مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (4) العدد(7) 2020
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (4) No. (7) 2020

تنظيم عملية إعادة القدرة إلى المنبع لعربة كهربائية

مرام ناصر *

(تاريخ الإيداع 6/11 /2020. قُبِل للنشر في 7 /10/ 2020)

□ ملخّص □

تم في هذا البحث استرجاع الطاقة الحركية لعجلات عربة كهربائية إلى البطارية على شكل تيار مستمر منظم بدلاً من ضياعها على شكل حرارة، تمهيداً لتطبيق ذلك بشكل أوسع في العربات والقطارات والمصاعد الكهربائية، عن طريق استخدام مقطع تيار مستمر (رافع – خافض) للجهد يسمح لمحرك التيار المستمر بالعمل في الربعين الأول والثاني من أجل استعادة الطاقة الراجعة من المحرك أثناء الكبح في إعادة شحن مدخرة يستفاد منها في تخزين القدرة الكهربائية.

تم دراسة وتنفيذ نظام الكبح باستخدام محرك كهربائي DC Motor، وتمت مراقبة التيار الراجع إلى البطارية عند نزول العربة على منحدر، مع إمكانية تنظيم عملية الشحن بتقنية تعديل عرض النبضة PWM ومعايرتها بواسطة مقاومة متغيرة لتخفيض السرعة عند الكبح، إضافة إلى محاكاة عمل مقطع التيار المستمر ورسم نبضات الشحن على راسم الإشارة للتحقق من كمية القدرة التي يمكن توليدها أثناء عملية الكبح.

بالنتيجة يعتبر الكبح بإعادة القدرة إلى المنبع أفضل طرق الكبح نظراً لأنه يحسن مردود نظام القدرة الكهربائي في العربات الكهربائية التي تستمد طاقتها من الألواح الشمسية.

كلمات مفتاحية: الكبح المتجدد، استعادة القدرة، العربات الكهربائية، مقطع التيار المستمر.

* خريجة ماجستير قسم الأتمتة الصناعية – كلية الهندسة التقنية – جامعة طرطوس – طرطوس – سورية.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (4) العدد(7) 2020
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (4) No. (7) 2020

Organizing the process of returning power to the source of an electric vehicle

Maram Nasser*

(Received 11/6/2020. Accepted 7/ 10/2020)

□ ABSTRACT □

In this research, the kinetic energy of the wheels of an electric car was recovered to the battery in the form of a DC regulated current, instead of heat loss, in order to apply it more widely in the vehicles, trains and elevators by using DC chopper to operate in the first and second quarters to restore engine power during braking in recharging a reuse to store power.

The braking system was studied and implemented using a DC chopper, and the battery current was monitored when the vehicle descended on a slope. The charging process was regulated by PWM and calibrated with variable impedance to reduce braking speed, Load pulses on the signal generator to verify the amount of power that can be generated during the braking process.

As a result, braking by restoring power to the source is the best method of braking because it improves the efficiency of the electric power system in electric vehicles that are powered by solar panels.

Keywords: Regeneration braking, Restoration of energy, Electric vehicles, DC Chopper.

*Master Graduate, Department of Industrial Automation; Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Tartous, SYRIA.

1. مقدمة :

نظام الكبح بإعادة القدرة إلى الشبكة مستخدم في معظم المركبات الكهربائية Electrical–Vehicles (سيارات وقاطرات وحافلات Trolleybuses... الخ) وبشكل متطور جداً بالاعتماد على المكثفات التي تدعم المدخرات الكهربائية أو خلايا الوقود Fuel Cells في نظم التغذية.

لهذه النظم وظائف متعددة في التطبيقات المذكورة أهمها امتصاص القدرة الكهربائية خلال مدة الكبح ليعاد استخدام هذه القدرة في تغذية تجهيزات عدة، وهذا يمكن أن يحسن كفاءة النظام الكهربائي في العربة.

إن خصائص عملية الكبح متغيرة وخاصةً الاستطاعة، فالاستطاعة تعتمد على وزن العربة وشدة الكبح. من المهم معرفته عند التصميم هو أن الاستطاعة العظمى الناتجة عن عملية الكبح لا يمكن أن تزيد عن مجموع الاستطاعات العظمى المولدة من المحركات.

تبدأ عملية استعادة القدرة بتحسس مرحلة الكبح وذلك من خلال تحسس ارتفاع التوتر بشكل واضح على قطبي محرك التيار المستمر لمدة كافية (من رتبة الثانية).

من حيث المبدأ يمكن استخدام نظام الكبح باستعادة القدرة الكهربائية بتخفيض استهلاك العربة حوالي 20% إلى 30% وذلك في الحافلات الكهربائية حسب المرجع [1].

2. إشكالية البحث:

تقديم دراسة عن إمكانية تنفيذ نموذج لتحقيق عملية الكبح مع إعادة القدرة إلى المنبع للاستفادة منها في تحويل الطاقة الحركية لعجلات العربة إلى طاقة كهربائية عائدة إلى البطارية، وتنظيم عملية الشحن بحيث تبقى مستقرة ضمن مجال محدد لحماية البطارية من الشحن الزائد.

3. أهمية البحث و أهدافه:

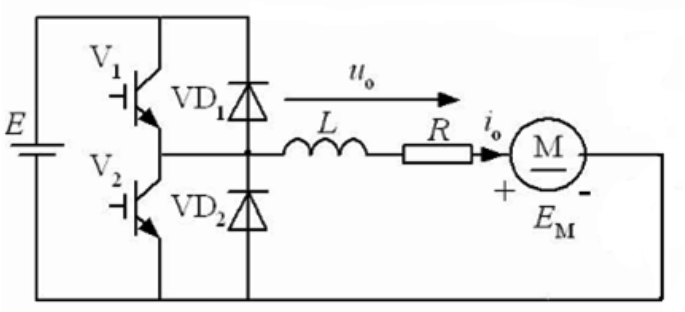
يهدف هذا البحث إلى تقديم الدراسة التصميمية لنظام استعادة القدرة من عجلات العربات على اختلاف أنواعها ويعتمد على دارة مقطع تيار مستمر خافض– رافع للجهد مع دارة تحكم لتنظيم عملية استعادة القدرة بتعديل عرض نبضة قدح المفاتيح الالكترونية الخاصة بالمقطع، وتصميم نموذج للتحقق من إمكانية التنفيذ. هذا النظام صديق للبيئة، يعتمد على مصدر متجدد للطاقة وهي طاقة الكبح مع إعادة القدرة إلى المنبع، مناسب ليستخدم في العديد من التطبيقات المتحركة التي لها عجلات كعربات البائع الجوال والسيارات الكهربائية والدراجات الآلية أو اليدوية، ويعتبر مناسباً جداً للاستخدام في توفير الطاقة بدلاً من تبديدها بشكل حراري، حيث تستخدم هذه الطاقة في الإنارة أو تشغيل بعض التقنيات الأخرى في العربات.

