varphi_2$ يتزايد تيار الدوار إلى قيم لا تسمح بها ملفات إضافة إلى تناقص قدرة المحرك التحميلية وتناقص العزم الأعظمي .

أفضل طريقة لاستخدام المحركات في حالة تنظيم سرعتها بتغير التردد لا بد من تنظيم التوتر وفقاً لتغير التردد والحمولة بأن معاً ، ويمكن كتابة علاقة العزم الأعظمي بالشكل الآتي :

$$T_{\max} = c \frac{U_1^2}{f_1^2} \quad \text{حيث أن } c : \text{ ثابت} \quad (3-3)$$

من هذه المعادلة يتبين بأنه عند تغيير التردد ستتغير سرعة الدوران وبالوقت نفسه يتغير العزم الأعظمي ، وهذا يعني قدرة تحميل المحرك $\partial = \frac{T_{max}}{T_n}$ وبالتالي عند تنظيم السرعة عن

$$\frac{T_{max}}{T} = \frac{T'_{max}}{T'} = \text{const} \quad \text{طريق التردد يجب المحافظة على :}$$

$$\frac{T_{max}}{T'_{max}} = \left(\frac{U_1}{U'_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{f'_1}{f_1}\right)^2 \quad (3-4) \quad \text{وبالتالي تحقيق العلاقة :}$$

من هنا نوجد القانون الأساسي في حالة تنظيم السرعة بتغيير التردد :

$$\frac{U'_1}{U_1} = \frac{f'_1}{f_1} \sqrt{\frac{T'}{T}} \quad (3-5)$$

حيث إن : U'_1 و T' يمثلان الجهد والعزم الموافقين للتردد f'_1 بينما : U_1 و T يمثلان الجهد والعزم الموافقين للتردد f_1 .

ملحوظة : في هذه الطريقة لتنظيم سرعة الدوران للمحركات الكهربائية (عن طريق تغيير التردد) نستخدم مبدلات التردد ويكون $f_{out} > f_{in}$ ، وتُعمد هذه الطريقة في السيارات الكهربائية بكثرة.

3-3-2- تنظيم السرعة بتغيير التوتر المطبق على المحرك :

عند تغيير قيمة التوتر المطبق على U_1 فإن عزم المحرك يتناسب طرماً مع مربع التوتر U_1^2 ، ويمكن كتابة العلاقات التقريبية للعزم كالاتي :

$$T \approx \frac{m_1}{\alpha_1} \cdot \frac{u_1^2}{r_2'} s \quad (3-6)$$

إن أي انخفاض في التوتر يؤدي إلى انخفاض ملحوظ في العزم الأعظمي ، وبالتالي انخفاض قدرة تحميل المحرك ، عند ثبات العزم وعند تغيير التوتر نحصل على :

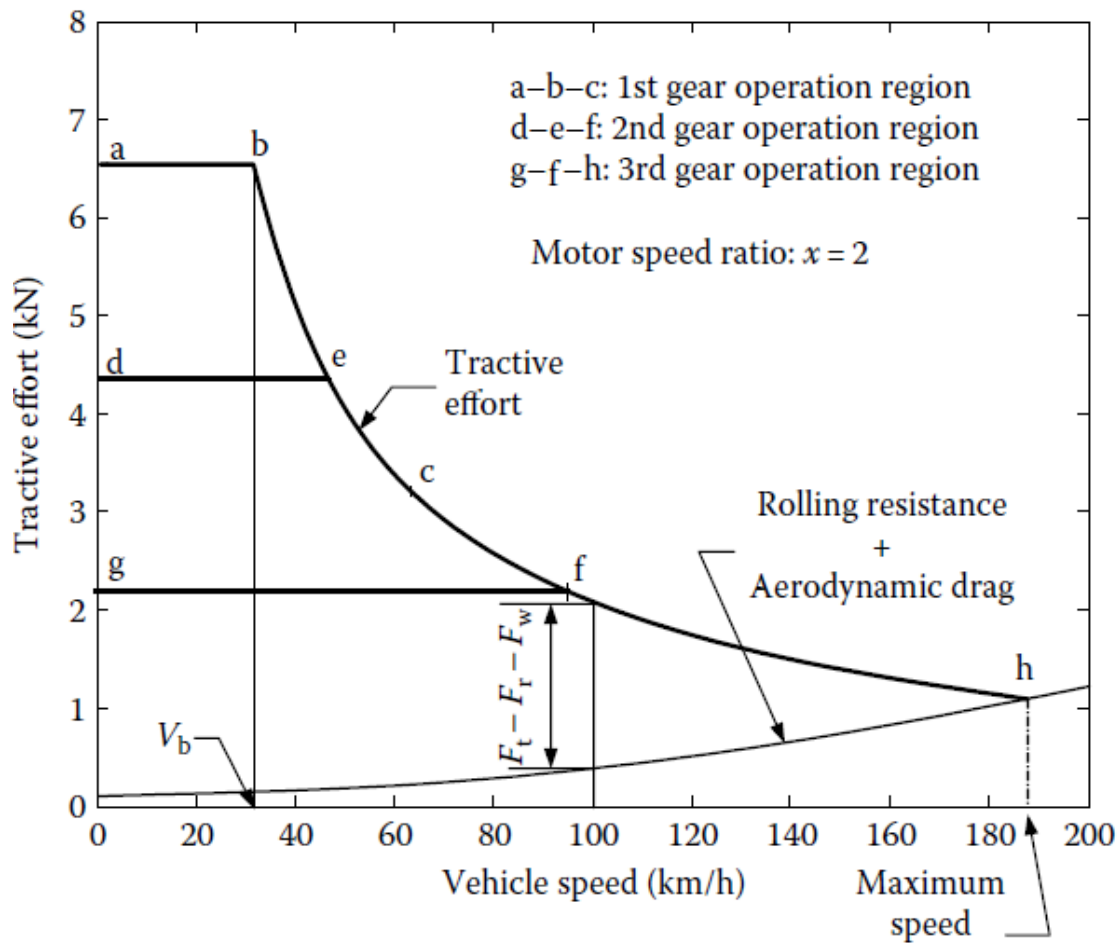
$$\frac{s'}{s} = \frac{U'_1}{U_1^2} = \frac{1}{x} \quad (3-7)$$

حيث إن : $s' = \frac{n_1 - n'}{n_1}$: الانزلاق عند التوتر U'_1 ونحصل أيضا على العلاقة الآتية :

$$V_{in} > V_{out} \quad \text{وفي هذه الطريقة يكون :} \quad \frac{T_{max}}{T'_{max}} = \frac{1}{x^2} \quad (3-8)$$

إن تغير سرعة دوران المحرك يتم فقط في مجال العمل المستقر فقط (يتم تغيير التوتر) ، وأن تنظيم السرعة بهذه الطريقة لا يسمح بتغيير السرعة في حدود واسعة ، وهو غير اقتصادي ومن ثم يستعمل لتنظيم سرعة دوران المحركات التحريضية صغيرة الاستطاعة . وهناك طرق أخرى لتنظيم سرعة الدوران ، ولكن نكتفي بهاتين الطريقتين لأهميتهما لموضوع دراستنا . [22]

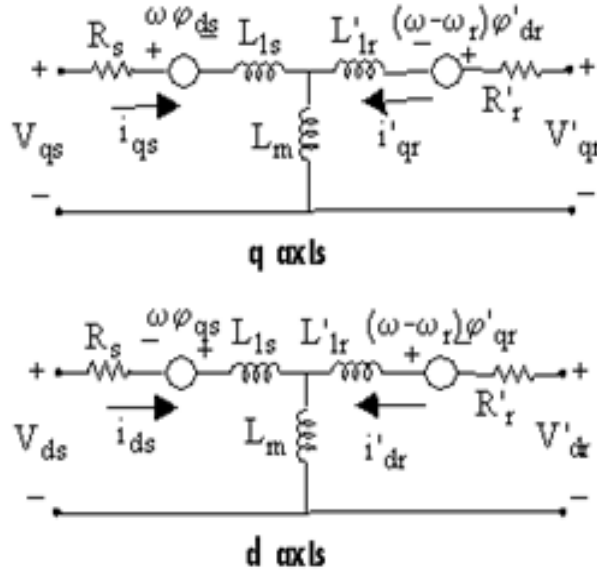
يبين الشكل (3-6) يبين محرك كهربائي مستخدم مع علبة سرعة بثلاث سرعات ؛ السرعة الأولى تغطي مرحلة الإقلاع (عزم عطالة كبير لذلك نحتاج قوة جر كبيرة) ، والسرعة الثانية للعزوم الأقل ، والسرعة الثالثة لتحقيق السرعات الأعلى والعزوم الأقل .



الشكل (3-6) خصائص عزم /سرعة لمحرك كهربائي بنسب سرعة متغيرة . [23,24,25,26]

3-4- توصيف النموذج الرياضي للمحرك الكهربائي المستخدم في نظام القيادة الكهربائية:
إن نمذجة المحركات التحريضية غالباً تتم بالاعتماد على جملة محاور دوارة ، أما عند دراسة حالة عابرة لدارات القيادة فإنه من الملائم أكثر استخدام جملة محاور ساكنة .

يبين الشكل (7-3) الدارات المكافئة للمحرك التحريضي ثلاثي الأطوار على المحورين d,q :



الشكل (7-3) الدارات المكافئة لمحرك تحريضي ثلاثي الأطوار على المحاور الثنائية d,q [19]

أما دارات القيادة الكهربائية التي تم استُخدمت في نموذجنا البرمجي التي تتحكم بعمل المحرك الكهربائي ثلاثي الأطوار وتحاكي آلية عمله في السيارة الكهربائية ، فقد شملت الدارات الآتية ، وسيتم بيان وتوضيح أشكالها لاحقاً خلال بند النمذجة والمحاكاة :

1. دائرة المقطع التفرعي الذي يقوم برفع التوتر من 48 فولط إلى القيمة التجريبية المطلوبة ، علماً أنه يوجد مقطعات تحقق كفاءة عالية في الأداء يمكن أن تصل لحدود 95% عند استخدامها في السيارات الكهربائية. [27]

كما زُود هذا النموذج بدارة تحكم في المقطع التفرعي حيث تقوم هذه الدارة في التحكم في عامل الدور من أجل الحصول على سرعة دوران ثابت قبل الدخول على المعرج .

2. دائرة المعرج ثلاثي الطور حيث يقوم المعرج بتحويل التيار المستمر DC إلى تيار ثلاثي الطور متناوب AC ليلتزم متطلبات التردد من أجل السرعة لأن المحرك الكهربائي ثلاثي

الطور قيد الدراسة من المفترض أن يتم استخدامه في سيارة كهربائية . [28]

استُخدمت عناصر كهربائية بثلاثة أذرع (IGBT) مع ديود ، كما زُود النموذج بدارة للتحكم بنبضات المعرج ثلاثي الطور، في هذه الدارة يتم وضع سرعة مرجعية ، وبناءً على هذه السرعة المرجعية وعلى السرعة المقبسة من دوران المحرك يكون الفرق بين هاتين سرعتين هو إشارة خطأ السرعة الذي يدخل على متحكم (وهو هنا من النوع التناسبي التكاملي PI) وبناءً عليه

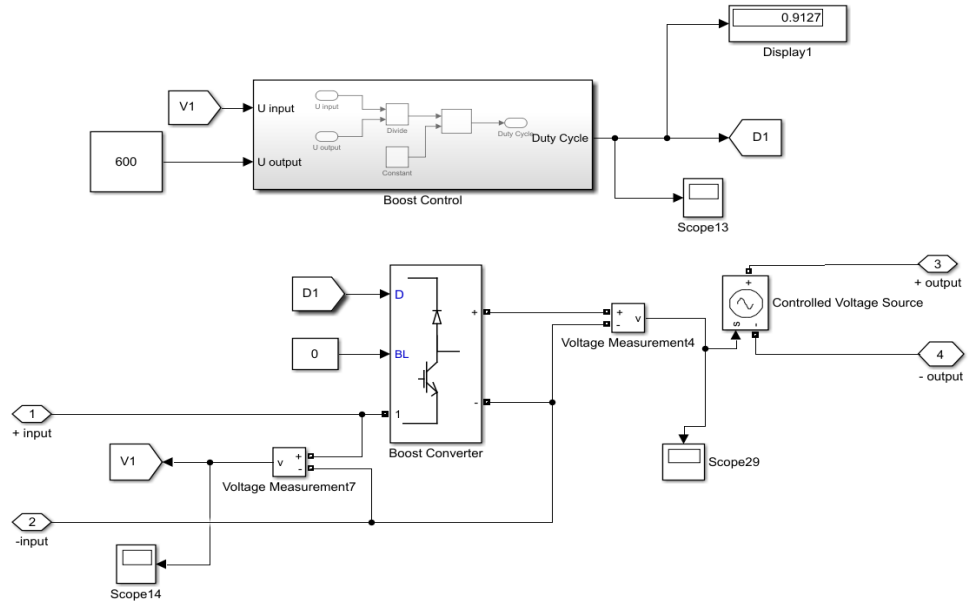
يعطي التردد ويجعل قيمة النسبة $\frac{V}{f}$ ثابتة ، وعليه نحصل على تردد مرجعي وتوتر مرجعي ، وفي النموذج العام للدارة تم اعتبار أن منبع القدرة الذي يستمد المحرك الكهربائي التحريضي منه الطاقة اللازمة لإقلاعه هي مدخرات كهربائية تقليدية رصاصية مغلقة ، كما سيوضح النموذج النهائي العام للدارة لاحقاً لأن هذه المدخرات هي من نوع المدخرات نفسها التي ستستخدم في التصميم العملي للسيارة، علماً أنه في أغلب السيارات الكهربائية المصممة من قبل الشركات يتم اعتماد مدخرات الليثيوم أيون ، لذلك سنكتفي بتوضيح رمز النموذج الكهربائي لمدخرات الليثيوم أيون ضمن برنامج الماتلاب عند إجراء نمذجة لهذا النوع من المدخرات لأنها ليست محور دراستنا وبحثنا . [29]

3-5- النموذج الحاسوبي لنظام القيادة الكهربائية :

تم خلال هذا البند بناء النموذج الحاسوبي لنظام القيادة الكهربائية فقط (المحرك التحريضي ثلاثي الأطوار ودارات قيادته) حيث تكوّن هذا النموذج من عدد من الدارات الفرعية التي شكلت في النهاية مع المحرك والعناصر الكهربائية اللازمة من بيئة الماتلاب لإظهار المنحنيات البيانية اللازمة، شكلت الدارة الرئيسية لهذا النموذج ونؤكد هنا أن هذه الدارة لا علاقة لها بالسيارة الكهربائية المصممة كاملة ، وهي مقتصرة فقط على المحرك الكهربائي المستخدم ودارة قيادته نمذجياً للوصول إلى معرفة استجابة هذا المحرك مع تغيير منبع القدرة الكهربائية كما ستوضح الحالات الثلاث التي أخذت خلال الدراسة ، وفيما يأتي الدارات الفرعية والدارة الرئيسية لهذا النموذج

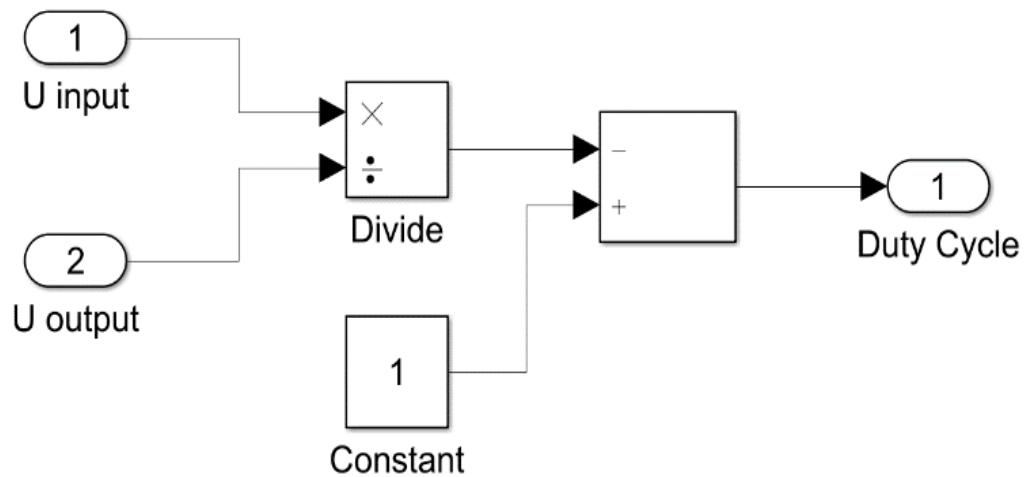
3-5-1- دارة المقطع الواقع : يقوم هذا المقطع برفع التوتر من قيمة افتراضية إلى القيمة

المطلوبة أو المرغوب فيها ، حيث كانت القمة المرجعية هي 600 فولط كما يبين الشكل وتم رفعها لهذه القيمة كون المحرك المفترض استخدامه يعمل على قيمة 400 فولط ، وتم استخدام منبع جهد كما يبين الشكل كونه في الماتلاب حدثت مشاكل تشغيلية لم نستطع تقاديها دون استخدام منبع التيار قبل الحصول على الخرج ، كما كان خرج دارة قيادة المقطع (D1) هي دخل عنصر التقطيع في الماتلاب . كما في الشكل (3-8) .



الشكل (8-3) دائرة المقطع رافع الجهد

3-5-2- دائرة قيادة المقطع : وظيفة هذه الدارة تأمين توتر دخل ثابت قبل الدخول على المعرج ، وتقوم دائرة التحكم والقيادة لدائرة المقطع الرافع بوظيفتها من خلال التحكم بعامل الدور للمقطع ، كما في الشكل (9-3) .



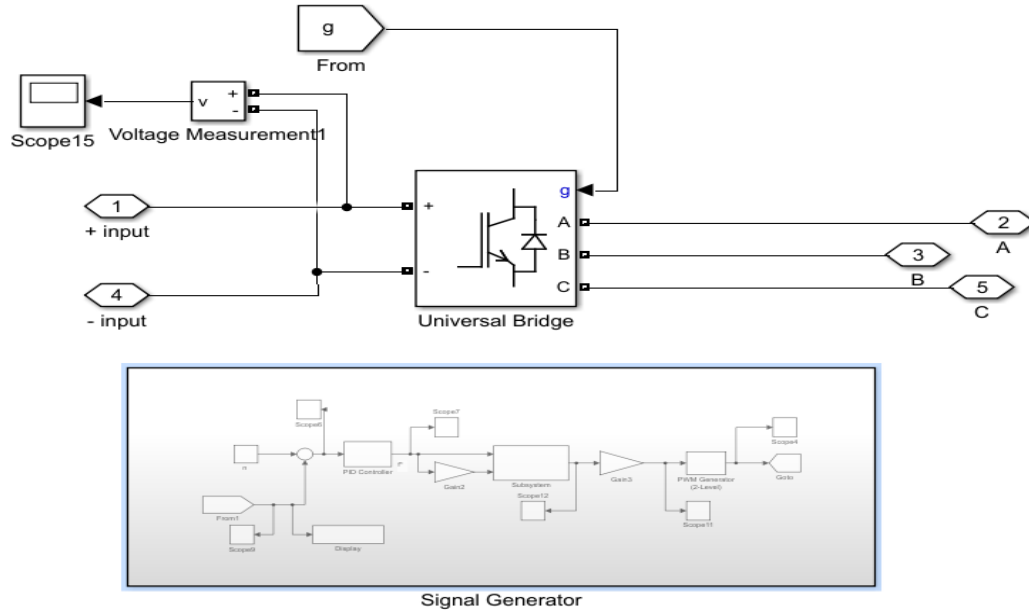
الشكل (9-3) دائرة التحكم بالمقطع الرافع

إن الغاية من الدارة هي الحصول على جهد خرج U2 مستمر أكبر من جهد الدخل U1 وقابل للتغيير والتحكم ، حيث يمكن أن نكتب العلاقة التالية المعبرة عن الدارة بالرمز D :

$$U_2 = \frac{1}{1-D} U_1 \rightarrow 1 - D = \frac{1}{U_2} U_1 \rightarrow 1 - D = \frac{U_1}{U_2} \rightarrow D = 1 - \frac{U_1}{U_2} \quad (9-3)$$

3-5-3- دارة المعرج ثلاثي الطور :

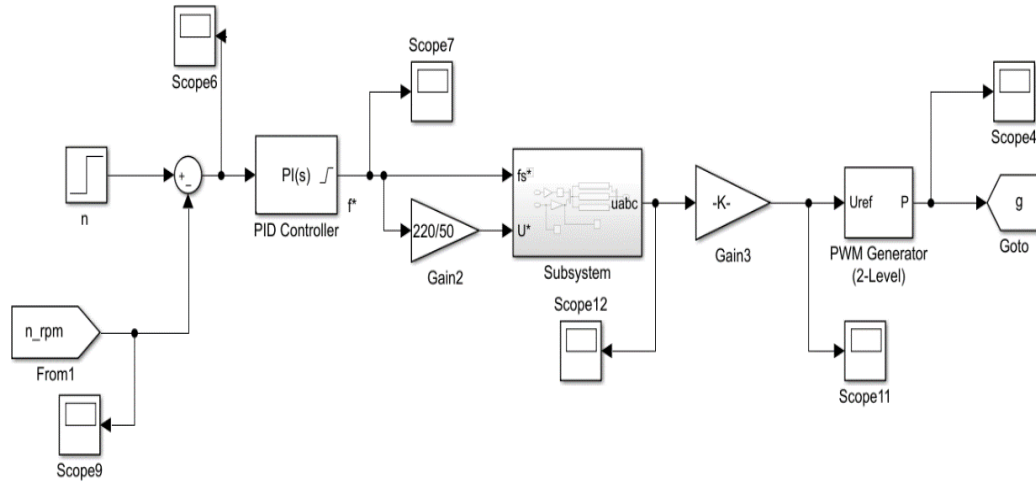
يقوم المعرج بتحويل التيار المستمر DC إلى تيار ثلاثي متناوب AC، حيث استُخدمت عناصر كهربائية بثلاثة أذرع (IGBT) مع ديود في هذه الدارة. يبين الشكل (10-3) هذه الدارة.



الشكل (10-3) دارة المعرج ثلاثي الطور

3-5-4- دارة التحكم بنبضات المعرج ثلاثي الطور:

في هذه الدارة يتم وضع سرعة مرجعية ، وبناءً على هذه السرعة المرجعية وعلى السرعة المقاسة من دوران المحرك فيكون الفرق بين هاتين السرعتين هو إشارة خطأ السرعة الذي يدخل على متحكم وبناءً عليه يعطي التردد ويجعل قيمة النسبة ثابتة ، وعليه نحصل على تردد مرجعي وتوتر مرجعي ، وتُعد هذه الدارة دارة التحكم والقيادة لدارة المعرج ثلاثي الطور. الشكل (11-3)



الشكل (11-3) دائرة التحكم بنبضات المعرج ثلاثي الطور

كما يبين الشكل (11-3) يتم الحصول على التردد المرجعي f^* الموافق للسرعة المرجعية من خلال جمع تردد تيار الدائر المرجعي (خرج متحكم السرعة) مع تردد الدائر الذي نحصل عليه من خلال العنصر Gain3 ، أما المطال الأعظمي المرجعي U_{max} الموافق للسرعة المرجعية فنحصل عليه من خلال المميمة التي يمثلها العنصر Gain2 .

3-5-5- الدارة الرئيسية :

تضم جميع الدارات الفرعية السابقة إضافة إلى دائرة لتحويل التوتر والتردد المرجعي لتوتر ثلاثي الطور من أجل أن تدخل إلى دائرة مولد النبضات. تم استخدام عناصر من بيئة ماتلاب (WORKSPACE) من أجل رسم المنحنيات المطلوبة وعرضها بالشكل المناسب. يبين الشكل (13-3) النموذج النهائي للدائرة مع تغيير مصدر التغذية الكهربائي خلال استخدام مدخرات أو خلايا وقود .

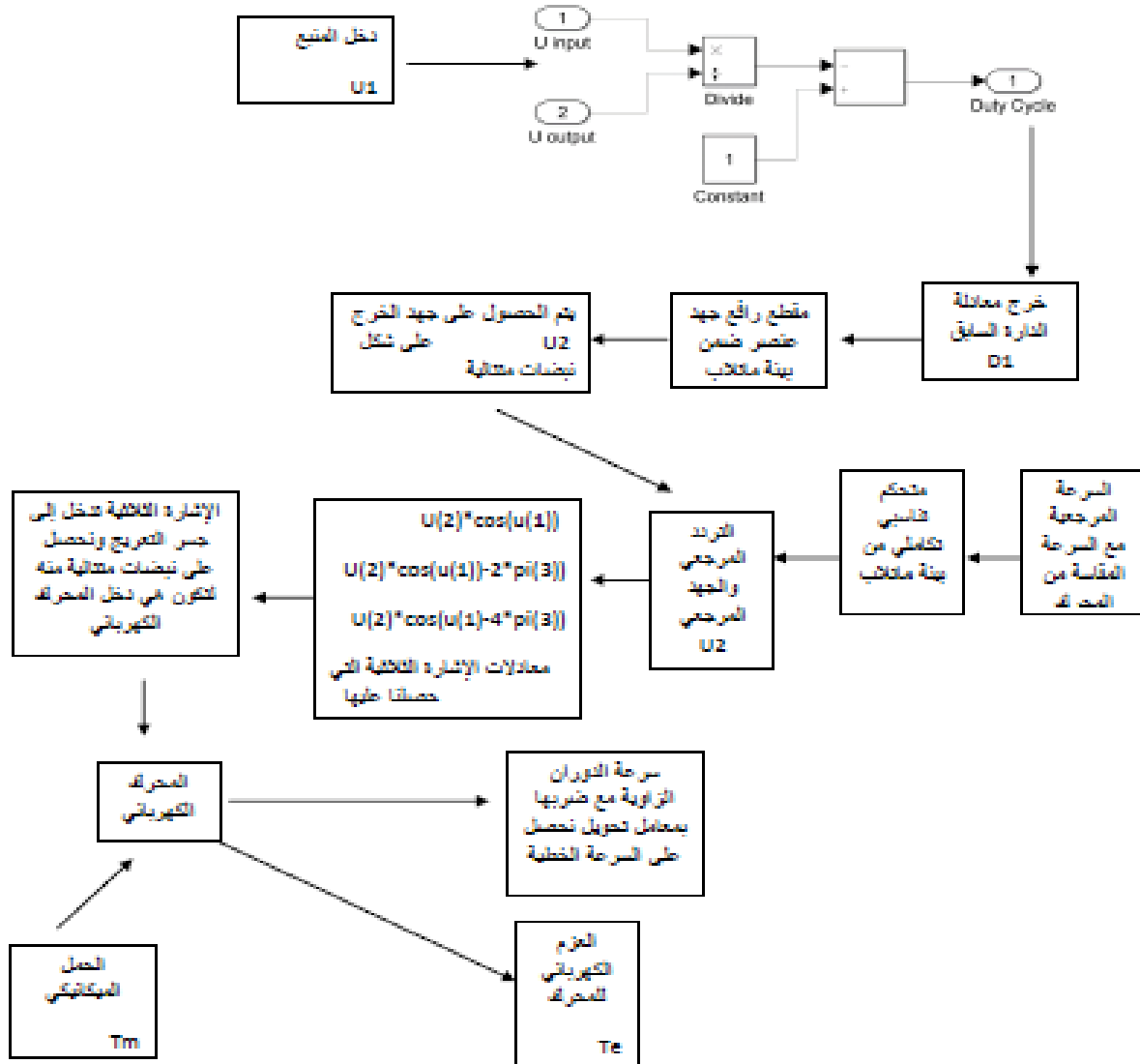
هنا تجدر الإشارة إلى أنه تم استخدام بلوك محرك تحريضي ثلاثي الأطوار ذو قفص سنجابي جاهز موجود في بيئة ماتلاب ، وقد كانت قيم محددات هذا المحرك المذكور مطابقة ومناسبة

لمحددات قيم المحرك الموجود لدينا ، الذي سيتم استخدامه في التصميم العملي، وهذه المحددات كانت كالآتي :

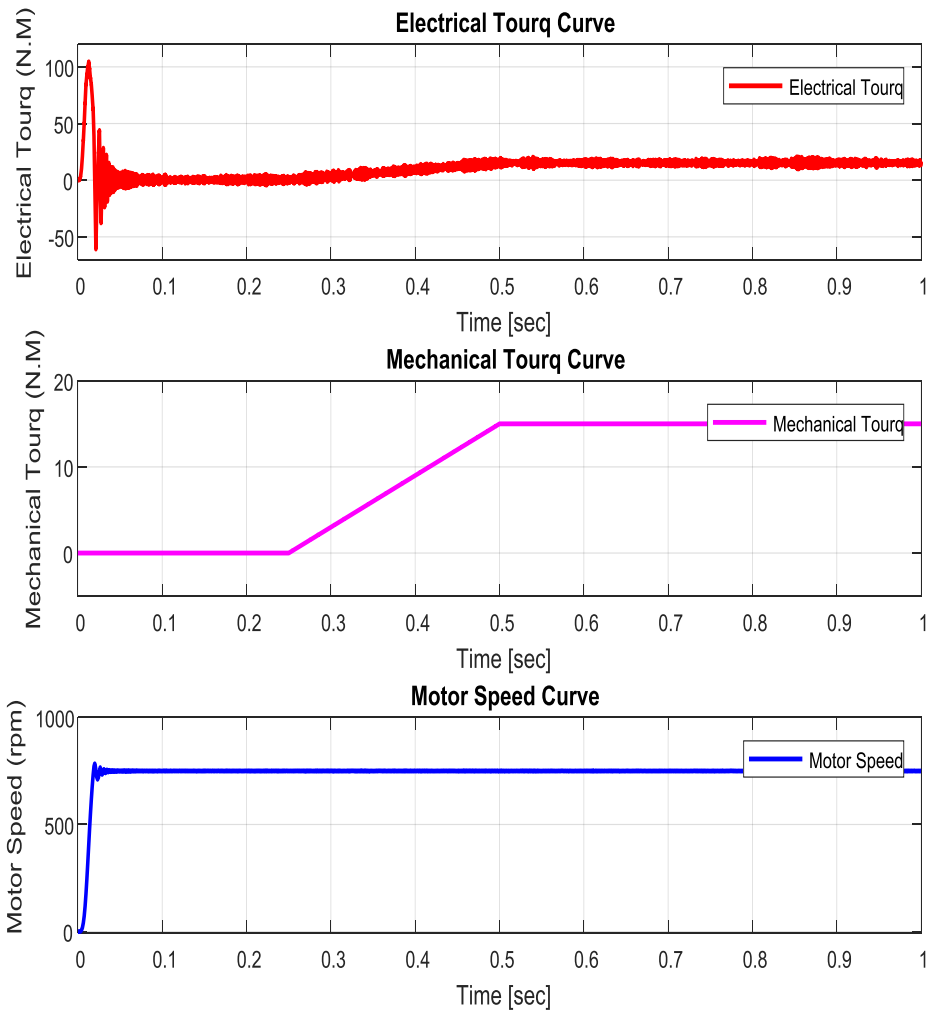
((4.5KW) 400 V 50 HZ 1430RPM).

(Te)العزم الكهربائي للمحرك،يجب أن يغطي العزم الميكانيكي ويزيد عليه لنحقق سير السيارة .

