

محاكاة استجابة محرك تحريضي ثلاثي الطور لبيان إمكانية استخدامه في التصميم العملي لسيارة كهربائية

ربيع عدنان علو*¹ مسلم طعمة² عباس صندوق³

*1. مهندس- طالب دكتوراه، قسم هندسة السيارات والآليات الثقيلة، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية،

جامعة دمشق، سورية. rabbehalo1@gmail.com

². أستاذ، قسم هندسة السيارات والآليات الثقيلة، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق،

سورية. MussallamTomeh@damascusuniversity.edu.sy

³. أستاذ، قسم الطاقة الكهربائية، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق، سورية.

AbbasSandok@damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

تبين لنا من خلال هذه الدراسة بأن العزم الكهربائي للمحرك التحريضي المستخدم أبدى استجابة مناسبة ومقبولة لحالات وظروف التشغيل والعمل التي تمت عليها عملية المحاكاة، مع مراعاة ظروف ومتطلبات التصميم العملي للسيارة الكهربائية المصممة المراد تنفيذها والتي من المفترض تركيب المحرك التحريضي الذي تمت عليه هذه الدراسة والاختبارات على هذه السيارة خلال تنفيذ التصميم العملي . بعد المحاكاة وجدنا أن كافة النتائج التي حصلنا عليها في هذه الاختبارات من خلال النمذجة والمحاكاة التي تمت في بيئة برنامج MatLab والتي تم توضيحها من خلال المنحنيات البيانية لكل حالة والتي تبين لنا استجابة المحرك التحريضي لحالات العمل التي تمت محاكاتها وفقا للتصميم المقترح للسيارة الكهربائية المصممة حيث كان العزم الكهربائي للمحرك التحريضي قادر على التغلب على كافة الحمولات التي طبقت عليه مع مراقبة استقرار سرعة دورانه وتغيرها الطفيف.

الكلمات المفتاحية: محرك تحريضي- استجابة المحرك- السيارة الكهربائية المصممة- الحمولة- سرعة الدوران.

تاريخ الابداع: 2022/11/8

تاريخ القبول: 2023/1/29



حقوق النشر: جامعة دمشق –
سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق
النشر بموجب CC BY-NC-SA

Simulating the response of a three-phase induction motor to show the possibility of its use in the practical design or an electric car

Received: 8/11/2022

Accepted: 29/1/2023



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Rabbeh Adnan Alo*¹ Mussallam Tomeh² Abbas Sandok³

*¹. Engineer, (PhD Student), Engineering Department of cars and heavy machinery, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Damascus University, Syria. rabbhalo1@gmail.com

². Professor, Engineering Department of cars and heavy machinery, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Damascus University, Syria.

MussallamTomeh@damascusuniversity.edu.sy

³. Professor, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Damascus University, Syria.

AbbasSandok@damascusuniversity.edu.sy

Abstract

Through this study, we found that the electric torque of the used induction motor showed an appropriate and acceptable response to the cases and conditions of operation and work on which the simulation process took place, taking into account the conditions and requirements of the practical design of the electric vehicle designed to be implemented and which is supposed to install the induction motor on which this study and tests were carried out on This car during the implementation of practical design .After simulation, we found that all the results that we obtained in these tests through the modeling and simulation that took place in the MatLab program environment, which were clarified through the graphical curves for each case, which show us the response of the induction motor to the simulated working conditions according to the proposed design of the designed electric vehicle where it was The electric torque of the induction motor is capable of overcoming all loads that were applied to it while observing the stability of its rotational speed and its slight change.

Key Words: induction motor - motor response - designed electric vehicle - load - rotational speed.

المقدمة:

تنتشر المحركات الكهربائية في مختلف مناحي الحياة وتطبيقاتها، وتعد المحركات الكهربائية التحريضية الأكثر انتشاراً ضمن السيارات الكهربائية حيث اعتمدت كبرى الشركات العالمية على هذا النوع من المحركات عند تصميم سياراتها حيث تعتبر هذه المحركات بسيطة التصميم والأكثر اقتصادية والأصغر من حيث القياس والوزن مقارنة مع محركات التيار المستمر، ولكن يعد مبدأ التحكم في هذه المحركات المستخدمة في السيارات الكهربائية هو الأكثر تعقيداً عند مقارنته مع مبدأ التحكم في محركات التيار المستمر. [1].

1- هدف البحث وأهميته:

خلال هذا البحث لن نتطرق إلى مبدأ التحكم والقيادة في عمل المحرك التحريضي المستخدم في السيارات الكهربائية كما أننا لسنا في صدد الدخول في المحددات التصميمية وبيان أفضل الحالات لهذا النوع من المحركات، حيث يتمحور هدف بحثنا في بيان استجابة المحرك التحريضي الموجود لدينا والذي من المفترض تركيبه على السيارة الكهربائية المراد تصميمها .

أما أهمية البحث فهي تنبع من إمكانية حصولنا على نتيجة تركيب هذا المحرك التحريضي في التصميم العملي للسيارة من خلال عملية النمذجة والمحاكاة التي سوف تتم قبل القيام بعملية التصميم والتركيب العملي وهل تركيب هذا المحرك خلال التصميم العملي يحقق الغاية المطلوبة منه ويمكن للسيارة المصممة من المسير، كما أن هناك أهمية إضافية لهذا البحث وهي تكمن في إمكانية مقارنة نتائج النمذجة والمحاكاة التي سنحصل عليها خلال هذا البحث مع النتائج العملية للتصميم العملي للسيارة الكهربائية المصممة ومعرفة نسبة التقارب والاختلاف في هذه القيم بعد إجراء التصميم العملي.

2- خطوات البحث:

كانت خطوات إعداد هذا البحث كالاتي:

- 1- دراسة مرجعية عن محركات تحريضية استخدمت في سيارات كهربائية تجريبية مصممة.
- 2- نمذجة المحرك الكهربائي التحريضي ثلاثي الطور وفق المحاور الثنائية d, q .
- 3- تصميم الدارات الفرعية لدارة النموذج العام ضمن بيئة MatLab لمحاكاة عمل المحرك الكهربائي.
- 4- وضع دارة النموذج العام النهائية لمحاكاة عمل المحرك.
- 5- الحصول على المنحنيات التي تبين مدى استجابة عمل المحرك الكهربائي وفقاً لظروف العمل المفروضة.
- 6- مناقشة النتائج النهائية ووضع المقترحات والتوصيات النهائية لموضوع البحث.