4. لمحة نظرية حول نظام تخزين طاقة الكبح مع إعادة القدرة إلى المنبع:

إن الهدف الأول لاستخدام نظام تخزين الطاقة في هذا النوع من العربات هو استعادة القدرة الكهربائية، وحتى يكون الاستخدام مناسباً لا بد من أن يحقق نظام التخزين شرطين أساسيين:

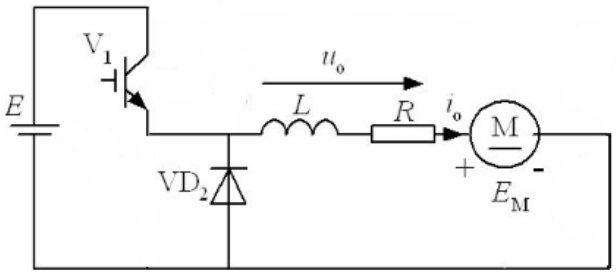
1. شرط تصميمي: أن تكون سعة نظام التخزين من حيث الاستطاعة والقدرة أكبر من الاستطاعة المنتجة في عملية الكبح.

2. شرط إدارة الطاقة: هو أن تكون حالة الشحن لنظام التخزين ضعيفة في لحظة الكبح حتى يمكن استعادة أكبر قدر من قدرة الكبح، في السيارات الكهربائية الهجينة استخدمت مبدلات القدرة من نوع مقطعات التيار المستمر الخافضة – الرافعة للتوتر (Buck–Boost) لشحن المدخرة وتفريغها، حيث يعمل المحرك في الربعين الأول والثاني، وذلك يسمح بمرور الاستطاعة باتجاهين كما في المرجع [2].



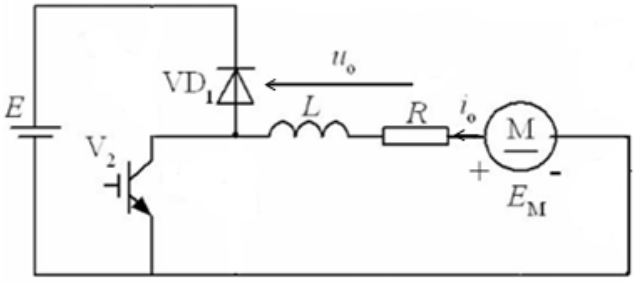
الشكل (1) مخطط دارة المقطع Buck–Boost.

في الربع الأول يتشكل لدينا مقطع تسلسلي أو مقطع التضعيف Buck Chopper حيث يكون الجهد على الحمل أقل من جهد الدخل لذا يمكن اعتبارها مقطعات خفض حيث تعمل الآلة كمحرك ويكون عزمها عزم مقاوم. حيث تبدأ هذه المرحلة عند توصيل الترانزستور يبدأ تيار الدخل بالتزايد عبر الملف والحمل، في هذه المرحلة يقدم المنبع الطاقة إلى الخرج والملف.



الشكل (2) الدارة المكافئة للمقطع Buck في حال العمل كمحرك.

في المرحلة الثانية عند فتح الترانزستور يقوم الديود الحر بتأمين الحلقة المغلقة لتيار الحمولة عن طريق الملف والحمل، ويتناقص تيار الملف في هذه المرحلة حتى يصل إلى القيمة الابتدائية لتيار الدخل.



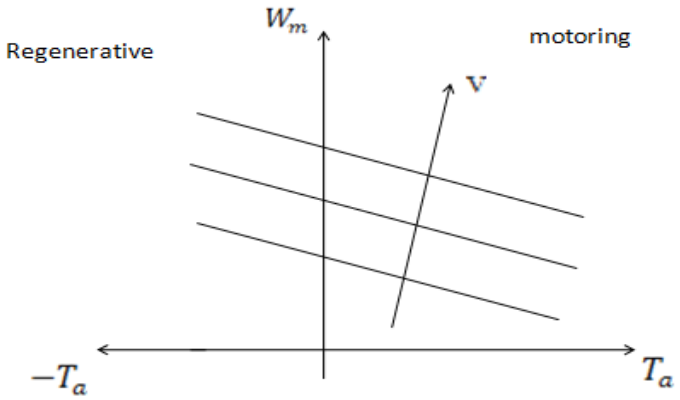
الشكل (3) الدارة المكافئة للمقطع Boost في حال العمل كمولد.

في الربع الثاني تعمل الآلة كمولد ويكون عزمها عزم مساعد حيث يستخدم مقطع التيار المستمر في عمل الفرملة بإعادة القدرة إلى المنبع. حيث عند وصل الترانزستور فإن التيار في دارة المتحرض سيزداد بشكل كبير بسبب

القصر على أطراف المحرك، وفي تلك الفترة سيتم تخزين الطاقة في ملفات المحرض و المتحرض وعند فتح القاطع أو الترانزستور فإن الطاقة التي تم اختزانها في الملفات خلال فترة تشغيل المفتاح سيتم تفريغها أي نقلها إلى المنبع من خلال الديود، وعندما تقل الطاقة المختزنة يتم توصيل المفتاح مرة أخرى ثم يفصل وهكذا.. وبتكرار عملية الوصل والفصل يتم استعادة طاقة الحركية بدلاً من تبديدها بشكل حراري.

تعد هذه الطريقة أكثر اقتصادية لأنها تعتمد على تحويل نظام المحرك إلى مولد مع إعادة القدرة إلى المنبع. تستطيع المحركات ذات التهييج التفرعي الانتقال آلياً إلى نظام الفرملة مع إعادة القدرة إلى المنبع عندما تزداد سرعة دورانها وتصبح أعلى من سرعة الدوران على فراغ، وتعاد القدرة الحاصلة نتيجة تحويل الطاقة الحركية للكتلة الدائرة إلى طاقة كهربائية تعود إلى المنبع، حيث يمكن الاستفادة منها كطاقة مغذية لإعادة شحن المدخرات [3].