قبل عرض الدارة الرئيسية في حالتها تغيير منبع الوقود المستخدم سيتم استعراض مخطط التحكم الصندوقي لسير العمليات خلال هذا النموذج من خلال المخطط الآتي :

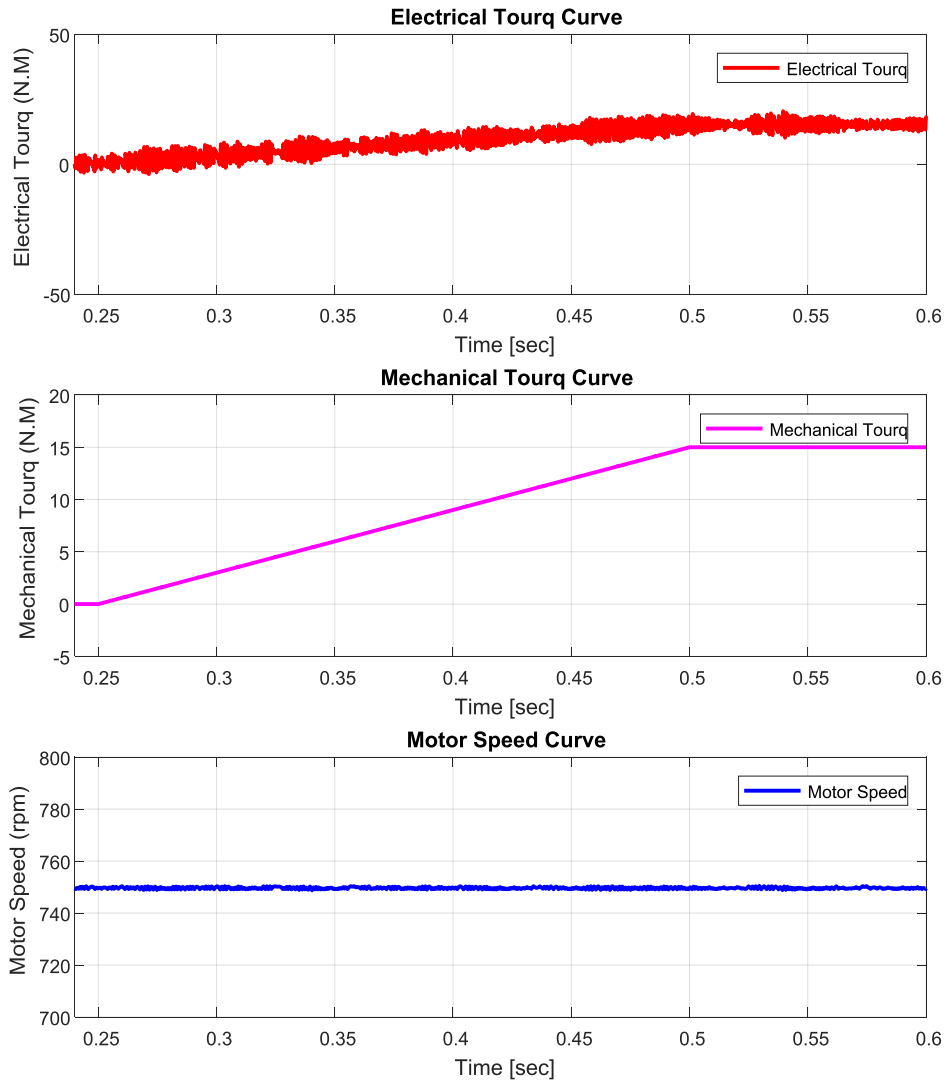


الشكل (3- 12) مخطط التحكم الصندوقي نموذج الدارة العام وفق منبع التغذية



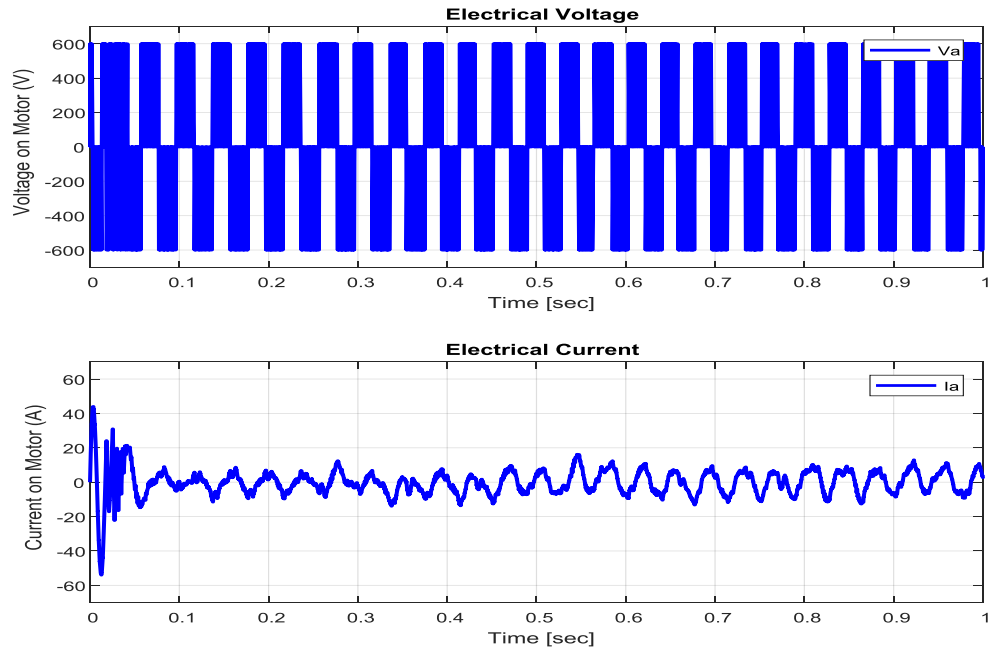
الشكل (3-14) تغير العزم الكهربائي والميكانيكي مع سرعة الدوران وفق الزمن

تم زيادة المدة الزمنية في أثناء التغيرات الحاصلة لعرض مجال وهامش الاستجابة الناتجة الحاصلة لكل منحنى ، وكان المنحني البياني الآتي (3-15) يوضح ذلك كما يأتي :



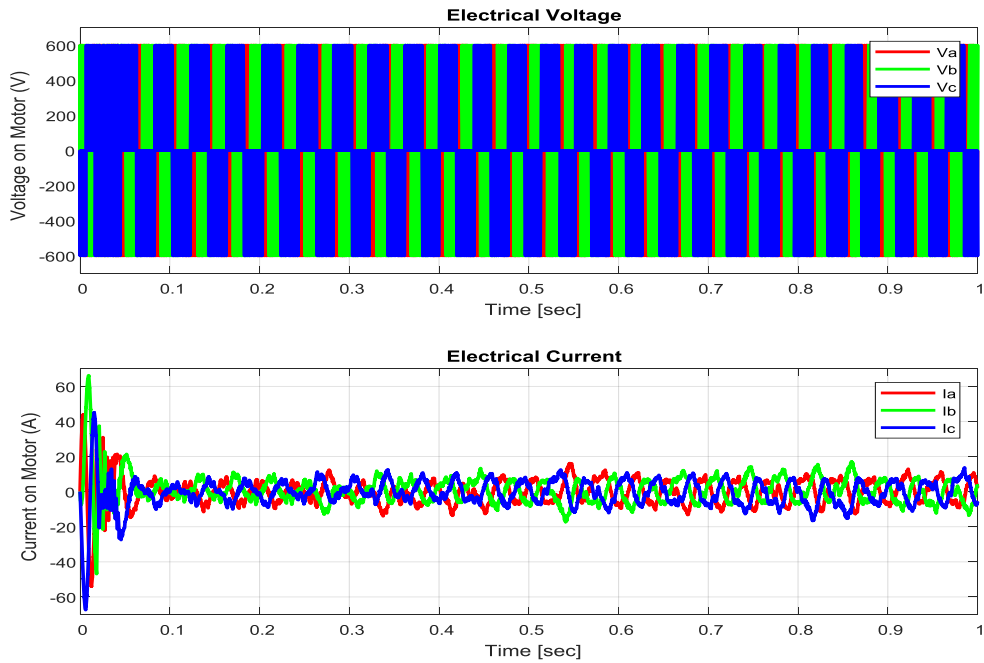
الشكل (3-15) زيادة هامش الفترة الزمنية

المنحنيان الآتيان (3-16) يوضحان تغير قيم التوتر والتيار للمحرك الكهربائي على أحد الأطوار (من دون استخدام المرشحات).



الشكل (3-16) تغير قيم التوتر والتيار للمحرك الكهربائي

منحنيات توترات الأطوار الثلاث للمحرك وسنكتفي بعرضها في هذه الحالة فقط من دون استخدام المرشحات أيضا ، كما في المنحني الآتي (3-17) .

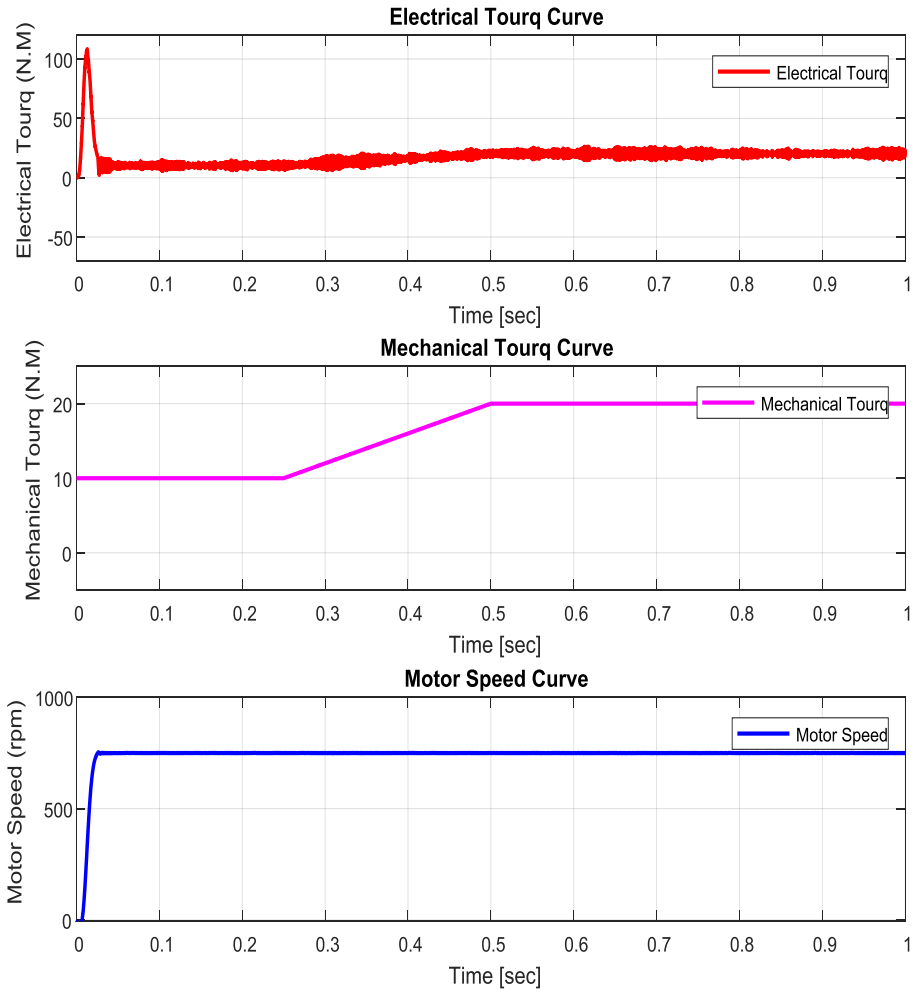


الشكل (3-17) منحنيات توترات الأطوار الثلاث للمحرك الكهربائي

الحالة الثانية :

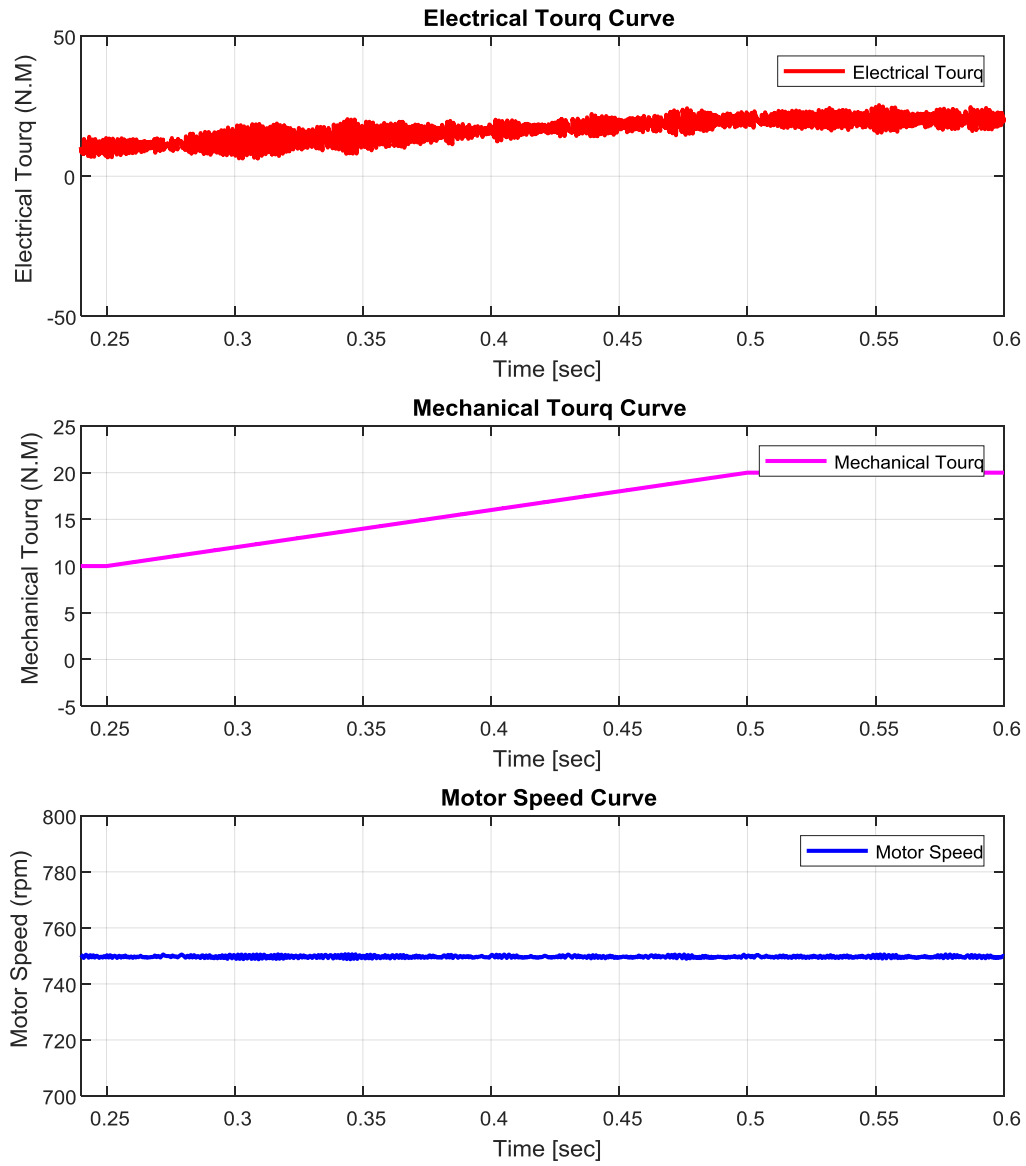
تغيير الحمولة ، أي العزم الميكانيكي المطبق ، فرضنا أن التغير حصل من 10 إلى 20 نيوتن.متر ، تثبيت سرعة دوران المحرك $n=750$ r.p.m .

يوضح المنحني البياني التالي (3-18) هذه الحالة :



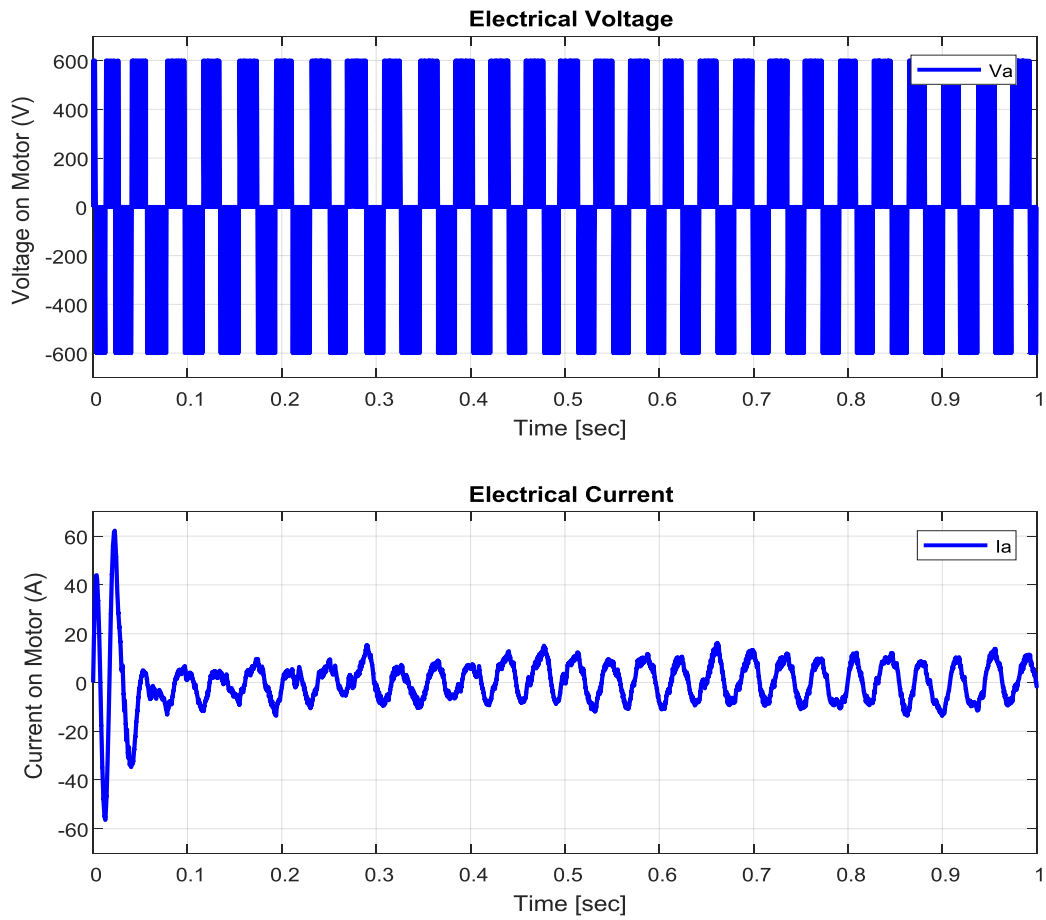
الشكل (3-18) تغيير كل من العزم الميكانيكي والكهربائي مع سرعة الدوران وفق الزمن

وعند تغيير هامش المدة الزمنية تصبح المنحنيات البيانية كما يوضح المنحني الآتي (3-19)



الشكل (3-19) تغيير هامش المدة الزمنية

المنحنيان الآتيان (3-20) يوضحان تغير قيم التوتر والتيار للمحرك الكهربائي (من دون استخدام المرشحات).



الشكل (3-20) تغير قيم التوتر والتيار للمحرك الكهربائي

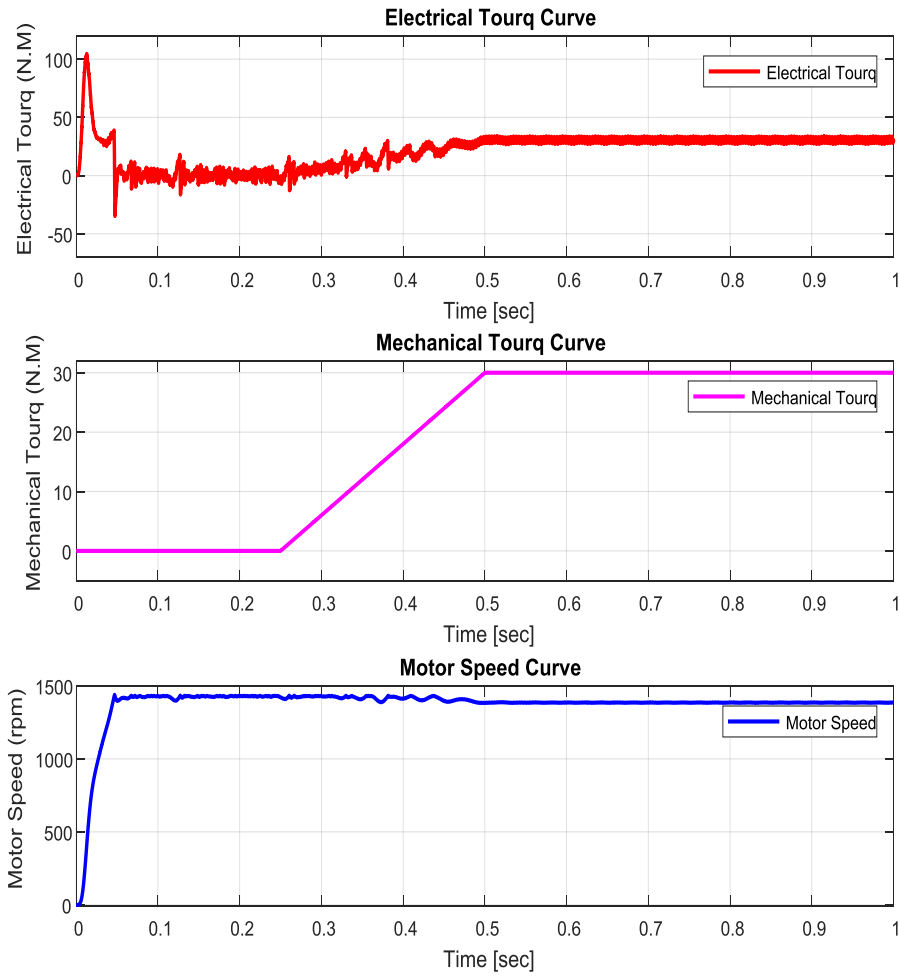
الحالة الثالثة :

تغيير قيمة الحمولة فقط كما يأتي :

$$T_m = 0-30 \text{ N.m}$$

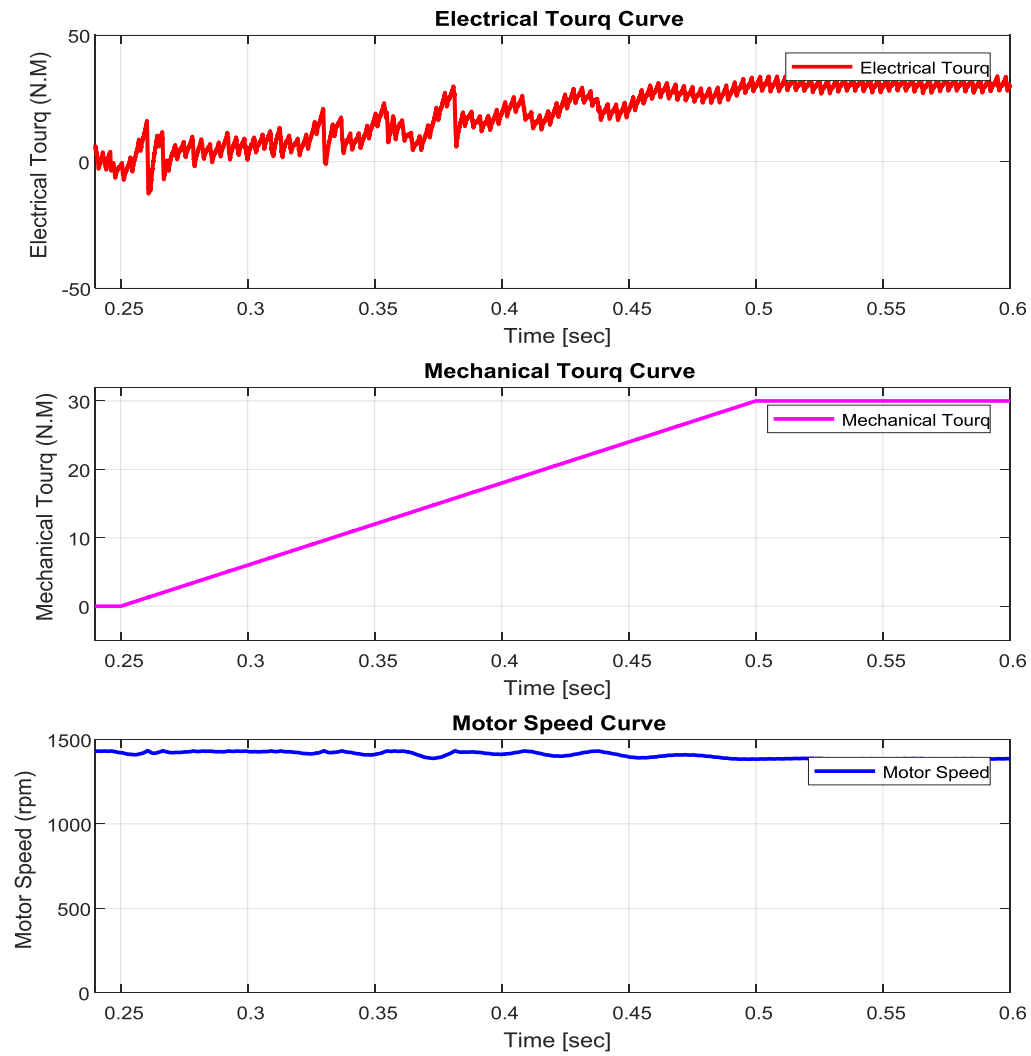
$$n = 1430 \text{ r.p.m}$$

يوضح المنحني البياني الآتي (3-21) هذه الحالة :



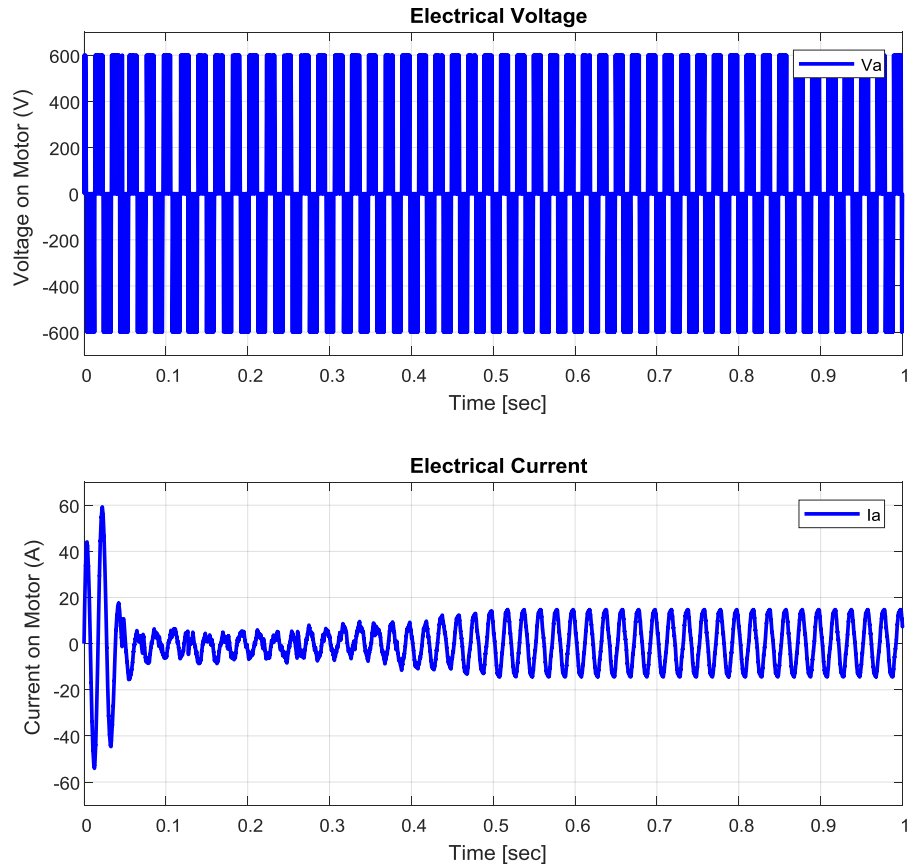
الشكل (3-21) تغير العزم الميكانيكي والكهربائي مع سرعة الدوران وفقا للزمن

عند تغيير هامش المدة الزمنية تصبح المنحنيات البيانية كما يوضح المنحني الآتي (3-22):



الشكل (3-22) تغيير هامش المدة الزمنية

المنحنيان الآتيان (3-23) يوضحان تغير قيم التوتر والتيار للمحرك الكهربائي (من دون المرشحات):



الشكل (3-23) تغير قيم التوتر والتيار للمحرك الكهربائي

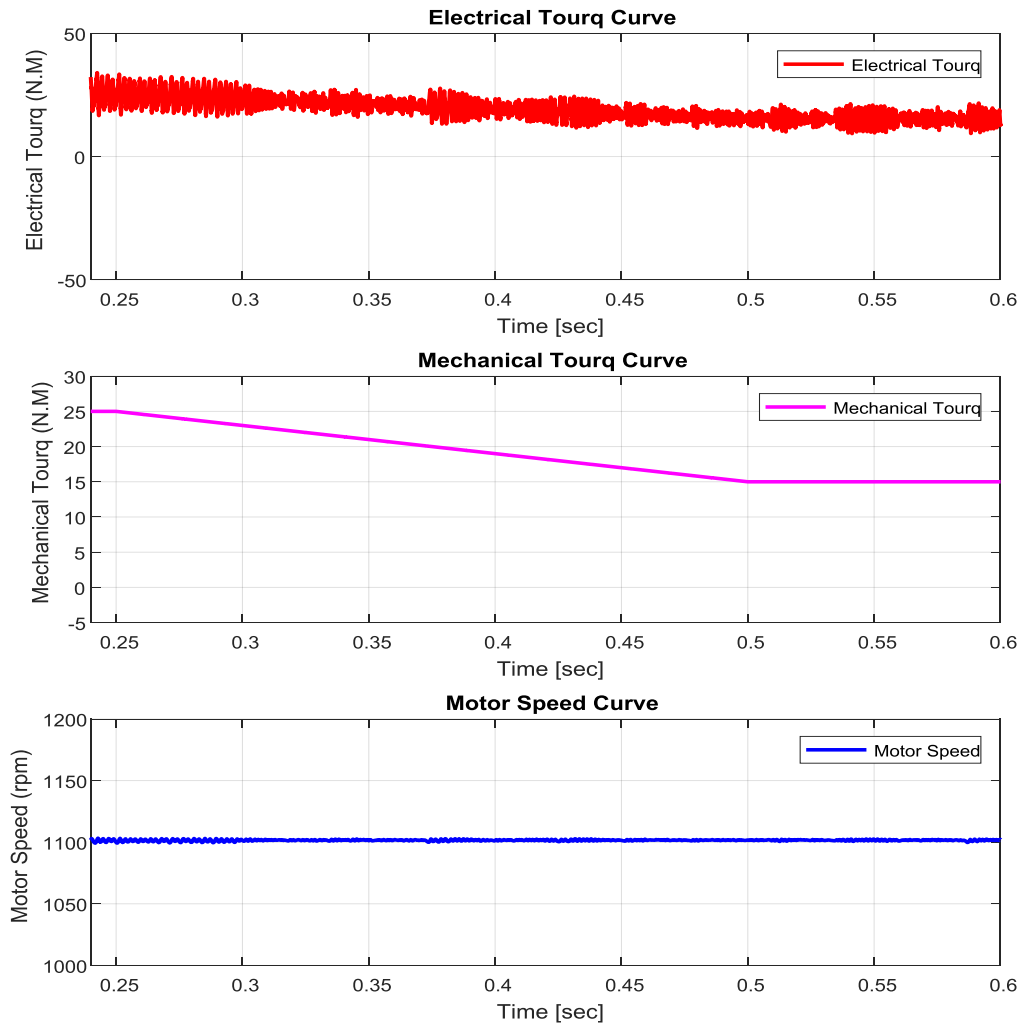
الحالة الرابعة :

انخفاض قيمة الحمولة مع ثبات السرعة كما يأتي :

$$T_m = 25-15 \text{ N.m}$$

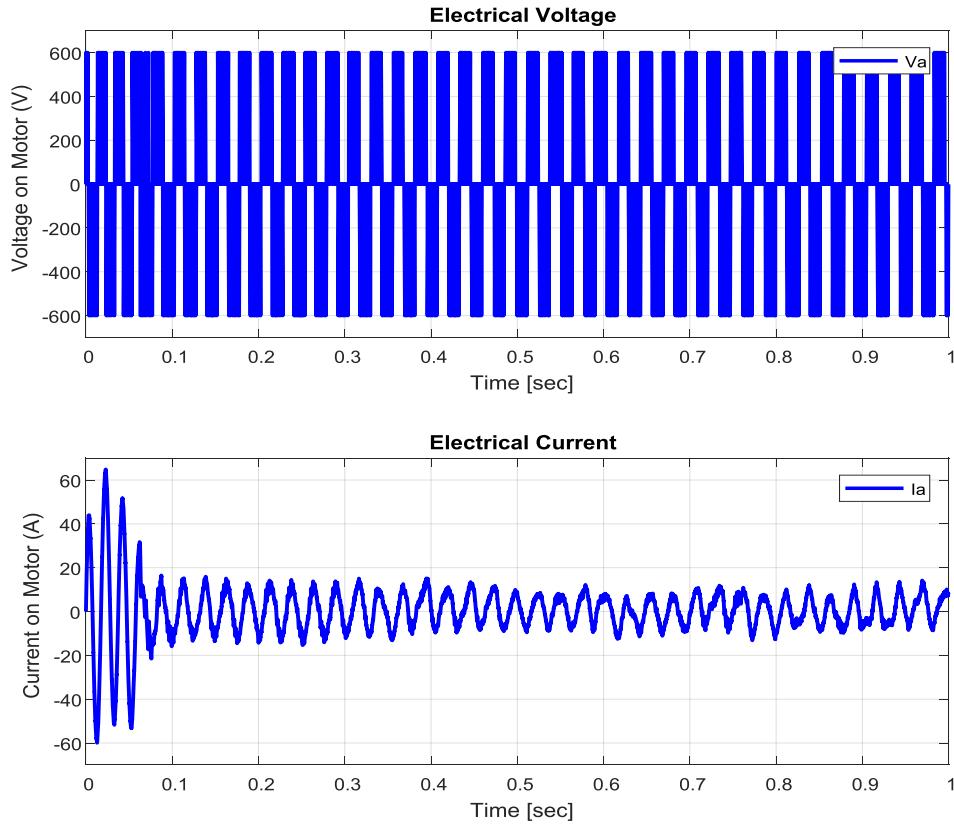
$$n = 1100 \text{ r.p.m}$$

يوضح المنحني الآتي (3-24) هذه الحالة مع زيادة هامش المدة الزمنية مباشرة :



الشكل (3-24) تغير قيم العزم الميكانيكي والكهربائي وسرعة الدوران وفقا للزمن ومع تكبير الهامش الزمني

المنحنيان التاليان (3-25) يوضحان تغير قيم التوتر والتيار للمحرك الكهربائي (من دون المرشحات).