3- الدراسة المرجعية:

هنالك العديد من الدراسات العلمية المرجعية عن المحركات الكهربائية التحريضية ثلاثية الطور ومجالات تطبيقها والحالات الأمثل للمحددات اللازم اختيارها عند تصميم هذه المحركات، لكننا في بحثنا هذا سنقوم بذكر الدراسات المرجعية المشابهة لموضوع بحثنا والهدف من بيان استجابة المحرك الكهربائي التحريضي المحدد والمعروف من قبلنا والقادر على تلبية سير السيارة الكهربائية المصممة . قام الباحث Guzinski من جامعة كدانسك للتكنولوجيا باستخدام محرك تحريضي ثلاثي الطور باستطاعة 3 كيلوات وتوتر بين الأطوار 24 فولت وسرعة دوران 2835 دورة في الدقيقة كما قام باستخدام معرج توتر تغذية يقوم بتحويل التوتر المستمر الذي تعطيه البطاريات في السيارة إلى توتر متناوب، حيث أكد الباحث أن المحرك المقترح مع نظام قيادته يمكن أن يشكل حلاً فنياً واقتصادياً ملائماً للاستخدام في السيارات الكهربائية الحديثة مما له من مميزات بالمقارنة مع المحركات الأخرى من حيث الوزن والحجم والتمن و الوثوقية في التشغيل. [8].

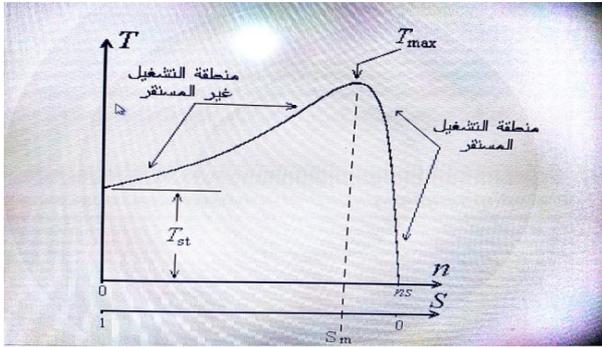
محاكاة استجابة محرك تحريضي ثلاثي الطور لبيان إمكانية استخدامه.....

علو، طعمة و صندوق

الكهربائية ولو أن أغلب الدراسات العملية والتصاميم الحديثة للسيارات الكهربائية تقوم باعتماد المحرك التحريضي ثلاثي الأطوار في تصاميمها رغم أنه أصعب من ناحية القيادة الكهربائية إلا أنه يؤمن لنا ظروف عمل ووثوقية أفضل في استجابة السيارة لمختلف حالات العمل والتشغيل التي من الممكن أن تتعرض لها السيارة.

4- الدراسة النظرية:

خلال هذه الدراسة سنوضح الخطوات التي قمنا بها من أجل بناء النموذج الحاسوبي العام للمحرك التحريضي الذي سنتم عليه عملية المحاكاة لبيان استجابة المحرك المستخدم وإمكانية إجراء التصميم العملي عليه وتركيبه على السيارة المصممة كما سنقوم ببيان جميع مكونات الدارات الفرعية التي شكلت مجتمعة النموذج العام للدارة . قبل شرح ما سبق ذكره سوف نقوم بداية في الشكل (1) بتبيان العلاقة بين العزم (T) والسرعة (n) أو العزم مع الانزلاق للمحرك التحريضي (S). [3].



الشكل (1) العلاقة بين العزم (T) والسرعة (n) أو الانزلاق للمحرك التحريضي (S)

حيث تعبر المعادلة التالية عن العلاقة الرياضية الأساسية النازمة للمتغيرات في المحرك التحريضي ثلاثي الطور، يعبر الانزلاق عن الفرق بين السرعة التزامنية (n_s) والتي هي سرعة المجال المغناطيسي الدوار مطروحة من سرعة الدائر (n) لتعطي سرعة الانزلاق n_{slip} ويحسب الانزلاق من المعادلة العامة التالية : $S = \frac{n_s - n}{n_s}$. تعطي علاقة سرعة دوران المحرك التحريضي بالعلاقة التالية :

أما الباحثون Bambang و Soebagio و Mauridhi من معهد التقنية الوطني في اندونيسيا فقد قاموا بعرض تصميم سيارة كهربائية صغيرة باستخدام بيئة ماتلاب في تموز عام 2011 حيث استخدم الباحثون مدخرات الحمض الرصاصية بتوتر إجمالي لهذه المدخرات بلغ 375 فولت ، كما استخدم الباحثون محرك تحريضي ثلاثي الأطوار توتره يساوي 60 فولت وتردده 60 هرتز ، مع مبدلة الكترونية تعتمد على مبدأ تعديل عرض النبضة . تم تركيب المدخرات والمحرك على هيكل سيارة من نوع هوندا لكي يتم تحويلها إلى سيارة كهربائية ، كما تم حساب العزم الميكانيكي اللازم للتحريك في وضعيات مختلفة وبسرعات مختلفة لكي يتم وضع النموذج الملائم لمحاكاة السيارة الكهربائية المصممة في بيئة برنامج ماتلاب [7].

هنالك باحثون آخرون ركزوا في تصميم السيارات الكهربائية على استخدام محرك التيار المستمر عوضاً عن المحرك التحريضي واعتبر أن هدف الدراسة لديه هو إدارة الطاقة بين المنابع المختلفة للطاقة التي يمكن استخدامها في تصميم السيارات الكهربائية مع المحرك المستخدم وليس نظام قيادة المحرك بحد ذاته . [10].

باحثون آخرون في كرواتيا عام 2009 قاموا بعرض نتائج بحثهم العلمي حول أداء نظام قيادة محرك التيار المستمر المستخدم في السيارة الكهربائية باستعمال النمذجة والمحاكاة في بيئة ماتلاب حيث تم إدراج معادلات تشغيل محرك التيار المستمر كما تم تحديد مميزات و بارمترات المحرك الذي ستجرى عليه التجارب العملية المخبرية، واعتماداً عليها تم وضع مخطط النمذجة والمحاكاة في بيئة ماتلاب وكانت النتائج المخبرية ونتائج النمذجة والمحاكاة التي تم الحصول عليها توضح مميزة السرعة كتابع للعزم لأجل بارمترات مختلفة للمحرك . [11].

قمنا باستعراض بعض الدراسات المرجعية التي استعملت في تصميم السيارات الكهربائية محرك التيار المستمر لنوضح بأن هذا النوع من المحركات موجود في بعض تصاميم السيارات

محاكاة استجابة محرك تحريضي ثلاثي الطور لبيان إمكانية استخدامه.....

