

دراسة أثر نظام الإقلاع المستخدم في محركات التيار المستمر العاملة في الأنظمة الدورية على مفايد الطاقة الكهربائية

الدكتور علي محمود*

الدكتور مخايل مخول**

بهاء نظير حسن***

(تاريخ الإيداع 14 / 5 / 2012. قُبل للنشر في 16 / 6 / 2013)

▽ ملخص ▽

يصل مقدار استهلاك الطاقة في المجال الصناعي إلى حوالي 40% من مجمل استهلاك الطاقة المولدة. ومن أنواع الاستهلاك غير المفيد للطاقة هو تلك المفايد التي تحصل عند إقلاع المحركات الكهربائية. قد لا تكون هذه المفايد ذات أهمية كبيرة عند نظم العمل المستمرة أو قليلة الإقلاع لكن عندما يكون الإقلاع متكرراً فإن نسبة هذه المفايد تكون كبيرة وتكون عملية التحكم بعملية الإقلاع ذات معنى كبير وتحقق وفراً جيداً بالمفايد. في هذا البحث تم دراسة أثر استخدام نظام تحكم يستخدم أنصاف النواقل لقيادة محركات التيار المستمر على مفايد الطاقة مقارنةً بنظام تحكم تقليدي يستخدم مقاومات إقلاع عند عمله في الأنظمة ذات العمل الدوري قصير الزمن. وتم استنتاج علاقة تعبر عن الوفرة الممكنة في الطاقة بالكيلواط ساعي في العام كتابع للاستطاعة المحرك الاسمية وعدد مرات الإقلاع في الساعة نتيجة التحول من نظام إقلاع تقليدي إلى نظام إقلاع حديث يستخدم أنصاف النواقل للتحكم بجهد الدخل.

الكلمات المفتاحية: أنظمة العمل الدورية، إقلاع متكرر قصير الزمن، مفايد الطاقة، النمذجة باستخدام Matlab.

* أستاذ - قسم الأتمتة الصناعية - كلية الهندسة التقنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** أستاذ - قسم الأتمتة الصناعية - كلية الهندسة التقنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

*** ماجستير - قسم الأتمتة الصناعية - كلية الهندسة التقنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Studying the Effect of Starting System in DC Motors Operating in Periodic Systems on Electric Power Losses

Dr. Ali Mahmoud*
Dr. Mikhael Makhoul**
Bahaa Nazer Hasan***

(Received 14 / 5 / 2012. Accepted 16 / 6 / 2013)

▽ ABSTRACT ▽

The consumption of power in the industrial field almost reaches approximately 40% of the total generated power. One kind of useless consumption of power is the losses in the electrical motors starting. The impact of the losing power might be ignored in the continuous and short time working systems. However, in case of periodic starting up, the losing ratio will be exaggerated. Also, the controlling of starting up process will be considerable and can keep the losses at lowest levels. In this paper, the effect of using the Semi-conductors controlling system in DC motors on power losses was studied and compared with control system using resistors starting in periodic short time systems. The obtained results show that there is a relationship between the power saving in KWh per year as a function of the rated motor power and the number of starting up per Hour. Due to conveying from conventional controlling system to modern control system uses semi-conductor rectifier.

Key words: Periodic Systems, Periodic short time Starting, Power Losses, Modeling Using Matlab.

*Professor, Faculty of Technical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**Professor, Faculty of Technical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

***Postgraduate Student, Industrial Automation, Technical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

يعاني العالم الآن من مشاكل الحصول على الطاقة اللازمة لمواكبة التطور الصناعي والحاجة المتزايدة باستمرار إلى الطاقة، وذلك بسبب عدم توفر مصادر الطاقة التقليدية الكافية وانخفاض مخزونها المستمر. لذا تم اللجوء إلى البحث عن مصادر طاقة بديلة وجاءت في المقدمة طاقة الرياح والطاقة الشمسية لكنها ما زالت حتى الآن أكثر كلفةً من الطاقة التقليدية ولا تشكل سوى نسبة بسيطة من الطاقة اللازمة لكنها تعتبر طاقة واعدة في المستقبل.

الأسلوب الأخر الذي يتم العمل عليه بالتوازي مع البحث عن مصادر جديدة للطاقة هو إتباع سياسة مخططة ومنظمة لترشيد استهلاك الطاقة والحد من الهدر. إن محاولات ترشيد استهلاك الطاقة تراكمت في البحث عن وسائل قيادة وتحكم آلي تحد من الاستهلاك غير المفيد للطاقة وبالتالي تقليل مفاقيدها إلى الحد الأدنى.

في عملنا هذا نحاول البحث عن وسيلة لتقليل المفاقيد الكبيرة للطاقة في الأنظمة الكهربائية ذات العمل الدوري المتكرر قصير الزمن والتي تتصف بعمليات إقلاع وكبح متكررة.

إن تكرر عمليات الإقلاع والكبح لأنظمة القيادة الآلية والتحكم الآلي في المجالين الصناعي والإنتاجي قد يصل وفق المواصفات القياسية العالمية إلى 360 عملية إقلاع و360 عملية كبح في الساعة الواحدة [1]، وبالتالي قد تكون دورة العمل حوالي 5 ثواني. بناءً على ذلك سنجد أن عمل هذه التجهيزات سيكون في الحالة العابرة معظم ساعات العمل. إن مفاقيد الطاقة خلال الحالة العابرة عند استخدام أنظمة التحكم التقليدية تكون مساويةً إلى عدة أضعاف المفاقيد خلال العمل المستقر مما يؤدي إلى زيادة الاستهلاك غير المفيد للطاقة إضافة إلى زيادة سخونة هذه المحركات التي تؤدي إلى انخفاض عمرها الاستثماري وخروجها المبكر من العمل.