الشكل (3-25) تغير قيم التوتر والتيار للمحرك الكهربائي

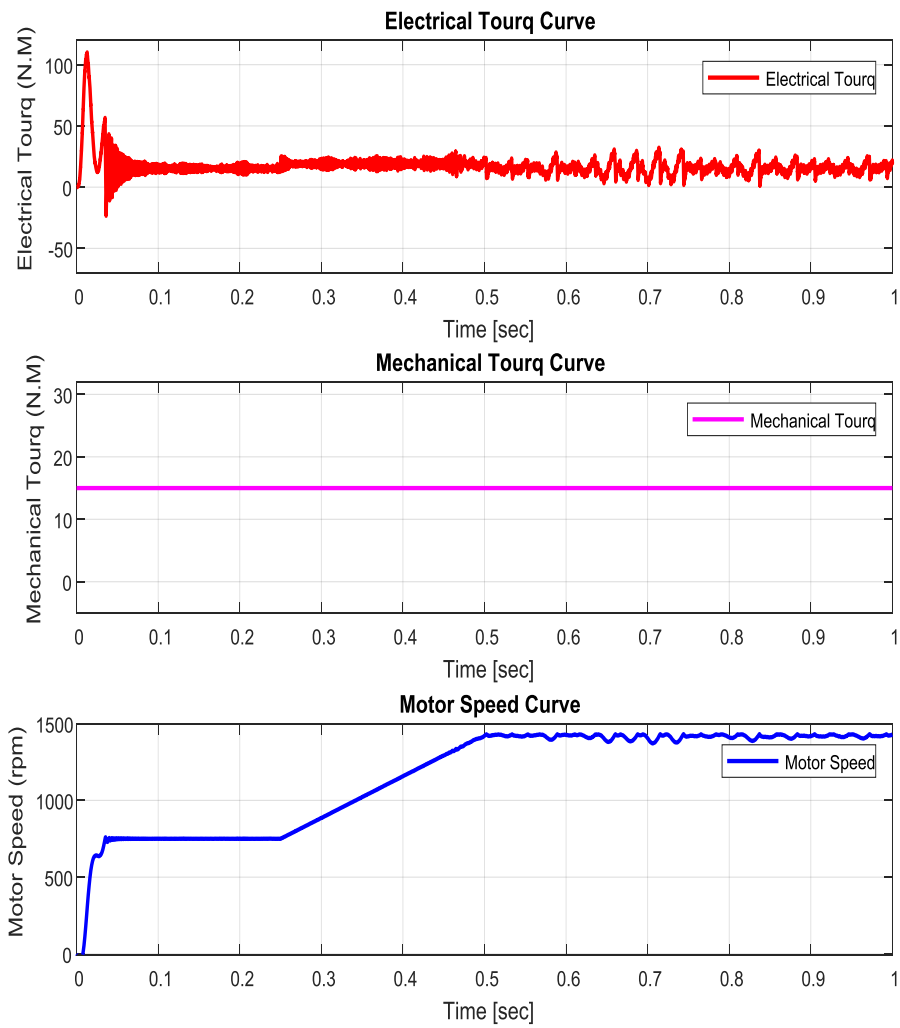
الحالة الخامسة :

تغيير قيمة كل من السرعة فقط كما يلي :

$$T_m = 15 \text{ N.m}$$

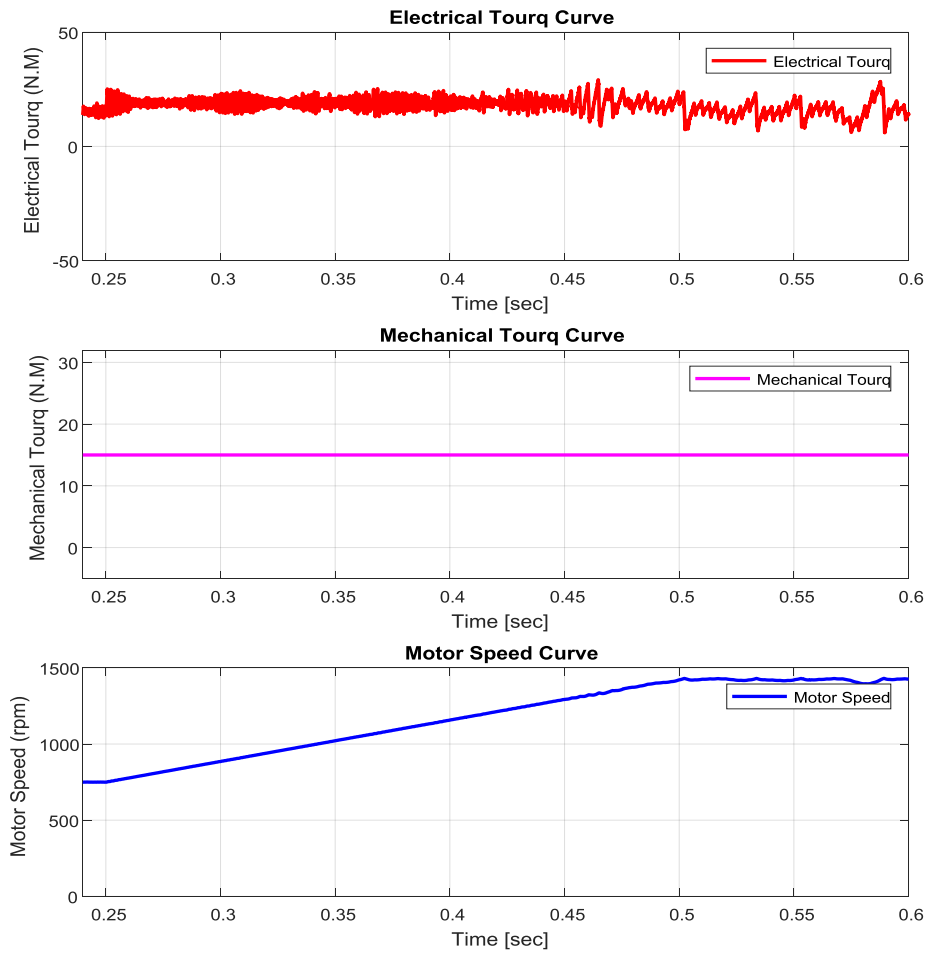
$$n = 750 - 1430 \text{ r.p.m}$$

يوضح المنحني البياني الآتي (3-26) هذه الحالة :



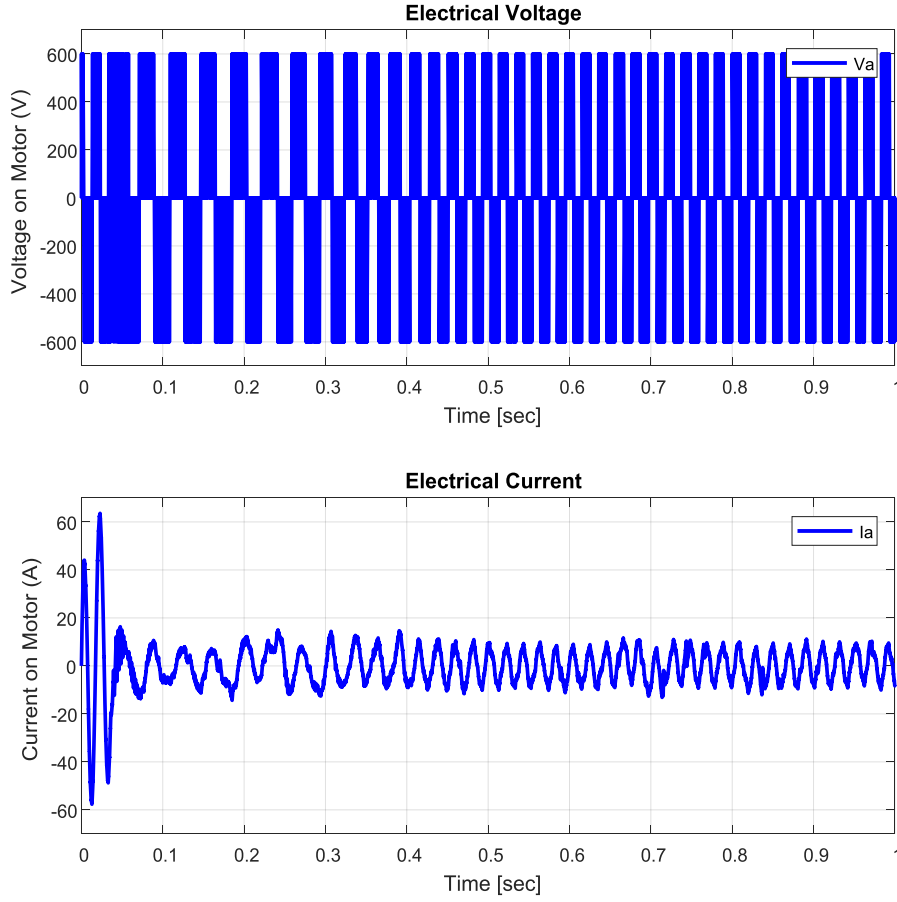
الشكل (3- 26) تغير العزم الميكانيكي والكهربائي وسرعة الدوران وفقا للزمن

أما عند تغيير هامش المدة الزمنية يصبح المنحني البياني السابق كما يوضح المنحني الآتي
(3- 27)



الشكل (3-27) تكبير هامش الفترة الزمنية

المنحنيان الآتيان (3-28) يوضحان تغير قيم التوتر والتيار للمحرك الكهربائي (من دون المرشحات).



الشكل (3-28) تغير التوتر والتيار للمحرك الكهربائي

7-3- مناقشة المنحنيات البيانية السابقة لحالة منبع المدخرات :

الحالة الأولى والثانية والثالثة : أظهرت المنحنيات البيانية في هذه الحالة الآتي :

1. مع زيادة العزم الميكانيكي (الحمل المطبق على محور دوران المحرك) لم تتأثر سرعة الدوران بهذه الزيادة ؛ بل حافظت على سرعة ثابتة مع استقرار في دوران المحرك.
2. زيادة العزم الكهربائي المطبق ليغطي الزيادة الحاصلة في الحملات وكانت سرعة الاستجابة لهذه الزيادة الجديدة شبه لحظية.
3. حافظ المحرك على توتره وتياره خلال ذلك في حالة استقرار .

الحالة الرابعة : أظهرت المنحنيات البيانية في هذه الحالة عند انخفاض الحمولة مع استقرار السرعة على قيمة معينة استجابة من قبل المحرك الكهربائي المستخدم مع ثبات في قيم توتره وتياره .

الحالة الخامسة : أظهرت المنحنيات البيانية في هذه الحالة أنه عند تغير السرعة مع تثبيت الحمولة استجاب المحرك الكهربائي أيضا لهذا التغير الحاصل كما أن توتره وتياره لم يتغيرا .

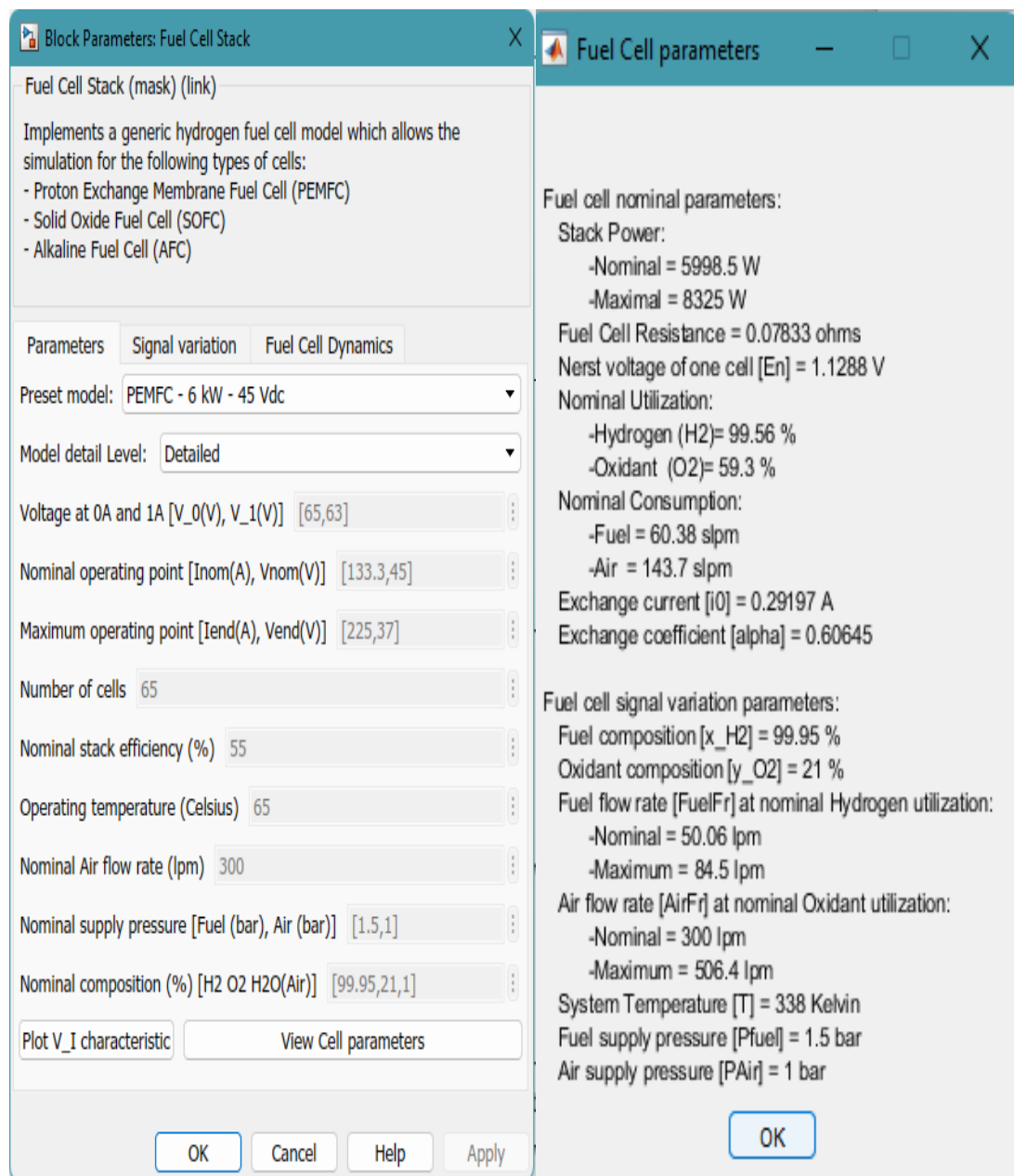
بناء على ما سبق ، ومن خلال المناقشة التي تمت على المنحنيات البيانية السابقة التي تعبر عن حالات عمل محددة ومتنوعة ومتغيرة للمحرك الكهربائي المعتمد في الدراسة تبين الآتي:

1. يمكن اعتبار الاستجابة التي أبداهها المحرك الكهربائي ثلاثي الطور لحالات العمل السابقة كانت منطقية وسريعة وتلبي الأهداف المطلوبة في حال التطبيق العملي المخبري.

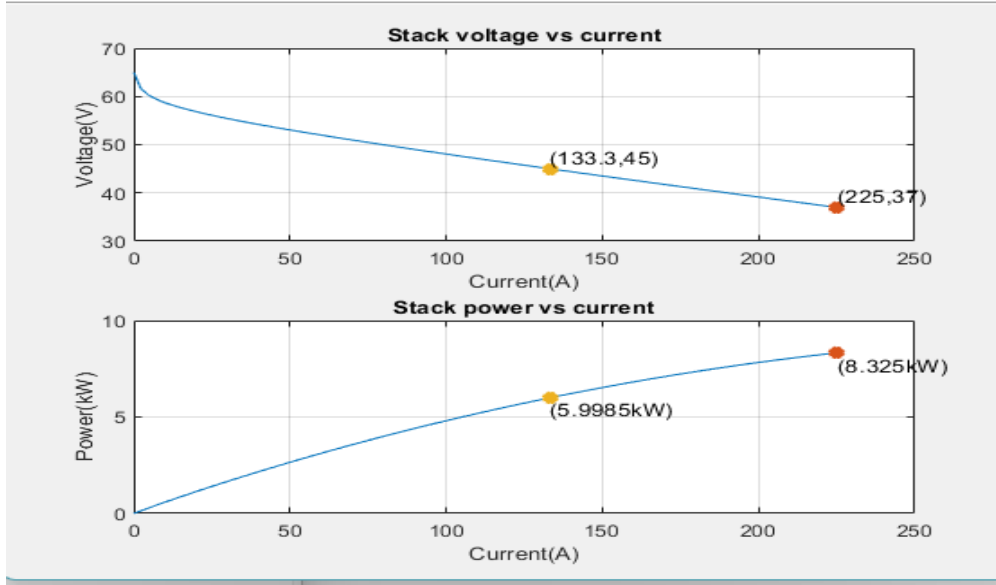
2. لا يمكن أن يلاحظ أبدا خلال التطبيق العملي أو نشعر بهذه التغيرات لكونها طفيفة جدا ، ولم تتجاوز النصف ثانية ولا في أي حالة من الحالات الثلاث السابقة.

3-8- بناء النموذج الحاسوبي لنظام القيادة الكهربائية باعتبار منبع التغذية خلايا الوقود

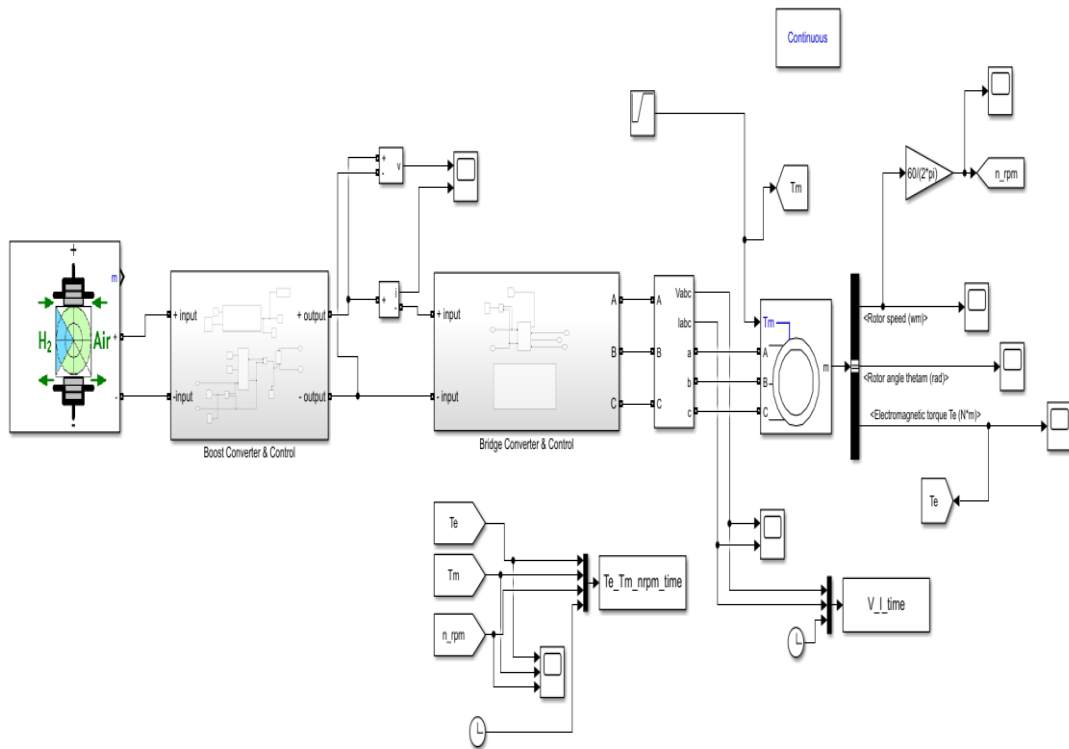
إن بناء النموذج الحاسوبي في هذه الحالة لن يختلف عن بناء النموذج الحاسوبي بالنظر إلى منبع التغذية هي المدخرات تعاد الخطوات السابقة كما هي مع لحظ تغير المنبع باستخدام كدس خلايا وقود عوضاً عن المدخرات ، كدس خلايا الوقود الذي استُخدم موجود ضمن بيئة ماتلاب ، خصائصه التشغيلية هي كما هو موضح في الصور الآتية :



الشكل (3-29) المحددات التشغيلية لمكدس خلايا الوقود المستخدم في بيئة ماتلاب 2021 [30]



الشكل (30-3) علاقة كل من الجهد والاستطاعة لمكدس خلايا الوقود بالنسبة للتيار [30]

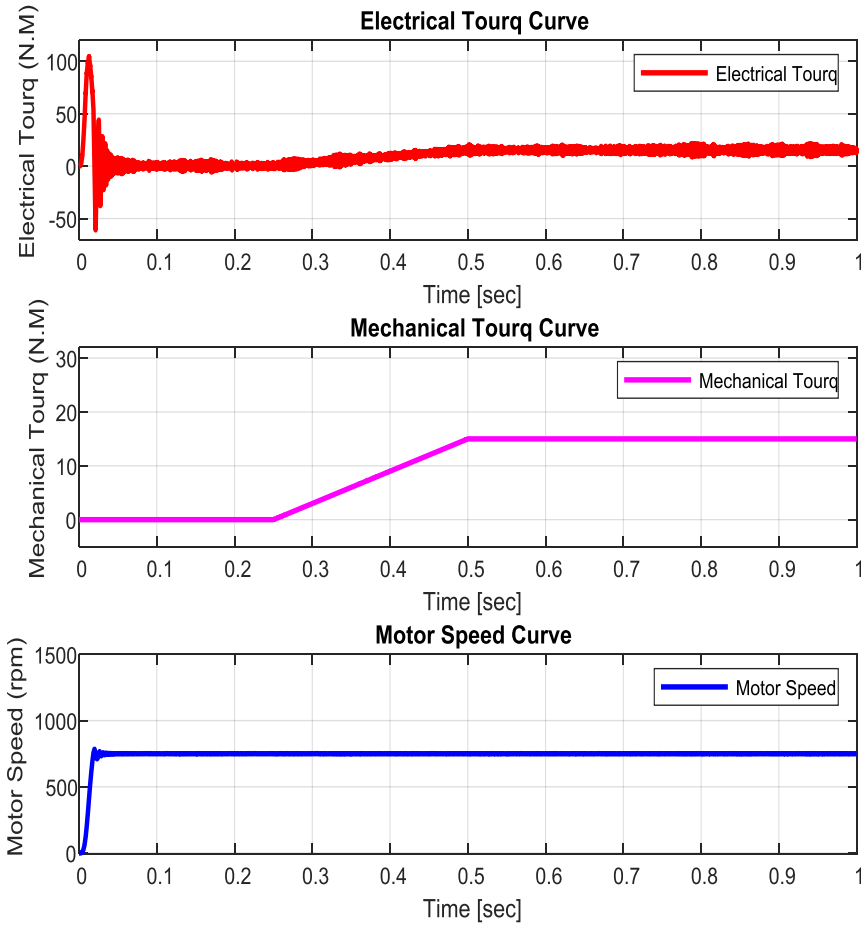


الشكل (31-3) النموذج العام للدارة عند استخدام خلايا الوقود منبع تغذية

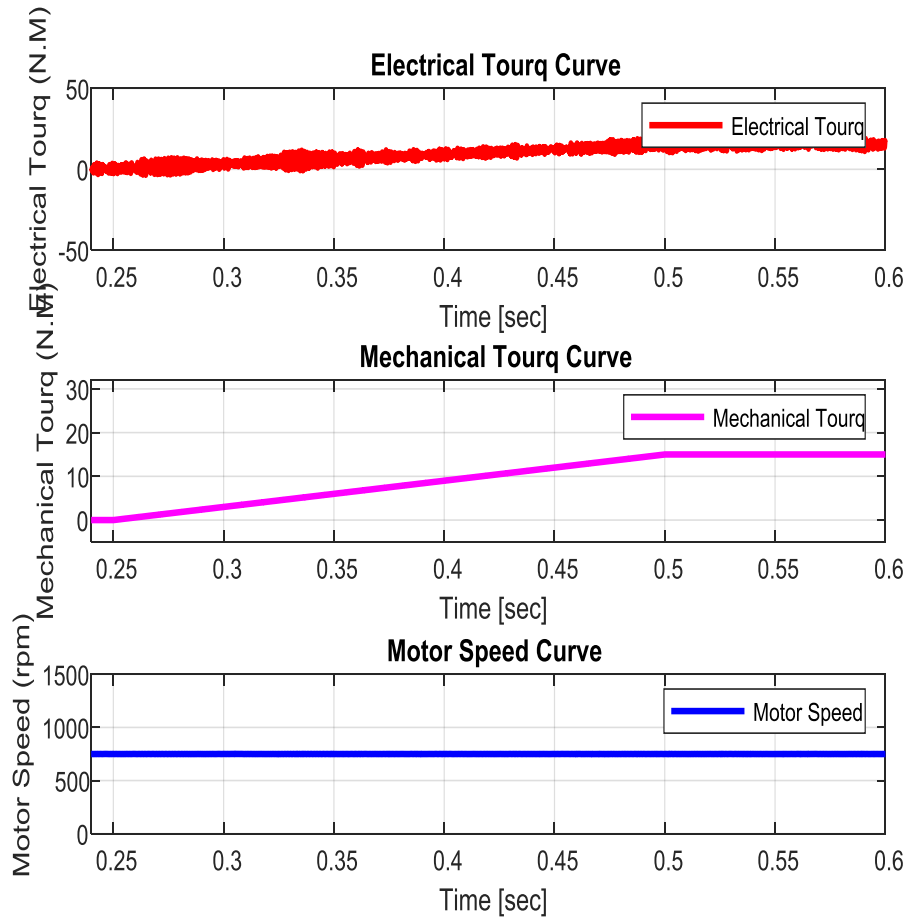
3-9- المنحنيات البيانية للمحاكاة الحاسوبية منبع خلايا وقود

تم في هذه الدراسة اختبار ثلاث حالات عمل ؛ هما حالتان تعبران عن الحمل الميكانيكي وتغيره، وحالة تعبر عن تغير سرعة الدوران من السرعة الوسطية إلى السرعة العظمى مع ثبات الحمل الميكانيكي ، وكانت المنحنيات البيانية لهذه الحالات في دراستنا كالاتي :

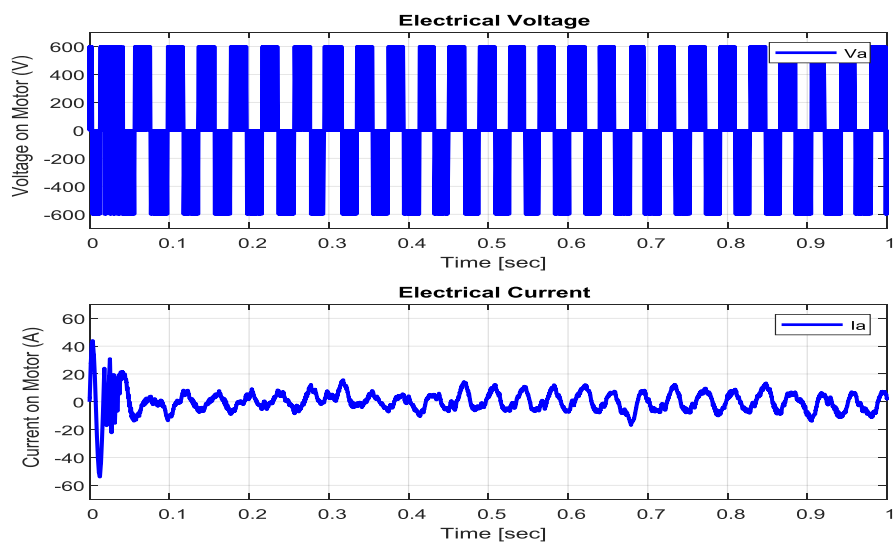
الحالة الأولى : تغير الحمل الميكانيكي المطبق من الإقلاع (لا وجود لحمل) إلى حمل أعلى منه (متوسط القيمة) $n = 750$, $t_m 0-15$ المنحنيات البيانية، كما يأتي :



الشكل (3-32) منحنيات العزم الكهربائي والحمل الميكانيكي وسرعة دوران المحرك بالنسبة للزمن .

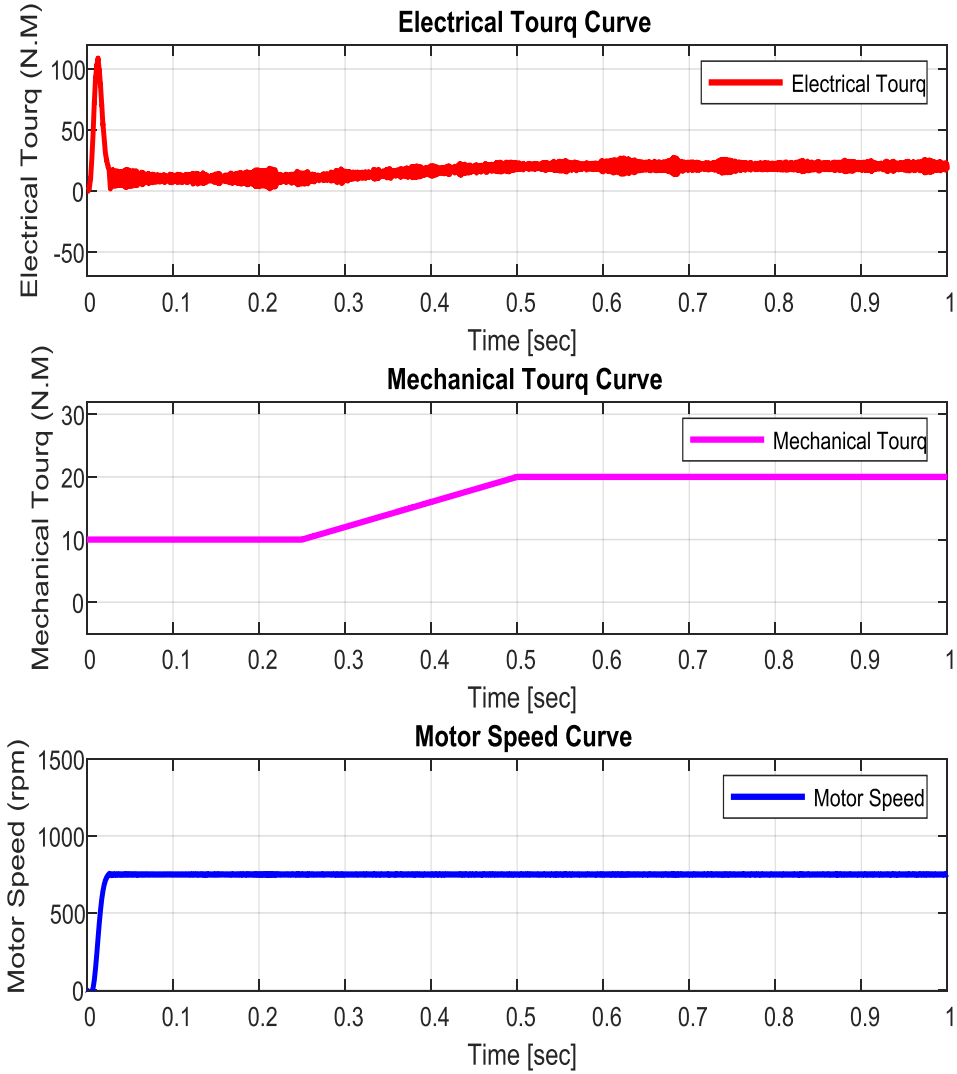


الشكل (3-33) توضيح المدة الزمنية للتغير الحاصل في منحنيات العزم الكهربائي والحمل الميكانيكي وسرعة دوران المحرك .

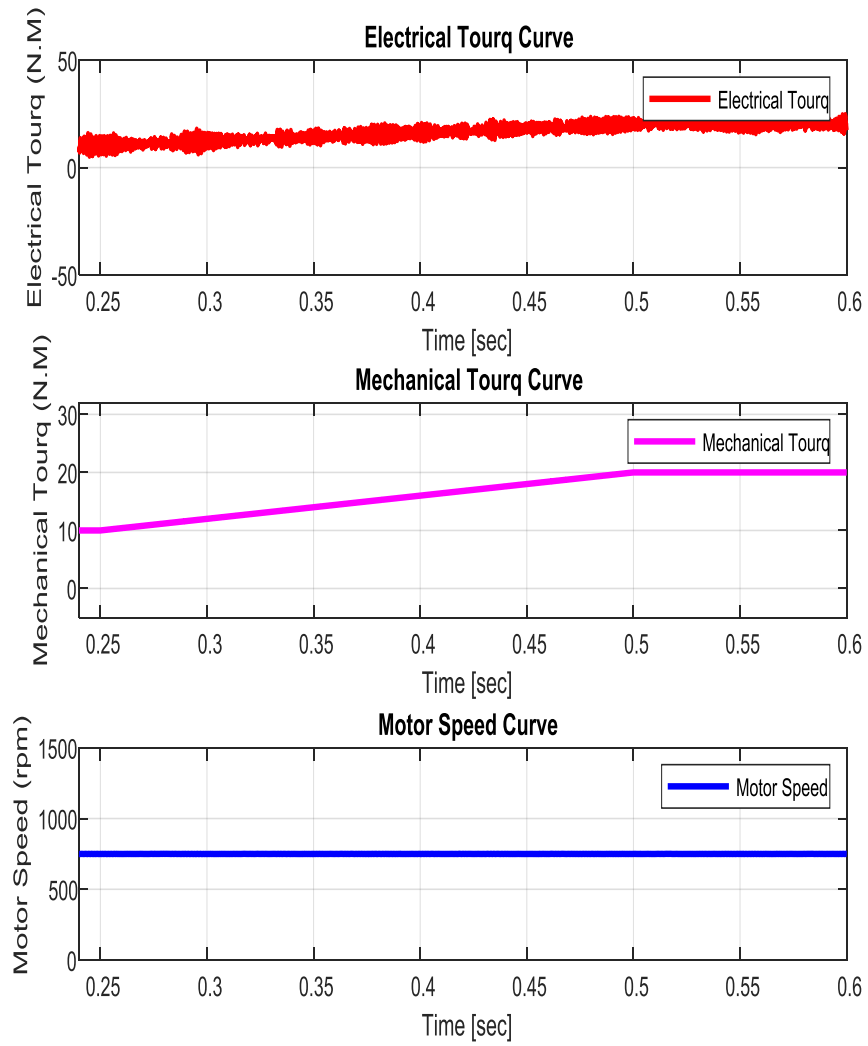


الشكل (3-34) منحنى التيار والجهد الواصل للمحرك الكهربائي بالنسبة للزمن

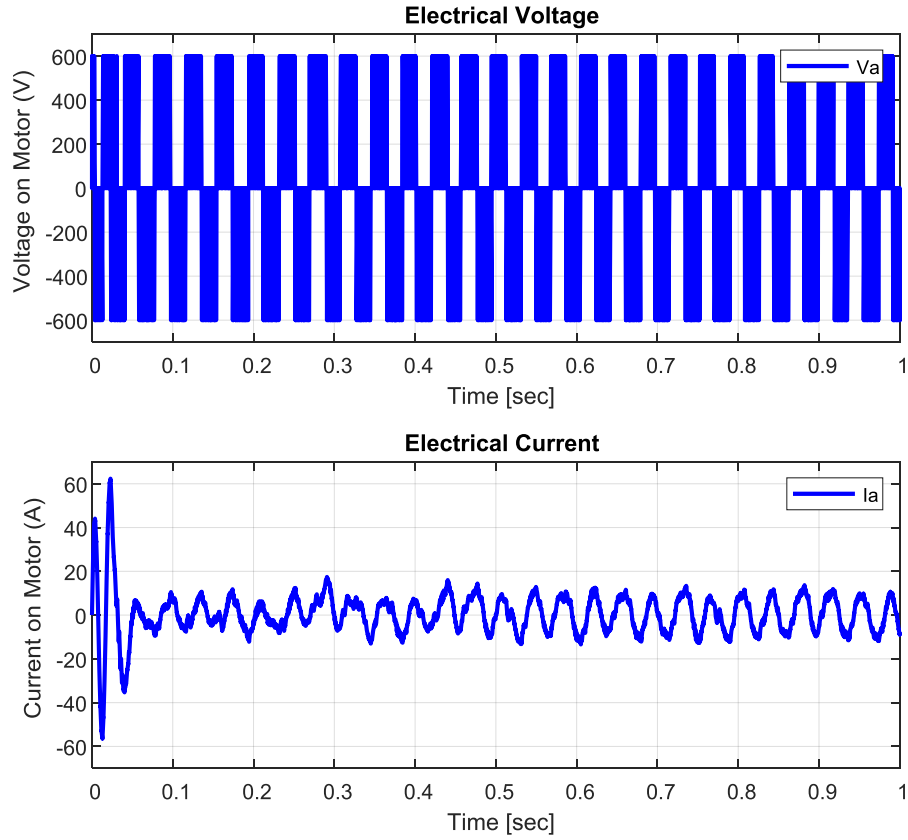
الحالة الثانية : تغير الحمل الميكانيكي المطبق من حمل منخفض إلى حمل أعلى منه (متوسط القيمة) $n = 750$, $t_m = 10-20$ المنحنيات البيانية كما يأتي :