علو، طعمة و صندوق

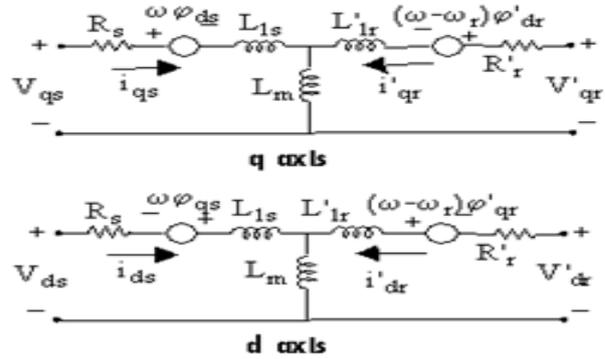
$$\begin{aligned}\varphi_{ds} &= L_s i_{ds} + L_m i'_{qr} \\ \varphi_{qs} &= L_s i_{qs} + L_m i'_{qr} \\ \varphi'_{qr} &= L'_r i'_{qr} + L_m i_{qs} \\ \varphi'_{dr} &= L'_r i'_{dr} + L_m i_{ds} \\ L_s &= L_{ls} + L_m \\ L'_r &= L'_{lr} + L_m \\ \frac{\partial \omega_m}{\partial t} &= \frac{1}{2H} (T_e - F \omega_m - T_m) \\ \frac{\partial \theta_m}{\partial t} &= \omega_m\end{aligned}$$

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

يتضح من هذه العلاقة بأنه يمكن تغيير سرعة دوران المحرك إما بتغيير السرعة التزامنية أو من تغيير عدد الأقطاب (p) أو التردد (f) أو الانزلاق (s). يعطى العزم الاسمي للمحرك الكهربائي بالعلاقة التالية كنسبة بين الاستطاعة مقدرة بالواط وعدد الدورات بالدقيقة $T_n = 9.55 \frac{P}{n}$ وتكون واحدته في هذه الحالة نيوتن.متر. [2]

أما نمذجة المحركات التحريضية فهي غالباً تتم بالاعتماد على جملة محاور دوارة ، أما عند دراسة حالة عابرة لدارات القيادة فإنه من الملائم أكثر استخدام جملة محاور ساكنة .

يبين الشكل (2) الدارات المكافئة للمحرك التحريضي ثلاثي الأطوار على المحورين d,q :



الشكل(2) الدارات المكافئة لمحرك تحريضي ثلاثي الأطوار على المحاور الثنائية d,q [14].

تعطى معادلات الجزء الكهربائي والميكانيكي للمحرك على الشكل الآتي [14]:

$$\begin{aligned}V_{qs} &= R_s I_{qs} \frac{\partial \varphi_{qs}}{\partial t} + \omega \varphi_{ds} \\ V_{ds} &= R_s I_{qs} \frac{\partial \varphi_{qs}}{\partial t} - \omega \varphi_{qs} \\ V'_{qr} &= R'_r I'_{qr} + \frac{\partial \varphi'_{dr}}{\partial t} + (\omega - \omega_r) \varphi'_{dr} \\ V'_{dr} &= R'_r I'_{dr} + \frac{\partial \varphi'_{qr}}{\partial t} + (\omega - \omega_r) \varphi'_{qr} \\ T_e &= 1.5p(\varphi_{ds} i_{qs} - \varphi_{qs} i_{ds})\end{aligned}$$

الجدول رقم(1) يوضح دلالات كافة الرموز الواردة في المعادلات السابقة:

الرمز	الدلالة
L_{ls}, R_s	المقاومة والمحارضة التسريعية للثابت
L_s	المحارضة الكلية للثابت
i_{ds}, V_{ds}	توتر و تيار الثابت وفق المحور d
ω_m	السرعة الزاوية لمحرك كهربائي ثلاثي الأطوار
ω_r	السرعة الزاوية الكهربائية وتعطى: $\omega_r = p \omega_m$
P	عدد أزواج الأقطاب
T_m	العزم الميكانيكي لمحرك كهربائي ثلاثي الطور
H	معامل العطالة للحمولة وممانعة المسار
L'_{lr}, R'_r	المقاومة والمحارضة التسريعية للدوار
i'_{dr}, V'_{dr}	توتر و تيار الدوار وفق المحور d
L_m	المحارضة المغناطيسية
I_{qs}, V_{qs}	توتر و تيار الثابت وفق المحور q
$\varphi_{ds}, \varphi_{qs}$	فيض الثابت وفق المحور q d
θ_m	زاوية موضع المحرك الكهربائي
Ω	السرعة الزاوية للإطار المرجعي
T_e	العزم الكهرومغناطيسي
F	معامل الاحتكاك
i'_{qr}, V'_{qr}	توتر و تيار الدوار وفق المحور q
$\varphi_{dr}, \varphi_{qr}$	فيض الدوار وفق المحور q d
L'_r	المحارضة الكلية للدوار

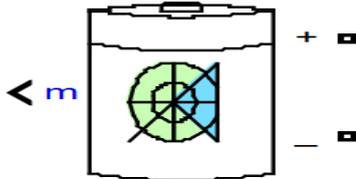
تتم عملية النمذجة للمحرك الكهربائي التحريضي ثلاثي الطور باستخدام جملة المعادلات السابقة لتمثيل كل من الجزء الميكانيكي والكهربائي للمحرك إضافة إلى جملة أخرى من المعادلات التي تعبر عن تحويلات بارك للانتقال من جملة المحاور الإحداثية الثلاثية إلى الثنائية أو بالعكس حيث تعبر هذه المعادلات عن قيم الجهود والتيارات للمحرك وهنا لسنا في

محاكاة استجابة محرك تحريضي ثلاثي الطور لبيان إمكانية استخدامه.....

علو، طعمة و صندوق

الطور قيد الدراسة من المفترض أن يتم استخدامه في سيارة كهربائية . [5] تم استخدام عناصر كهربائية بثلاث أذرع مع ديود (IGBT) ، كما تم تزويد النموذج بدارة للتحكم بنبضات المعرج ثلاثي الطور في هذه الدارة يتم وضع سرعة مرجعية وبناءً على هذه السرعة المرجعية وعلى السرعة المقاسة من دوران المحرك يكون الفرق بين هاتين السرعتين 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 .

في النموذج العام للدارة تم اعتبار أن منبع القدرة الذي يستمد المحرك الكهربائي التحريضي منه الطاقة اللازمة لإقلاعه هي بطاريات كهربائية تقليدية رصاصية مغلقة كما سيوضح النموذج النهائي العام للدارة لاحقاً كون هذه البطاريات هي من نفس نوع البطاريات التي سوف يتم استخدامها في التصميم العملي للسيارة، علماً أنه في أغلب السيارات الكهربائية المصممة من قبل الشركات يتم اعتماد بطاريات الليثيوم أيون لذلك سنكتفي في هذه المقالة بتوضيح رمز النموذج الكهربائي لبطاريات الليثيوم أيون ضمن برنامج الماتلاب عند إجراء نمذجة لهذا النوع من البطاريات كونها ليست محور دراستنا وبحثنا [9].



الشكل (3) رمز نموذج بطارية ليثيوم أيون -ماتلاب

5- النمذجة البرمجية وداراتها:

تم استخدام البيئة البرمجية ماتلاب للقيام بعملية النمذجة والمحاكاة والوصول إلى الشكل العام للنموذج المراد تصميمه لتجري عليه عملية المحاكاة لأداء وعمل المحرك التحريضي ثلاثي الأطوار، ولكن قبل الوصول إلى هذا النموذج سنقوم بوضع أشكال توضح هذه الدارات الفرعية التي تكون منها والتي سبق وأن بيننا مهمة ووظيفة كل واحدة منها .