قام الباحث حسان سويدان في مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية العدد الثاني لعام 2008 بمعالجة مسألة حفظ الطاقة ورفع كفاءتها في المنشآت الصناعية وذلك باستخدام تجهيزات حديثة وكذلك تحسين عامل الاستطاعة وتخفيض المفاقيد في المحولات.

وضع الباحث CHI-HONG HWANG من جامعة Tsing Hua لعام 2000 طريقة باستخدام الحاسب لحفظ المفاقيد في نظم القيادة الكهربائية وذلك عن طريق تقليل حالات العمل على فراغ (أو تأخير وصول الحمل) على محاور المحركات العاملة.

وقدم الباحث Dr. Eng. Marttin Doppelbaver من جامعة بروكسل عام 2007 بحثاً لتوفير الطاقة عن طريق تحديث نظم القيادة المؤتمتة.

إن غابتنا هي البحث عن أثر نوعية أنظمة القيادة والتحكم الآلي على تخفيض المفاقيد في الحالات العابرة بهدف الاختيار الأمثل لنظام القيادة والتحكم من وجهتي النظر الفنية والاقتصادية.

إن التجهيزات التي تعمل في النظام الدوري قصير الزمن نجدها في آليات حركة المصاعد الكهربائية الخاصة بالمشافي والأبنية الحكومية كما نجدها في الروافع الكهربائية المنتشرة بشكل كبير في المرافئ وورشات البناء.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في طريقة حساب مفاقيد الطاقة في أنظمة القيادة الآلية وتبعية ذلك لعدد مرات إقلاع هذه الأنظمة في الساعة، وذلك في حالة استخدام أنظمة تحكم تقليدية للقيادة كاستخدام مقاومات الإقلاع (الطريقة التقليدية)، مقارنةً باستخدام أنظمة تحكم آلية متقدمة كالمقومات المصنعة من أنصاف النواقل للتحكم بجهد التغذية (الطريقة

المقترحة)، واستنتاج العلاقة بين الوفر الممكن بالكيلواط ساعي وبالليرة السورية كتابع لاستطاعة المحرك المستخدم وعدد مرات الإقلاع في الساعة، واستخدام التقنيات البرمجية الحديثة وأساليب النمذجة الرسومية للوصول إلى هذه العلاقات.

طرائق البحث وموارده:

أنجز هذا البحث لمدة عام ونصف في جامعة تشرين وبعض المنشآت الحكومية في محافظة طرطوس (مرفأ طرطوس)، واعتماداً على المراجع العلمية التي تبحث في مفردات هذا المجال، والنمذجة الحاسوبية.

1- حساب مفايد الطاقة في محرك التيار المستمر:

تُعطى مفايد الاستطاعة في المحرك الكهربائي بالعلاقة:

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (1)$$

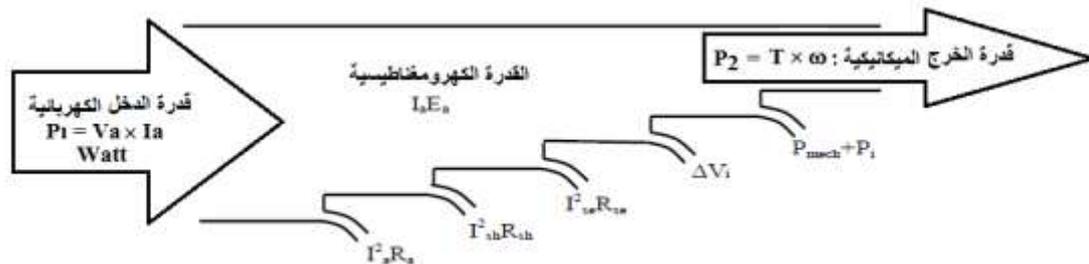
على اعتبار أن الاستطاعة المستجرة من الشبكة P_1 ، والاستطاعة المفيدة المقدمة على محور المحرك P_2 مقدرتان بالواط تعطيان بالعلاقتين على التالي [1]:

$$P_1 = V_a \cdot I_a \quad (2)$$

$$P_2 = M \cdot \omega \quad (3)$$

حيث إن V_a جهد التغذية المطبق على المتحرض بالفولط، I_a تيار المتحرض بالأمبير، M العزم على محور المحرك N.m، و ω سرعة دوران المحرك rad/sec.