الشكل (3-35) منحنيات العزم الكهربائي والحمل الميكانيكي وسرعة دوران المحرك بالنسبة للزمن :

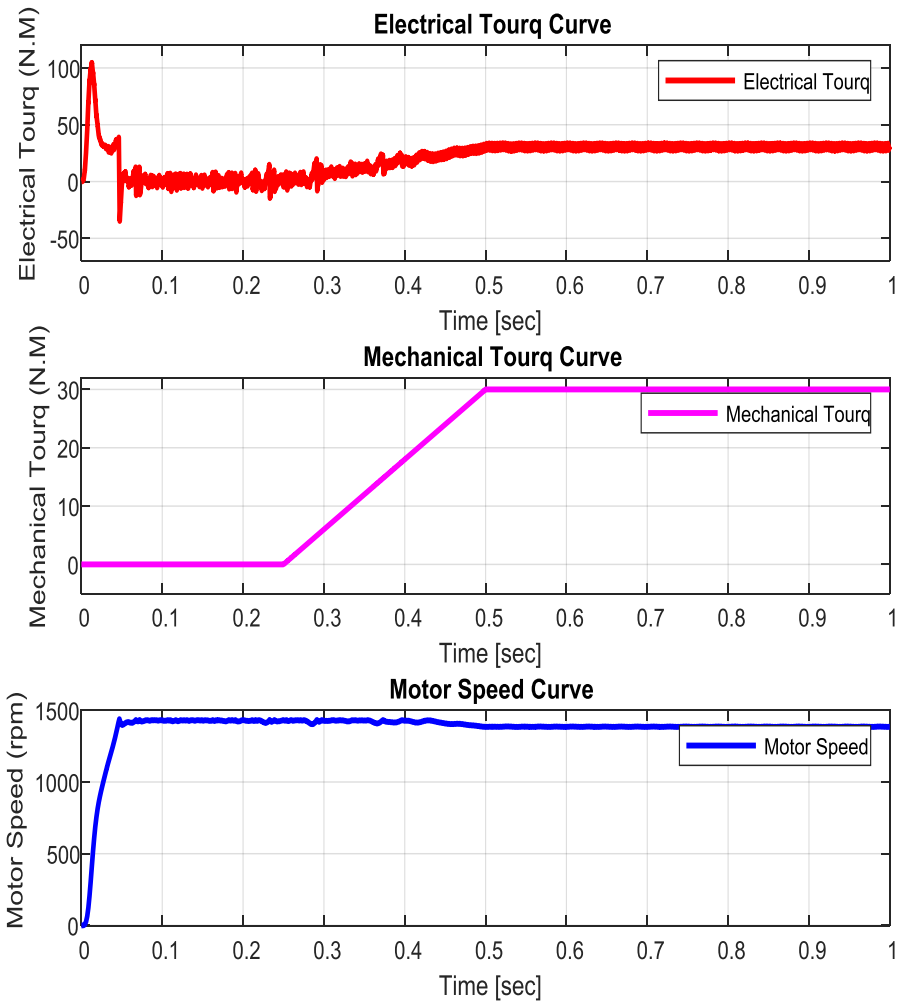


الشكل (3-36) توضيح المدة الزمنية للتغير الحاصل في منحنيات العزم الكهربائي والحمل الميكانيكي وسرعة دوران المحرك :

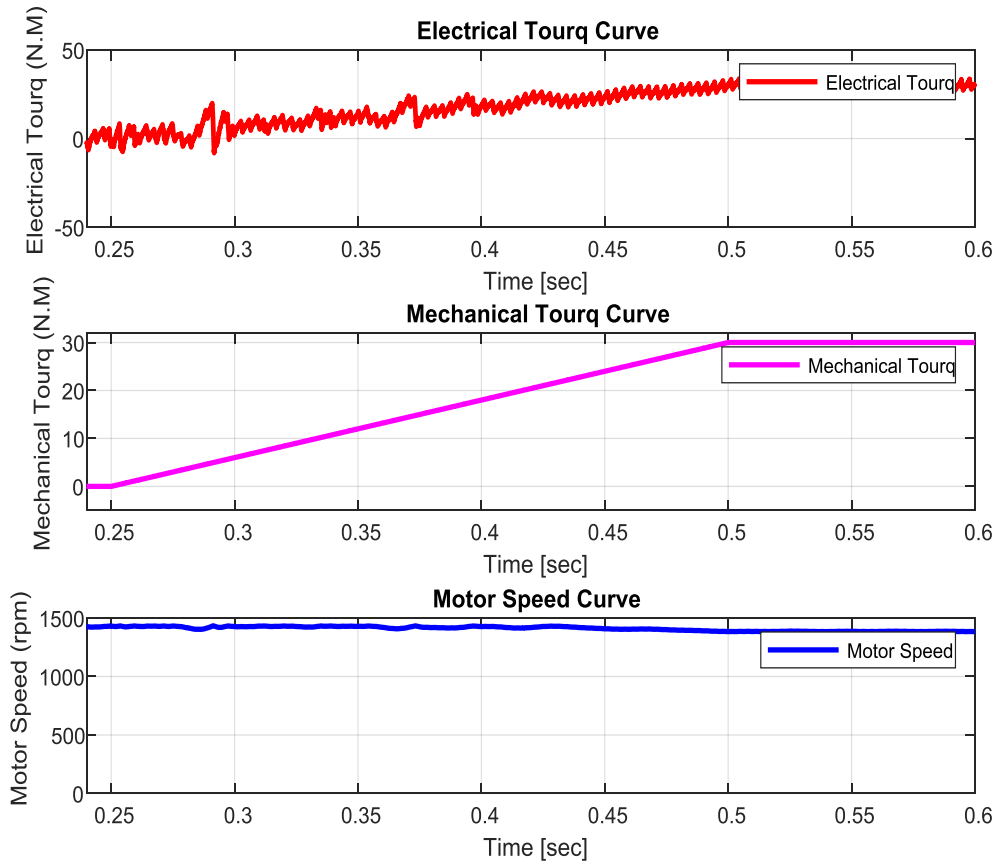


الشكل (3-37) منحنى التيار والجهد الواصل للمحرك الكهربائي بالنسبة إلى الزمن .

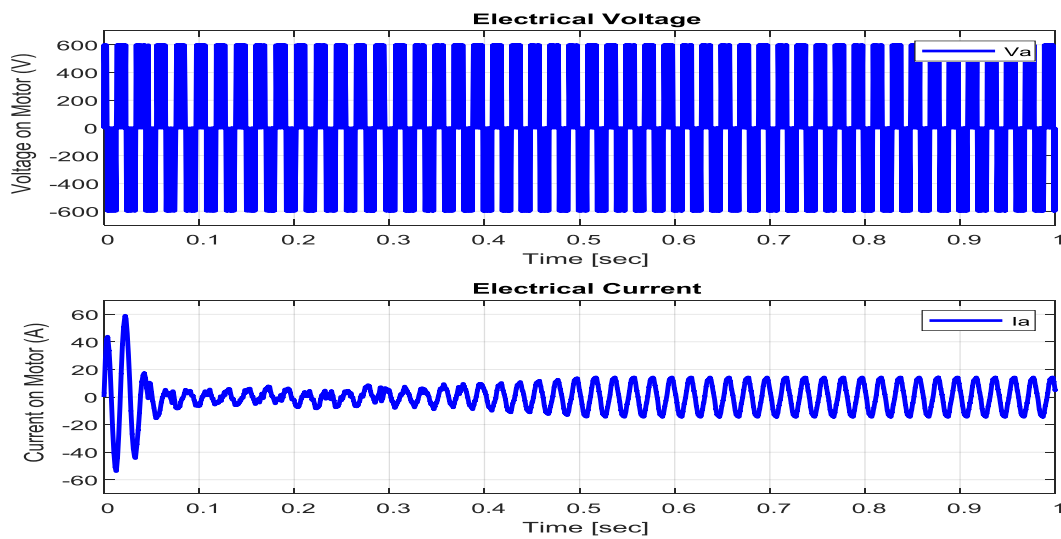
الحالة الثالثة : تغير الحمل الميكانيكي المطبق من الإقلاع وحتى وصول السيارة إلى الحمولة القصوى $n = 1430$, $t_m = 0-30$ وكانت المنحنيات البيانية كما يأتي :



الشكل (3-38) منحنيات العزم الكهربائي والحمل الميكانيكي وسرعة دوران المحرك بالنسبة للزمن :



الشكل (3-39) توضيح المدة الزمنية للتغير الحاصل في منحنيات العزم الكهربائي والحمل الميكانيكي وسرعة دوران المحرك :



الشكل (3-40) منحنى التيار والجهد الواصل للمحرك الكهربائي بالنسبة إلى الزمن

3-10- مناقشة نتائج المنحنيات البيانية منبع خلايا وقود :

1 إن مكس خلايا الوقود المفترض استخدامه أبدى استجابة وقدرة على تأمين الاستطاعة اللازمة للمحرك الكهربائي ونظام قيادته المستخدم لحالات العمل المختلفة التي ناقشتها هذه الدراسة .

2 في الحالة الثانية لهذه الدراسة تم اختبار استجابة مكس خلايا الوقود على تأمين القدرة اللازمة لتأمين الإقلاع على دعة جزئية (سرعة دوران متوسطة) مع وجود حمل ميكانيكي مطبق (متوسط القيمة) على السيارة الكهربائية المصممة ووفقا للمنحنيات البيانية لهذه الحالة أبدى مكس خلايا الوقود المفترض استخدامه مع نظام القيادة الكهربائية القدرة والاستجابة على تحريك السيارة وإقلاعها.

3 في الحالة الثانية من هذه الدراسة تم اختبار استجابة مكس خلايا الوقود أيضا على الدعة الجزئية نفسها (سرعة دوران متوسطة) ، لكن مع الانتقال من حمولة ميكانيكية مطبقة منخفضة القيمة إلى قيمة حمولة ميكانيكية أعلى منها ، وقد أبدى أيضاً مكس خلايا الوقود المستخدم مع نظام قيادته الكهربائي القدرة والطاقة اللازمة للمسير ، كما تبين المنحنيات البيانية لهذه الحالة ، حيث استجابت السيارة لزيادة الحمل الميكانيكي المطبق على هذه الدعة الجزئية .

4 في الحالة الثالثة لهذه الدراسة تم محاكاة عمل السيارة الكهربائية المصممة من خلال قدرة مكس خلايا الوقود المستخدم على تأمين الطاقة الكهربائية اللازمة لانتقال السيارة من الإقلاع إلى أعظم سرعة على نسبة غيار واحدة ، وهذه الحالة مشابهة تماما للتجارب العملية التي تمت على السيارة الكهربائية المصممة (لكن منبع القدرة كان مختلفاً) ، تبين لنا من خلال المنحنيات البيانية أن مكس خلايا الوقود مع نظام القيادة الكهربائية المستخدم قد تمكن من تحقيق الاستجابة المطلوبة لسير السيارة وتغلبها على الحمل المطبق في هذه الحالة .

الفصل الرابع

محاكاة أداء السيارة الكهربائية

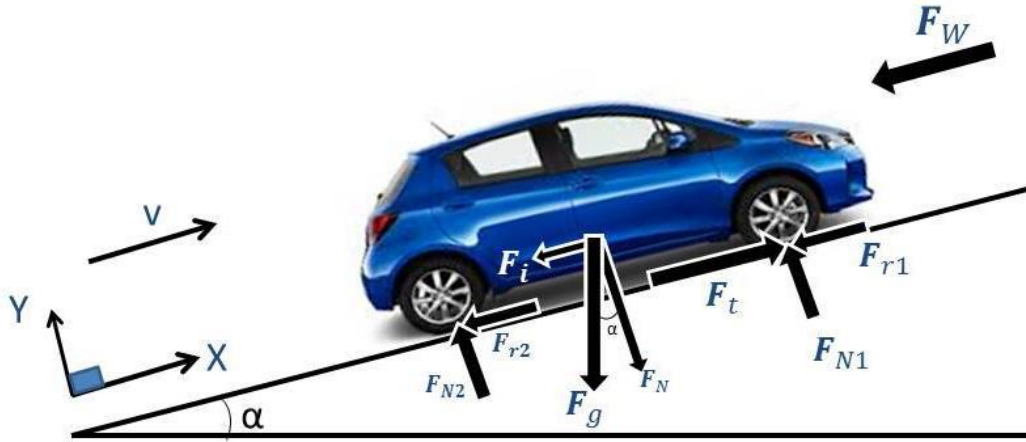
الفصل الرابع : محاكاة أداء السيارة الكهربائية

4-1- مقدمه :

إن النموذج الحاسوبي الكامل للسيارة المصممة سيتم عرضه مع البلوكات والعناصر الكهربائية الداخلة في تكوينه بكاملها خلال هذا الفصل ولكن قبل الوصول إلى هذا النموذج البرمجي العام للسيارة المصممة يجب علينا توصيف المعادلات الرياضية التي بناء عليها تم تصميم هذا النموذج الحاسوبي المعبر عن السيارة المصممة .

خلال الجزء الأول من الفصل الرابع سيتم وضع النموذج الهندسي الكامل للسيارة المصممة مع توضيح القوى المؤثرة كلها على السيارة المصممة من قوى الشد والجر إلى قوى مقاومة الحركة، ليتم بعدها في الجزء الثاني من هذا الفصل ذكر العلاقات الرياضية بكاملها التي عبرت عن هذا النموذج الهندسي من وجهة النظر الديناميكية للسيارة ، ليصار بعدها في الجزء الثالث من هذا الفصل وضع النموذج البرمجي العام للسيارة المصممة في بيئة عمل برنامج الماتلاب ومحاكاة عملها للحصول على المحددات الديناميكية المطلوبة خلال عمل واستثمار السيارة وتبيانها كلها في جدول شامل يبين قيمها كاملةً ، ليتم بعدها وضع المنحنيات البيانية لهذه النتائج التي تعبر عن كل محدد من المحددات المدروسة التي تعبر عن أداء السيارة المصممة مع مناقشة هذه النتائج والمنحنيات في نهاية الفصل .

4-2- النموذج الهندسي للسيارة مع القوى المقاومة المؤثرة فيه :



الشكل (4-1) القوى المؤثرة كلها على السيارة على طريق مائل

يظهر لنا الشكل السابق كافة القوى المؤثرة في حركة السيارة من قوى شد تساعد على الحركة وقوى ممانعة لحركتها على اعتبار أنها تسير على طريق مائل عن خط الأفق ،وهذه القوى هي :

F_t : قوة الشد (الجـر) الكلية للسيارة .

F_w : قوة مقاومة الهواء ، على اعتبار الهواء الجزيئات الهوائية ساكنة ولا تدخل بالحسبان .

F_r : قوة مقاومة التدحرج .

F_i : قوة مقاومة ميل الطريق .

F_n : رد الفعل الطريق على العجلات وكتلة السيارة .

F_g : كتلة السيارة .

V : اتجاه حركة السيارة .

α : زاوية ميل الطريق عن خط الأفق.

4-3- بناء النموذج الديناميكي لحركة السيارة الكهربائية المصممة :

تم التعرف على مختلف القوى ومن ثم العزوم الناتجة عنها والمؤثرة في عمل السيارة التقليدية والمعبرة عن ديناميك حركة هذه السيارات في الفقرات السابقة (1-2 ، 2-2 ، 3-2) من الفصل الثاني من هذه الأطروحة ، في هذه الفقرة سيتم تحديد الاختلاف الحاصل بين ديناميك السيارة التقليدية والنموذج الديناميكي للمركبة الكهربائية المقترح تصميمهما وإظهار نقاط الاختلاف بينهما ومنعكسات هذه الاختلافات على النموذج الديناميكي العام المعبر عن المركبة الكهربائية المصممة .

لن تُسرد كامل القوى والعزوم والمحددات الديناميكية النازمة لعمل السيارة التقليدية، يكفي بتبيان نقاط الاختلاف ، وهي الآتية :

- القوة الناتجة عن مقاومة الهواء (تهمل عندما تكون السرعة أقل من 40 كم/سا)، ولذلك ستهمل في السيارة المخبرية المصممة نظراً لأن السرعة الكلية لها لن تتجاوز هذه القيمة ، ومن ثم يمكن لنا إهمال المقاومة الناتج عن هذه القوة .

- القوة الناتجة عن عطالة حركة السيارة من حيث الكتلة ومختلف الميكانيزمات الدورانية الناقلة للقدرة من المحرك إلى العجلات تختلف في حالة سيارتنا المصممة لأنه تم الاستغناء عن هذه الأجزاء المختلفة والتوصيلات الناقلة للقدرة من علبة سرعة وميكانيزمات نقل القدرة ، لذلك لا يوجد عزم عطالة ناتج عن الكتل الدوارة في السيارة المصممة ، بقي في الحالة المدروسة فقط نسبة ضياعات بسيطة حاصلة عند نقل القدرة من الجهاز التفاضلي إلى العجلات لأننا في السيارة المصممة سنقوم بأخذ خرج المحرك الكهربائي مباشرة بعد التحكم به وقيادته إلى الجهاز التفاضلي الذي تم تركيبه على المحور الخلفي للسيارة ، ليقوم بعدها بتوزيع القدرة التي حصلنا عليها من المحرك التحريضي ثلاثي الأطوار على العجلات الخلفية مباشرة ، وسنعتبر عن هذه الضياعات بنسبة معينة تضاف إلى قيمة المردود الإجمالي المعبر عن الضياعات الحاصلة في نقل القدرة ، ومن ثم بقي لدينا عزم العطالة الناتج عن كتلة السيارة فقط .
- وفقاً لما سبق فإن القوى المتبقية والمؤثرة في حالة السيارة الكهربائية المصممة هي قوى مقاومة الطريق الإجمالية فقط (قوى مقاومة التدحرج + قوى مقاومة ميل الطريق + قوة عطالة كتلة السيارة) ، أما القوة الناتجة لجر السيارة وشدها فهي يعبر عنها هنا بقوة وعزم المحرك التحريضي ثلاثي الأطوار المستخدم وكيفية قيادته والتحكم فيه وبسرعة دورانه .

بناءً على ما سبق فإن العلاقات الرياضية النازمة والمعبرة عن ديناميك حركة السيارة الكهربائية المصممة هي العلاقات الرياضية الثلاث الآتية فقط (علماً أنه تم شرح دلالة كل رمز في كل علاقة سابقاً في ديناميك السيارة التقليدية . - وفق ما ورد في الفصل الثاني سابقاً -) :

1-العلاقة المعبرة عن قوة جر أو شد السيارة الواصلة إلى العجلات (خرج المحرك التحريضي ثلاثي الطور) :

$$F_t = P_p = \frac{M_e \cdot i \cdot \mu_m}{r_d} \quad (4-1)$$

حيث أن :

M_e : عزم المحرك الكهربائي ، i : نسبة النقل (التخفيض) في الجهاز التفاضلي المستخدم

μ_m : المردود الميكانيكي ، r_d : نصف القطر الديناميكي للعجلة

وعلية فإن : M_p : عزم الجر الواصل إلى العجلات القائدة نحصل عليه من العلاقة السابقة ، ويعبر عنه بأنه حاصل جداء قوة الجر بنصف القطر الديناميكي للعجلة :

$$M_p = P_p \cdot r_d \quad (4-2)$$

2-العلاقة المعبرة عن قوة مقاومة ميل الطريق فهي ستبقى كما هي في حالة السيارة التقليدية ، وذلك وفقا لميول الطريق (صاعد أو هابط) وتعطى بالعلاقة الآتية :

$$F_i = P_i = \pm M_a \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (4-3)$$

حيث أن :

M_a : كتلة السيارة ، g : تسارع الجاذبية الأرضية ، α : زاوية الميل عن خط الأفق

أما عزم قوة مقاومة ميل الطريق : $M_i = P_i \cdot r_d$

3-العلاقة المعبرة عن قوة مقاومة التدرج للعجلة فهي أيضا ستبقى كما هي في حالة السيارة التقليدية وتعطى بالعلاقة الآتية :

$$F_r = P_f = f \cdot M_a \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (4-4)$$

حيث أن :

f : معامل تدرج العجلة .

أما عزم قوة مقاومة التدرج للعجلة : $M_f = P_f \cdot r_d$

4- العلاقة المعبرة عن قوة مقاومة العطالة P_j التي اقتصرنا على عطالة كتلة السيارة فقط في حالة السيارة المصممة لعدم وجود علبة سرعة وجملة نقل حركة تقليدية فسوف تصبح العلاقة على الشكل الآتي (كتلة السيارة مضروبة بتسارعها الخطي) :

$$P_j = \frac{W}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \quad ; \quad W = M_a \cdot g \quad \Rightarrow \quad P_j = M_a \cdot \frac{dv}{dt} \quad (4-5)$$

أما عزم قوة مقاومة العطالة لحركة السيارة فقط : $M_j = P_j \cdot r_d$

بالتالي أصبح لدينا عزم جر يقابله ثلاثة عزوم ممانعة للحركة ، وهي عزم مقاومة التدرج ، وعزم مقاومة الميل ، وعزم عطالة حركة السيارة في حالة السيارة الكهربائية المصممة في هذه الأطروحة ، مع أخذ نسبة الضياعات البسيطة التي قد تحصل عند نقل القدرة من المحرك إلى العجلات ، أما فيما يخص المحددات المعبرة عن حركة السيارة الكهربائية من سرعة وتسارع وزمن كبح ...الخ الوارد ذكرها سابقا في الفصل الثاني من الأطروحة فإنها ستبقى موجودة ولها قيم تعبر عنها . نحصل على هذه القيم من خلال نمذجة أداء السيارة الكهربائية ، ومن خلال التطبيق العملي بعد التصميم . وفقاً للنموذج الديناميكي المعبر عنه في العلاقات الرياضية السابقة التي وصلنا إليها فإنه سيتم في البند القادم من هذا الفصل تصميم النموذج الحاسوبي المعبر عن هذا النموذج الديناميكي الذي من خلاله سيتم العمل على نمذجة عمل هذا النموذج ومحاكاته .

أصبح لدينا عزم جر يقابله ثلاثة عزوم ممانعة للحركة ، ولتحقق شرط حركة السيارة يجب أن يتحقق الشرط الآتي عند ظروف الحركة بكاملها :

$$M_p > M_i + M_f + M_j \quad (4-6)$$

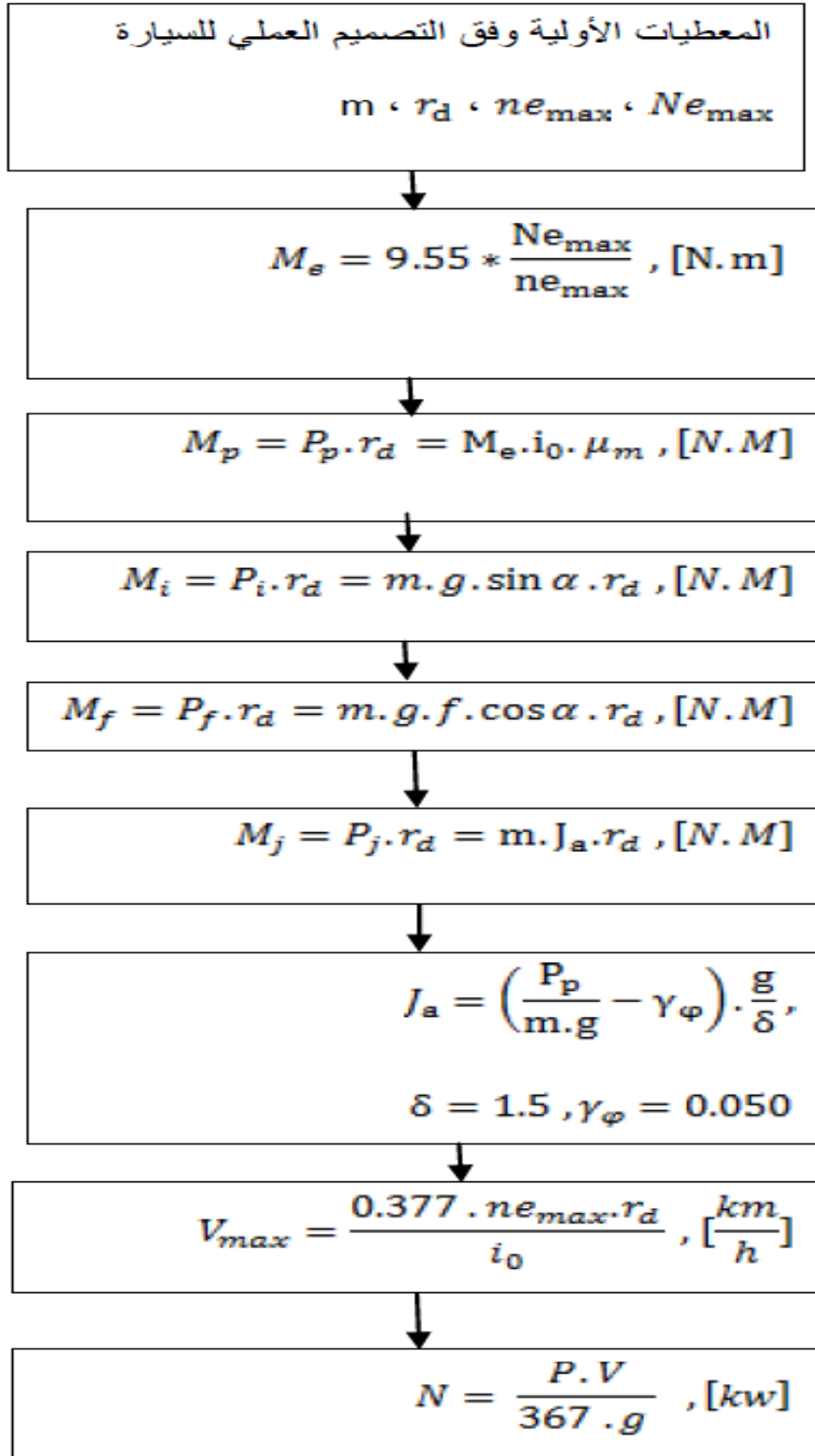
أي يجب أن يبقى عزم الجر أكبر من جميع عزوم مقاومة الحركة التي تتعرض لها السيارة الكهربائية خلال مسيرها وفي مختلف الظروف .

إذا مثلنا القوى كلها المؤثرة في السيارة المصممة عن طريق مخطط صندوقي ، كما هو مبين في الشكل (2-4) حيث يبين تتابع هذه القوى والعلاقة المعبرة عن كل قوة فإننا سنحصل سوف نحصل على المخطط الآتي الذي يوضح معادلات حساب القوى المؤثرة في السيارة المصممة حيث أن :

M : كتلة السيارة ، ne_{max} : سرعة الدوران العظمى للمحرك

Ne_{max} : الاستطاعة العظمى للمحرك الكهربائي المستخدم ، J_a : التسارع

γ_ϕ : المقاومة الإجمالية للطريق ، δ : معامل عطالة كتلة السيارة فقط ، N : الاستطاعة .



الشكل (2-4) مخطط صندوقي لتتابع العمليات الرياضية في الحالة الحسابية

4-4- توصيف النموذج الرياضي لنظام القيادة الكهربائية :

كما ذكرنا سابقاً المعادلات الرياضية التي توصف النموذج الرياضي للمحرك الكهربائي المستخدم في السيارة المصممة بشكل مفصل ، الذي اقتصر نظام القيادة الكهربائية عليه حالياً في التصميم الفعلي للسيارة لأنه تم تغذيته مباشرة بالتيار الكهربائي اللازم لإقلاعه وعمله وتأمين قوة الجر اللازمة لسير السيارة ، ويمكن مراجعة الشكل (3-12) في الفصل السابق والذي يعبر عن العلاقات الرياضية في نظام القيادة الكهربائية للنموذج الحاسوبي المصمم .

أما في الجدول (4-1) فهو يبين محددات المحرك الكهربائي المستخدم في التصميم إضافة إلى بعض المحددات التصميمية للسيارة ، أخذت عند التصميم:

الجدول (4-1) بعض محددات المحرك الكهربائي والسيارة المصممة

المحدد	القيمة
نوع المحرك	تحريضي ثلاثي الأطوار - قفص سنجابي -
الاستطاعة الاسمية	4.5 KW
التردد الاسمي	50 HZ
سرعة دوران المحرك	1430 rpm
التوتر الاسمي	400 V
نصف قطر العجلة rd	0.27 m
نسبة التخفيض في الجهاز التفاضلي المستخدم i_o	1:4
المردود الميكانيكي μ_m	0.90
وزن السيارة المصممة كاملاً مع راكب وبطاريات (حمولة) Ma	Ma = 500 kg W= Ma . g = 500 * 9.8 = 4900 (N)

بناءً على هذه المحددات سيكون خرج هذا المحرك

$$M_e = \frac{9.55 \times p}{n} \quad (4-7)$$

يعطى بوحدة $(n.m)$ حيث :

n : عدد الدورات بالدقيقة .

P : استطاعة المحرك ب w .

$$M_g = 9.55 \times 4500 \div 1430 = 30(n.m)$$

وسوف تكون القوة المطبقة على العجلات الخلفية :

$$P_p = \frac{M_g \cdot i_o \cdot \mu_m}{r_d} \quad (4-8)$$

$$P_p = 30 \times 4 \times 0.90 \div 0.27 = 400 (N)$$

وعليه عزم الجر الواصل إلى العجلات القائدة :

$$M_p = P_p \cdot r_d = 400 \times 0.27 = 108(N.m) \quad (4-9)$$

الاستطاعة الواصلة إلى العجلات القائدة تحسب من العلاقة الآتية :

$$No = \mu_m \cdot Ne \quad (4-10)$$

حيث إن Ne : استطاعة المحرك الفعلية وتساوي إلى $4.5 kw$ ومنه :

$$No = 0.90 * 4.5 = 4.05 kw$$

سرعة السيارة المصممة وفق المحددات الحسابية التي أخذت :

$$V_{max} = \frac{r_d \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot i} \quad (4-11)$$

$$v = 0.27 \times 2 \times 3.14 \times 1430 \div 60 \times 4 \cong 10(m.s) = 36 \left(\frac{km}{h} \right)$$

تسارع السيارة المصممة حسابيا يعطى بالعلاقة التالية :

$$J_a = \frac{d_v}{d_t} = (D_\varphi - \gamma_\varphi) \frac{g}{\delta} ; D = \frac{P_p}{w} \quad (4-12)$$

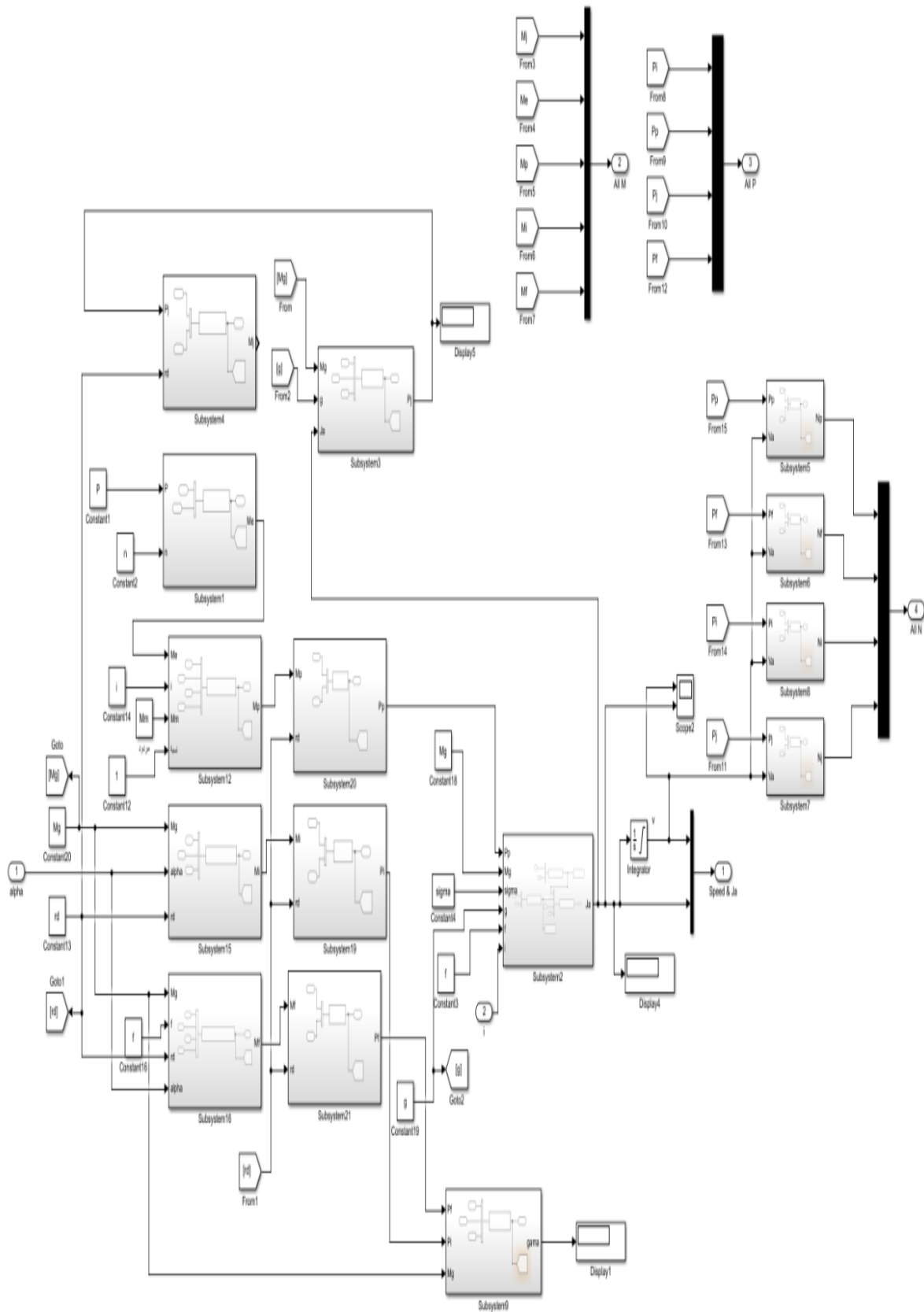
ولحالة طريق أفقي مع إهمال معامل التدحرج لصغر قيمته و $\delta \cong 1$ يحسب كالاتي :

$$Ja = \frac{P_p}{M_a} = \frac{400}{500} = 0.8 \text{ m.s}^{-2}$$

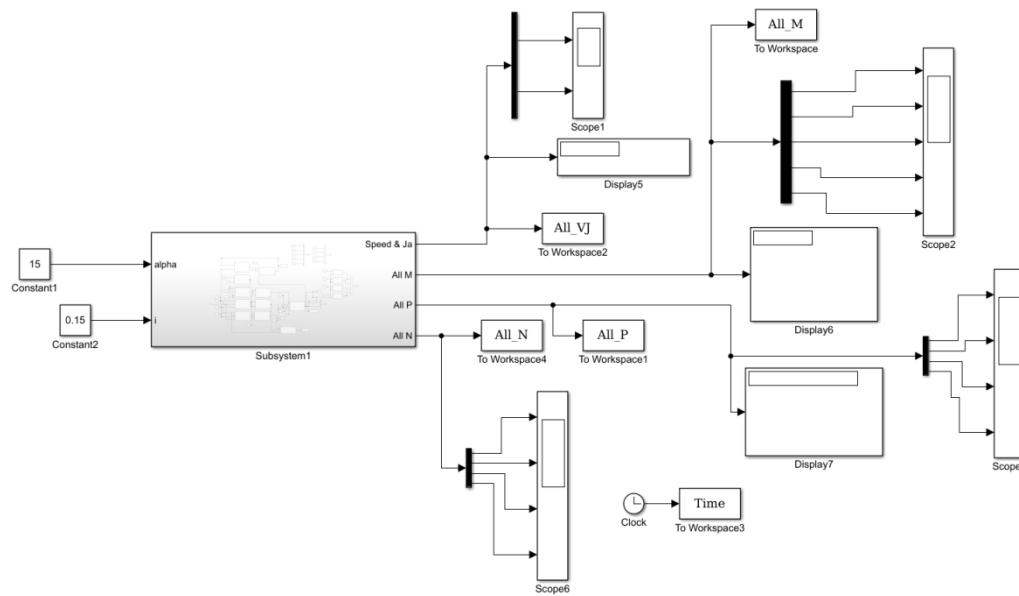
إن زمن التسارع اللازم لانتقال السيارة من سرعة إلى أخرى يحدد بطريقة التكامل العددية بالعلاقة الآتية : $t = \int_{v1}^{v2} \frac{dv}{Ja}$ وعليه بالحساب والتعويض في العلاقة السابقة فإن السيارة ستحتاج إلى 12.5 ثانية للوصول إلى السرعة القصوى والتي بلغت 36 كم/سا .