صدد الحديث عنها وذكرها وسنكتفي بهذا القدر عن المعادلات الناظمة لنمذجة المحرك الكهربائي ثلاثي الطور . "يمكن للباحثين المختصين والمهتمين ببقية المعادلات قراءة المرجع [14] "

أما فيما يلي جدول يوضح محددات المحرك الكهربائي ثلاثي الأطوار الذي ستم عليه عملية النمذجة وله بلوك خاص في النموذج النهائي للدارة يوضحه وهو نفس مواصفات المحرك الكهربائي ثلاثي الأطوار الذي سيتم تركيبه عملياً خلال تصميم السيارة الكهربائية في حال كانت نتائج النمذجة إيجابية وتلبي حالات العمل التي سيتم محاكاتها .

الجدول رقم(2) يبين محددات ومواصفات المحرك

المحدد	القيمة
نوع المحرك	تحريضي ثلاثي الأطوار - قفص سنجابي -
الاستطاعة الاسمية	4 KW
التردد	50 HZ
سرعة دوران المحرك	1430 rpm
التوتر الاسمي	400 V

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

1. دارة 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. [6] كما تم تزويد 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 .

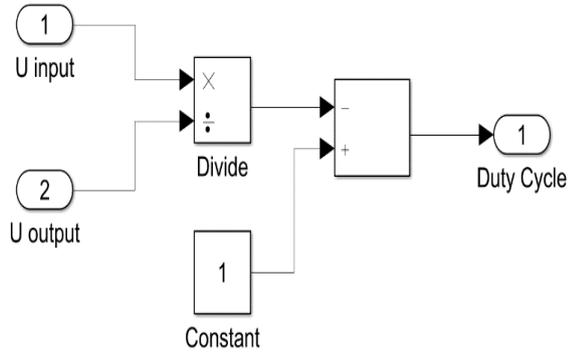
2. دارة المعرج ثلاثي الطور حيث يقوم المعرج بتحويل التيار المستمر DC إلى تيار ثلاثي الطور متناوب AC ليلائم متطلبات التردد من أجل السرعة كون المحرك الكهربائي ثلاثي

محاكاة استجابة محرك تحريضي ثلاثي الطور لبيان إمكانية استخدامه.....

إضافة لهذه الدارات الأساسية التي سبق ذكرها تم تزويد هذا النموذج بدارة لتحويل التوتر والتردد المرجعي لتوتر ثلاثي الطور من أجل أن تدخل إلى دارة مولد النبضات، مع العلم أن المعرج مكون من 6 قواطع، وهذا يعود وفقا لكل دارة وشروطها واستجابتها، كما تم استخدام عناصر من بيئة ماتلاب (WORKSPACE) من أجل رسم المنحنيات المطلوبة وعرضها بالشكل المناسب، وتم أخذ القراءات من المحرك، وهي إشارة (Te) العزم الكهربائي والذي يجب أن يغطي عزم الحمولة ويزيد عليه لنحقق المطلوب ألا وهو سير السيارة المراد تصميمها وتغلبها على المقاومات الممانعة لحركتها .

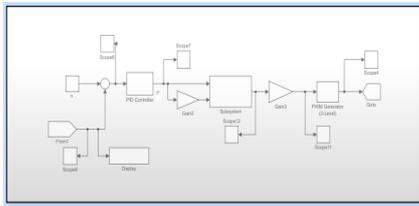
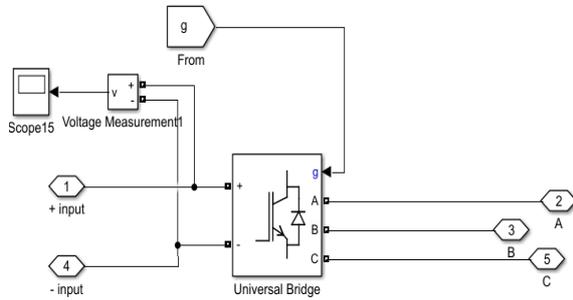
أما الآن سنوضح أشكال الدارات المصممة نمذجيا مع الدارة النهائية للنموذج العام :

علو، طعمة و صندوق



الشكل(5) دارة التحكم في المقطع التفرعي

3. دارة المعرج ثلاثي الطور:

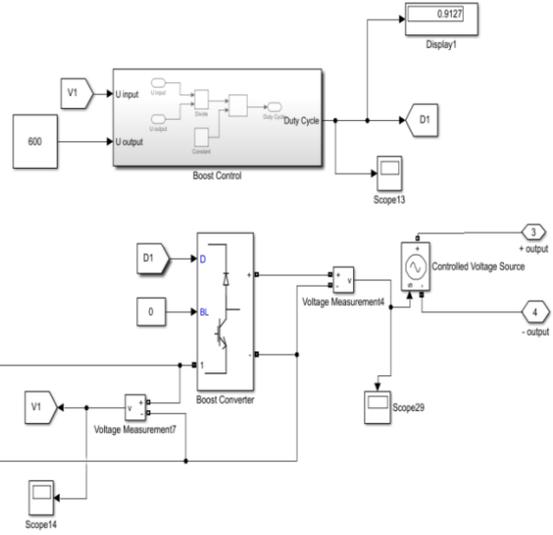


الشكل(6) دارة المعرج ثلاثي الطور

دارة التحكم بنبضات المعرج ثلاثي الطور:

-4

1. دارة المقطع التفرعي:

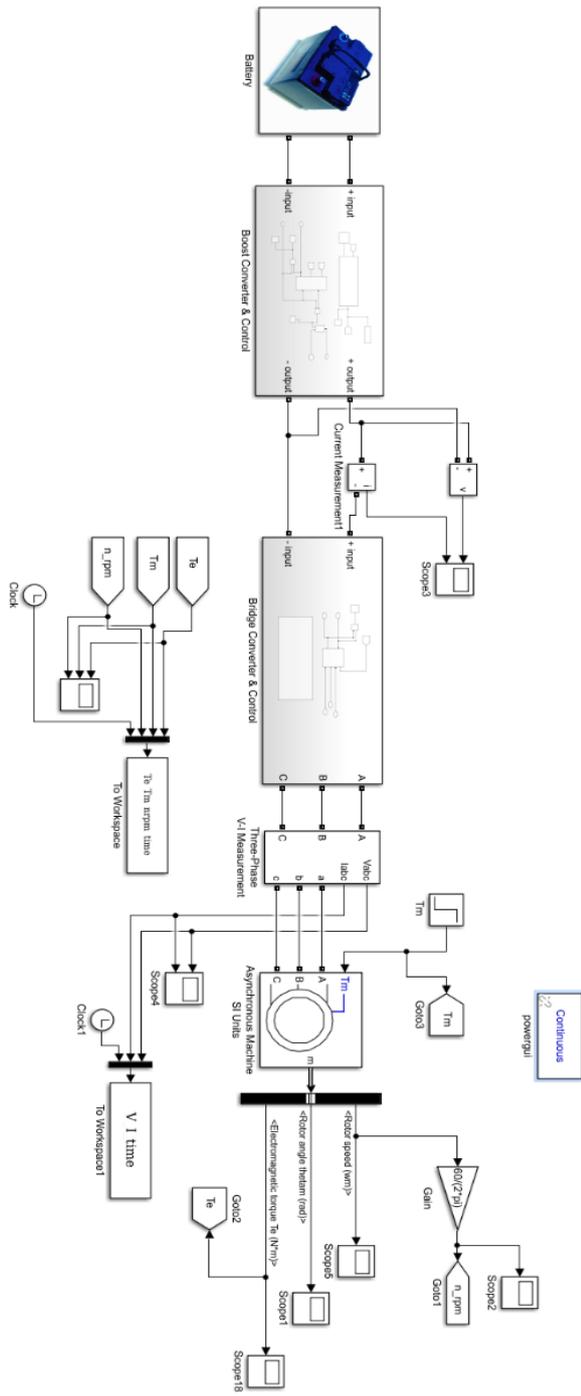


الشكل(4) دارة المقطع التفرعي

2. دارة التحكم في المقطع التفرعي DUTY CYCLE:

محاكاة استجابة محرك تحريضي ثلاثي الطور لبيان إمكانية استخدامه.....

علو، طعمة و صندوق

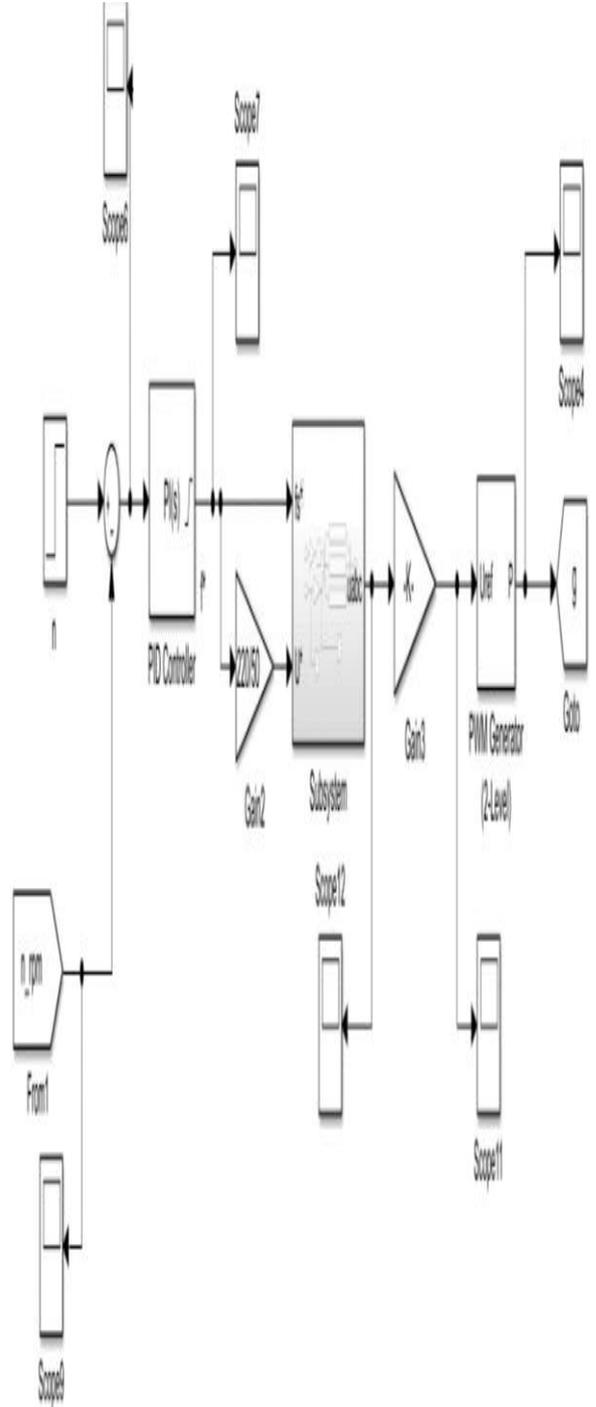


الشكل (8) النموذج النهائي العام للدارة

النتائج والمنحنيات البيانية:

-6

أجريت عدة حالات عمل في بيئة ماتلاب، وهي حالات عمل مختلفة تحاكي تغيرات الحمولة عند سرعة دوران محددة أو متغيرة للمحرك التحريضي وفقا لشروط وظروف العمل والتي



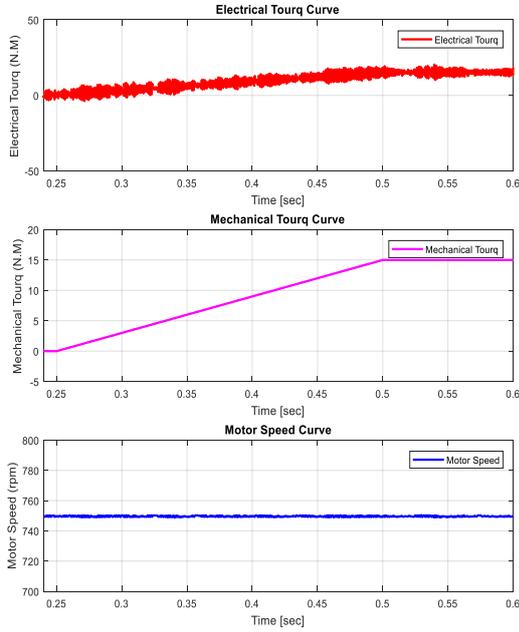
الشكل (7) دارة التحكم بنبضات المعرج ثلاثي الطور

الدارة النهائية العامة للنموذج

-5

محاكاة استجابة محرك تحريضي ثلاثي الطور لبيان إمكانية استخدامه.....

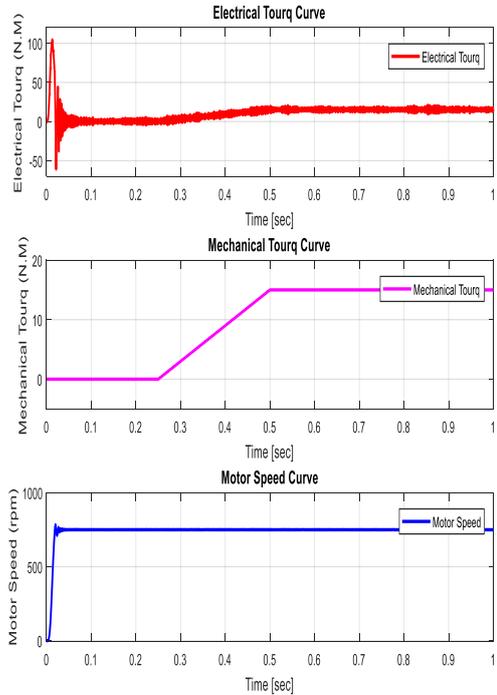
علو، طعمة و صندوق ومدى تأثر سرعة المحرك الكهربائي بها (تصغير المجال الزمني عند لحظة التغير) يبين الشكل(10) هذه المنحنيات.