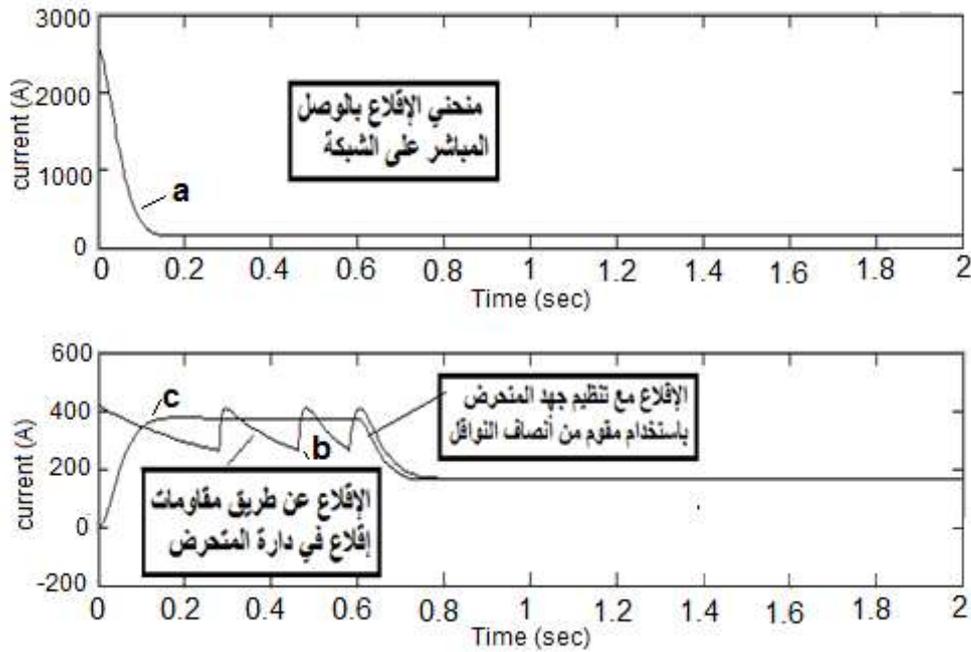
وإذا أخذنا بعين الاعتبار أن $I_a^2 \cdot R_a$ المفايد النحاسية في المتحرض، $I_{sh}^2 \cdot R_{sh}$ المفايد النحاسية في الحقل التفرعي، $I_{se}^2 \cdot R_{se}$ المفايد النحاسية في الحقل التسلسلي، ΔV_i المفايد الناتجة عن هبوط الجهد، P_{mech} المفايد الميكانيكية، P_i المفايد الحديدية سيكون المخطط التدفقي للطاقة مبين كما في الشكل(1).



الشكل(1): المخطط التدفقي للطاقة للمحركات بشكل عام.

إن تيار المتحرض سيبدأ من قيمة عظمى لأنه في البداية تكون السرعة مساوية للصفر وبالتالي قوة رد فعل المتحرض تكون مساوية للصفر ثم تتزايد تبعاً لزيادة السرعة ويتغير تيار المتحرض حسب طريقة إقلاع المحرك، إما بشكل مباشر أو عن طريق استخدام وسائل إقلاع للحد من تيار الإقلاع وفي الحالتين ستتغير قيمة المفايد الناجمة عن تيار الإقلاع خلال الحالة العابرة، هذا الاختلاف لن يكون له أثر كبير على عمل المحرك أو المفايد عندما يكون نظام العمل مستمراً، أما في حال كان نظام العمل متكرراً دورياً قصير الزمن لا يمكن إهمال أثر مفايد الإقلاع على المحرك نفسه وعلى المفايد الناجمة عنه [2].

يبين الشكل(2) تيار الإقلاع لمحرك تيار مستمر ذو تهيج مستقل في عدة حالات للإقلاع.



الشكل (2) منحنيات الحالة العابرة لمحرك تيار مستمر بتهيج مستقل بالمواصفات التالية:

$$P_n = 100\text{Hp}, V_n = 500 \text{ V}, I_n = 165\text{A}, N_n = 1460\text{r. p. m}; \\ Ra = 0,1968 ; La = 0,003442; J = 0,4089\text{Kg. m}^2; B = 0.0115\text{N. m. s}$$

بدراسة المنحني (a) من الشكل(2) والذي يمثل مميزة الإقلاع المباشر لمحرك التيار المستمر نجد أن تيار الإقلاع يصل إلى عدة أضعاف من التيار الاسمي. ويوضح المنحني (b) من الشكل(2) مميزة تيار الإقلاع باستخدام ثلاث مراحل من مقاومات الإقلاع ويلاحظ في هذه الحالة انخفاض تيار الإقلاع ليصل إلى 2.5 من التيار الاسمي.بينما يوضح المنحني (c) من نفس الشكل مميزة الإقلاع للمحرك ذاته وذلك عند التحكم بجهد الدخل باستخدام مقوم من أنصاف النواقل ،حيث نجد أن التيار بدأ بالتزايد بطريقة خطية تقريبا ونلاحظ انخفاض تيار الإقلاع مقارنةً بالمنحنيين السابقين مع عدم وجود مقاومات مما يؤدي إلى تخفيض كل من استطاعة الإقلاع ومفاقيدها.

مفايد الطاقة خلال الإقلاع بالواط ساعي تعطى بالعلاقة:

$$\Delta W_s = \int_0^{t_{sv}} [P_1(t) - P_2(t)] \cdot dt \quad Wh \quad (4)$$

فإذا كان عدد مرات الإقلاع في الساعة يساوي Z، تكون مفايد الطاقة الناجمة عن الإقلاع ΔW_{s-h} خلال

ساعة من الزمن معطاة بالعلاقة التالية:

$$\Delta W_{s-h} = \Delta W_s \cdot Z \quad Wh \cdot h \quad (5)$$

تكون مفايد الطاقة الناجمة خلال فترة الإقلاع لمحرك واحد في العام هي:

$$\Delta W_{s-y} = \Delta W_s \cdot Z \cdot h_w \cdot (d_y - d_0) \Rightarrow \\ \Delta W_{s-y} = \Delta W_s \cdot Z \cdot h_w \cdot d_w \quad Wh \cdot h \cdot Year \quad (6)$$

حيث إن h_w عدد ساعات العمل في اليوم، d_y عدد أيام السنة الميلادية، d_0 عدد أيام العطل في العام،
($d_w = d_y - d_0$) عدد أيام العمل في السنة.