ترسم المميزة الميكانيكية على يسار محور التراتيب في الربع الثاني من مستوى الإحداثيات للعزم والسرعة، حيث يأخذ العزم الدائر إشارة سالبة، وفي الحقيقة هي امتداد للميزة الميكانيكية لنظام المحرك في منطقة العزوم السالبة لذلك يمكن لعملية انتقال الآلة من نظام العمل كمحرك إلى نظام التوليد أن تتم تلقائياً إذا تم تدوير المتحرض تحت تأثير عزم خارجي بسرعة تفوق سرعة الدوران على فراغ.



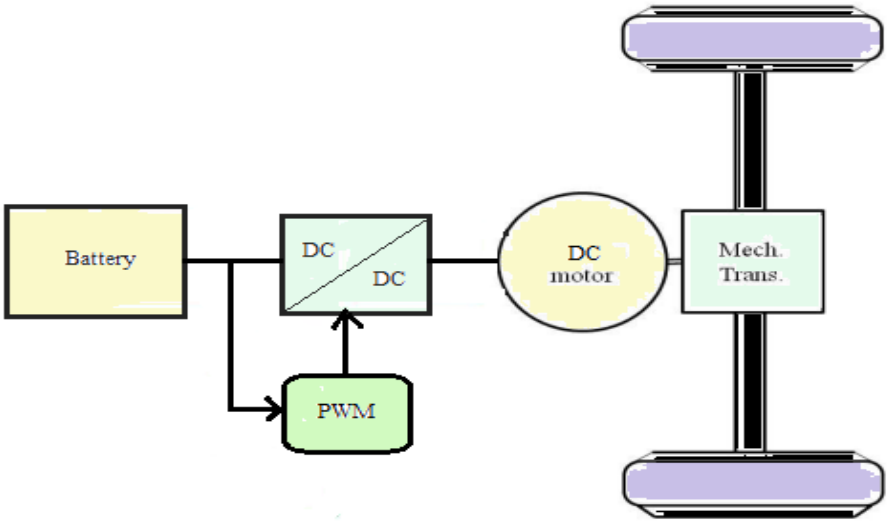
الشكل (4) المميزة الميكانيكية لمحرك التيار المستمر في الربعين الأول والثاني.

حيث يكون اتجاه دوران المحرك مع جهة تنزيل الحمولة تحت تأثير العزم المتشكل من الحمولة سيتسارع متحرض الآلة وبهذه السرعة سيدور المتحرض عند نزول العربة والآلة تعمل كمولد مع إعادة القدرة إلى المنبع كما يمكن أن يحصل هذا أيضاً بطريقة مشابهة عند حركة وسائل النقل كالقطارات الكهربائية، وكذلك في المصاعد الكهربائية.

5. محاكاة نظام تخزين طاقة الكبح مع إعادة القدرة إلى المنبع:

الكبح بإعادة القدرة إلى المنبع هو عملية استرجاع الطاقة من المحرك إلى المدخرة، وذلك عندما يجبر عزم القصور الذاتي المحرك أن ينتقل إلى مرحلة التوليد أي ينظر إلى المدخرة على أنها حمولة [4].

حيث تم إجراء التجربة على عربة صغيرة مزودة بآلة تيار مستمر تتغذى من بطارية حيث لا يتجاوز وزنها 12Kg.



الشكل (5) المخطط الصندوقي لنظام استعادة القدرة من عجلات العربة.

إن القدرة الحركية W (kinetic energy) لعربة تسير بسرعة v تعطى بالعلاقة:

$$W = \frac{1}{2}\, m\, v^2 \qquad [\mathrm{Kg}.(m/s)^2] \qquad (1)$$

m هي كتلة العربة مقدرة بـ kg.

v هي سرعة العربة وتقدر بـ $\mathrm{m}.s^{-1}$.

سرعة العربة تتوقف على سرعة دوران المحرك أي عدد دورات المحرك في الدقيقة rpm، كما أن تركيب علبة سرعة على محور المحرك يؤدي إلى الحصول على عزم ميكانيكي لكافي لتدوير الحمل المطلوب.

كمية الحركة تعطى بالمعادلة التالية:

$$\rho = m.v \qquad (2)$$

وتتغير كمية الحركة وفق المعادلة:

$$\Delta\rho = F.\Delta t \qquad (3)$$

حيث: F قوة دفع العربة، Δt تغير الزمن من t_1 إلى t_2.

بالتالي تعطى معادلة زخم الحركة بالعلاقة:

$$J = \Delta\rho = F.\Delta t = mV_2 - mV_1 \qquad (4)$$

ويعرف الزخم على أنه حاصل ضرب الكتلة في السرعة، وهو متجه شعاعي ويعتبر قياساً لمقدار حركة الجسم.

لكن لا تزال هناك حاجة إلى الكبح الميكانيكي لأنه عند خفض السرعة فإن الكبح بإعادة القدرة إلى المنبع غير فعال وقد يفشل في الإيقاف الدقيق للعربة في الزمن المطلوب وفي الحالات الطارئة وعند حدوث أعطال كهربائية [3].