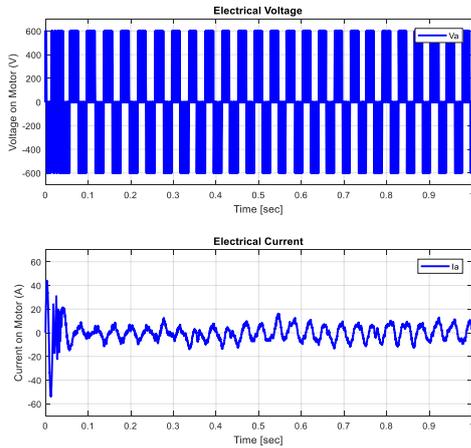
من الممكن أن يتعرض لها خلال عمله واستثماره في السيارة الكهربائية المصممة.

الحالة الأولى:

في هذه الحالة، تم تغيير الحمولة في هذه الحالة من 0 إلى 15 نيوتن.متر، مع تثبيت سرعة دوران المحرك $n=750$ r.p.m. تبين مجموعة الأشكال التالية منحنيات العمل الناتجة، حيث يعبر المنحني الأول عن تغير العزم الكهربائي مع الزمن عند تغير الحمولة، أما المنحني الثاني، يبين تغير الحملات المطبقة على محور المحرك، والمنحني الأخير يبين سرعة المحرك الكهربائي وذلك بالنسبة للزمن.



الشكل (10) منحنيات تغير العزم الكهربائي والحمولة و سرعة الدوران للمحرك الكهربائي وفقا للزمن مع تحديد مجال الزمن -عند تغير الحمولة يبين المنحنيان التاليان تغير قيم التوتر والتيار للمحرك



الشكل (9) منحنيات تغير العزم الكهربائي وعزم الحمولة وسرعة دوران المحرك الكهربائي وفقا للزمن

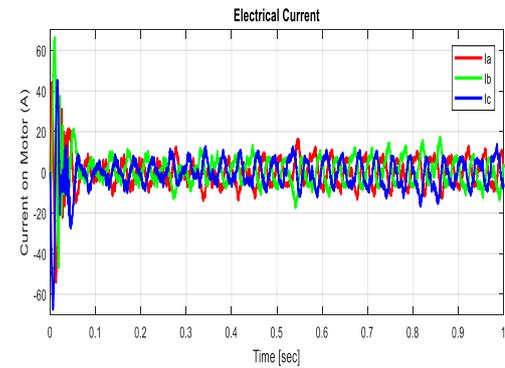
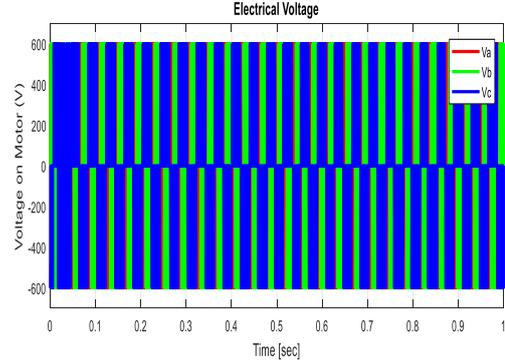
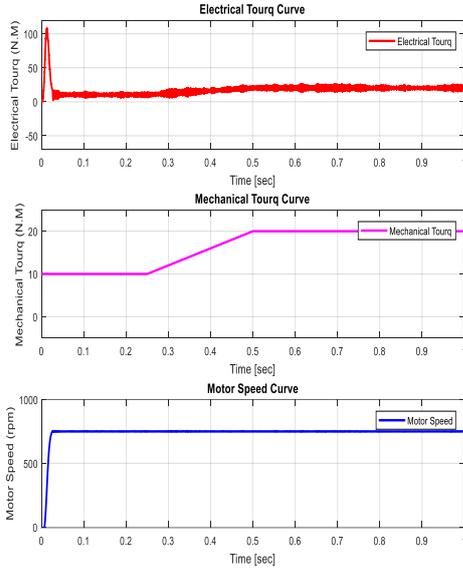
حيث تبين المنحنيات استجابة عمل المحرك مع تغير العزم عند سرعة ثابتة.

نبين في المنحنيات التالية والتي هي جزء من المنحنيات السابقة المجال الزمني للحظة التغير في الحمولة التي حصلت

الشكل (11) منحنيات تغير التوتر والتيار للمحرك الكهربائي وفقا للزمن تظهر المنحنيات المبينة في الشكل(12) توترات الأطوار الثلاث للمحرك وسنكتفي بعرضها في هذه الحالة فقط (دون استخدام فلاتر).

محاكاة استجابة محرك تحريضي ثلاثي الطور لبيان إمكانية استخدامه.....

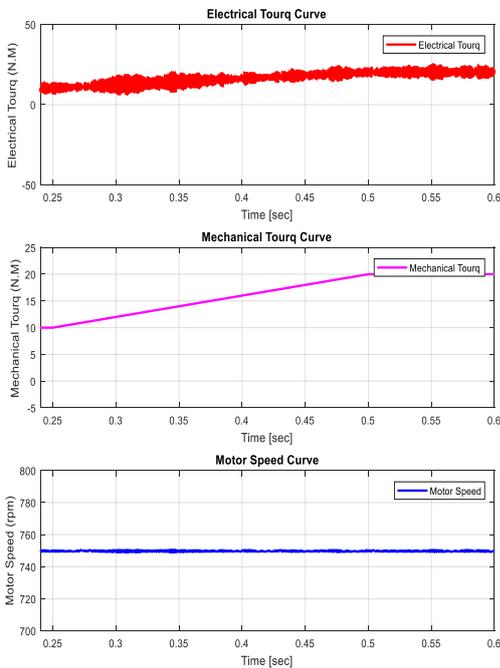
علو، طعمة و صندوق



الشكل (13) منحنيات تغير العزم الكهربائي والحمل و سرعة الدوران

للمحرك الكهربائي وفقا للزمن

تبين الأشكال التالية النتائج ولكن عند عرضها بشكل أدق زمنيا (عند لحظة تغير الحمولة).



الشكل (12) منحنيات تغير التوتر والتيار للأطوار الثلاثة للمحرك الكهربائي وفقا للزمن وبدون فلاتر

الحالة الثانية:

في هذه الحالة، تم تغيير الحمولة من 10 إلى 20 نيوتن. متر، مع تثبيت سرعة دوران المحرك $n=750$ r.p.m. . تبين الأشكال التالية حالات العمل، حيث يعبر المنحني الأول عن التغير للعزم الكهربائي بالنسبة للزمن عند تغير الحمل المطبق، أما المنحني الذي يليه فهو يبين تغير قيمة الحمل خلال الزمن، والمنحني الأخير يبين قيمة سرعة المحرك وذلك بالنسبة للزمن.