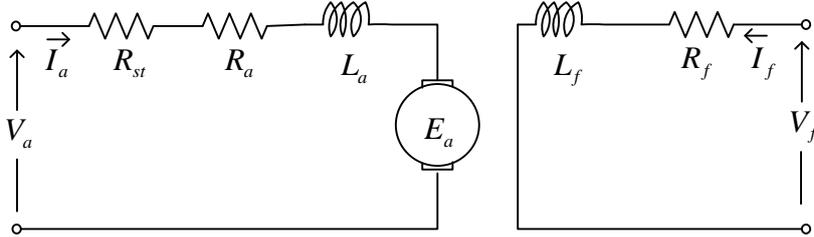
في دراستنا فرضنا أن عدد ساعات الوردية الواحدة هو 8 ساعات، وبورديتي عمل في اليوم، وإذا أخذنا بعين الاعتبار أن عدد أيام العطل الأسبوعية في العام 52 يوماً، وعدد أيام العطل الرسمية في العام 20 يوم، وعدد أيام السنة الميلادية 365 يوم تكون مفايد الطاقة الناجمة خلال فترة الإقلاع لمحرك واحد في العام هي:

$$\Delta W_{s-y} = \Delta W_s \cdot Z \cdot 8 \cdot 2 \cdot (365 - 52 - 20) \quad Wh \cdot h \cdot Year \quad (7)$$

2 - نمذجة محرك التيار المستمر باستخدام Matlab:

إن حساب مفايد الطاقة الناتجة خلال الحالة العابرة (الإقلاع) يمكن أن يتم من خلال تكامل لمقدار تابع الاستطاعة المبين في العلاقة (4) والتي لا بد للحصول عليها من معرفة كافة أشكال المفايد المبينة في الشكل (1) وتبعيتها للزمن، ومعرفة تغير تيار المتحرض والجهد المطبق عليه، ولكن الحصول على هذه العلاقات وإجراء عملية المكاملة لن يكون سهلاً أو بسيطاً، بل سيحتاج إلى الكثير من الجهد، مما يدعونا لاستخدام طرق برمجية. في هذا العمل ارتأينا أن نضع نموذجاً للمحرك المدروس باستخدام بيئة Matlab. النموذج سيشيح معرفة المفايد المطلوب حسابها باستخدام تجهيزات القياس المتطورة التي توفرها مكتبات Matlab وبشكل مشابه إلى حد كبير لتلك القياسات التي يمكن إجراؤها على أرض الواقع [3, 4].

إن وضع نموذج لمحرك التيار المستمر يمكن أن يتم اعتماداً على الدارة المكافئة المبينة في الشكل (3).



الشكل (3): الدارة المكافئة لمحرك التيار المستمر ذو التهييج المستقل.

استناداً إلى قوانين كيرشوف يمكن أن نكتب:

$$V_a = I_a \cdot R_a + L_a \cdot \frac{dI_a}{dt} + E_a \quad (8)$$

حيث إن E_a القوة المحركة الكهربائية لرد فعل المتحرض، L_a تحريضية المتحرض، I_a تيار المتحرض، و V_a جهد المتحرض.

تتناسب E_a مع السرعة الزاوية تناسباً طردياً وفق العلاقة:

$$E_a = K_\omega \cdot \omega \quad (9)$$

حيث إن K_ω ثابت السرعة، و ω السرعة الزاوية مقدره rad/sec.

تعطى معادلة الحركة للمحرك بالعلاقة [5]

$$T - T_L = J \cdot \frac{d\omega}{dt} + \beta \cdot \omega \quad (10)$$

حيث إن T عزم المحرك، T_L عزم الحمولة، J عطالة المحرك، و β معامل الاحتكاك اللزج.

يتناسب العزم مع التيار تناسبا طرديا وفق العلاقة:

$$T = K_T \cdot I_a \quad (11)$$

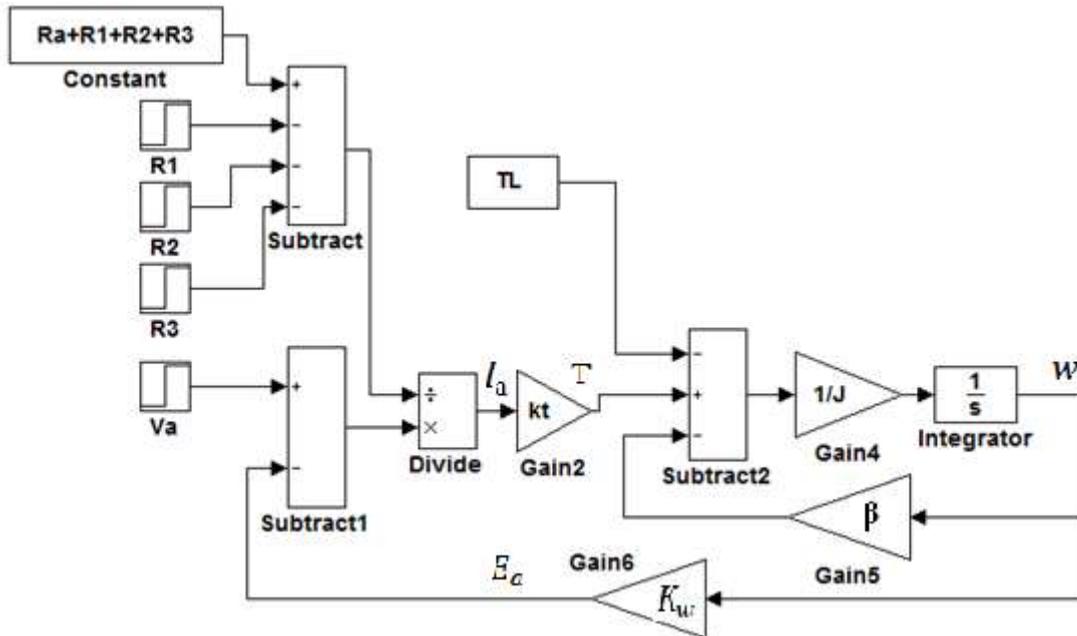
حيث إن K_T ثابت العزم.