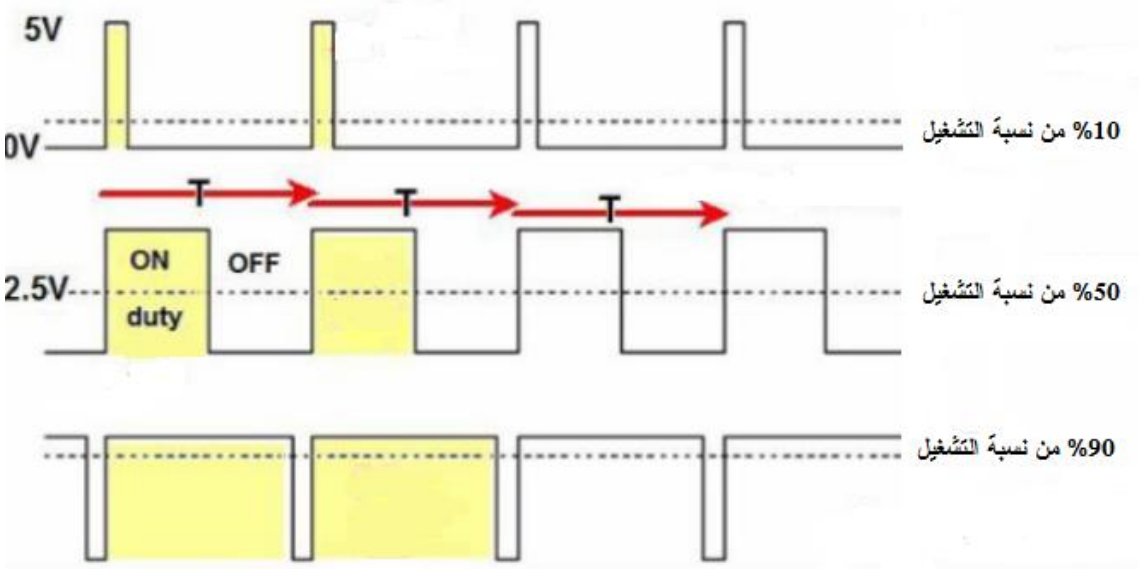
1.5 تقنية تعديل عرض النبضة:

تعديل عرض النبضة PWM هو مصطلح يستخدم لوصف استخدام الإشارة الرقمية لتوليد لإشارة خرج تناظرية (تشابهية)، وعادة تستخدم هذه الإشارة للتحكم في متوسط القدرة التي تصل إلى الحمل مثل دارات التحكم بسرعة المحرك، كما يمكن استخدامها في توليد خرج تشابهي متغير باستمرار دون استخدام أية دارات متكاملة أخرى وذلك بترشيح أو تنعيم إشارة PWM باستخدام مكثف، فضلاً عن توفير تكاليف إضافية ورقائق الكترونية متكاملة ودارات

ربط، حيث أن إشارة تعديل عرض النبضة لا يحدث فيها انحراف مع مرور الوقت نظراً لأنه يتم إنشاءها من قاعدة زمنية باستخدام معالج بهزاز كريستالي.

إن استخدام دارات تناظرية لتوليد إشارات دقيقة ليس فيها انحراف تعتبر مهمة صعبة للغاية، لذلك يعتبر تعديل عرض النبضة حل فعال جداً ورخيص.

يعمل تعديل عرض النبضة عن طريق تغيير مستوى الجهد المتوسط ويتم ذلك عن طريق توليد إشارة بتردد ثابت ولكن بعرض نبضات متغير.



الشكل (6) تقنية تعديل عرض النبضة.

يشير الخط المتصل إلى الإشارة الرقمية و لها تردد ثابت وعند تغيير مطال هذه الإشارة يحدث تغير في عرض النبضة، بينما يشير الخط المتقطع إلى الإشارة المتوسطة التي يتغير فيها التردد وفق قيمة الجهد المتوسط السابق.

دورة التشغيل Duty Cycle:

هي الجزء الفعال النشط الذي يمثل الزمن الذي تكون فيه الإشارة مرتفعة بالمقارنة مع الزمن الذي تكون فيه الإشارة منخفضة وتعطى بالعلاقة:

$$D = \frac{T_{on}}{T} = \frac{T_{on}}{T_{on}+T_{off}} \qquad (5)$$

في الشكل (6) عندما تكون الإشارة مرتفعة 10% من الدور الكلي T يكون المتوسط منخفضاً، وعندما تكون الإشارة مرتفعة 50% من الدور الكلي T يكون المتوسط يعادل النصف، وعند 90% يكون المتوسط مرتفعاً، والفصل الكامل عند 0% بينما التوصيل الكامل عند 100%، حيث أن دورة التشغيل لا تعتمد على تردد الإشارة المعدلة.

تتميز المنظمات من نوع PWM بأنها أقل ثمناً من المنظمات الأخرى وتصلح للأنظمة الصغيرة.

2.5 آلية عمل مقطع التيار المستمر في حالة الكبح:

في حالة فصل المفتاح (S=off) يكون جهد الخرج أكبر من جهد الدخل ويعطى بالمعادلة (6):

$$V_o = V_{in} + V_l \qquad (6)$$

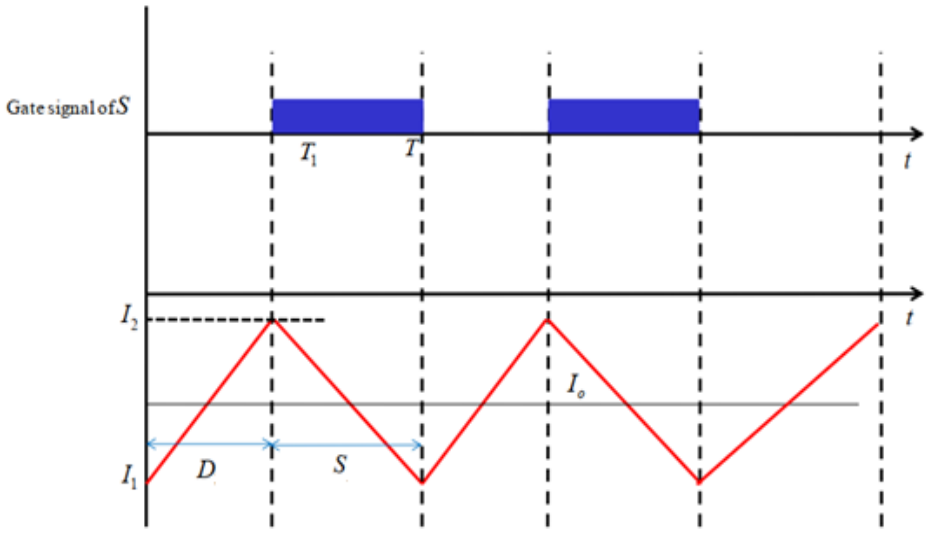
حيث: $$T_{off} = (1 - D)T$$

في حالة وصل المفتاح (S=on) يكون جهد الخرج أيضاً أكبر من جهد الدخل وتبقى المعادلة (7) كما هي وبذلك يبقى جهد الخرج ثابتاً، حيث $T_{on} = D\ T$.