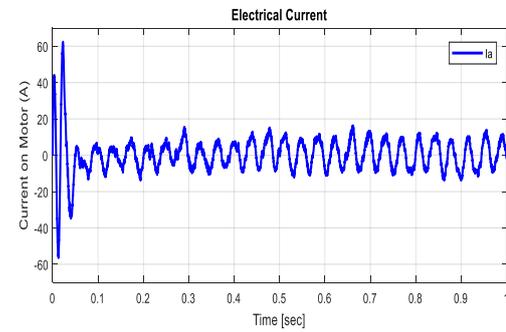
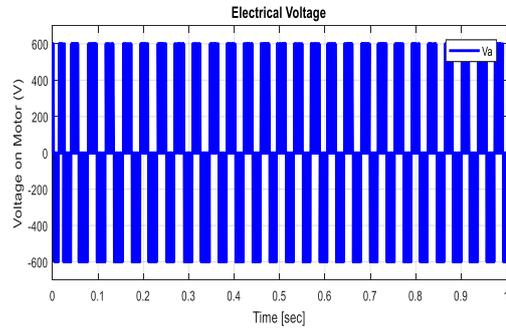
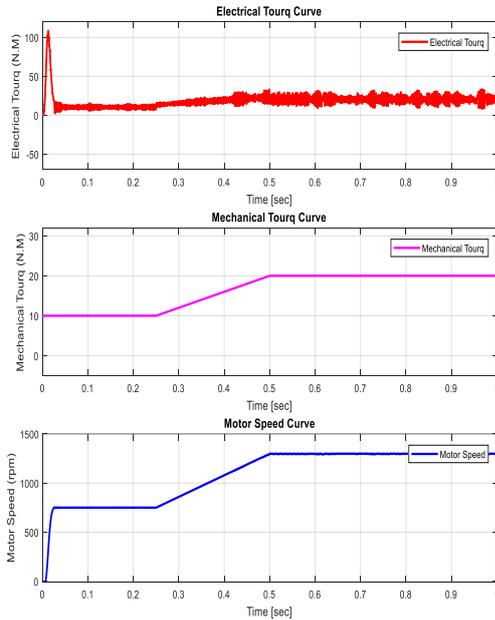
الشكل (14) منحنيات تغير العزم الكهربائي والحمل و سرعة الدوران

للمحرك الكهربائي وفقا للزمن عند لحظة تغير الحمولة

علو، طعمة و صندوق

محاكاة استجابة محرك تحريضي ثلاثي الطور لبيان إمكانية استخدامه.....

يبين الشكل (15) توتر وتيار المحرك (دون استخدام فلاتر).



الشكل (16) منحنيات تغير العزم الكهربائي والحمل و سرعة الدوران

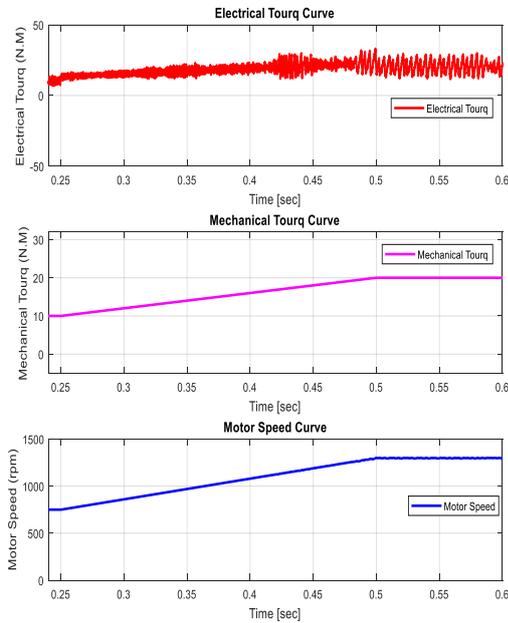
للمحرك الكهربائي وفقاً للزمن

وتعرض المنحنيات التالية الإشارات عند لحظة التغير لكل من السرعة والحمولة

الشكل (15) منحنيات تغير التوتر والتيار للمحرك الكهربائي وفقاً للزمن

الحالة الثالثة:

تم فيها تغيير قيمة كل من السرعة والحمولة كما يلي $T_m=10$ - 20N.m , $n=750\text{-}1400\text{ r.p.m}$ المحرك في هذه الحالة. حيث يعبر المنحني الأول عن كيفية التغير للعزم الكهربائي بالنسبة للزمن عند تغير كل من الحمل المطبق وتغير سرعة دوران المحرك أيضاً ، أما المنحني الذي يليه فهو يبين تغير قيمة الحمل خلال الزمن، والمنحني الأخير يبين تغير سرعة المحرك وذلك بالنسبة للزمن.



الشكل (17) منحنيات تغير العزم الكهربائي والحمل و سرعة الدوران

للمحرك الكهربائي وفقاً للزمن

محاكاة استجابة محرك تحريضي ثلاثي الطور لبيان إمكانية استخدامه.....

علو، طعمة و صندوق

في حالة التشغيل الأخيرة، فقد تبين أنه عند تغيير قيمة كل من الحمولة وسرعة دوران المحرك حيث احتاج التغيير في الحمولة الميكانيكية لفترة زمنية قصيرة لينتقل إلى الحمولة الجديدة ويستقر عليها ، كما أن تغيير سرعة الدوران وزيادتها إلى سرعة الدوران الجديدة المطلوبة فقد احتاج إلى فترة زمنية قصيرة أيضا لتستقر بعدها سرعة الدوران على القيمة المطلوبة حوالي ربع ثانية للحالتين، أما العزم الكهربائي للمحرك فقد حدث تذبذب في قيمه لفترة زمنية أقصر بعد حصول التغيرات في الحمولة وسرعة الدوران ليعود بعدها للاستقرار على القيم الجديدة الموافقة للتغيرات التي حصلت.

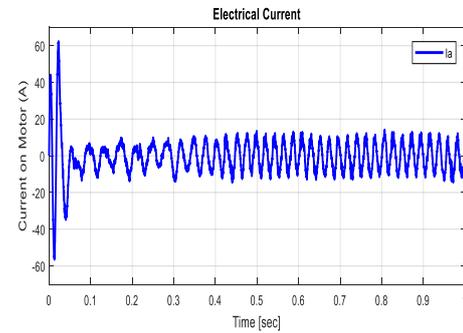
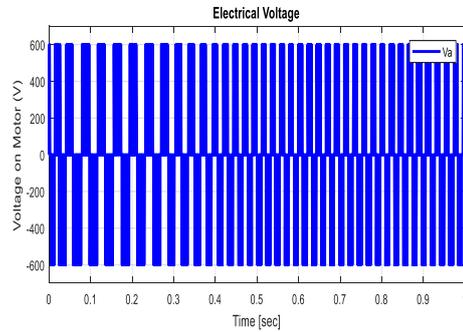
الخلاصة والتوصيات:

يتضح مما سبق ومن خلال مناقشة النتائج للمنحنيات البيانية لحالات العمل السابقة التي اكتفينا بذكرها هنا علماً أنه تم تجريب حالات عمل مختلفة لسنا بصدد ذكرها هنا كون السيارة التي سيتم تصميمها سنكتفي بمرحلتها إقلاع لها لسرعة دوران المحرك (متوسطة - عالية).