4-5- النموذج الرياضي العام للسيارة الكهربائية المصممة :

- تم تصميم النموذج العام للسيارة الكهربائية المصممة في بيئة برنامج ماتلاب ومحاكاة عمل السيارة المصممة وفق حالات عمل مختلفة ولطرق ذات ميول مختلفة ، وذلك وفقا للمعادلات المعبرة عن كل مقاومة من مقاومات الحركة على حدة لنحصل بعدها على النموذج العام للسيارة المعبر عن قوة الجر النهائية ، فيما يأتي سنوضح النماذج الفرعية والمعادلات الرياضية النازمة لها وصولا إلى النموذج العام المعبر عن المعادلات الرياضية التي تصف ديناميك السيارة الكهربائية المصممة في بيئة ماتلاب كاملاً. يبين الشكل (4-3) النموذج الرياضي الخاص بكل محدد ، حيث يشكل كل صندوق المعادلات الرياضية المعبرة عن قوى الجر ومقاوماتها ومن ثم عزم الجر والعزوم المقاومة للحركة، واستطاعة الجر والاستطاعات المقاومة للحركة في هذا النموذج ؛ أي إنه تم في هذا النموذج تحويل النموذج الرياضي الموضح في الخوارزمية السابقة إلى نموذج حاسوبي في بيئة Matlab ، أما الشكل (4-4) فهو النموذج العام حيث تم دمج جميع قيم القوى والعزوم والاستطاعات ضمن عنصر في بيئة ماتلاب ليكون دخل هذا العنصر زاوية ميل الطريق التي كانت هي المتغير المدروس أثره على المحددات الأخرى بكاملها، ليصار إلى معالجة تغير هذه القيمة ضمن العنصر الشامل والحصول على نتائج المحددات المدروسة بكاملها .

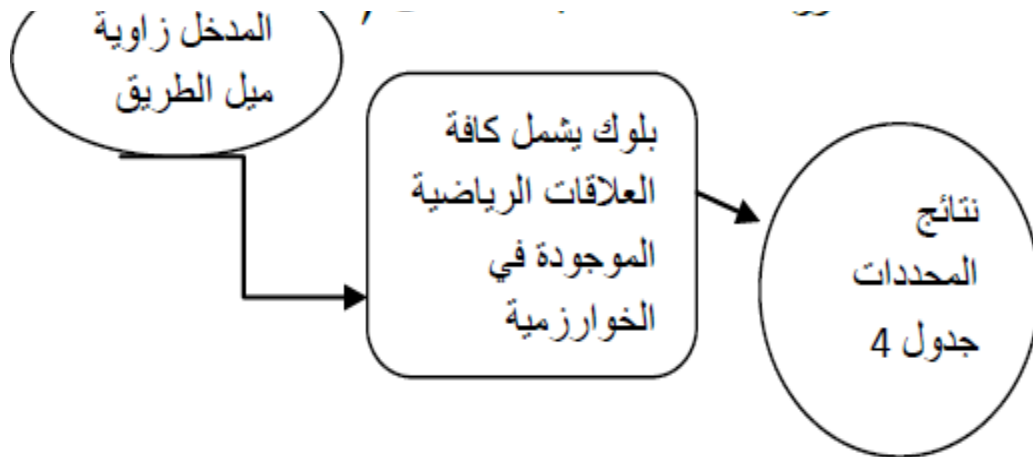


الشكل (3-4) النموذج المفصل لكامل البلوكات لنماذج المحددات كلها



الشكل (4-4) النموذج العام الشامل للبلوكات الفرعية كلها مع دخله وخرجه

بعد أن تم استعراض النماذج والبلوكات كلها الخاصة بالعلاقات الرياضية المعبرة عن كامل المحددات والمؤشرات الديناميكية النازمة لسير السيارة الكهربائية المصممة وحركتها، سنختصر هذه النماذج السابقة كلها من خلال شكل توضيحي مبسط لتدفق العمليات الذي يتم في النموذج العام، يبين دخل وخرج هذا النموذج كما في الشكل (5-4)



الشكل (5-4) تدفق العمليات في النموذج العام

فيما يأتي الجدول (2-4) الشامل ،الذي يبين القيم كلها للمحددات الديناميكية للسيارة المصممة وللحالات الأربع المدروسة ، علما أن العزوم كلها ، واحدها (N.M)، والقوى كلها واحدها (N)، والاستطاعات كلها واحدها (hp) :

الجدول (2-4) قيم المحددات المعبرة عن أداء السيارة

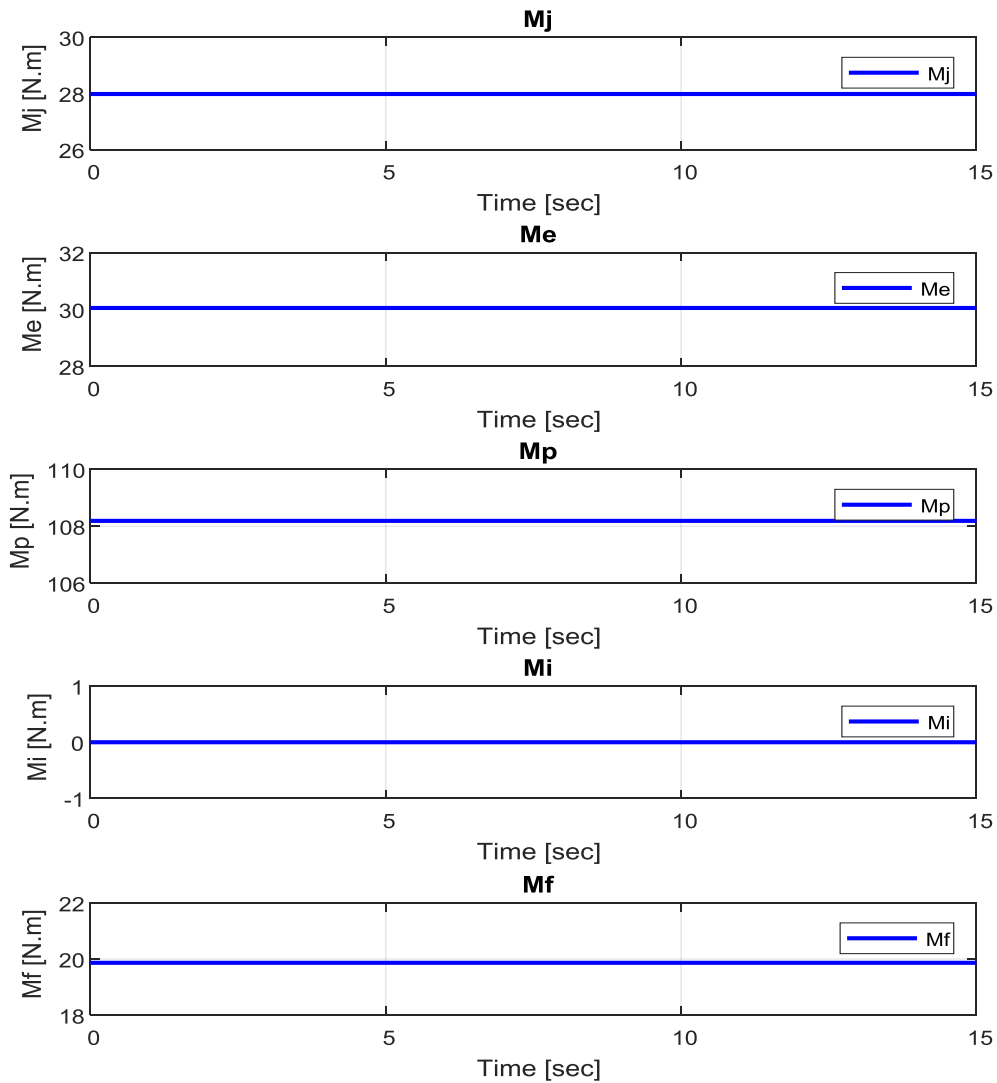
المحدد	الحالة الأولى (طريق أفقي)	الحالة الثانية (الطريق صاعد +2)	الحالة الثالثة (الطريق هابط -2)	الحالة الرابعة (طريق صاعد +5)
Mj : عزم العطالة	27	27	27	27
Me : عزم المحرك الكهربائي	30	30	30	30
Mp : العزم الواصل للعجلات القائدة	108	108	108	108
Mi : العزم الناتج عن الميل	0	46	-46	116
Mf : العزم الناتج عن مقاومة التدرج (الدوران)	19.86	19.85	19.85	19.78
Pi : قوة مقاومة الميل	0	170	-170	429
Pp : القوة الواصلة للعجلات القائدة	400	400	400	400
Pj : قوة عطالة السيارة	100	100	100	100
Pf : قوة مقاومة التدرج	73.5	73.5	73.5	73.25
Np : الاستطاعة الواصلة للعجلات القائدة	4	4	4	4
Nf : الاستطاعة الناتجة عن التدرج	0.74	0.74	0.74	0.74
Ni : الاستطاعة الناتجة عن الميل	0	1.71	-1.71	4.33
Nj : الاستطاعة الناتجة عن العطالة	1	1	1	1
V (km/h)	36.4	36.4	36.4	36.4
Ja (m/s ²)	0.8	0.8	0.8	0.8

4-6- محاكاة تطبيق عمل النموذج الرياضي العام للسيارة المصممة وفق برنامج ماتلاب :

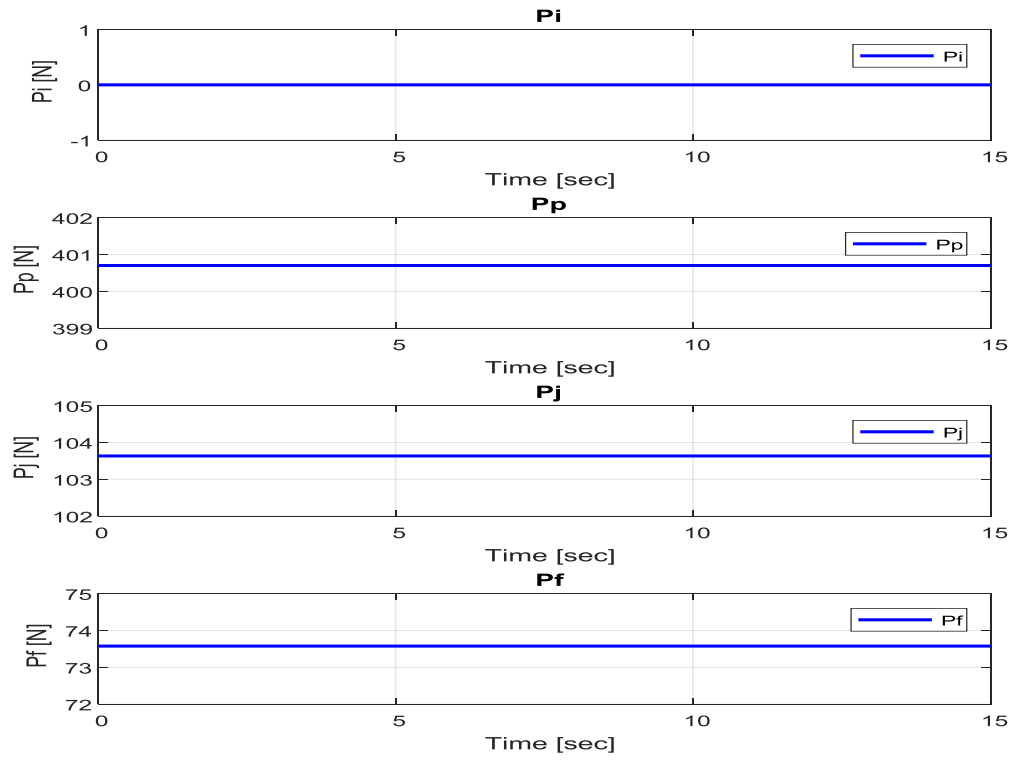
الحالة الأولى : حالة طريق أفقي لا يوجد ميل

$\alpha = 0^\circ$ ، ومن خلال محاكاة أداء عمل السيارة المصممة من خلال النموذج الرياضي العام

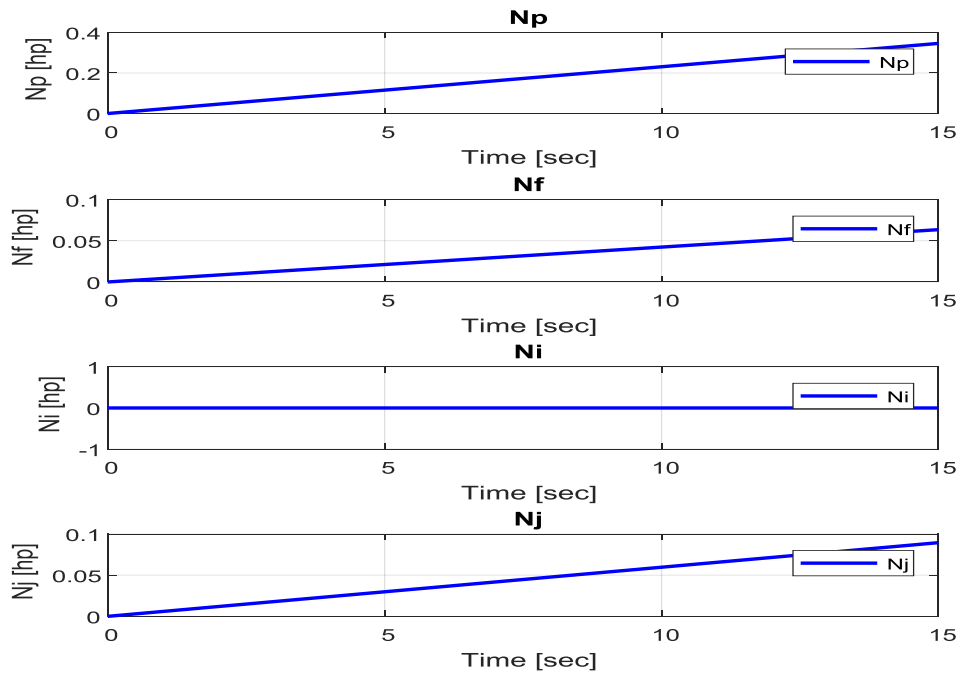
السابق في بيئة ماتلاب نحصل على المنحنيات البيانية التالية المعبرة عن أداء السيارة : حيث تعبر المنحنيات في الشكل (4-6) عن قيم عزوم كل من العطالة والميل والتدحرج إضافة لعزم المحرك والعزم الواصل للعجلات التي نحصل عليها في هذه الحالة وبأن شرط الحركة محقق .



الشكل (4-6) منحنيات قيم العزوم

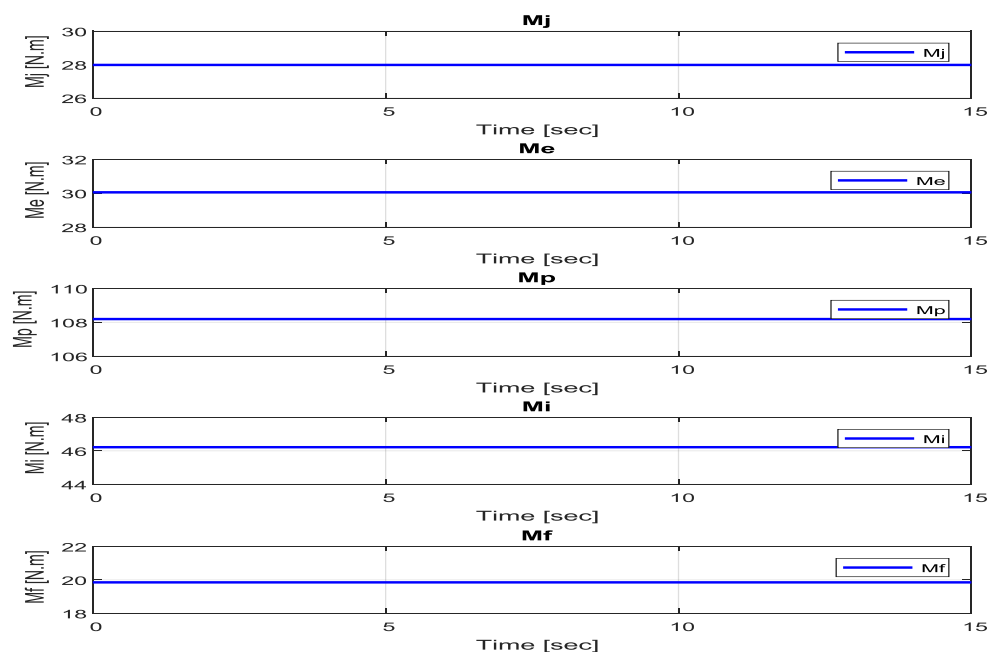


الشكل (4-7) منحنيات قيم القوى

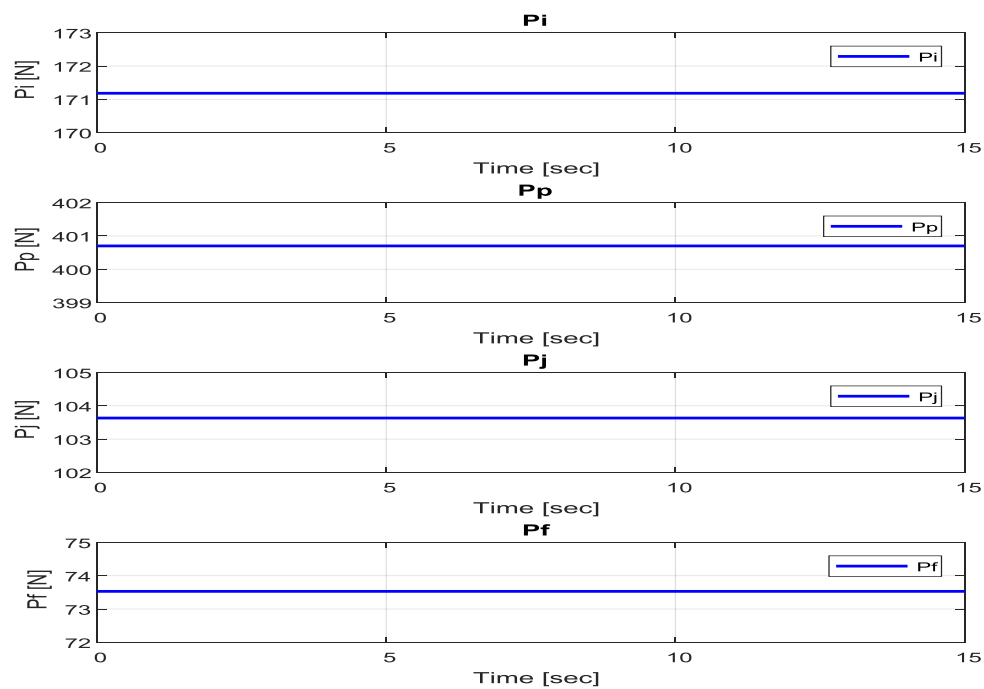


الشكل (4-8) منحنيات قيم الاستطاعة

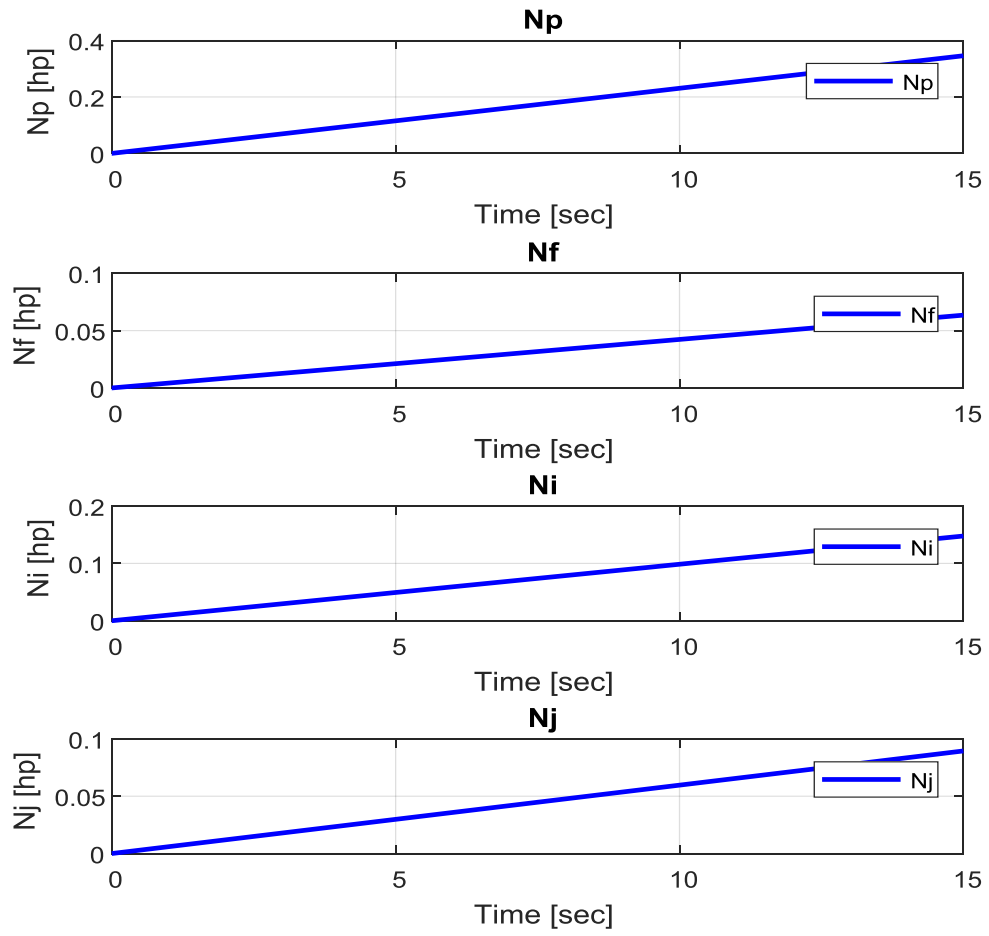
الحالة الثانية : طريق ذو ميل موجبة $\alpha = +2^\circ$ ، ومن خلال محاكاة أداء عمل السيارة في بيئة
ماتلاب نحصل على المنحنيات البيانية الآتية :



الشكل (4-9) منحنيات قيم العزوم

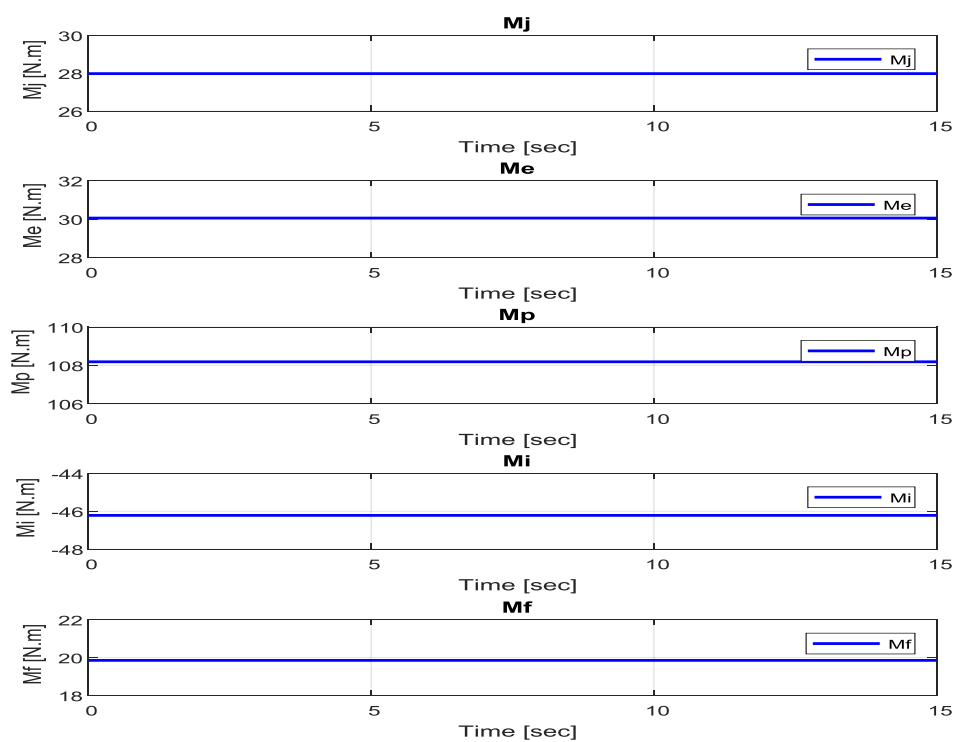


الشكل (4-10) منحنيات قيم القوى

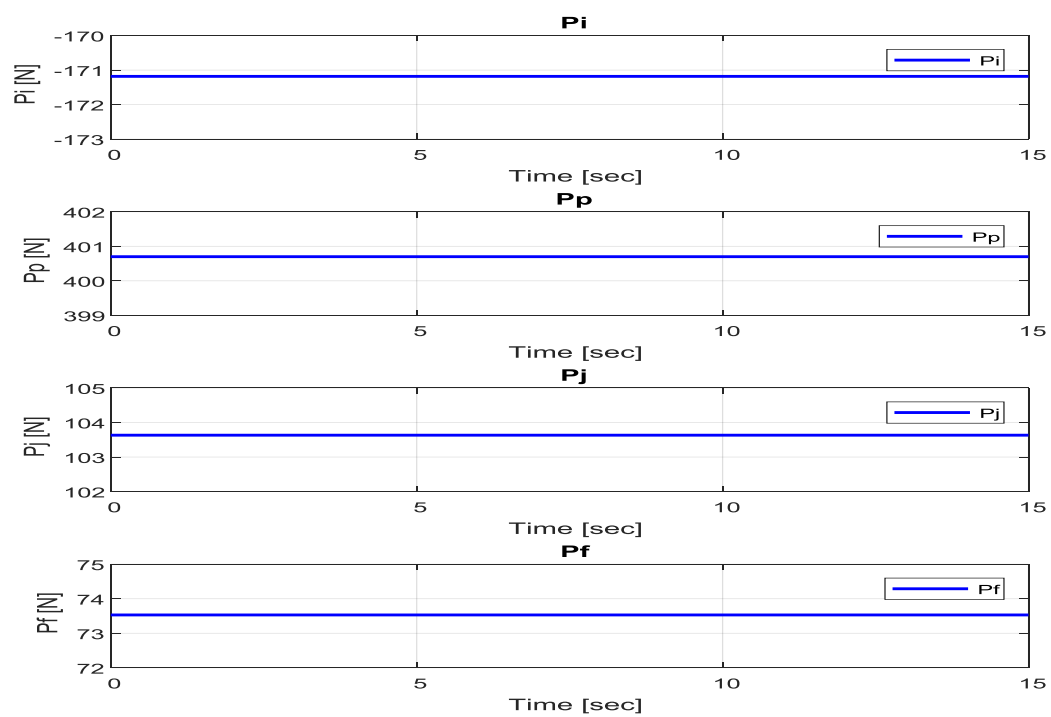


الشكل (4-11) منحنيات قيم الاستطاعة

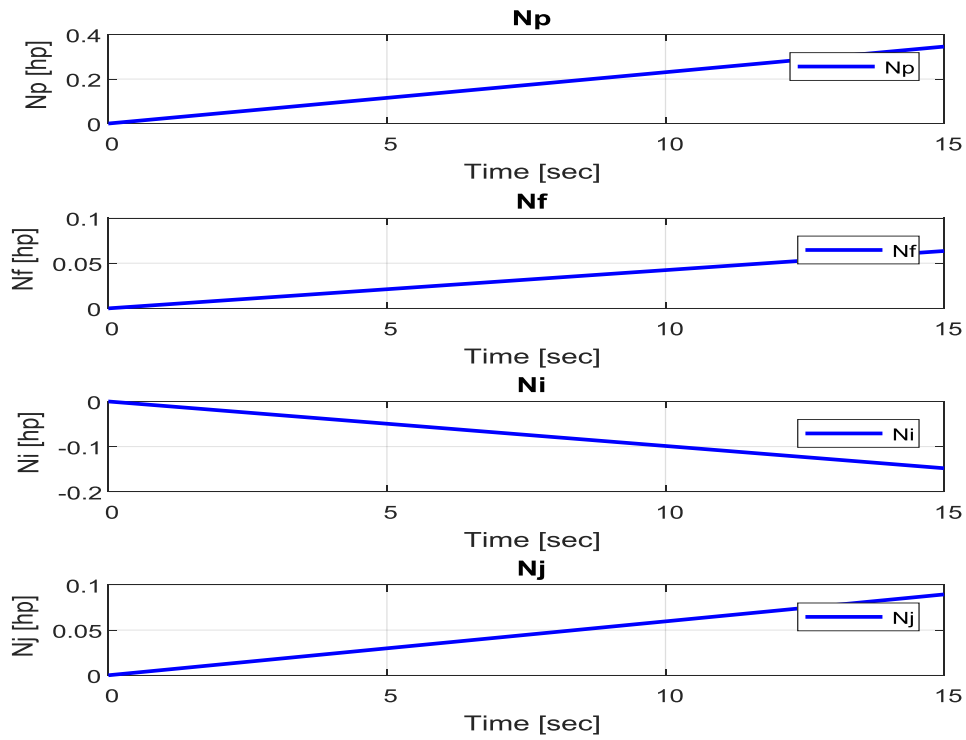
الحالة الثالثة : طريق ذو ميل سالبة (هابط) $\alpha = -2^\circ$ ، وعند المحاكاة حصلنا على المنحنيات
النتائج الآتية :



الشكل (4-12) منحنيات قيم العزوم

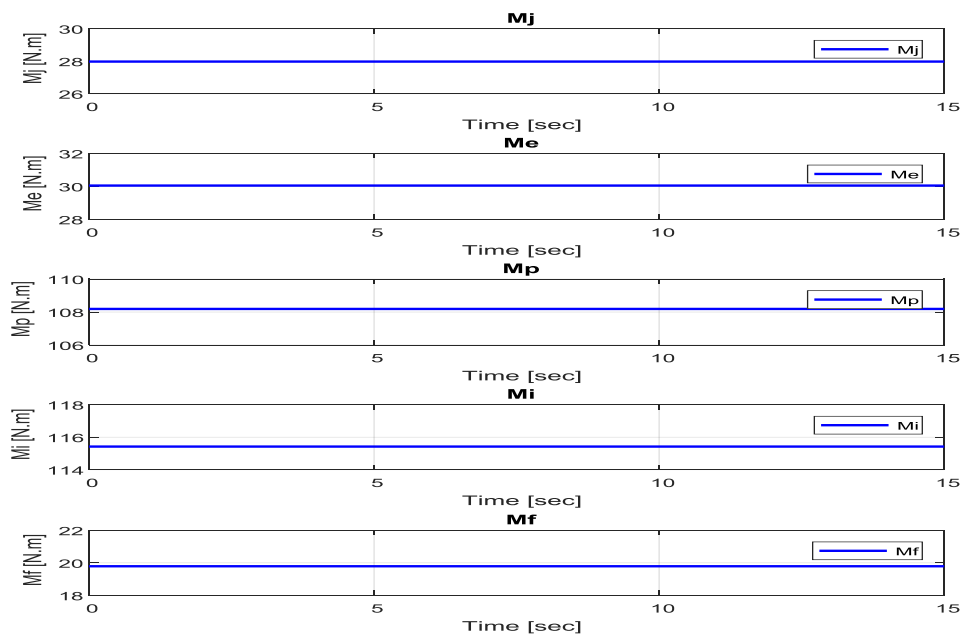


الشكل (4-13) منحنيات قيم القوى

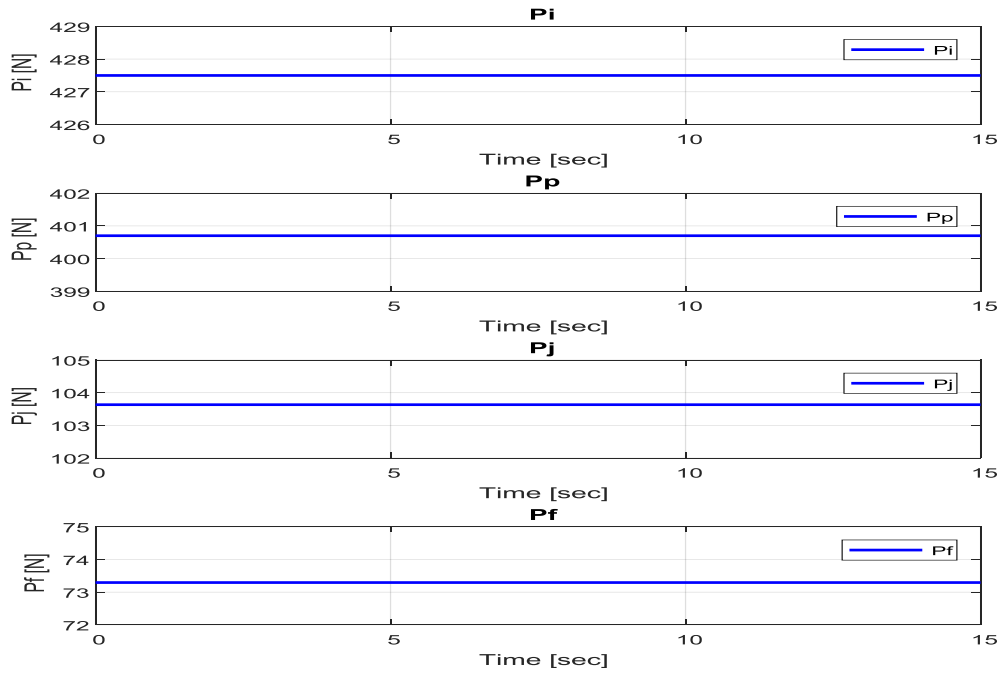


الشكل (4-14) منحنيات قيم الاستطاعة

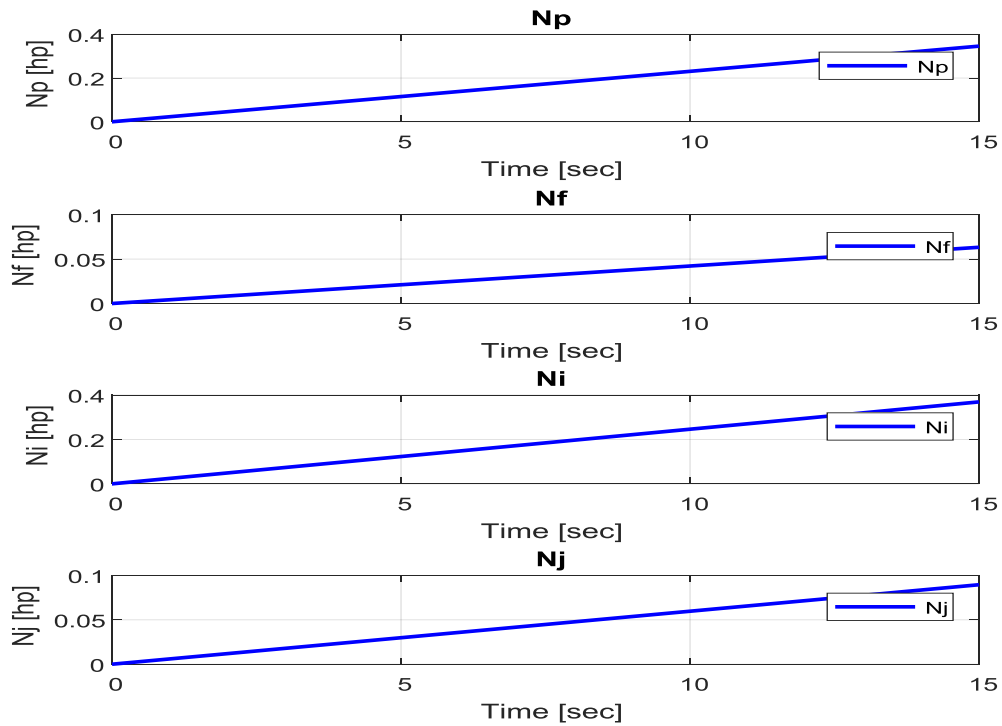
الحالة الرابعة : لحالة طريق ذي ميل صاعدة $\alpha = +5^\circ$ ، كانت منحنيات النتائج كما يأتي :



الشكل (4-15) منحنيات قيم العزوم



الشكل (4-16) منحنيات قيم القوى



الشكل (4-17) منحنيات قيم الاستطاعة

4-7- نتائج المنحنيات البيانية ومناقشتها :

وفقاً للمنحنيات البيانية السابقة من الشكل (4-6) حتى الشكل (4-17) والتي تم تبيان نتائج عملية النمذجة فيها لعدة حالات كما بين الجدول (4-2)، حيث عبرت هذه المنحنيات عن قيم كل من العزوم والقوى والاستطاعة للسيارة وتغيرها وفقاً لحالة الطريق ووجدنا حسب القيم التي حصلنا عليها أن شرط الحركة الواجب توفره وهو بقاء قيمة قوى الجر متغلبة على مجموع قيم قوى المقاومة وكذلك العزوم والاستطاعة قد بقيت محققة ووفقاً للمنحنيات السابقة حتى طريق ذو ميل صاعدة وصل إلى 5 درجات ، أما في حال زيادة قيمة الميل عن هذه القيمة فقد أصبحت قوى وعزوم واستطاعة مقاومة الحركة أكبر من قيمة قوى وعزوم واستطاعة الجر المقدمة إلى العجلات القائدة في السيارة .