تزداد قيمة التيار على خرج المقطع من I_1 إلى I_2 وتعطى قيمة تموج التيار بالمعادلة التالية:

$$\Delta I = I_2 - I_1 = \frac{V_{in}\ D}{f\ L} \qquad (7)$$

وقيمة تيار الخرج I_o هي القيمة الوسطية للتيار بين I_1 و I_2.

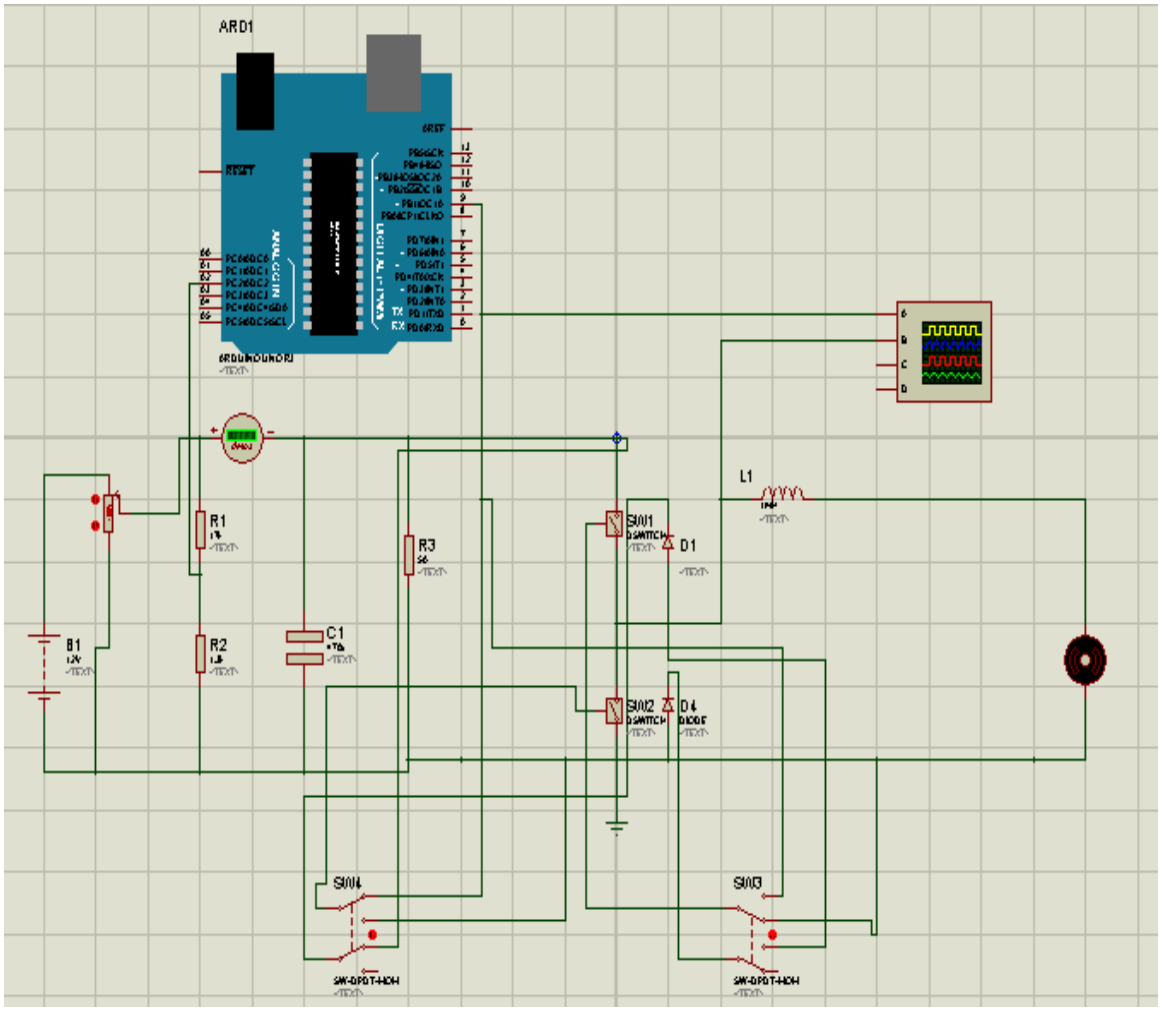


الشكل (7) شكل نبضة التيار على خرج المقطع.

كلما اقتربت قيمة دورة التشغيل D من القيمة 1 كلما زادت حساسية المقطع لتغيرات جهد الدخل.

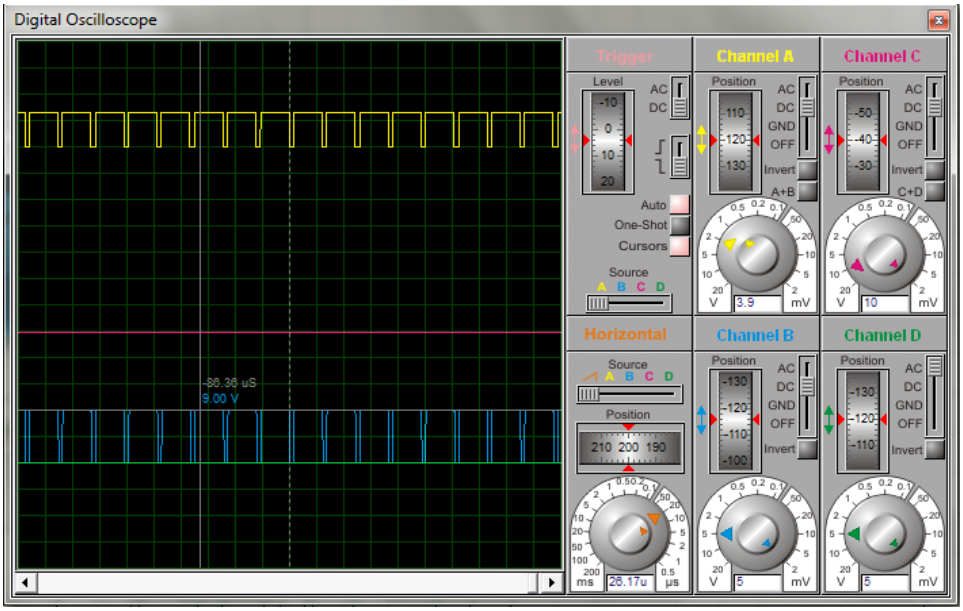
3.5 دارة مقطع التيار المستمر Buck–Boost Chopper:

بما أن الجهد بين طرفي المحرك يتغير بتغير سرعة العجلة و وزن العربة، حيث يتغير هذا الجهد من 9 حتى 12 فولت، لذا تم تثبيت هذا الجهد ورفعه بحيث يصبح أعلى من جهد المدخرة التي نريد شحنها، ولذلك تم استخدام مقطع ذو اتجاهين يتألف من مفتاحين الكترونيين بحيث يكون خافض للجهد عند عمل الآلة كمحرك، ورافع للجهد عند عملها في حالة الكبح حيث تشكل المدخرة المراد شحنها خرج المقطع. تم تصميم دارة مقطع التيار المستمر على برنامج Proteus وتعديل نبضات قدح المفتاح الالكتروني برمجياً باستخدام لوحة Arduino حيث يتم إصدار نبضات التحكم بقدح الترانزستور من قطب الـ PWM، أما بالنسبة للتغذية العكسية التي تحمل قيمة الجهد الفعلي تم أخذها من النسبة بين المقاومتين R_2:R_3 كعينة مقارنة إلى القطب التشابهي A_3، ويوصل راسم الإشارة لعرض شكل إشارة الـ PWM وإشارة جهد الخرج المتقطع، بالإضافة إلى مقياسي الفولت والأمبير على خرج المقطع.

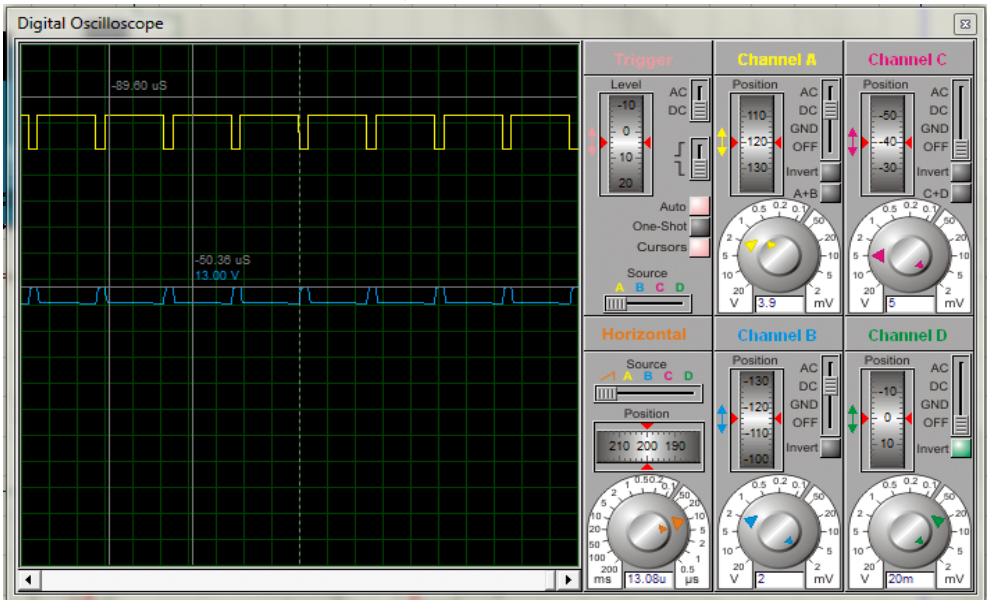


الشكل (8) دارة المقطع ذو الاتجاهين لقيادة المحرك في الربعين الأول والثاني.

تم تصميم دارة مقطع من مفتاحين الكترونيين، وملف معامل تحريضه الذاتي 1mH، والمقاومة $R_3 = 5\Omega$، ومقسم الجهد يتألف من المقاومتين $R_1 = 17K\Omega, R_2 = 1.3K\Omega$، وتم إضافة المكثف $C_1 = 470\mu F$ لتحسين استقرار إشارة الخرج، والديود لتحديد اتجاه مرور التيار وضمان عدم رجوعه بالاتجاه المعاكس.



الشكل (9) نبضات خرج المقطع عند عمل الآلة في الربع الأول (حالة المحرك).



الشكل (10) نبضات خرج المقطع عند عمل الآلة في الربع الثاني (حالة الكبح).

4.5 تنظيم عملية الشحن:

يعتمد جهد خرج المقطع الفعلي على دارة تنظيم الجهد وذلك من خلال الجهد الهابط على طرفي المقاومتين R_2:R_3 كعينة مقارنة مع الجهد المرجعي الذي يتم تحديده في برمجة المتحكم الذي يقوم بعملية المقارنة وإشارة الخطأ بين قيمتي الجهد المرجعي والفعلي هي التي تحدد تغيير دورة التشغيل للمفتاح الالكتروني (الترانزستور)، يبدأ المتحكم بتعديل عرض نبضة تشغيل الترانزستور بعد كل عملية مقارنة ويستمر في زيادة عرض النبضة حتى تصبح إشارة الخطأ مساوية للصفر عندها تستقر إشارة جهد الخرج، يمكن توضيح عملية المقارنة من خلال المقطع البرمجي التالي:

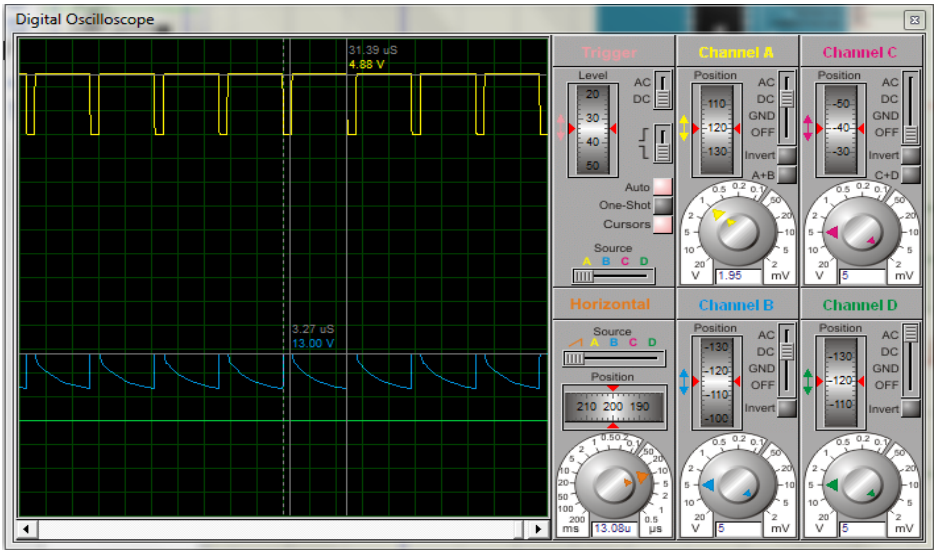
int a=analogRead(A2);	قراءة قيمة الجهد الفعلي الراجعة على القطب التشابهي A2.
if(a>220)	إذا كانت قراءة المدخل التشابهي أكبر من 220
{ p=p−1;	إنقاص عرض نبضة التشغيل
analogWrite(pwmpin,p); }	إرسال التردد الجديد على قطب PWM
if (a<205)	إذا كانت قراءة المدخل التشابهي أصغر من 205
{p=p+1;	زيادة عرض نبضة التشغيل
analogWrite(pwmpin,p);}	ثم إرسال التردد الجديد على قطب PWM.