أن هذه التغيرات التي حصلت لكل حالة هي تغيرات طفيفة ولا تذكر من ناحية الزمن حيث يمكن لنا اعتبار الاستجابة التي أباها المحرك الكهربائي ثلاثي الطور لحالات العمل المختلفة كانت منطقية وسريعة وتلبي الأهداف المطلوبة في حال التطبيق العملي حيث لا يمكن لنا أن نلاحظها أبداً خلال التطبيق العملي ويمكن الشعور بها بشكل طفيف جداً كونها لم تتجاوز النصف ثانية ولا في أي حالة من الحالات السابقة .

أما فيما يخص المقترحات والتوصيات بالنسبة للدراسات المستقبلية فإنه يمكننا إعادة الدراسة السابقة على المحرك الكهربائي مع تغيير منبع القدرة من خلال استخدام مكثف خلايا وقود عوضاً عن البطاريات وإجراء المحاكاة الحاسوبية لاستجابة المحرك الكهربائي في هذه الحالة وما هي التغيرات التي سوف تطرأ على استجابته وأدائه إن وجدت مع تحديد الخواص التشغيلية لمكثف خلايا الوقود المستخدم للقيام بما

يوضح الشكل(18) توتر وتيار المحرك (دون فلاتر)



الشكل(18)منحنيات تغير التوتر والتيار للمحرك الكهربائي وفقاً للزمن

7- مناقشة النتائج:

الحالة الأولى والحالة الثانية:

يتضح من المنحنيات البيانية السابقة أنه مع زيادة الحمل المطبق على محور دوران المحرك في هاتين الحالتين وعند سرعة دوران ثابتة سواء أكان الحمل من حالة اللاحمل (صفر) إلى قيمة حمل معينة أو خلال انتقال الحمل من قيمة تحميل معينة إلى قيمة أكبر منها ، وجدنا أنه لم تتأثر سرعة الدوران بهذه الزيادة بل حافظت على سرعة ثابتة مع استقرار في دوران المحرك، أما العزم الكهربائي المطبق فقد ازداد ليغطي الزيادة الحاصلة في الحمولات وكانت سرعة الاستجابة لهذه الزيادة الجديدة بشكل شبه لحظي أي أن فترة الاستجابة الزمنية صغيرة، ليستجيب خلالها المحرك الكهربائي لهذه الزيادة من أجل تغطية الحمولات الإضافية، كما أن المحرك التحريضي حافظ على توتره وتياره خلال ذلك.

الحالة الثالثة:

علو، طعمة و صندوق

محاكاة استجابة محرك تحريضي ثلاثي الطور لبيان إمكانية استخدامه.....

هو مطلوب منه ، كما يمكن لباحثين آخرين مختصين في هذا المجال إعادة البحث مع استخدام محرك كهربائي تسلسلي عوضاً عن التحريضي ومقارنة النتائج والتغيرات التي قد تحصل على الاستجابة بالنسبة للحالة المدروسة.

تنويه:

لا بد من الإشارة إلى أن كافة الأرقام المفروضة للحمولات التي تعرض لها المحرك والتي تمت عليها عمليات النمذجة لم تكن عشوائية حيث أنها أخذت وفقاً لدراسة نظرية تمت لتصميم السيارة الكهربائية بينت لنا هذه الدراسة أن المحرك الكهربائي الذي تمت عليه هذه الدراسة يمكن استخدامه على السيارة المطلوب تصميمها مع الأخذ بعين الاعتبار كافة المقامات التي تتعرض لها السيارة خلال حركتها وتأثير ذلك على عمل المحرك الكهربائي المدروس، حيث وجدنا خلال هذه الدراسة أن المحرك الكهربائي المدروس يعطي خرج عزمياً عظيماً قدره تقريباً (30 N.M) وبناءً عليه تم اختيار هذه القيم للحمولات التي قد يتعرض لها المحرك المدروس ضمن مجال العزم الأعظمي. يتم العمل على تصميم سيارة كهربائية كاملة مخبرية وفي هذا التصميم أخذ بعين الاعتبار أن كافة القوى والعزوم المقاومة لحركة السيارة يجب أن لا تزيد تحت أي ظرف عن قيمة عزم التحريك الواصل للعجلات القائدة والوارد من خرج المحرك الكهربائي ثلاثي الأطوار، هذا البحث سيتم توضيحه بالتفصيل في مقال علمي منفصل لاحقاً.

يمكن مراجعة الدراسات المرجعية [7,8].

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم

التمويل(501100020595).

محاكاة استجابة محرك تحريضي ثلاثي الطور لبيان إمكانية استخدامه.....

علو، طعمة و صندوق

15. " تطوير منهجية التحكم المباشر بالعزم باستخدام المنطق العائم "، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، العدد الثاني 2021.

References:

1. Robert Bosch Gmph ,Automotive (BOSCH) Handbook ,2002.
2. Electric Machines, M. S. Sarma, West Publishing Company,1994.
3. Electric Machinery Fundamentals, Stephen J . Chapman,McGRAW-Hill, 1991.
4. MAT LAB 2017 a .
5. R. Saito et al., "High power density inverter technology for automotive applications," Ingénieurs de l'Automobile, No. 825 (2013). Hitachi Review Vol. 63 (2014), No. 6.
6. K. Nakatsu et al., "Development of Technologies to Cut in Half Floor Space Required for Power Modules on Inverters for Electric and Hybrid Automobiles," Hitachi Review 61,p. 80 (Aug. 2012).
7. Bambang Sri Kaloko, Soebagio, Mauridhi Hery Purnomo,"Design and Development of Small Electric Vehicle Using MATLAM/SIMULINK". Institute of Technology, Indonesia, 2011.
8. Guzinski, J. "Sensorless induction motor drive for electric vehicle application".Gdansk University of Technology, Poland, 2011.
9. BABOSELAC, I.; HEDERIC, 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.
10. A.SANDOUK, GH.WARKOZEK, W.SAEED, ' Real Time Control of (Fuel Cells-Converters) System for Electric Vehicle Traction Motor "Damascus University, 2018.
11. Miklosevic, Kresimir; Spoljaric, Zeljko & Jerkovic, Vedrana. " Analysis of Electric DC Drive Using Matlab Simulink and SimPower Systems". Strossmayer University of Osijek, Croatia. 2009.
12. Krause, P.C, O. Wasynczuk, and S.D. Sudhoff, Analysis of Electric Machinery, IEEE Press, 2002.
13. Farhan A. Salem, MODELING AND CONTROL SOLUTIONS FOR ELECTRIC VEHICLES, European Scientific Journal May 2013 edition vol.9, No.15 ISSN: 1857 –7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.

14. م. العريفي أحمد، د. الشرع رائد، د. محمود سلام.