المعادلة رقم (8) في حال الإقلاع باستخدام المقاومات تصبح على الشكل التالي [5]:

$$V_a = I_a \cdot (R_a + R_{ST}) + L_a \frac{dI_a}{dt} + E_a \quad (12)$$

حيث R_{ST} مقاومات الإقلاع.

اعتماداً على العلاقات المبينة أعلاه من (8) إلى (12) وباستخدام البرنامج Simulink في بيئة Matlab يمكن وضع نموذج لمحرك التيار المستمر عند إقلاعه باستخدام مقاومات إقلاع كما هو مبين في الشكل (4).



الشكل(4): نموذج لمحرك التيار المستمر عند إقلاعه باستخدام مقاومات إقلاع.

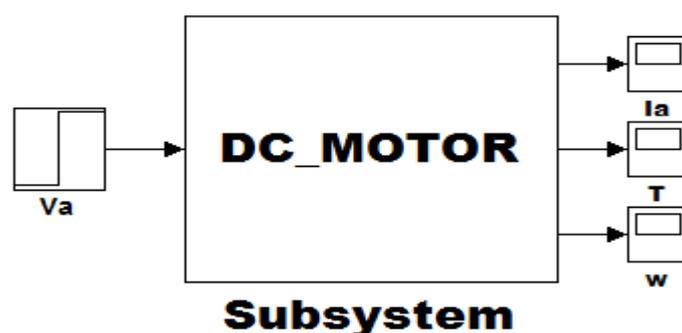
نحتاج من أجل تشغيل النموذج (لمحرك التيار المستمر عند إقلاعه باستخدام مقاومات إقلاع) إلى معرفة قيم مقاومات الإقلاع والزمن اللازم لكل مرحلة من مراحل الإقلاع، وهذه القيم سيتم حسابها من العلاقات الموضحة في الجدول(1)[5].

جدول(1): علاقات حساب الحالة العابرة لمحرك التيار المستمر.

$R_n = \frac{V_n}{I_n} \quad (\Omega)$	R_n المقاومة الاسمية للمحرك، V_n الجهد الاسمي، I_n التيار الاسمي
$R_a' = \frac{R_a}{R_n}$	R_a' نسبة مقاومة المتحرض إلى المقاومة الاسمية R_a مقاومة المتحرض

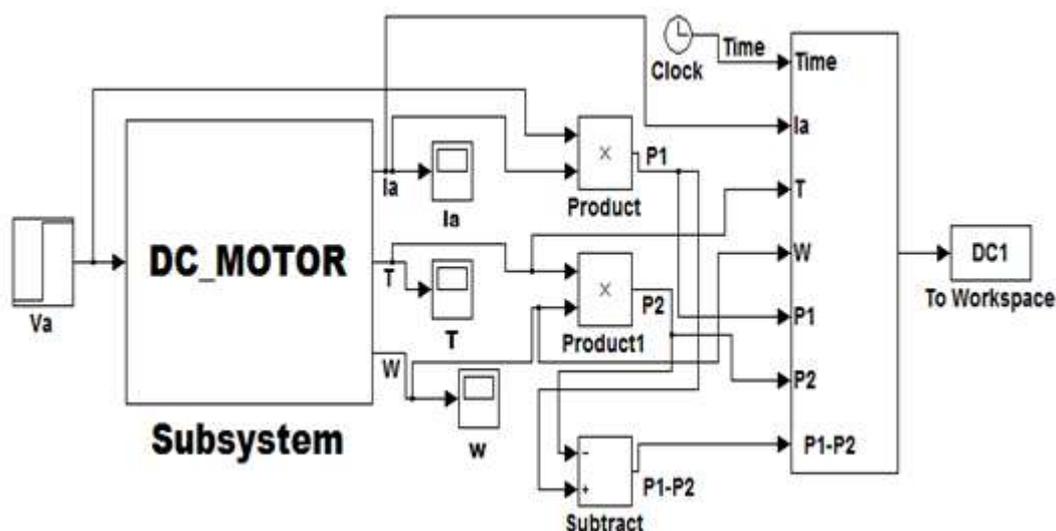
$\lambda = \frac{M_1}{M_2} = \sqrt{\frac{1}{R_a \cdot m_k}}$ $m_k = \frac{M_1}{M_n}$	<p>λ نسبة عزم الإقلاع إلى عزم إعادة الوصل</p> <p>M_1 عزم المحرك عند المرحلة الأولى</p> <p>M_2 عزم المحرك عند المرحلة الثانية</p>
$R_1 = R_a \cdot \lambda$ $R_2 = R_1 \cdot \lambda$ $R_3 = R_2 \cdot \lambda$	مقاومات الإقلاع على السرعات المختلفة
$\Delta R_1 = R_3 - R_2$ $\Delta R_2 = R_2 - R_1$ $\Delta R_3 = R_1 - R_a$	المقاومات التي يجب فصلها في كل مرحلة (مثلاً إذا كان عدد مراحل الإقلاع يساوي 3)
$k_\omega = \frac{V_n - I_n \cdot R_a}{\omega_n}$	ثابت السرعة k_ω
$k_T = 0.975 k_\omega$	ثابت العزم k_T
$M_{ne} = k_T \cdot I_n \quad N \cdot m$	العزم الكهرومغناطيسي الاسمي
$M_n = P_n / \omega_n \quad N \cdot m$	العزم الاسمي على محور المحرك P_n الاستطاعة الاسمية، M_n العزم الاسمي
$M_1 = 2.2 M_n \quad N \cdot m$	العزم الأعظمي
$M_2 = M_1 / \lambda \quad N \cdot m$	العزم الأصغري
$\omega_1 = \frac{V_n}{k_\omega} - \frac{M_2 \cdot R_3}{k_\omega \cdot k_T} \quad rad / Sec$	سرعة الانتقال على المنحني الأول
$t_1 = \frac{J \cdot \Delta \omega_1}{3.92 (M_1 - M_2)} \ln \frac{M_1 - M_L}{M_2 - M_L} \quad Sec$	زمن الإقلاع على المرحلة الأولى
$\omega_2 = \frac{V_n}{k_\omega} - \frac{M_2 \cdot R_2}{k_\omega \cdot k_T} \quad rad / Sec$	سرعة الانتقال على المنحني الثاني
$t_2 = \frac{J \cdot \Delta \omega_2}{3.92 (M_1 - M_2)} \ln \frac{M_1 - M_L}{M_2 - M_L} \quad Sec$	زمن الإقلاع على المرحلة الثانية
$\omega_3 = \frac{V_n}{k_\omega} - \frac{M_2 \cdot R_1}{k_\omega \cdot k_T} \quad rad / Sec$	سرعة الانتقال على المنحني الثالث
$t_3 = \frac{J \cdot \Delta \omega_3}{3.92 (M_1 - M_2)} \ln \frac{M_1 - M_L}{M_2 - M_L} \quad Sec$	زمن الإقلاع على المرحلة الثالثة