المجال [220 – 205] يمثل حدود قيمة الجهد المرجعي المطلوب على خرج المقطع ويتم تحديد المجال برمجياً حسب قيمة الجهد المطبق على قطب PWM.

إن نبضات قدح المفتاح الإلكتروني يتم توليدها من المتحكم برمجياً بحيث يعطي نبضات بتردد عالي .

في البداية تكون نبضة T_{on} صغيرة تبدأ من الصفر والنبضة T_{off} كبيرة وتشكل كامل الدور T ويتم تعديل عرض النبضة من خلال مقارنة الجهد المرجعي مع الجهد الفعلي فيزداد عرض الزمن T_{on}

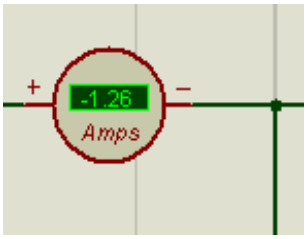
على حساب عرض الزمن T_{off} مع بقاء قيمة الدور T ثابتة ويرتفع مستوى جهد الخرج تدريجياً حتى تستقر قيمة نبضة $T_{on} = 27.47\ \mu s$ مع نبضة $T_{off} = 3.92\mu s$ عندها يستقر الجهد عند القيمة المطلوبة 14.3 ويصبح شكل نبضات خرج المقطع مستمرة كما في الشكل (11).



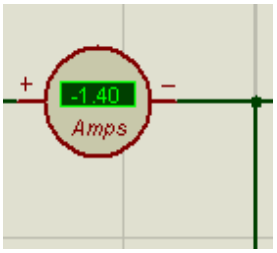
الشكل (11) نبضات تقطيع الجهد بعد الاستقرار.

تشير النبضات إلى تموج قيمة التيار كما هو مبين في الشكل (12):

$$I_1 = -1.40\ A \quad \& \quad I_2 = -1.26\ A \qquad (8)$$



$I_1 = -1.26\ A$



$I_2 = -1.40A$

الشكل (12) تموج التيار.

نتيجة محاكاة مقطع التيار المستمر المستخدم في تجربة استعادة القدرة لشحن المدخرة برفع جهد المحرك إلى 14.3 volt وتثبيته عند هذه القيمة مهما تغيرت قيمة جهد المحرك

والقيمة المتوسطة لتيار الخرج:

$$I_o = \frac{I_2 + I_1}{2} = \frac{-1.40 - 1.26}{2} = -1.33\ A \qquad (9)$$

يتحقق الكبح بإعادة القدرة إلى المنبع من خلال عكس التيار في دارة (محرك – مدخرة) أثناء فترة الكبح، حيث يعمل المحرك كمولد والتيار يتدفق منه إلى المدخرة، وتعتبر طريقة تعديل عرض النبضة PWM أكثر فعاليةً وأقل تعقيداً لتنفيذ التحكم الفعال في الكبح [3].

6. الجانب العملي:

1.6 اختيار المحرك الكهربائي المناسب:

تعتبر المحركات من أهم العناصر الداخلة في المشاريع والتطبيقات الصناعية والالكترونية، فهي العناصر المسؤولة عن تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية بشكل دوراني. توجد المحركات في الكثير من الأجهزة التي تتطلب فعل ميكانيكي مثل الروبوتات بأنواعها المختلفة والآلات الصناعية وغيرها..

يعتبر محرك DC Motor أشهر أنواع المحركات المستخدمة في مشاريع المتحكمات الدقيقة على اختلاف أنواعها، وعند اختيار المحرك الكهربائي الذي يتناسب مع المشروع يجب مراعاة عدة أمور وهي:

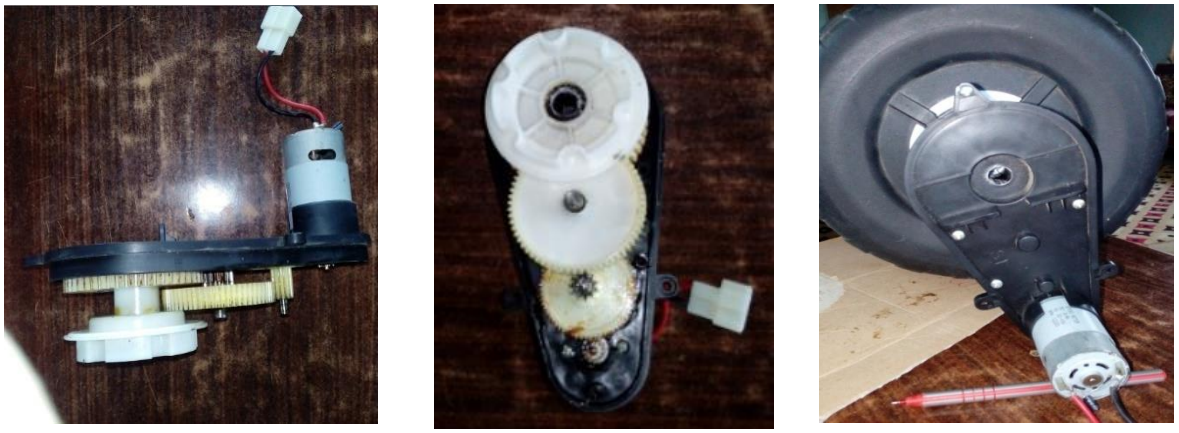
وزن العربة، جهد المدخرة، والغرض الأساسي من المحرك.