من خلال ما سبق نكون قد وصلنا إلى الهدف من عملية النمذجة السابقة والنموذج الحاسوبي الموضوع لنموذج السيارة الكهربائية المخبرية المصمم والذي أعطانا تصور عن غمكانية الاستثمار الفعلي للنموذج المخبري ومدى الاستجابة التي يعطيها وفقاً لمتطلبات وظروف التشغيل الحقيقية .

الفصل الخامس

الجانب الاقتصادي للسيارة المصممة

الفصل الخامس : الجانب الاقتصادي للسيارة المصممة

5-1- لمحة عن بعض إصدارات شركات السيارات الكهربائية وأسعارها :

تتوفر في أسواق السيارات العالمية مجموعة متميزة من السيارات الكهربائية التي تجمع بين السير لمسافة كبيرة والتكلفة المنخفضة ، وكشف عنها موقع " Inside EV " ضمن هذا التقرير، حيث كانت أرخص سيارات كهربائية موجودة في الأسواق خلال عام 2022، بنطاق سير يتخطى 200 ميل = 322 كم .

ضمت القائمة السيارات الكهربائية التالية :

سيارة كهربائية طراز شيفروليه بولت موديل 2023 التي تتوفر بتكلفة تبدأ من 31,000 ألف دولار، ونطاق سير في الشحنة الكاملة يصل حتى 259 ميل = 417 كم .

سيارة طراز نيسان Leaf Plus موديل عام 2022 التي تتوفر بتكلفة تبدأ من 32,400 ألف دولار، ونطاق سير في الشحنة الكاملة يصل حتى 226 ميل = 364 كم .

سيارة طراز Chevrolet Bolt EUV موديل عام 2023 التي تتوفر بتكلفة تبدأ من 33,000 ألف دولار، ونطاق سير في الشحنة الكاملة يصل حتى 247 ميل = 398 كم .

سيارة طراز Hyundai Kona Electric موديل عام 2022 التي تتوفر بتكلفة تبدأ من 34,000 ألف دولار، ونطاق سير في الشحنة الكاملة حتى 258 ميل = 415 كم . [31]

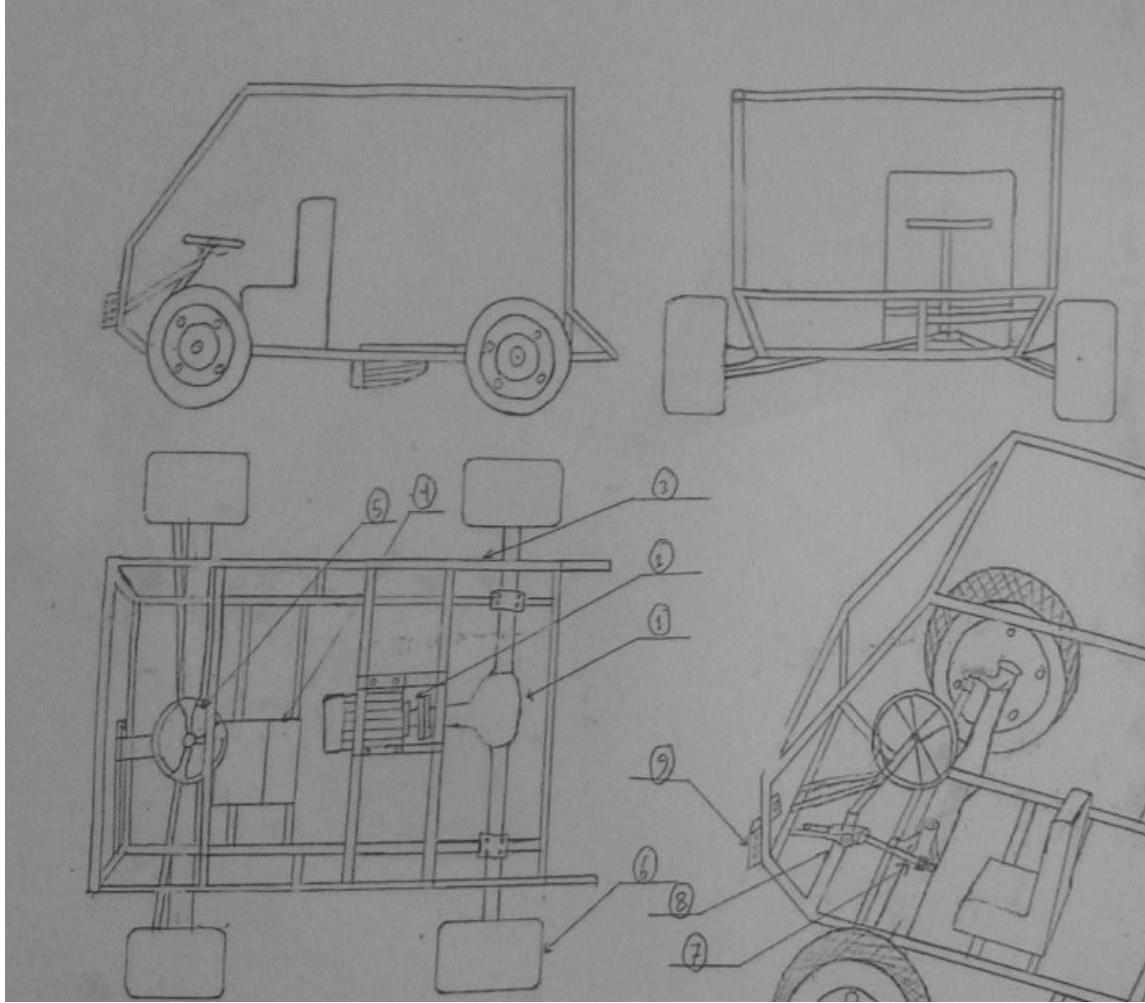
5-2- مراحل تصميم السيارة الكهربائية محور الدراسة :

تم في البداية تصميم الهيكل المعدني الخارجي للسيارة بناء على الأبعاد والقياسات المرجعية لسيارة كهربائية مصممة حيث يبين الجدول الآتي (5-1) الأبعاد التصميمية للسيارة :

الجدول (5-1) المحددات والأبعاد التصميمية للسيارة المنفذة

وزن الهيكل فقط	100 كغ
الطول (سم)	230
العرض (سم)	110
الارتفاع (سم)	140
جملة التوجيه الأمامية فقط	75 كغ
المحور الخلفي مع الدفرنس	60 كغ
الإطارات الأربعة مع الجنط	65 كغ
المحرك الكهربائي	30 كغ
الراكب مع المدخرات	270 كغ

في البداية نوضح في الشكل (5-1) رسماً يدوياً توضيحياً يعبر عن المساقط الثلاثة للسيارة المصممة.



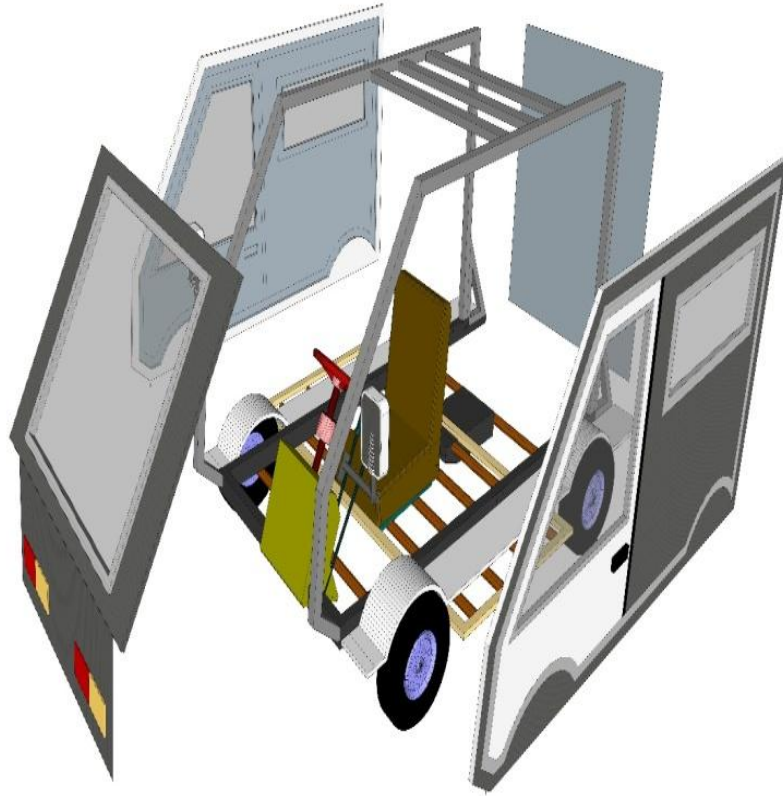
الشكل (5-1) رسم ثلاثي المساقط للسيارة الكهربائية المصممة

أما الآن سيتم وضع صورة واقعية للسيارة المصممة ضمن الورش والمخابر في المعهد التقاني للهندسة الميكانيكية والكهربائية توضح الشكل العام للسيارة التي صممت ، والمراحل التي تم الوصول إليها ، كما هو موضح في الشكل (2-5) .



الشكل (2-5) صورة واقعية للسيارة المصممة

ونظراً إلى أن الوضع العام والتصور النهائي للسيارة المصممة موجود لدينا ونعرف ماهيته تم الاستعانة ببعض البرامج الحاسوبية لوضع التصور والشكل العام والنهائي للسيارة الشكل (3-5) مع الاقتراحات والتعديلات المضافة إلى هيكل السيارة التي سيتم إيضاحها في الفصل الأخير ضمن الأعمال المميزة ، تجدر الإشارة إلى أن الشكل (3-5) الذي تم تصميمه حاسوبياً تم فيه الاستعانة ببرنامجين حاسوبيين هما : / Auto cad 2D / وبرنامج / Sketch up / .



الشكل (3-5) الشكل العام والنهائي للسيارة

بلغت الكلفة الاقتصادية لهذه المرحلة مئة ألف ليرة سورية في عام 2020 ، وبعد الانتهاء من تصميم الهيكل تم تجميع بقية المكونات عليه ، حيث تم وضع جملة التوجيه الأمامية مع المحور الأمامي للعجلات ، كما تم تركيب المحور الخلفي للسيارة (القائد) مع الجهاز التفاضلي ، وهذان المكونان استُفيد منهم من الورش التخصصية في المعهد التقني للهندسة ، ليتم بعدها تأمين الإطارات المطاطية مع العجلات للمحاور الأمامية والخلفية وتركيبهم عليها وتثبيتهم ، بلغت كلفة هذه الإطارات مع هذه الأعمال ما يقارب نصف مليون ليرة سورية وذلك في عام 2021، بالنسبة للمحرك الكهربائي التحريضي ثلاثي الطور تم تأمينه من الورش أيضا وتركيبه مباشرة على دخل الجهاز التفاضلي في المحور الخلفي من خلال قيامنا ببعض أعمال الخراطة ووصله مباشرة ، وتثبيت خرج المحرك مع دخل الجهاز التفاضلي كقارنة مع الأخذ بالحسبان أن يكون التوازن على الاستقامة نفسها، كما تم تأمين مبدلة كهربائية مع كابل كهربائي ثلاثي لتأمين وصول التغذية الكهربائية إلى المحرك من أجل القيام بالتجارب العملية ، بلغت الكلف الاقتصادية لهذه المرحلة ما يقارب أربع مئة ألف ليرة سورية فقط ، وذلك في عام 2022 ، لتكون

الكلف الاقتصادية الإجمالية للمراحل بكاملها التي تم التصميم بها وفق القوة الشرائية لليرة السورية في عام 2022 ما يقارب مليوناً ونصف المليون ليرة سورية . إذا ما أردنا أخذ القطع والمكونات التي استخدمت من الورش في الحسابان وإكمال تصميم المركبة بشكل كامل مع نظام القيادة الكهربائية ومنبع التغذية والقوة الشرائية لليرة السورية اليوم فإن كلفة تصميم السيارة بكاملها ستكون في حدود عشرون مليون ليرة سورية فقط لا غير .

من الجوانب الاقتصادية التي نستفيد منها عند استخدام السيارات الكهربائية وتحقق لنا جدوى اقتصادية معقولة ما تحدث عنه مدير عام الطاقة في هيئة تنظيم الخدمات العامة في سلطنة عُمان السيد هلال عندما قال " إن من بين الفوائد الاقتصادية التي يحققها المواطن من شحن السيارات الكهربائية في سلطنة عُمان داخل المنزل ، أنه في حال شحن سيارة بسعة بطارية 75 و 90 كيلوواط يمكن أن تكلف من ريال إلى ريالين لشحن البطارية من صفر إلى 100% . هذا القدر من الشحن يمكن أن يكفي السيارة الكهربائية للسير مسافة 400 كيلو متر أو في المتوسط مسافة بين 300 و 500 كيلو متر وفي المقابل يدفع المواطن أضعاف هذا المبلغ لسير المسافة نفسها بسيارات تعمل بالوقود لذلك هنالك جدوى اقتصادية معقولة ، وفي حال تم رفع شريحة القطاع السكني ورفع الدعم عن الكهرباء فإن الرقم سوف يتضاعف ورغم ذلك سيكون الأمر مجزياً اقتصادياً أكثر من الوقود ، وذلك دون أخذ موضوع الانبعاثات الضارة التي تنتج عن السيارة التقليدية." .

5-3- الكلف المالية لتصميم النموذج المخبري للسيارة الكهربائية

تمت عملية تصميم المركبة المخبرية وتنفيذها على مراحل عدة ، وخلال سنوات عدة حتى وصلنا إلى ما هي عليه الآن ، وحتى نستطيع إجراء التجارب العملية المخبرية على النموذج المخبري المصمم .

و فيما يأتي الجدول (5-2) الذي يبين قيم التكاليف الاقتصادية للأعمال المنفذة .

الجدول (5-2) التكاليف المالية للأعمال المنفذة

تصميم وبناء الهيكل الخارجي للسيارة	بلغت كلفة هذا العمل (100,000 ل.س) عام 2020 - 50
العجلات الأربع مع الإطارات المطاطية الخاصة بها	بلغت كلفة هذا العمل (480,000 ل.س) عام 2021 - 160
مبدلة كهربائية استخدمت مفتاح تشغيل وإطفاء مع كبل كهرباء لتوصيل التيار على المحرك ، مع دهان أساس للهيكل	بلغت كلفة هذا العمل (260,000 ل.س) عام 2022 - 65
جملة التوجيه الأمامية + المحور الخلفي مع الجهاز التفاضلي + محرك تحريضي ثلاثي الأطوار	تم استخدامهم من الورش والمخابر في المعهد التقاني عام 2021
المدخرات مع وحدة المعرج (السعر اليوم)	15,000,000
التكاليف الإجمالية المالية للأعمال المنفذة	8,840,000 ل.س
قيمة التكاليف المالية الإجمالية حسب القوة الشرائية اليوم تتراوح	20,000,000 - 25,000,000 ل.س

الفصل السادس

التطبيق العملي ومناقشة النتائج

الفصل السادس : التطبيق العملي ومناقشة النتائج

6-1- تعريف بمنصة اختبار أداء السيارة (الدينامومتر) :

يكن الهدف من منصة اختبار السيارة (الدينامومتر) اختبار عدد كبير من وظائف أداء السيارة ضمن ظروف وشروط تشغيل مختلفة . وقبل البدء بالاختبار يجب إعداد السيارة للاختبار من خلال فحص مستوى الزيت ومنسوب الماء في المبرد (وهذا بالنسبة إلى السيارات التقليدية) ، يتم بعدها توجيه السيارة فوق المنصة بحيث يقع المحور القائد في منتصف الأسطوانات الدوارة ، وتستخدم أسفين لتثبيت عجلات السيارة الأخرى ، كما يجب أخذ الاحتياطات الكافية لعدم اقتراب أي شخص لا علاقة له بالعمل في أثناء الاختبار .

قبل البدء بالاختبار وعند تشغيل المنصة يجب التأكد من توصيل الماء والكهرباء والهواء المضغوط لها ، لأننا نحتاج الماء لتبريد المكبح المربوط مع الأسطوانات الدوارة من أجل تطبيق قوى كبح خلال الاختبار ، أما الهواء المضغوط فهو من أجل الأسطوانات الدوارة لرفع العجلات عليها وجعلها تتموضع تماماً على الأسطوانات ، والكهرباء توصل مع وحدة التحكم وجهاز التحكم حيث جهاز التحكم يتم من خلاله اختيار برنامج التشغيل ، والاختبار المطلوب ، أما وحدة التحكم فهي لأخذ قيم القراءات للاختبارات التي تنفذ .

البرامج المتاحة في جهاز الدينامومتر المستخدم متعددة، وتشمل سبعة برامج اختبار لسنا في صدد ذكرها جميعاً هنا ، فنحن في اختبارنا لسيارتنا الكهربائية المصممة سنستخدم اختبارين فقط، الاختبار الأول : اختبار السرعة كم/سا ، الاختبار الثاني : اختبار الاستطاعة ، ويمكن اختبار السيارة على طرق ذات ميل من خلال المنصة أيضاً (يمكن للباحثين المختصين إجراء هذا الاختبار في أبحاث أخرى مشابهة) في الاختبار الأول تم قياس قيمة السرعة العظمى التي تصل لها السيارة من دون حمولة ومع حمولة ، كما سيتم شرحه وتوضيحه في البند الخاص بالتجارب العملية من هذا الفصل ، أما في الاختبار الثاني فقد حُدِّدت الاستطاعة التي يقدمها المحرك الكهربائي والواصلة إلى العجلات القائدة والسرعة الموافقة ، لها وذلك لحالات عدة ، وسرعات عمل للسيارة المصممة ، وستوضح بالتفصيل في بند التجارب العملية القادم . [32]



الشكل (1-6) جهاز الدينامومتر المستخدم وتوضع السيارة عليه

6-2- التجارب العملية على منصة الاختبار :

6 2 1 - قياس سرعة دوران خرج المحرك والعجلات القائدة عمليا :

جهاز القياس الموضح في الصورة الآتية :



الشكل (2-6) جهاز قياس سرعة الدوران (Tachometer)



الشكل (3-6) كيفية قياس سرعة دوران العجلات والمحرك

وكانت نتائج القياس كما يبينها الجدول (1-6) الآتي :

الجدول (1-6) نتائج قياس سرعة دوران المحرك والعجلات

سرعة دوران المحرك	1430 دورة بالدقيقة
سرعة دوران العجلة اليمنى	330 دورة بالدقيقة
سرعة دوران العجلة اليسرى	340 دورة بالدقيقة

أُجري اختبار على السيارة الكهربائية المصممة على جهاز الدينامومتر من دون وجود سائق (حالة اللاحمل) ومع وجود سائق (حالة الحمل) ، ووفق المؤشرات والمحددات التي صُممت السيارة وفقها ، بلغ وزن السيارة في التجربة 329 كغ فقط ، وذلك لعدم وجود سائق ومدخرات ومكان الجلوس وبقية الملحقات النهائية (لهذا السبب تم افتراض الوزن الإجمالي للسيارة كاملة 500 كغ في الدراسة النظرية وهو وزنها نفسه في حالة الحمل) . الاختبارات العملية التي تم إجراؤها على منصة اختبار أداء السيارة كانت الآتية :

6 2 2 - قياس السرعة العظمى على العجلات القائدة من دون حمل:

في هذا الاختبار تم تشغيل السيارة على مرحلة الإقلاع الواحدة المزودة بها على المنصة ومحاكاة عملها في حال سيرها على طريق أفقية دون حمل ، كانت القيم كالآتي : بلغت سرعة السيارة العظمى 41,5 كم/سا ، واستغرقت السيارة 18 ثانية للوصول إلى هذه السرعة يبين الجدول (2-6) الآتي ذلك .

الجدول (2-6) قيمة السرعة العظمى على العجلات القائدة من دون حمل

السرعة العظمى	41.5 كم/سا = 11,5 m/s
الزمن المستغرق للوصول	18 ثانية
التسارع = السرعة (m/s) / زمن الوصول لأقصى سرعة (ثانية)	0.638 m.s^{-2}

6 2 3 - قياس السرعة العظمى على العجلات القائدة مع حمل :

تم في هذا الاختبار إعادة تشغيل السيارة على المنصة كما هو الحال في الاختبار الأول ، لكن تم تحميل السيارة واعتبار وجود السائق مع كتلة المدخرات ليكون وزنها تماما كما هو في الدراسة النظرية 500 كغ، كانت قيم هذا الاختبار ونتائجه كالآتي : بلغت سرعة السيارة العظمى 41 كم/سا، واستغرقت 20 ثانية للوصول إلى هذه السرعة . يبين الجدول (3-6) الآتي ذلك .

الجدول (3-6) قيمة السرعة العظمى على العجلات القائدة مع حمل

السرعة العظمى	41 كم/سا = 11,4 m/s
الزمن المستغرق للوصول	25 ثانية
التسارع = السرعة (m/s) / زمن الوصول لأقصى سرعة (ثانية)	0.456 m.s^{-2}

6 2 4 - قياس استطاعة المحرك KW من دون حمل :

في هذا الاختبار تم معرفة استطاعة المحرك المستجرة والواصلة إلى العجلات القائدة وفقا لسرعة السيارة الموافقة لهذه الاستطاعة بعد تحديد السرعة المرجعية على جهاز الدينامومتر ،حيث كانت سرعة السيارة في هذا الاختبار 30 كم/سا وعند الوصول إلى السرعة المرجعية يتم إظهار قيمة الاستطاعة الموافقة لها على شاشة الجهاز يبين الجدول (4-6) الآتي قيم هذا الاختبار :

الجدول (4-6) قيمة استطاعة المحرك من دون حمل عند 30 كم/سا

استطاعة المحرك	3 كيلو واط
السرعة الموافقة	30 كم/سا

6 2 5 - قياس استطاعة المحرك KW مع حمل (وجود سائق ومدخرات) :

في هذا الاختبار تم إعادة الاختبار السابق رقم 3 لكن مع تحميل السيارة ،حيث كانت سرعة السيارة في هذا الاختبار 30 كم/سا أيضا . يبين الجدول (5-6) الآتي قيم هذا الاختبار :

الجدول (5-6) قيمة استطاعة المحرك مع حمل عند 30 كم/سا

استطاعة المحرك	3.2 كيلو واط
السرعة الموافقة	30 كم/سا

6 2 6 - تم في هذا الاختبار إعادة قياس استطاعة المحرك KW مع حمل ومن دون حمل

، ولكن كانت السرعة المرجعية التي تم ضبط الجهاز عليها لمعرفة الاستطاعة الموافقة

لها 20 كم /سا ، يبين الجدول (6-6) الآتي قيم هذا الاختبار ونتائجه :

الجدول (6-6) قيمة استطاعة المحرك مع حمل ومن دون حمل عند 20 كم/سا

استطاعة المحرك من دون حمل	1.8 كيلو واط
استطاعة المحرك مع حمل	2 كيلو واط
السرعة الموافقة	20 كم/سا

6 2 7 - قياس قيمة التيار المستجر من المحرك عند السرعة العظمى :

تم في هذا الاختبار قياس قيمة التيار المستجر على كل خط من خطوط المحرك الثلاث عند تشغيل السيارة على منصة اختبار أداء السيارة (الدينامومتر) من خلال ساعة قياس الأمبير حيث كانت قيمة هذا التيار كما يلي على كل خط (فاز) : الخط الاول كانت 3.7 أمبير ، والخط الثاني 3.8 أمبير ، والخط الثالث 3.9 أمبير وبالتالي فإن قيمة التيار المستجر وسطياً على الخطوط الثلاث للمحرك تساوي تقريباً 3.8 أمبير وبالعودة إلى العلاقة الرياضية التي تعطي قيمة الاستطاعة للمحرك التحريضي ثلاثي الطور ووفق محددات المحرك المستخدم نجد الآتي :

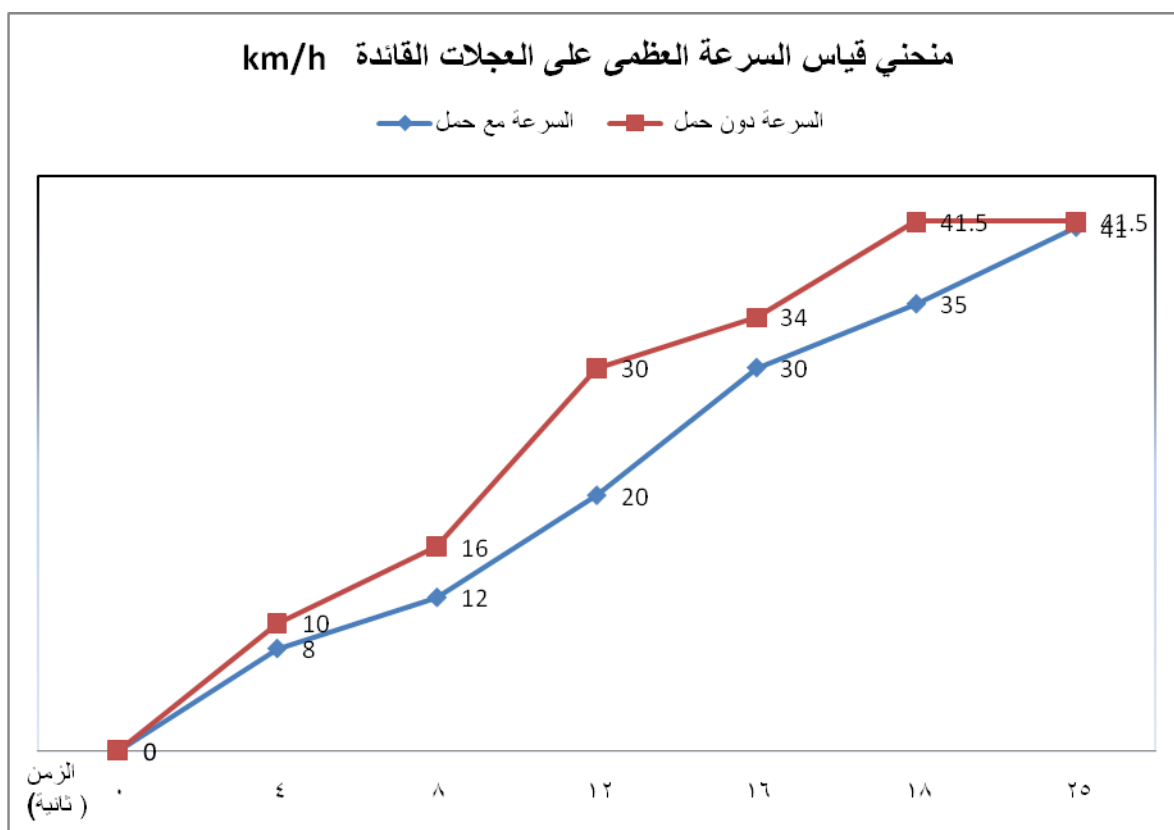
$$P = N = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \times 400 \times 3.8 \times 0.80 = 2.1 \text{ KW}$$

وهي استطاعة المحرك التحريضي ثلاثي الطور المستخدم عملياً وفقاً لقيمة التيار المستجر من قبل المحرك عند السرعة العظمى للسيارة ، ولمعرفة قيمة مردود المحرك التحريضي ثلاثي الطور المستخدم عند كل سرعة مقاسة يمكن لنا حسابه من خلال قسمة (الدخل) قيمة الاستطاعة الكهربائية المستجرة من قبل المحرك التحريضي ثلاثي الطور المستخدم مقسومة على (الخروج) قيمة استطاعة الجر الميكانيكية الواصلة إلى العجلات القائدة للنموذج المخبري عند نفس السرعة.