تسهيلاً لاستخدام النموذج الموضح في الشكل (4) سنقوم بتقنيته بحيث يظهر في الدخل إشارة جهد المتحرض وفي الخرج إشارات السرعة والعزم والتيار كما في الشكل (5).



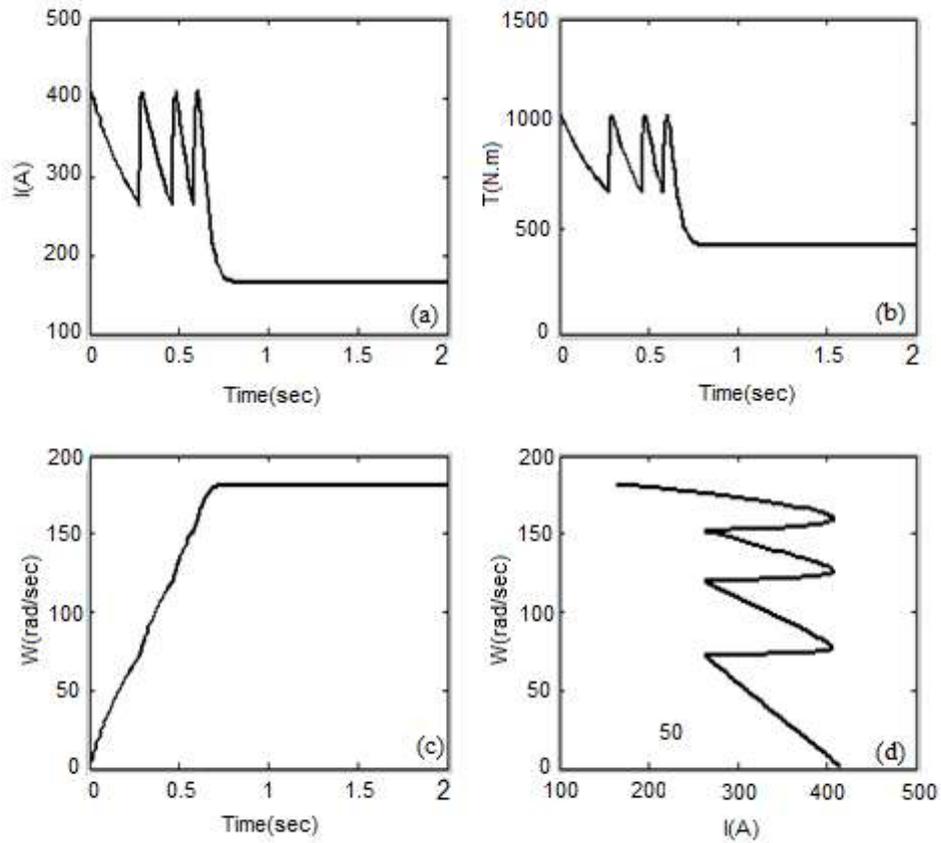
الشكل(5): النموذج المقنع لمحرك التيار المستمر عند إقلاعه باستخدام مقاومات إقلاع.

نضيف إلى النموذج العناصر اللازمة لقياس كل من استطاعة الدخل، واستطاعة الخرج، وكذلك المفاقيد الكلية فنحصل على النموذج المبين في الشكل(6).



الشكل(6): النموذج اللازم لقياس المحددات المختلفة للمحرك المقاد عن طريق مقاومات الإقلاع.

عند تشغيل النموذج اللازم لقياس المحددات المختلفة للمحرك المقاد عن طريق مقاومات الإقلاع نحصل على البيانات المبينة في خرجه وباستخدام برمجيات Matlab نستطيع الحصول على المنحنيات التي نحتاجها لدراسة المفاقيد المختلفة في المحرك [6, 7, 8, 9].