لا يمكن كبح المحرك ذو التهييج التسلسلي بطريقة إعادة القدرة إلى المنبع لأن سرعة دورانه على فراغ كبيرة جداً بشكل لا متناهي عندها لا تستطيع القوة المحركة الكهربائية أن تصبح أعلى من التوتر المطبق على المحرك، لذلك يتحقق عند الضرورة من خلال تحويل تهييجه التسلسلي إلى تهييج تفرعي، حيث تستخدم هذه الطريقة بشكل واسع في النقل الكهربائي. مواصفات المحرك المستخدم في إثبات تجربة إعادة القدرة إلى المدخرة:

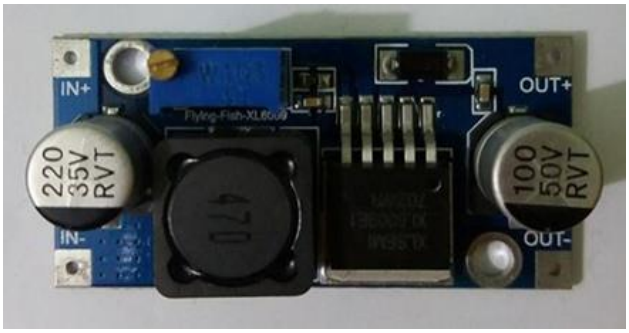
الشكل (13) المحرك الكهربائي المستخدم في التجربة.

2.6 تصميم علبة المسننات لمحرك العربة:

تصميم علبة السرعة أو كما تسمى بعلبة المسننات الغرض منها هو: إما تحويل سرعة الدوران العالية للمحرك إلى عزم، بالتالي تقل السرعة بشكل كبير مقابل الحصول على عزم عالي على الخرج، أو تقليل عزم المحرك مقابل الحصول سرعة دوران كبيرة، ويتوقف تصميم علبة السرعة بحسب الغرض المطلوب تنفيذه في التطبيق، وتم تصميم علبة السرعة بحيث تؤدي الغرض المطلوب منها، يقوم المحرك عن طريق المسنن الرئيسي بنقل الحركة إلى العجلة و بالتالي تحريك العربة (يعمل المحرك على تفريغ المدخرة) في حال صعود العربة أو تنقلها على طريق مستوية، تقوم العجلة عن طريق المسنن الرئيسي بنقل الحركة إلى مسنن المحرك فيدور المحرك بسرعة أكبر من سرعته الاسمية وبالتالي توليد الكهرباء (يعمل المحرك كمولد للتيار المستمر وبالتالي شحن المدخرة) في حال هبوط ودفع العربة.



الشكل (14) المحرك مع العجلة.



الشكل (15) دارة تنظيم الجهد.

يوصل محرك التيار المستمر على دخل المنفذ +IN و −IN وتوصل المدخرة على خرج المنفذ +OUT و OUT، بذلك يقوم المقطع برفع جهد المحرك المتغير بتغير سرعة دوران العجلة إلى جهد ثابت مستقر أعلى من جهد المدخرة على شكل نبضات يتم من خلالها استعادة قدرة الكبح إلى المدخرة.

7. النتائج و المناقشة:

نتيجة محاكاة مقطع التيار المستمر المستخدم في تجربة استعادة القدرة لشحن المدخرة برفع جهد المحرك إلى 14.3Volt وتثبيته عند هذه القيمة مهما تغيرت قيمة جهد المحرك أن قيمة التيار العكسي الذي يتجه من المحرك إلى المدخرة تتأرجح بين القيمتين 1.26 و 1.40 أمبير، وتظهر نبضات الجهد وتعديل عرض نبضة

قدح الترانزستور على راسم الإشارة، حيث تم تنفيذ التجربة بمحرك تيار مستمر صغير مع تركيب علبة المسننات عليه وربطه مع إحدى عجلات العربة ومن ثم برمجة دارة المقطع من خلال تحسس قيمة الجهد الناتج على خرج مقسم الجهد ومقارنته مع القيمة المطلوبة لجهد شحن المدخرة.

8. الاستنتاجات:

- الكبح بإعادة القدرة إلى المدخرة يساهم في توفير المزيد من الطاقة.
- تنظيم عملية شحن المدخرة ممكن باستخدام المقطعات التي تسمح بضبط الجهد والتيار أثناء عملية الشحن.
- اختيار المحرك المناسب حسب وزن العربة المصممة والحمولة الاسمية المطلوبة.
- يتوقف المردود على وزن العربة والطاقة الحركية لها وسرعتها حيث أن قيمة التيار المسترجع إلى البطارية صغير نظراً لصغر حجم العربة في التجربة.

المراجع:

[1] P. Kreczank. (2011) *"Etude de la fiabilité et du vieillissement d'un système de stockage par supercondensateurs pour l'alimentation partielle et ponctuelle d'un trolleybus grâce à la récupération de l'énergie de freinage. Approche du composant au système de stockage"*, Université Claude Bernard, Lyon, Thèse de doctorat .

[2] S. Gargies, H. Wu , C. Mi *"Isolated Bidirectional DC-DC Converter for Hybrid Electric Vehicle Applications"*, University of Michigan, Dearborn, June, 2006.

[3] Cody, J., Göl, Ö., Nedic, Z., Nafalski, A., & Mohtar, A. (2009). Regenerative braking in an electric vehicle (Doctoral dissertation, Branzowy Osrodek Badawczo-Rozwojowy Maszyn Elektrycznych" Komel").

[4] Sockeel, N., Shi, J., Shahverdi, M., & Mazzola, M. (2017, June). *"Sensitivity analysis of the battery model for model predictive control implemented into a plug-in hybrid electric vehicle"*. In Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), 2017 IEEE (pp. 493-500). IEEE.

[5] Mandal, S. (2017). *"An Analysis of Braking Energy Regeneration in Electric Vehicles"*. International Journal of Renewable Energy Research (IJRER), 7(3), 999-1006.

[6] *"Switched Mode Power Supplies"* POWER SUPPLIES MODULE 03, E. COATES 2007-2013.