الجدول والمنحنيات البيانية التي تبين النتائج العملية التي نفذت :

الجدول (6-7) يبين قيمة السرعة العظمى المقاسة للسيارة خلال التجربة حسب زمن التسارع

زمن القياس (ثانية)	السرعة العظمى من دون حمل كم/سا	السرعة العظمى مع حمل كم/سا
4	10	8
8	16	12
12	30	20
16	34	30
18	41.5	35
25	41.5	41

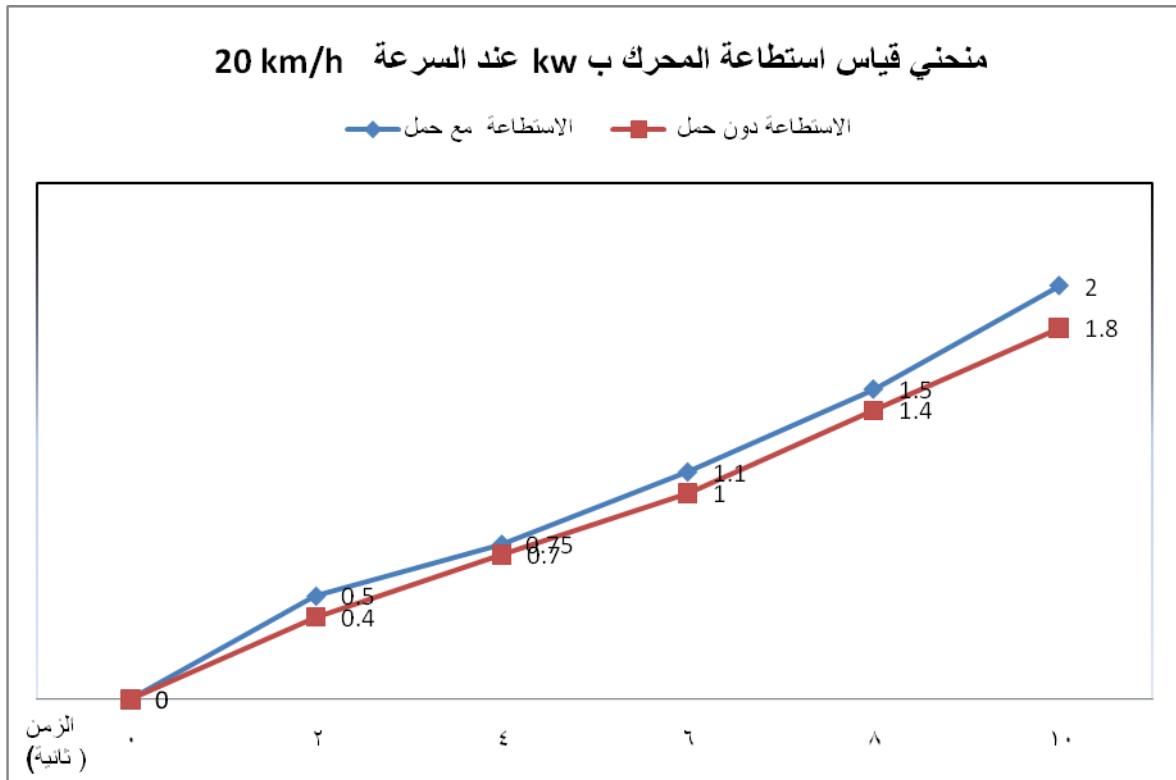


الشكل (4-6) منحني قياس السرعة العظمى على العجلات القائدة من دون حمل ومع حمل

الجدول (6-8) التالي يبين قيمة استطاعة المحرك المقاسة على العجلات القائدة خلال التجربة العملية وكيفية تغيرها لحين الاستقرار عند السرعة 20 كم/سا وفقا للزمن

الجدول (6-8) قيم الاستطاعة مع حمل ومن دون حمل عند سرعة 20 كم/سا

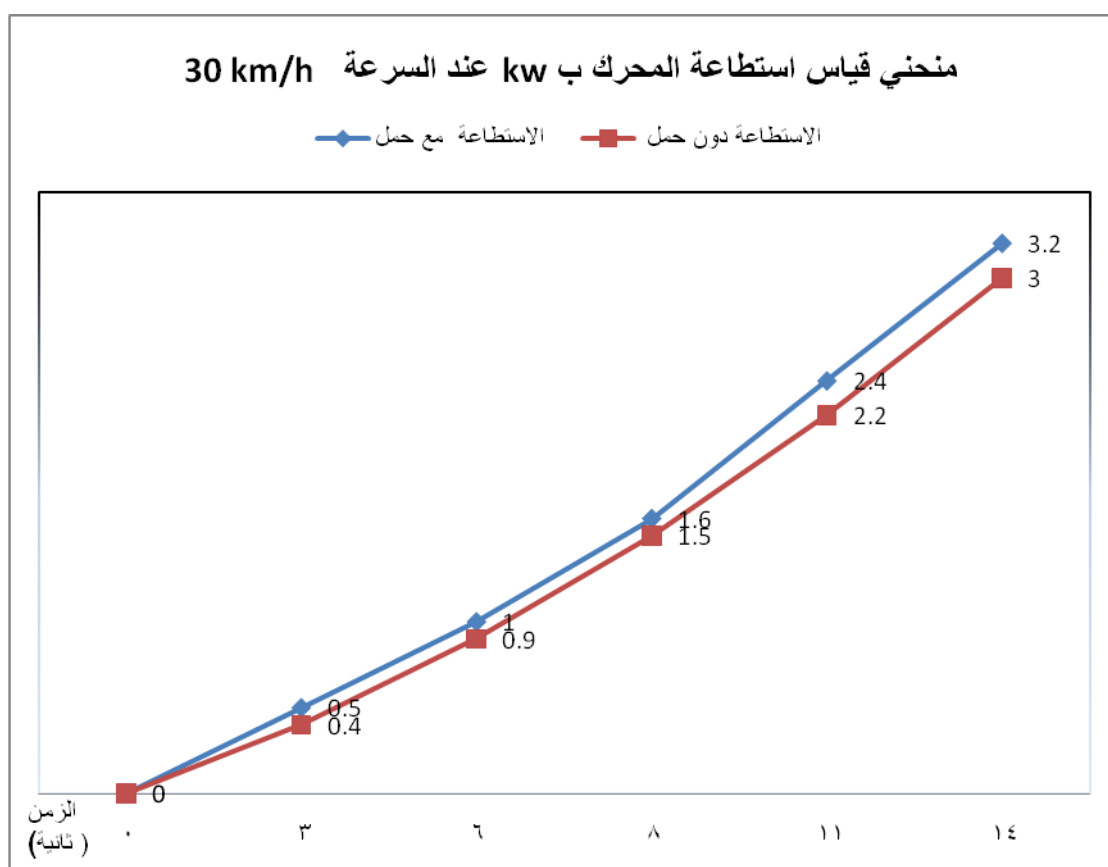
الزمن sec	الاستطاعة مع حمل kw	الاستطاعة دون حمل kw
0	0	0
2	0.5	0.4
4	0.75	0.7
6	1.1	1
8	1.5	1.4
10	2	1.8



الشكل (5-6) منحني اختبار استطاعة المحرك عند السرعة 20 كم/سا مع حمل ومن دون حمل

الجدول (6-9) بين تغير قيمة الاستطاعة الواصلة للعجلات للقائدة خلال التجربة العملية
لحين الاستقرار عند السرعة 30 كم/سا وفقا للزمن

الزمن sec	الاستطاعة مع حمل kw	الاستطاعة من دون حمل kw
0	0	0
3	0.5	0.4
6	1	0.9
8	1.6	1.5
12	2.5	2.2
15	3.2	3



الشكل (6-6) منحني قياس استطاعة المحرك عند السرعة 30 كم/سا مع حمل ومن بدون حمل

أخيراً الجدول (6-10) يوضح النتائج النهائية التي تم الحصول عليها حسابياً وعملياً

المحدد	حسابياً	عملياً
السرعة القصوى للسيارة $\left(\frac{km}{h}\right)$	36	دون حمل : 41.5 مع حمل : 41
الزمن اللازم للوصول لأقصى سرعة (S)	من دون حمل : 20 ثانية مع حمل : 50 ثانية	دون حمل : 18 مع حمل : 25
التسارع $m.s^{-2}$	من دون حمل : 0.5 مع حمل : 0.2	دون حمل : 0.638 مع حمل : 0.456
الاستطاعة الواصلة إلى العجلات القائدة KW مع حمل	عند السرعة 30 = 3.3 kw عند السرعة 20 = 2.2 kw	عند السرعة 30 = 3.2 KW عند السرعة 20 = 2 KW
المردود الميكانيكي لجملة النقل وفقاً للاستطاعة الواصلة للعجلات القائدة حسب السرعات $\mu_m = \frac{N_0}{N_e}$	عند السرعة 30 = 73 % عند السرعة 20 = 48 %	عند السرعة 30 = 71 % عند السرعة 20 = 44 %
المردود الميكانيكي لجملة نقل الحركة وفق السرعات المدروسة	تراوحت قيمته حسب السرعات 48 % - 73 %	تراوحت حسب السرعات من 47 % - 63 %

ملاحظة : إن مردود جملة نقل الحركة للحالة العامة في حالتنا المدروسة ولحالة طريق أفقي يحسب كالاتي :

$$N_0 = N_e - N_r$$

أي حاصل طرح استطاعة قوى المقاومة من الاستطاعة الفعلية للمحرك ومن خلال الحسابات التي حصلنا عليها لاستطاعات قوى مقاومة الحركة ولحالة طريق أفقي فإن:

$$N_r = N_f + N_j = 0.74 + 1 = 1.74 \text{ kw}$$

$$N_0 = 4.5 - 1.74 = 2.76 \text{ kw}$$

$$\mu_m = 2.76 / 4.5 = 61 \%$$

أما في دراستنا وفي الحالة النظرية فقد تم فرض قيمة المردود الميكانيكي :

$$\mu_m = 90 \%$$

6 4 مناقشة النتائج العملية :

بعد الحصول على النتائج السابقة من خلال التجارب العلمية التي قمنا بها ووضحنا قدر الإمكان هذه القيم من خلال المنحنيات البيانية التوضيحية وجداول القيم نخلص إلى الآتي بعد مقارنة النتائج التي حصلنا عليها (حسابياً وعملياً) ، التي وضعها الجدول (6-10) :

- 1 - وصلت السيارة إلى سرعتها العظمى البالغة 41.5 كم/سا بعد 18 ثانية من دون تحميل وعند تحميلها مع وجود سائق بلغت السرعة العظمى 41 كم/سا بعد 25 ثانية ، وحسابياً كانت 36 كم/سا . في الحالة العملية استقرت سرعة السيارة عند هذه القيم مهما طالت الفترة الزمنية بعدها حيث تعبر عن أقصى قدرة يستطيع المحرك الكهربائي المزودة به السيارة تقديمها، ومن ثم أقصى سرعة يمكن للسيارة أن تصل إليها . بناء عليه نجد أن السرعة القصوى لحركة السيارة في الحالة الحسابية كانت لها قيمة واحدة ولم تتغير في حالة الحمل أو حالة اللاحمل لعدم تعلق كتلة السيارة أو وزنها الإجمالية بالسرعة القصوى لحركتها ، وهذا ما أكدته لنا التجربة العملية ، فقد وجدنا تقارب قيمة السرعة العظمى للسيارة في حالة اللاحمل وحالة الحمل مع اختلاف طفيف جداً في القيمة ، وهذا طبيعي في التجارب العملية ، قد يكون ناتجاً عن دقة القياسات أو عن اختلاف طفيف في معايير وظروف السيارة خلال إعادة التجربة في الحالتين.
- 2 - الزمن الذي استغرقتة السيارة نظرياً للوصول للسرعة العظمى كان أكبر من الزمن الحقيقي الذي استغرقتة السيارة في التجارب العملية في حالة اللاحمل وحالة الحمل ، فقد كانت قيمة الزمن متقاربة إلى حد ما في حالة اللاحمل بين الحالة النظرية والحالة العملية ، وكانت قيمة الاختلاف 2 ثانية فقط زيادة لصالح الحالة الحسابية ، أما عند التحميل فقد وجدنا أن قيمة الزمن في الحالة الحسابية قد زادت بمقدار الضعف عن التجربة العملية ، وهذا الأمر مرده لكون علاقة الزمن المستغرق للوصول إلى أقصى سرعة تتعلق مباشرة بالتسارع ، ولذلك وبالعودة إلى علاقة التسارع في الحسابات النظرية نجد أن هذا المحدد يتعلق بعدد من المحددات التي تم فرض قيمتها خلال الحسابات النظرية ومنها (المقاومة الإجمالية للطريق ، ومعامل عطالة السيارة) ولو قمنا مثلاً بتخفيض قيمة المقاومة الإجمالية للطريق المفروضة في الحالة النظرية إلى نصف قيمتها لوجدنا بأن قيمة التسارع سوف تتغير نحو الزيادة من 0.2 لتصبح 0.37، ولذلك فإن قيمة الزمن اللازم للوصول لأقصى سرعة ستصبح (27 ثانية) ، وهي قريبة من قيمته التي حصلنا عليها من خلال التجارب .
- 3 - استطاعة المحرك المستخدم النظرية أو الاسمية كانت 4.5 كيلو واط (من دون أخذ الضياعات الحاصلة في الحسبان) ومع أخذ الضياعات بالحسبان مع اعتبار قيمة المردود 90% كانت قيمتها 4.05 كيلو واط ، ولكن عند اختبار الاستطاعة تجريبياً وجدنا أن القيمة الفعلية لاستطاعة المحرك المستخدم والواصل إلى العجلات القائدة عند التحميل عند السرعة 30 كم/سا بلغت 3.2 كيلو واط وهي قيمة جيدة عملياً ، أما عند السرعة 20 كم/سا فقد بلغت

2 كيلو واط ، أما قيمة المردود الفعلية لجملة نقل الحركة الميكانيكية وبناء على التجارب العملية التي تمت فقد تراوحت حسب السرعتين المأخوذتين في هذه التجارب بين القيمتين 48% وقيمة 73% في الحالة الحسابية وبين القيمتين 47% وقيمة 63% في الحالة العملية، أي إن قيمة الضياعات الحاصلة عن قيمة الاستطاعة الاسمية للمحرك منخفضة وليست كبيرة وهذا يعود لعملية الربط المباشر للمحرك الكهربائي على الجهاز التفاضلي من دون وجود ميكانيزمات توصيل وربط وسيطة، وهذا ما جعل القدرة تنتقل مباشرة من خرج المحرك الكهربائي إلى دخل الجهاز التفاضلي ومنه إلى العجلات القائدة، أما عند مقارنة قيم المردود في الحالة الحسابية في حالة السرعتين التي تمت التجارب عليهم مع الحالة العملية فنجدها أعلى من قيمته في الحالة العملية ، وهذا طبيعي لأن الحالة الحسابية النظرية تعبر دوماً عن أقرب الحالات إلى الحالة المثالية ؛ ولأنه عند إجراء التجارب العملية هناك دوماً قيم ضياعات فعلية لا تحسب عند الدراسات النظرية .

4 - سرعة دوران المحرك الفعلية في التجارب العملية كانت مشابهة ومساوية تماماً لقيمة سرعة دورانه الاسمية في المحددات المعبرة عن أداء المحرك الكهربائي المستخدم ، كما أن سرعة دوران كل من العجلة اليمينية واليسارية للسيارة المصممة على المحور القائد كانت محققة لنسبة التخفيض وفقاً للجهاز التفاضلي المستخدم وهي 1:4 وبالتالي نظرياً يجب أن تكون سرعة دوران العجلة ما يقارب 357 دورة بالدقيقة نظرياً وهي فعلياً كانت 330 و 340 دورة بالدقيقة لكل عجلة ، وهذا الاختلاف بسيط تراوحت فيه نسبة الضياع لكل عجلة من 5% إلى 8% وهذا مرده لحالة العجلات وضغط الهواء فيها إضافة إلى طبيعة الإطار والعجلات التي ثبت عليها ، لأن الإطارات المستخدمة مستعملة وليست جديدة ، مع ملاحظة أن القيم متقاربة ومنطقية جداً .

5 - قيم المردود الإجمالية العامة فرضت في الدراسة النظرية 90% وعند حسابنا لقيمه الإجمالية من خلال فرق الضياعات في الاستطاعات المعبرة عن حركة السيارة وجدنا قيمته مساوية 61% ، وهي قيمة جيدة لحالة السيارة الكهربائية ولا سيما أنها على نسبة غيار واحدة ولا يوجد تحكم وقيادة كهربائية في سرعة دوران المحرك الكهربائي تراعي متطلبات تغيرات قوى مقاومات الحركة للسيارة خلال المسير .

الخلاصة:

إن التجارب العملية التي أجريت على نموذج السيارة الكهربائية أكدت لنا صوابية دراستنا النظرية والحسابية حيث تمكنت السيارة من المسير والوصول إلى سرعة عظمى مقبولة تصميمياً وهذا ما يمكننا من البناء على هذه التجارب واستكمال التصميم للسيارة من خلال الملحقات الإضافية اللازمة لتصبح قادرة على المسير على الطرق العامة وتدخل حيز الاستثمار ولا سيما بعد تزويدها بنظام قيادة كهربائية يتحكم بدوران المحرك الكهربائي ليلبي متطلبات تغيرات قوى مقاومة حركة السيارة ، وهنا لا بد من

الإشارة إلى أن التكاليف المالية للأعمال التي نفذت كلها حتى الآن كانت منطقية إذ بلغت ما يقارب مليون ونصف مليون ليرة سورية فقط ، ولو قمنا بإضافة كلفة بقية المكونات كما ذكرنا سابقا مع سعر المواد التي استخدمت من الورش الفنية في الجامعة فإن الرقم سوف يصل إلى حدود خمس وعشرون مليون ليرة سورية تقريبا ، وهي بالتالي تمكّنك من الحصول على سيارة كهربائية قادرة على نقل ركاب وتسير على الطرق العامة بسرعة مقبولة ومنطقية ، علماً أن هذه القيم وفق القوة الشرائية لليرة السورية اليوم .

الفصل السابع

التوصيات والمقترحات والأعمال المميزة

الفصل السابع : التوصيات والمقترحات والأعمال المميزة

7-1- التوصيات والمقترحات :

1. إكمال تصميم السيارة بشكل نهائي ، كما هو موجود في المخططات والشكل ثلاثي الأبعاد الموجود ضمن هذا البحث .
2. إمكانية إعادة التجارب العملية على جهاز الدينامومتر وفقا لطرق ذات ميل مختلفة كما تمت في الحالة الحسابية .
3. الجدوى الاقتصادية جيدة ، وتكاليف تصميم السيارة وفقا لما عُرض في الدراسة الاقتصادية ، وعليه يمكن أن يستثمر هذا النوع من السيارات ويُنتج كميّ .
4. إمكانية تزويد السيارة بلوح شمسي يكون سقفاً لها ، ويكون مصدراً إضافيً للطاقة ، ويزود السيارة بالقدرة الإضافية لتأمين متطلبات المسير .
5. إمكانية تزويد السيارة بمحركين ، وأخذ خرج أحد المحركات للمحور الخلفي والآخر للمحور الأمامي ، وإجراء التجارب العملية ودراسة التغيرات الحاصلة على المحددات الديناميكية للسيارة.
6. تعديل نظام القيادة الكهربائية ليكون هنالك مرحلتا إقلاع للسيارة ، وإجراء التجارب العملية وفقا لسرعتي الإقلاع ودراسة التغيرات الحاصلة على المحددات الديناميكية للسيارة .
7. تبديل المحرك الكهربائي التحريضي ثلاثي الأطوار بآخر يعمل على التيار المستمر ، ودراسة التغيرات الحاصلة على المحددات الديناميكية للسيارة بعد إجراء التجارب العملية .
8. البحث عن إمكانية التواصل مع جهة راعية للمساعدة في تطبيق التصميم العملي للسيارة الكهربائية المقترحة وتنفيذه .

عنوان الاختراع :

طريقة شحن السيارات الكهربائية بالمرایا التوربينية

الوصف الفني للاختراع :

أ -شرح مفصل للاختراع :

أتى اختراعنا والفكرة العلمية التي وجدناها بعد قيامنا بتصميم وتنفيذ نموذج مخبري عملي لسيارة كهربائية مخصصة لراكب أو اثنين ، مزودة بمحرك كهربائي تحريضي ثلاثي الأطوار ونظام قيادة كهربائية مع مدخنة لتأمين القدرة اللازمة للسير ، ومن هنا أتت الفكرة في البحث عن مصادر متجددة للطاقة ومستمرة تؤمن شحن وإن كان جزئياً للمدخنة خلال مسير السيارة ، بهدف زيادة المسافة التي تسير فيها السيارة الكهربائية ، وبناء عليه تقليل الزمن اللازم لعمليات الشحن للمدخنة .

هنا بدأ البحث عن هذه المصادر ومحاكاة الهدف المطلوب لتأتي الفكرة العملية للاختراع (المرایا التوربينية) ، أجل هذا المكون الموجود في جميع أنواع السيارات كما أسلفنا ، ويقتصر وجوده على الرؤية ، يمكن لنا في السيارات الكهربائية استثماره في عملية الشحن إضافة لوظيفته الأساسية ، حيث هذا الهدف لم يكن لازم أ في السيارات التقليدية ، لعدم الحاجة لعمليات شحن مستمرة ، فكان الدينمو يفي بالغرض ، لكن في السيارات الكهربائية الموضوع يختلف .

الفكرة تتلخص في وضع توربين هوائي يتم تركيبه من الجهة ال خلفية للمرایا اليمينية واليسارية للسيارة بحيث تكون واجهته إلى الأمام ، ليؤمن حركته من خلال التيار الهوائي خلال مسير السيارة أو تعرضها لتيار هوائي قوي قادر على إدارة التوربين ، وإن كانت السيارة متوقفة ، مع العلم أننا حافظنا على الواجهة البلورية الأمامية للمرأة لعدم إلغاء وظيفتها الأساسية في الرؤية .

يُركب التوربين أفقياً أو عمودياً على الواجهة الخلفية للمرایا ، مع الإشارة إلى أنه سنكون مقيدتين بالواجهة البلورية للمرایا ، بحيث سنضطر لجعل جهتها موافقة لجهة تركيب التوربين الهوائي ، أي لا يمكن لنا وضع التوربين شاقولياً وجعل المرأة تتركب بالوضعية الأفقية وبالعكس ، بعد

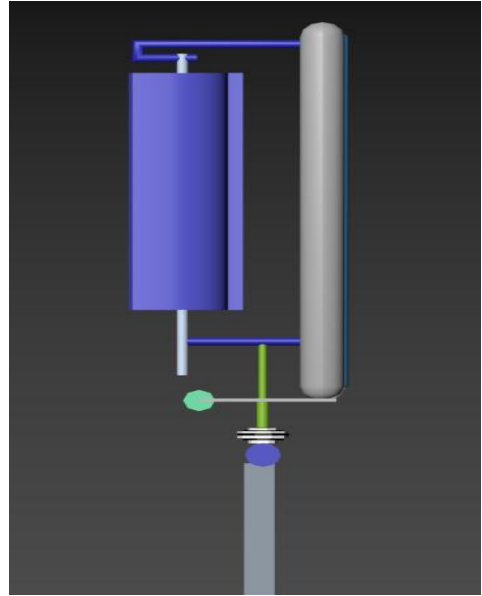
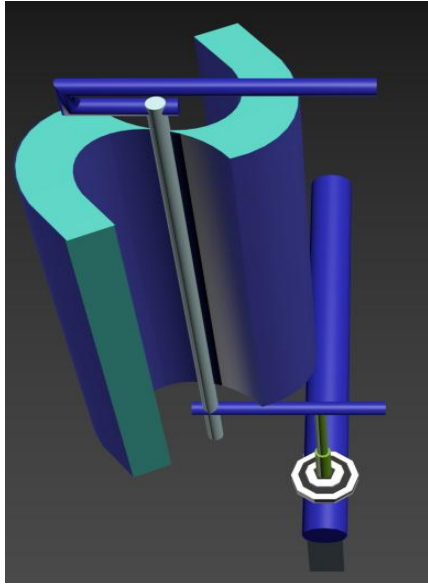
تحديد مكان تركيب التوربين وكيفية يتم أخذ الحركة الناتجة عن دورانه من خلال محور الدوران الذي يركب في نهايته مسنن يعبر عن دوران التوربين عند تعرضه للهواء (يمكن لنا تزويد التوربين بعلبة مسننات من أجل زيادة سرعة الدوران ، من خلال نقل الحركة من مسننه الأساسي إلى جملة مسننات تؤمن زيادة السرعة ، وهنا لا نجد حاجة لذلك لأن التوربين ستزداد سرعته تلقائياً عند مسير السيارة ، مع زيادة سرعة السيارة ، وذلك نظراً لتلقيه تيار هوائي أقوى قادر على زيادة سرعته) ، لذلك يمكن أخذ الخرج الناتج عن محور دوران التوربين مباشرة وربطه ووصله على مدخل مولد كهربائي يؤمن حركته من محور دوران التوربين ، ليقوم بتوليد تيار كهربائي لنا، هذا المولد سينتج لنا تياراً كهربائياً ، هذا التيار يجب القيام بالتحكم فيه وتنظيمه لشحن كتلة مجموعة المدخرات في السيارة الكهربائية ، وهذا الأمر لا يمكن لنا تحديده بدقة وبالأرقام هنا ، نظراً لاختلاف القيم وكتلة مجموعة المدخرات وقيمة الجهد التي يتم الحصول عليها من طراز إلى آخر في السيارات الكهربائية ؛ لذلك هنا سيكون لدينا نظام شحن وحماية خاص في هذا الاختراع يتوافق مع المحددات التصميمية للأجزاء الكهربائية ونظام قيادتها في السيارة المصممة، لا بد من وجود نظام الحماية لإيقاف الشحن في حال اكتماله وعدم الحاجة له ، ولا سيما عند ركن السيارة وتعرضها لتيار هوائي ، ويمكن أن يكون هذا النظام بطرق مختلفة ومتنوعة ، فمثلاً يمكن لنا جعله على شكل مؤشر يعطي إشارة على اكتمال شحن المدخرة ، وهذا ما يؤدي إلى جعل دوران محور التوربين يتم بشكل حر من دون جعل المولد يدور لتوليد الكهرباء ، أو يمكن لنا عند اكتمال الشحن جعل الواجهة الخلفية للمرايا تعود كما لو أن التوربين غير موجود من خلال إغلاق هذه الواجهة وجعل التوربين موجوداً ضمن حيز مغلق ، ومنع أي تيار هوائي من المرور عبره وجعله يدور، ونجد هذا الخيار أفضل نظراً لإمكانية تحكمنا به في حال عدم رغبتنا بقيام التوربين بعملية شحن المدخرة ، ومن ثم يعود شكل المرايا إلى شكلها الأساسي وكأنه لا وجود للتوربين الهوائي بها أبداً .

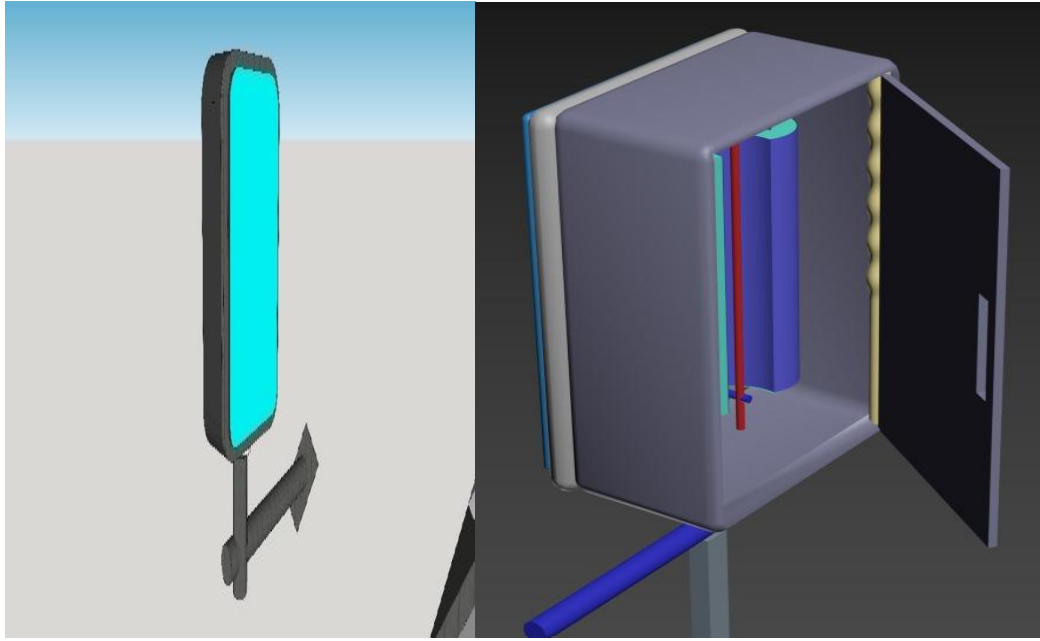
تصاميم هذا التوربين على المرايا يمكن أن تأخذ أشكالاً مختلفة ومتنوعة حسب الحاجة وتلبية للشكل الديناميكي والأيروديناميكي للسيارة ، ويمكن تصميمه على نحوٍ طولي أو عرضي على شكل قاعدة خلفية للمرأة يوضع ضمنها ويثبت محوره من الطرفين مع المحافظة على الفراغ الداخلي ضمن القاعدة لدوران مروحة التوربين ، ويجب التصميم والمحافظة على انسياب هذا

التوربين ليؤمن دورانه بسهولة مع الإشارة إلى تصميمه بوزن خفيف واستخدام خلائط تؤمن الدوران السهل والسريع مع المتانة والقوة القدرة على التحمل مع الوزن الخفيف ، وإمكانية إغلاق المرآة وجعل التوربين ضمن حيز مغلق عند عدم الحاجة لدورانه .

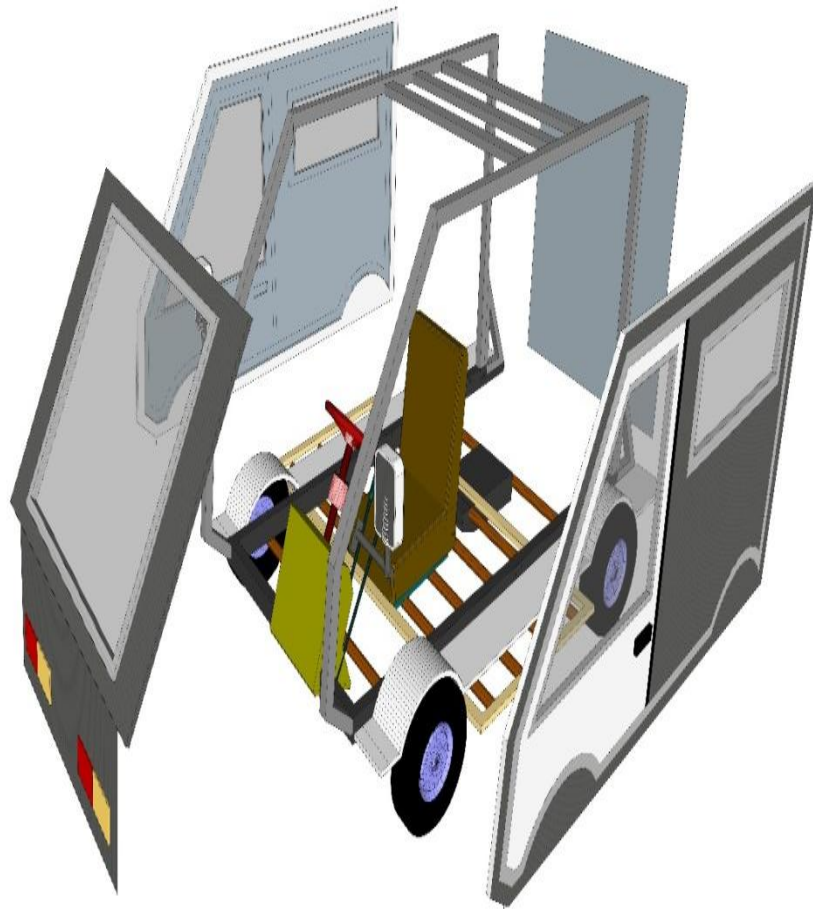
الرسوم والمخططات :

يبين الشكل الحاسوبي الذي رُسم على برنامج الأوتوكاد الشكل المفصل للمرايا التوربينية وكيفية تصميمها وتوضعها على السيارة الكهربائية المصممة :





فيما يأتي شكل يبين مقطعاً توضيحياً تفصيلياً عاماً للسيارة وهي مفككة الأجزاء تم رسمه على الأوتوكاد :



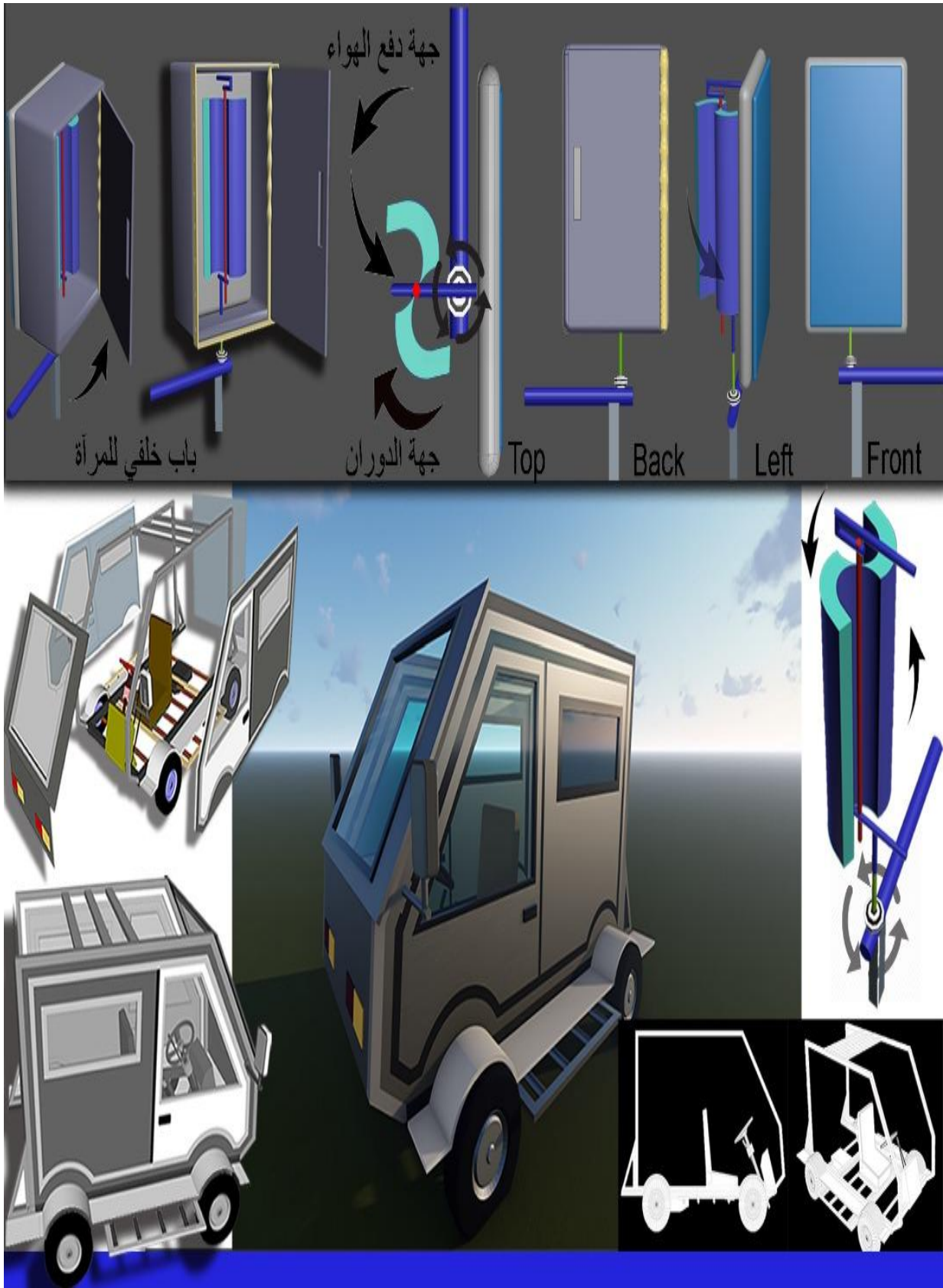
فيما يلي شكل عام توضيحي للسيارة بمكوناتها كلها من الخارج :



منظر جانبي للسيارة يبين توضع المرايا عند حالة الوقوف في منطقة جبلية تحوي تياراً هوائياً :



وأخيرا شكل عام يجمع الصور التوضيحية السابقة كلها في المخطط نفسه



الادعاءات المطلوب حمايتها :

1 طريقة شحن السيارات الكهربائية بالمرایا التوربینية تتضمن الخطوات الآتية :

أ - تُركب المرایا التوربینية التي تتألف من توربین هوائي مركب من الجهة الخلفية للمرایا وواجهة بلورية أمامية للرؤية مع وجود غطاء خلفي لإغلاقها ومنع التوربین من الدوران في حال عدم الحاجة للشحن تُركب على كلا جانبي السيارة وبشكل عمودي أو أفقي ، وذلك وفقا لمتطلبات التركيب والتجانس مع التصميم والشكل العام الخارجي للسيارة .