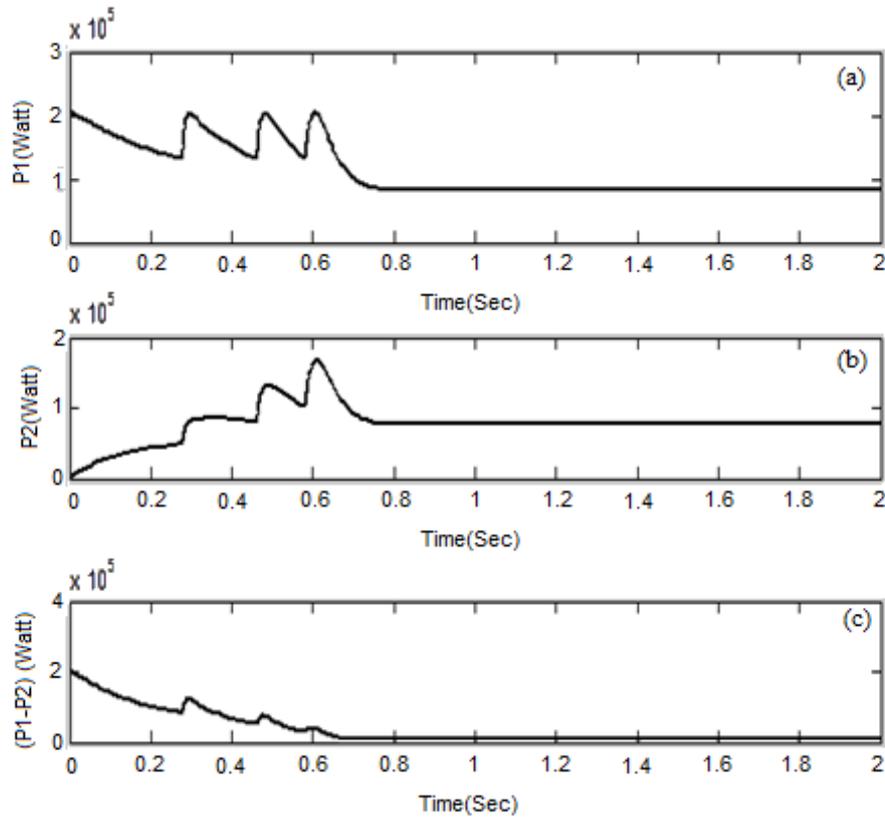


الشكل (7): (a) مميزة التيار، (b) مميزة العزم، (c) مميزة السرعة، (d) المميزة الكهربائية السرعة - التيار. لمحرك:

$$P_n = 100\text{Hp}, V_n = 500\text{V}, I_n = 165\text{A}, N_n = 1460\text{r. p. m};$$

$$R_a = 0,1968, L_a = 0,003442, J = 0,4089, \text{Kg. m}^2; B = 0.0115\text{N. m. s}$$

يبين المنحني (a) من الشكل (7) مميزة التيار $I(t)$ أثناء إقلاع المحرك بثلاث مراحل لتبديل مقاومات الإقلاع (الطريقة التقليدية) حيث يتغير التيار من القيمة العظمى والتي تساوي إلى 2.2 من التيار الاسمي والقيمة الصغرى التي تساوي إلى 1.6 من التيار الاسمي إلى أن يستقر التيار على التيار الاسمي للمحرك. والمنحني (b) يعبر عن مميزة العزم للمحرك $T(t)$ أثناء تبديل المقاومات إلى أن نصل إلى عزم الحمولة المستقر ونلاحظ كيف يتغير العزم من قيمة عظمى إلى قيمة صغرى أثناء تبديل المقاومات، ويعبر المنحني (c) من ذات الشكل عن مميزة السرعة $w(t)$ أثناء عملية الإقلاع حيث تتغير من مرحلة إلى أخرى إلى أن تستقر على السرعة الاسمية للمحرك، في حين أن المنحني (d) يبين المميزة الكهربائية $w(I)$ للمحرك (العلاقة التي تربط بين السرعة والتيار).