ب - يتم الشحن الكهربائي للمدخرة من خلال دوران التوربین عند تعرضه لتيار هوائي يؤدي لدوران جسم التوربین الحلزوني ، ونتيجة لذلك الدوران يتم وصل خرج التوربین مع مسنن يدور مع دوران التوربین الهوائي ، هذا المسنن يقوم بجعل المولد يبدأ بالدوران لتوليد الكهرباء ، هذا المولد يتوضع ضمن السيارة الكهربائية بحيث يتم وصل خرج التوربین الهوائي للمراتين معاً، اليمينية واليسارية إليه عبر المسننات إلى علبة مسننات يوصل خرجها مع دخل المولد، ونتيجة لذلك تجعل علبة المسننات المولد المذكور بالدوران وتوليد الكهرباء ليتم وصله مع كتلة المدخرة ليقوم بشحنها وتعويض الفاقد الطاقى الناتج عن استرجار تيار كهربائي منها خلال العمل .

2 -طريق شحن السيارات الكهربائية بالمرایا التوربینية المذكورة في الإدعاء الأول يمكن فيها إيقاف الشحن عند عدم الحاجة له عن طريق الفصل في علبة المسننات من خلال جعل الدوران يتم على فراغ من دون الحصول على خرج من علبة المسننات ومن ثم عدم دوران المولد وإيقاف الشحن .

3 -هناك طريقة أخرى لشحن السيارات الكهربائية بالمرایا التوربینية المذكورة في الإدعاء الأول يمكن لنا بها إيقاف الشحن من خلال التصميم، وذلك من خلال الغطاء أو الغلاف الخارجي للتوربین الذي يغطي التوربین ويمنع التيار الهوائي من الوصول إليه، ومن ثم منع دورانه وعدم جعل المولد يعمل .

المخلص :

طريقة شحن السيارات الكهربائية بالمرایا التوربينية طريقة جديدة وحديثة ومبتكرة تتم من خلال تركيب توربين هوائي على الجسم الخلفي للمرایا ، يدور عند تعرضه لتيار هوائي ناتج عن حركة السيارة ، أو نتيجة لوجود رياح في حال رُكنت السيارة في مناطق مفتوحة هوائياً ، وهذا ما يمكننا من شحن كتلة المدخرة حتى وإن كانت السيارة في حالة وقوف كامل ويجري تركيب هذا التوربين على جسم المرایا عمودياً أو أفقياً ، وذلك وفقاً لمدى التناسب مع تصميم السيارة .

3-7- المقالات العلمية

تم نشر أربع أوراق بحثية ضمن مدة البحث في أطروحة الدكتوراه توضح الصور الآتية موافقات النشر التي تم الحصول عليها :





Syrian Arab Republic
 Damascus University
 Damascus University Journal

الجمهورية العربية السورية
 جامعة دمشق
 مديرية مجلات جامعة دمشق

موافقة نشر
 research approval

Damascus 24/04/2023
 No. 8105
 Dear

دمشق 2023/04/24
 رقم البحث: 8105
 السادة

Eng. Rabbeh Adnan Alo
 Dr. Mussallam Tomeh
 Dr. Abbas Sandok

م. ربيع عثمان علو
 أ. د. مسلم طمعة
 أ. د. عباس صندوق

We are pleased to inform you that your research entitled:

«Modeling and simulating of the fuel cell stack's used in an electric car»

«نمذجة ومحاكاة مكبس خلايا الوقود المستخدم في سيارة كهربائية»

Sent to us on 06/02/2023 has been accepted by Damascus University Journal for The Engineering Sciences On 24/04/2023

«تم إرسال البتاريخ 2023/02/06 قد قبل للنشر في مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية بتاريخ 2023/04/24 مع فائق الاحترام»

Editor in chief Journal for The Engineering Sciences
 Prof. Mohammad Hajem Alwadi

رئيس التحرير مجلة العلوم الهندسية
 أ. د. محمد هاجم الوادي

Director of Journal
 Prof. Ahmed Abou younes

مدير المجلات
 أ. د. أحمد أبو يونس

ISSN 1999-7302
 ISSN 2789-6854 (online)

Syrian - Damascus University - Damascus University Journal
 Journals.dpt@damascusuniversity.edu.sy

سورية - جامعة دمشق - مديرية المجلات



Syrian Arab Republic
 Damascus University
 Damascus University Journal

الجمهورية العربية السورية
 جامعة دمشق
 مديرية مجلات جامعة دمشق

موافقة نشر
 research approval

Damascus 04/05/2023
 No. 8107
 Dear

دمشق 2023/05/04
 رقم البحث: 8107
 السادة

Eng. Rabbeh Adnan Alo
 Dr. Mussallam Tomeh
 Dr. Abbas Sandok

م. ربيع عثمان علو
 أ. د. مسلم طمعة
 أ. د. عباس صندوق

We are pleased to inform you that your research entitled:

«Modeling and simulating the dynamic performance of an electric car»

«نمذجة ومحاكاة الأداء الديناميكي لسيارة كهربائية»

Sent to us on 06/02/2023 has been accepted by Damascus University Journal for The Engineering Sciences On 04/05/2023

«تم إرسال البتاريخ 2023/02/06 قد قبل للنشر في مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية بتاريخ 2023/05/04 مع فائق الاحترام»

Editor in chief Journal for The Engineering Sciences
 Prof. Mohammad Hajem Alwadi

رئيس التحرير مجلة العلوم الهندسية
 أ. د. محمد هاجم الوادي

Director of Journal
 Prof. Ahmed Abou younes

مدير المجلات
 أ. د. أحمد أبو يونس

ISSN 1999-7302
 ISSN 2789-6854 (online)

Syrian - Damascus University - Damascus University Journal
 Journals.dpt@damascusuniversity.edu.sy

سورية - جامعة دمشق - مديرية المجلات

المراجع العلمية

المراجع

المراجع الأجنبية :

- 1- Robert Bosch Gmph ,Automotive (BOSCH) Handbook ,2008.
- 2- David A.Crolla. Elervier "Automotive Engineering Power train , Chassis System and Vehicle body " ,1st ed, 2009 .
- 3- ARABIC REFERENCE , N:30 .
- 4- Guzinski, J. “Sensorless induction motor drive for electric vehicle application”.Gdansk University of Technology, Poland, 2011.
- 5- Bambang Sri Kaloko, Soebagio, Mauridhi Hery Purnomo,“Design and Development of Small Electric Vehicle Using MATLAM/SIMULINK”. Institute of Technology, Indonesia, 2011.
- 6- ARABIC REFERENCE , N:29 .
- 7- Rayan Kroeze , Philip Krein , “ Electrical Battery Model for Use in Dynamic Electric Vehicle Simulations”.University of Illinois, 2011 .
- 8- Miklosevic, Kresimir ; Spoljaric, Zeljko & Jerkovic, Vedrana. " Analysis of Electric DC Drive Using Matlab Simulink and SimPower Systems ". Strossmayer University of Osijek, Croatia. 2009.
- 9- S. Beganović – S. Dacić " Comparison of Dynamic Characteristics of Electric and Conventional Road Vehicles", Irbnet.de,2012 .
- 10-John G. Hayes- R. Pedro R. de Oliveira ‘- Sean Vaughan- Michael G. Egan " Simplified Electric Vehicle Power Train Models and Range Estimation", IEEE, 2011.
- 11-Seneviratne K. A Novel, solid oxide fuel cell anode substrate: performance and lifetime studies, Universitetet i Agder/University of Agder; 2013.
- 12-Straub, J.: Product Roadmap for Automotive Fuel Cell Systems, In proceedings of F-Cell Conference 2005, 27.09.2005, Stuttgart, Germany.
- 13-Treffinger P, Brinner A, Scholl R, E.Friedrich H, “FULE CELL AND HYDROGEN VEHICLES – STATE OF THE ART AND CHALLENGES FOR IMPROVED MATERIALS “ ResearchGate , july 2006 .
- 14-Wieser, C.: Fuel Cells 4(2004) 245-250
- 15-<http://kawngroup.com/fuel-cells/>.
- 16-<https://en.wikipedia.org/wiki/Supercapacitor>.

- 17-A. B. Cultura, and Z. M. Salameh, "Modeling, Evaluation and Simulation of a Supercapacitor Module for Energy Storage Application". International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (CISIA),2015.
- 18-T Kimura , R Saitou , K Kubo , K Nakatsu , H Ishikawa,K Sasaki ,” High-power-density Inverter Technology for Hybrid and Electric Vehicle Applications “Hitachi Review Vol. 63 (2014), No. 2.
- 19-Ashwin C, Madan K, Shobith N, Harsh Z ,” Design and Study of Transmission System for Electric Vehicles “, India ,2018.
- 20-ARABIC REFERENCE , N:28 .
- 21-ARABIC REFERENCE , N:31 .
- 22-ARABIC REFERENCE , N:27 .
- 23-M. Ehsani, Y.Gao, and A.Emadi, “Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicle Fundamentals, Theory, and Design”, 2d edition, Tylor&Francis Group, New York,2010.
- 24-C.Mi, M. A. Masrur, and D. W. Gao. “HYBRID ELECTRIC VEHICLES PRINCIPLES AND APPLICATIONS WITH PRACTICAL PERSPECTIVES”. John Wiley & Sons, Ltd., Publication,2011.
- 25-W. Liu. “HYBRID ELECTRIC VEHICLE SYSTEM MODELING AND CONTROL”. 2nd ed, John Wiley & Sons, Ltd., Publication,2017.
- 26-C.C.Chan and K. T. Chau, “Modern Electric Vehicle Technology”, Oxford University Press, New York,2001.
- 27-K. Nakatsu et al., “Development of Technologies to Cut in Half Floor Space Required for Power Modules on Inverters for Electric and Hybrid Automobiles,”,p. 80 (Aug. 2012).
- 28-R. Saito et al., “High power density inverter technology for automotive applications,” Ingénieurs de l’Automobile, No. 825 (2013).
- 29-BABOSELAC, I.; HEDERÍĆ, Z.; BENŠIĆ, T. MATLAB SIMULATION MODEL FOR DYNAMIC MODE OF THE LITHIUM-ION BATTERIES TO POWER THE EV. // TEHNIČKI GLASNIK 11, 1-2(2017), 7-13 .
- 30-32
- 31-<https://al-ain.com/article/cheapest-ev-200-mile-range>.

المراجع العربية : (27 – 34)

- 27 د.سعادة ،جرجس . " آلات كهربائية (4) - الآلات التحريضية – " منشورات جامعة البعث – 2005.
- 28 د.السيد ،عبد الحليم . " هندسة السيارات " منشورات جامعة دمشق – 1983.
- 29 د.صندوق ، عباس . د.ورقوزق ،غيث . د.وسيم،سعيد . " التحكم بمنظومات مبدلات – خلايا وقود لمحرك جر السيارة الكهربائية في الزمن الحقيقي " ، رسالة دكتوراه ، جامعة دمشق ، 2018 .
- 30 بيطار.زينة، الجابي سميح ، " دراسة أداء المحركات الكهربائية المستخدمة في السيارة الكهربائية الشمسية " رسالة دكتوراه ، جامعة دمشق ، 2015 .
- 31 م.الكردي،عمار . م.المحيميد،حسام الدين. م.سحاري،باسل. " الإلكترونيات الاستطاعية والمتحكمات " ،ترجمة ، دار شعاع للنشر والعلوم ، حلب ، 2000 .
- 32 للبرنامج الحاسوبي ماتلاب إصدار 2017 ، 2021 .
- 33 -مطر جهاد " دراسة ومحاكاة ربط خلية وقودية بمقلّب الكتروني "،الجزائر ، جامعة محمد خيضر بسكرة ،2013.
- 34 عاشوري انتصار،مخلوفي نعيمة " محاكاة عددية لظاهرة استهلاك وإنتاج الغازات المختلفة في خلية وقود الأكسيد الصلب الأنوبية "،جامعة قاصدي مرباح ورقلة ، 2018

Abstract

This research includes a theoretical, scientific, experimental and practical study by developing a computer model of an electric car and its driving system within the environment of the modeling program used with changing the source of electrical power that is secured for the movement of the car so that the modeling process is completed once considering the savings as the power source and again considering the stack of fuel cells as the source. The ability, after getting acquainted with the theoretical side, the components and parts of the car proposed to be designed, and the function of each component of it, to move on to the practical design of a laboratory model for an electric vehicle with the optimal choice of the mechanical linkage process between the power source and the driving wheels in the car, In order to secure the largest possible amount of power transmission to the driving wheels without significant losses, and to test this model on the vehicle performance test platform (the dynamometer) and to take the determinants and indicators that fully express the performance of the designed laboratory model, and to compare these results and the values obtained with the results. And the values of the theoretical and model calculations that we obtained and discussed, mentioning the economic aspect by putting the financial costs of the completed design process, and the expected proposal for the total value of the design of the small-sized experimental electric vehicle intended for two passengers only.

key words :

Determinants of electric car performance – modeling and simulation – laboratory model of the car – dynamometer

التصريح الخطي

أنا الموقع أدناه أصرح بعلمي الكامل وقبولي :

- 1- أن كل ما ينتج عن البحث والأطروحة هو ملكية فكرية ومالية بالتشارك مع جامعة دمشق ، وأنني التزم بأخذ موافقة الجامعة في حال رغبتني في نشر الأطروحة أو جزء منها نصاً أو مضموناً خارج إطار الجامعة (من دور نشر أو مكتبات أو مواقع إلكترونية وغيرها من وسائل النشر) .
- 2- أنه لا يوجد جزء من هذه الأطروحة تم اقتباسه من عمل علمي آخر أو أنجز للحصول على شهادة أخرى في جامعة دمشق أو أية جامعة أو معهد تعليمي خارج الجمهورية العربية السورية (كل ما تم الاستعانة به من أبحاث ومراجع وكتب علمية تم ذكر المراجع العلمية التي تمت الاستعانة بها في متن الأطروحة) .

الاسم والتوقيع

كلمة شكر

إلى من احتضنني منذ ولادتي لحين وصولي لمرحلة الإدراك والوعي عائلتي الغالية

إلى من شاركني وسيشاركني درب الحياة من بدايتها إلى النفس الأخير أخي وأختي

إلى الملهم الأول وموقد شمعة ونور الطموح والبحث في عقلي وروحي أبي الروحي

إلى من عشنا على أرضه ونهلنا من خيراتہ وطني الحبيب

إلى من رافقني في درب دراستي منذ دخلت المرحلة الجامعية لحين حصولي على الدكتوراه

....أستاذي المشرف الغالي مسلم طعمة....

إلى من رافقني خلال بحثي في أطروحة الدكتوراه...أستاذي المشارك عباس صندوق

إلى أستاذة ومدرسي قسمي الحبيب كافة

إلى من تعلّمنا في رحابها ونعلّم الآن في أروقتها كليتي الحبيبة

إلى جامعة دمشق الحبيبة في الذكرى المئوية لتأسيسها ...

إلى أصدقائي و زملائي في هذه الحياة من استمر منهم ومن رحل

إلى كل محب للعلم ولكل قاصد و سالك لدربه

أهدي هذا العمل

ربيع علو

الملخص

يتضمن هذا البحث دراسة منهجية علمية نظرية وتجريبية عملية من خلال وضع نموذج حاسوبي لسيارة كهربائية ونظام قيادتها ضمن بيئة برنامج النمذجة المستخدم مع تغيير منبع القدرة الكهربائية المؤمن لحركة السيارة لتتم عملية النمذجة مرة على اعتبار المدخرات هي منبع القدرة ومرة أخرى تم اعتبار كُدس خلايا الوقود هو منبع القدرة ، بعد التعرف على الجانب النظري ومكونات وأجزاء السيارة المقترح تصميمها ووظيفة كل جزء مكون لها ، ليتم بعدها الانتقال إلى التصميم العملي لنموذج مخبري لمركبة كهربائية مع الاختيار الأمثل لعملية الربط الميكانيكية بين منبع التغذية والعجلات القائدة في السيارة ، ليؤمن أكبر قدر ممكن من انتقال الطاقة إلى العجلات القائدة من دون حدوث ضياعات كبيرة ، واختبار هذا النموذج على منصة اختبار أداء السيارة (جهاز الدينامومتر) وأخذ المحددات والمؤشرات التي تعبر بكاملها عن أداء النموذج المخبري المصمم ، ومقارنة هذه النتائج والقيم التي تم الحصول عليها مع نتائج وقيم الحسابات النظرية والنمذجة التي حصلنا عليها ومناقشتها ، مع ذكر الجانب الاقتصادي من خلال وضع التكاليف المالية لعملية التصميم المنجزة ، والاقتراح المتوقع للقيمة الإجمالية لتصميم المركبة الكهربائية التجريبية الصغيرة الحجم والمخصصة لراكبين فقط .

الكلمات المفتاحية :

محددات أداء السيارة الكهربائية - النمذجة والمحاكاة - النموذج المخبري للسيارة - جهاز دينامومتر

فهرس المحتويات

رقم الصفحة	العنوان
1	مقدمة البحث
الفصل الأول : الدراسات المرجعية	
5	1 1 - مقدمه
5	1 2 - تاريخ وتطور السيارات الكهربائية
10	1 3 - دراسة مرجعية حول السيارة الكهربائية
الفصل الثاني : الدراسة النظرية	
22	2-1- مخطط يبين أجزاء السيارة الكهربائية
22	2-2- المدخرات
24	2-3- خلايا الوقود
29	2-4- المكثفات فائقة السعة
33	2-5- المعرج والمقطع
39	2-6- المحركات الكهربائية المستخدمة في الجر
42	2-7- جملة نقل الحركة
46	2-8- حالات عمل واستخدام منابع الطاقة المختلفة في السيارة الكهربائية
47	2-9- القوى والاستطاعات المؤثرة في ديناميك حركة السيارة
61	2-10- المحددات والمؤشرات الديناميكية لحركة السيارة

65	11-2- خلاصة الفصل
	الفصل الثالث : نمذجة نظام القيادة الكهربائية في السيارة
67	3-1- نظام قيادة المحركات
68	3-2- خصائص ومنحنيات العزم والاستطاعة لأنواع المحركات الكهربائية المختلفة.
71	3-3- تنظيم سرعة دوران المحركات التحريضية ثلاثية الطور
74	3-4- توصيف النموذج الرياضي للمحرك الكهربائي المستخدم في نظام القيادة الكهربائية
76	3-5- النموذج الحاسوبي لنظام القيادة الكهربائية
81	3-6- نتائج النمذجة الحاسوبية التي تم التوصل إليها
95	3-7- مناقشة المنحنيات البيانية السابقة لحالة منبع المدخرات
96	3-8- بناء النموذج الحاسوبي لنظام القيادة الكهربائية باعتبار منبع التغذية خلايا وقود
99	3-9- المنحنيات البيانية للمحاكاة الحاسوبية منبع خلايا وقود
106	3-10- مناقشة نتائج المنحنيات البيانية منبع خلايا الوقود
	الفصل الرابع : نمذجة ومحاكاة ديناميك السيارة الكهربائية المصممة
108	4-1- مقدمة
108	4-2- النموذج الهندسي للسيارة الكهربائية مع القوى المؤثرة فيه
109	4-3- بناء النموذج الديناميكي لحركة السيارة الكهربائية المصممة

114	4-4- توصيف النموذج الرياضي لنظام القيادة الكهربائية
116	4-5- النموذج الرياضي العام للسيارة الكهربائية المصممة
120	4-6- محاكاة تطبيق عمل النموذج الرياضي العام للسيارة المصممة وفق برنامج ماتلاب
127	4-7- نتائج المنحنيات البيانية ومناقشتها
الفصل الخامس : الجانب الاقتصادي للسيارة المصممة	
129	5-1- لمحة عن بعض إصدارات شركات السيارات الكهربائية وأسعارها
130	5-2- مراحل تصميم السيارة الكهربائية محور الدراسة
134	5-3- الكلف المالية لتصميم النموذج المخبري للسيارة الكهربائية
الفصل السادس : التطبيق العملي ومناقشة النتائج	
137	6-1- تعريف بمنصة اختبار أداء السيارة دينامومتر
138	6-2- التجارب العملية على منصة الاختبار
142	6-3- الجداول والمنحنيات البيانية التي تبين النتائج العلمية التي نفذت
146	6-4- مناقشة النتائج العلمية
الفصل السابع : التوصيات والمقترحات والأعمال المميزة	
150	7-1- التوصيات والمقترحات
151	7-2- براءة الاختراع
158	7-3- المقالات العلمية
160	المراجع العلمية

فهرس الأشكال

رقم الصفحة	عنوان الشكل
6	الشكل (1-1) سيارة كهربائية من إصدار شركة General Motors
12	الشكل (2-1) الدارة الكهربائية للمعرج المستخدم مع صورة للسيارة المصممة
14	الشكل (3-1) يوضح النموذج العام للسيارة التي تمت محاكاة عملها
16	الشكل (4-1) مخطط النمذجة والمحاكاة في بيئة ماتلاب
17	الشكل (5-1) منحنى السرعة كتابع للعزم من أجل محددات مختلفة للمحرك
22	الشكل (1-2) مخطط مبسط يوضح مكونات السيارة الكهربائية محور الدراسة
25	الشكل (2-2) خلية الوقود والأجزاء المكونة لها ومبدأ عملها
28	الشكل (3-2) منحنى العمل لخلية الوقود ذات غشاء التبادل البروتوني
29	الشكل (4-2) منحنى العمل المميز لمعظم خلايا الوقود
30	الشكل (5-2) المكثفات العادية
30	الشكل (6-2) المكثفات فائقة السعة
31	الشكل (7-2) مبدأ عمل المكثفات فائقة السعة
35	الشكل (8-2) مراحل تطور إنتاج المعرجات وأجيالها
36	الشكل (9-2) معرج من الجيل الثاني
36	الشكل (10-2) معرج من الجيل الثالث
38	الشكل (11-2) وحدة متكاملة لعمل المعرج و المقطع
39	الشكل (12-2) مراحل تطور إنتاج المعرجات والمقطعات

43	الشكل (2-13) المسننات ومؤشرات مرحلتي التعشيق في علبة المسننات
45	الشكل (2-14) العلاقة بين عزم المحرك وسرعة الدوران
46	الشكل (2-15) مخطط يبين العلاقة بين سرعة دوران المحرك واستطاعة الخرج
47	الشكل (2-16) يوضح مجال العمل الأمثل لكل نوع من مصادر التغذية المستخدمة في السيارات الكهربائية
49	الشكل (2-17) حركة السيارة على طريق مائل
54	الشكل (2-18) مخطط توضيحي لإحدى عجلات السيارة القائدة والقوى والعزوم المؤثرة عليها
67	الشكل (3-1) نظام القيادة الأساسية لمحرك التيار المستمر
69	الشكل (3-2) منحنيات أداء وعمل بعض أنواع المحركات الكهربائية
70	الشكل (3-3) منحنى بياني لمحرك تيار مستمر عند التحميل وعند تغيير الجهد
70	الشكل (3-4) منحنى كفاءة محرك التيار المستمر التسلسلي
71	الشكل (3-5) منحنى كفاءة محرك متناوب ثلاثي الأطوار مع مغناطيس دائم
74	الشكل (3-6) خصائص عزم /سرعة لمحرك كهربائي بنسب سرعة متغيرة
75	الشكل (3-7) الدارات المكافئة لمحرك تحريضي ثلاثي الأطوار على المحاور الثنائية d,q
77	الشكل (3-8) دائرة المقطع رافع الجهد
77	الشكل (3-9) دائرة التحكم بالمقطع رافع الجهد
78	الشكل (3-10) دائرة المعرج ثلاثي الطور
79	الشكل (3-11) دائرة التحكم بنبضات المعرج ثلاثي الطور

80	الشكل (3-12) مخطط تدفق وسير العمليات ضمن نموذج الدارة العام وفق منبع التغذية
81	الشكل (3-13) الدارة الرئيسية بالنظر إلى أن منبع التغذية هي المدخرات
82	الشكل (3-14) تغير العزم الكهربائي والميكانيكي مع سرعة الدوران وفق الزمن
83	الشكل (3-15) زيادة هامش المدة الزمنية
84	الشكل (3-16) تغير قيم التوتر والتيار للمحرك الكهربائي
84	الشكل (3-17) منحنيات توترات الأطوار الثلاث للمحرك الكهربائي
85	الشكل (3-18) تغير كل من العزم الميكانيكي والكهربائي مع سرعة الدوران وفق الزمن
86	الشكل (3-19) تغيير هامش المدة الزمنية
87	الشكل (3-20) تغير قيم التوتر والتيار للمحرك الكهربائي
88	الشكل (3-21) تغير العزم الميكانيكي والكهربائي مع سرعة الدوران وفقا للزمن
89	الشكل (3-22) تغيير هامش الفترة الزمنية
90	الشكل (3-23) تغير قيم التوتر والتيار للمحرك الكهربائي
91	الشكل (3-24) تغير قيم العزم الميكانيكي والكهربائي وسرعة الدوران وفقا للزمن ومع تكبير الهامش الزمني
92	الشكل (3-25) تغير قيم التوتر والتيار للمحرك الكهربائي
93	الشكل (3-26) تغير العزم الميكانيكي والكهربائي وسرعة الدوران وفقا للزمن
94	الشكل (3-27) تكبير هامش المدة الزمنية
95	الشكل (3-28) تغير التوتر والتيار للمحرك الكهربائي

97	الشكل (3-29) المحددات التشغيلية لمكدس خلايا الوقود المستخدم في بيئة ماتلاب
98	الشكل (3-30) علاقة كل من الجهد والاستطاعة لمكدس خلايا الوقود بالنسبة للتيار
98	الشكل (3-31) النموذج العام للدارة عند استخدام خلايا الوقود كمنبع تغذية
99	الشكل (3-32) منحنيات العزم الكهربائي والحمل الميكانيكي وسرعة دوران المحرك بالنسبة للزمن
100	الشكل (3-33) توضيح المدة الزمنية للتغير الحاصل في منحنيات العزم الكهربائي والحمل الميكانيكي وسرعة دوران المحرك
100	الشكل (3-34) منحني التيار والجهد الواصل للمحرك الكهربائي بالنسبة للزمن
101	الشكل (3-35) منحنيات العزم الكهربائي والحمل الميكانيكي وسرعة دوران المحرك بالنسبة للزمن
102	الشكل (3-36) توضيح المدة الزمنية للتغير الحاصل في منحنيات العزم الكهربائي والحمل الميكانيكي وسرعة دوران المحرك
103	الشكل (3-37) منحني التيار والجهد الواصل للمحرك الكهربائي بالنسبة للزمن
104	الشكل (3-38) منحنيات العزم الكهربائي والحمل الميكانيكي وسرعة دوران المحرك بالنسبة للزمن
105	الشكل (3-39) توضيح المدة الزمنية للتغير الحاصل في منحنيات العزم الكهربائي والحمل الميكانيكي وسرعة دوران المحرك
105	الشكل (3-40) منحني التيار والجهد الواصل للمحرك الكهربائي بالنسبة إلى الزمن
108	الشكل (4-1) كافة القوى المؤثرة على السيارة على طريق مائل
113	الشكل (4-2) مخطط صندوقي لتتابع العمليات الرياضية في الحالة الحسائية
117	الشكل (4-3) النموذج المفصل للبلوكات بكاملها لنماذج كافة المحددات

118	الشكل (4-4) النموذج العام الشامل لكامل البلوكات الفرعية مع دخله وخرجه
118	الشكل (5-4) تدفق العمليات في النموذج العام
120	الشكل (6-4) منحنيات قوى العزوم
121	الشكل (7-4) منحنيات قيم القوى
121	الشكل (8-4) منحنيات قيم الاستطاعة
122	الشكل (9-4) منحنيات قيم العزوم
122	الشكل (10-4) منحنيات قيم القوى
123	الشكل (11-4) منحنيات قيم الاستطاعة
124	الشكل (12-4) منحنيات قيم العزوم
124	الشكل (13-4) منحنيات قيم القوى
125	الشكل (14-4) منحنيات قيم الاستطاعة
125	الشكل (15-4) منحنيات قيم العزوم
126	الشكل (16-4) منحنيات قيم القوى
126	الشكل (17-4) منحنيات قيم الاستطاعة
131	الشكل (1-5) رسم ثلاثي المساقط للسيارة الكهربائية المصممة
132	الشكل (2-5) صورة واقعية للسيارة المصممة
133	الشكل (3-5) الشكل العام والنهائي للسيارة
138	الشكل (1-6) جهاز الدينامومتر المستخدم وتوضع السيارة عليه
138	الشكل (2-6) جهاز قياس سرعة الدوران (Tachometer)

139	الشكل (3-6) كيفية قياس سرعة دوران العجلات والمحرك
142	الشكل (4-6) منحنى قياس السرعة العظمى على العجلات القائدة دون حمل ومع حمل
143	الشكل (5-6) منحنى اختبار استطاعة المحرك عند 20 كم/سا مع حمل وبدون حمل
144	الشكل (6-6) منحنى قياس استطاعة المحرك عند 30 كم/سا مع حمل وبدون حمل

فهرس الجداول

رقم الصفحة	عنوان الجدول
10	الجدول (1-1) أنواع عدة من السيارات الكهربائية مع المواصفات الفنية والمميزات لها
11	الجدول (2-1) مقارنة بين بعض المؤشرات التصميمية للسيارات الكهربائية المتوفرة تجاريا
18	الجدول (3-1) مقارنة بين الدراسات المرجعية السابقة
23	الجدول (1-2) مقارنة بين أنواع المدخرات وفق محدداتها ومؤشراتها التشغيلية
26	الجدول (2-2) بعض أنواع خلايا الوقود ومحدداتها التشغيلية
32	الجدول (3-2) أهم مميزات المكثفات فائقة السعة مقارنة مع المكثفات العادية ومدخرات الليثيوم
40	الجدول (4-2) يبين بعض أنواع المحركات الكهربائية المستخدمة في السيارات الكهربائية
44	الجدول (5-2) يبين عدد الأسنان المستخدم مع نسب التغيير
114	الجدول (1-4) بعض محددات المحرك الكهربائي والسيارة المصممة
119	الجدول (2-4) قيم المحددات المعبرة عن أداء السيارة
130	الجدول (1-5) المحددات والأبعاد التصميمية للسيارة المنفذة
135	الجدول (2-5) التكاليف المالية للأعمال المنفذة
139	الجدول (1-6) نتائج قياس سرعة دوران المحرك والعجلات
140	الجدول (2-6) قيمة السرعة العظمى على العجلات القائدة دون حمل
140	الجدول (3-6) قيمة السرعة العظمى على العجلات القائدة مع حمل

141	الجدول (4-6) قيمة استطاعة المحرك من دون حمل عند 30 كم/سا
141	الجدول (5-6) قيمة استطاعة المحرك مع حمل عند 30 كم/سا
141	الجدول (6-6) قيمة استطاعة المحرك مع حمل ومن دون حمل عند 20 كم/سا
142	الجدول (7-6) التالي يبين قيمة السرعة العظمى المقاسة للسيارة خلال التجربة العملية حسب زمن التسارع
143	الجدول (8-6) قيم الاستطاعة مع حمل ودون حمل عند سرعة 20 كم/سا
144	الجدول (9-6) يبين تغير قيمة الاستطاعة الواصلة للعجلات القائدة خلال التجربة العملية لحين الاستقرار عند السرعة 30 كم/سا وفقاً للزمن
145	الجدول (10-6) يوضح النتائج النهائية التي تم الحصول عليها حسابياً وعملياً

فهرس الاختصارات والمصطلحات

الاختصار	المصطلح	الترجمة
EV	Electric vehicles	المركبات الكهربائية
NIMH	Battery Nickel-Mittel hydride	مدخرات نيكل-ميتيل هيدريد
FC	Fuel Cell	خلية وقود
FCV	Fuel Cell Vehicles	مركبات خلايا الوقود
PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell	خلية وقود ذات غشاء تبادل بروتوني
AFC	Alkaline Fuel Cell	خلية وقود قلوية
DMFC	Direct Methanol Fuel Cell	خلية وقود الميثانول المباشر
PAFC	Phosphoric Acid Fuel cell	خلية وقود أسيد الفوسفور
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell	خلية وقود الكربونات المنصهرة
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell	خلية وقود أكسيد الصلب
EMC	Electro Magnetic Compatibility	التوافق الكهرومغناطيسي
DC/DC	CONVERTER	المقطع أو المبدل
DC/AC	INVERTER	المعرج
–	Transformer	المحول
MCU	High performance Microcontroller	متحكم ذو أداء عالي

FWDS	Free Path Diodes	ديودات المسار الحر
IGBTs	–	نوع من الترانزستورات
MOSFETS	–	نوع من الترانزستورات
DC	Direct current	التيار المستمر
AC	Alternator current	التيار المتناوب
M	Motor	المحرك
C	Capacitor	المكثف
Ft	Tractive Force	قوة الجر
Pf	Rolling Resistance	مقاومة الدوران (التدحرج)
Pi	Grading Resistance	مقاومة التدرج (الميل)
Pw	Air Resistance	مقاومة الهواء
–	Dynamometer	منصة اختبار أداء السيارات
–	Tachometer	جهاز قياس سرعة الدوران
SOC	State of Charge	حالة شحن المدخرة
NiMH	Nickel Mittel Hydride	مدخرات نيكل ميتيل - هيدريد
NiCd	Nickel Cadium	مدخرات نيكل - كاديوم
Li – Ion	Lithium Ion	مدخرات الليثيوم أيون
Lead – Acid	Lead – Acid	مدخرات الحمض الرصاصية