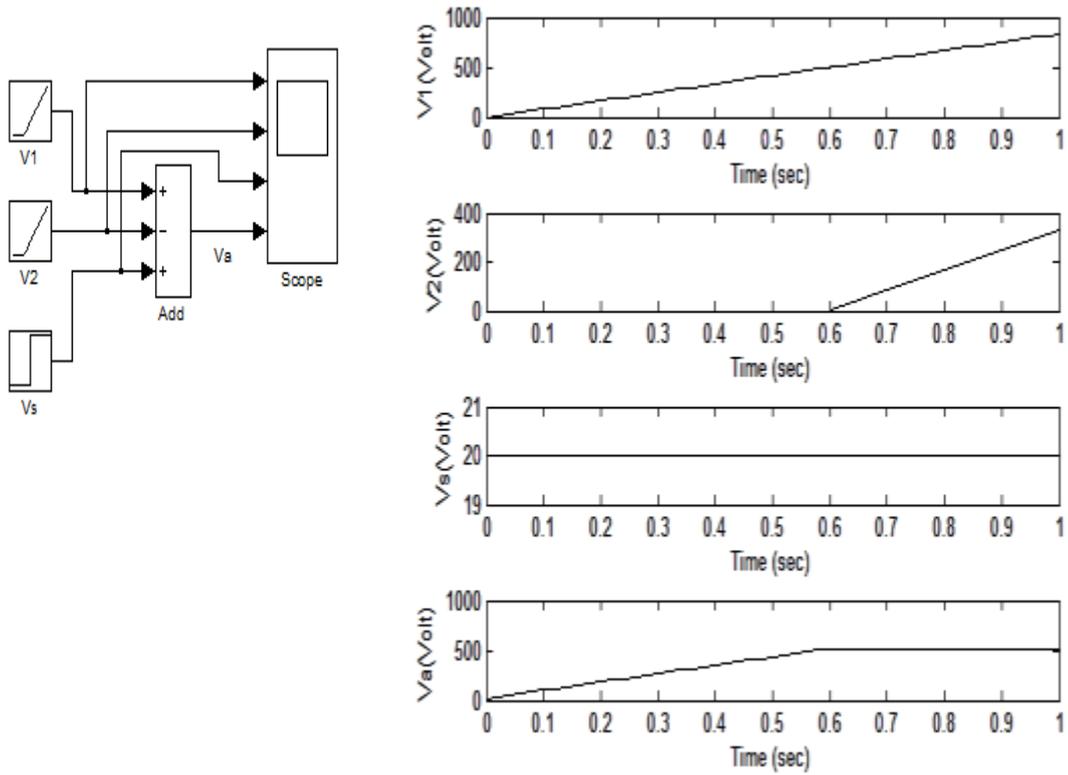


الشكل (8): (a) مميزة استطاعة الدخل، (b) مميزة استطاعة الخرج، (c) المفايد. مواصفات المحرك مبينة في الشكل (7) .

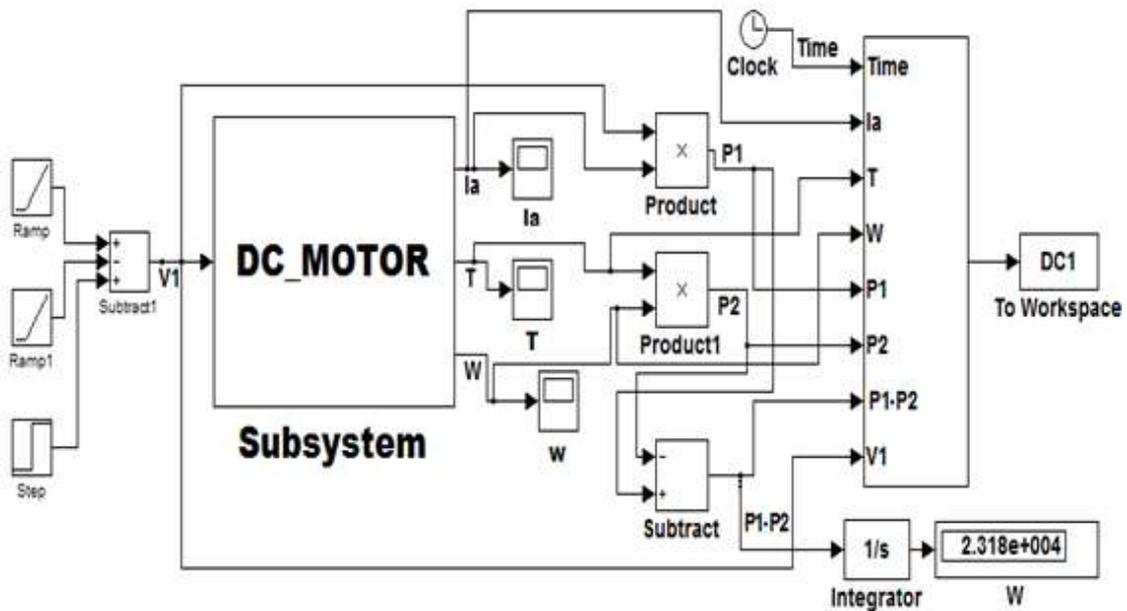
يوضح المنحني (a) من الشكل (8) مميزة استطاعة الدخل الكهربائية للمحرك $P_1(t)$ أثناء الإقلاع باستخدام ثلاث مراحل للإقلاع للمحرك (الطريقة التقليدية)، حيث تتغير الاستطاعة من قيمة عظمى $2 \times 10^5 \text{ Watt}$ إلى $1.3 \times 10^5 \text{ Watt}$ إلى أن تستقر الاستطاعة على القيمة $9 \times 10^4 \text{ Watt}$ ، ويبين المنحني (b) من الشكل السابق مميزة استطاعة الخرج الميكانيكية $P_2(t)$ المأخوذة من محور المحرك حيث تبدأ من الصفر وتزيد إلى القيمة العظمى $1.7 \times 10^5 \text{ Watt}$ ثم تتناقص إلى أن تستقر على القيمة $8 \times 10^4 \text{ Watt}$ ، بينما يوضح المنحني (c) من ذات الشكل مفايد الطاقة والتي تساوي إلى حاصل الفرق بين الاستطاعة المقدمة على الدخل والاستطاعة التي نحصل عليها من خرج المحرك $[P_1(t) - P_2(t)]$.

3- نمذجة المحرك عند التحكم بجهد الدخل:

لنمذجة إقلاع المحرك عند التحكم بجهد الدخل، يتم تشكيل إشارة الدخل عن طريق جمع إشارات متغيرة خطياً مع الزمن بميل يتناسب مع التسارع المطلوب، ويفارق زمني لبدء ظهور كل إشارة بحيث يتم التحكم بزمن تغير هذه الإشارة، وبالتالي التحكم بزمن الإقلاع. يوضع النموذج للعنصر المبين في الشكل (9) دخل المحرك الممثل لجهد المتحرض كما هو موضح في الشكل (10).

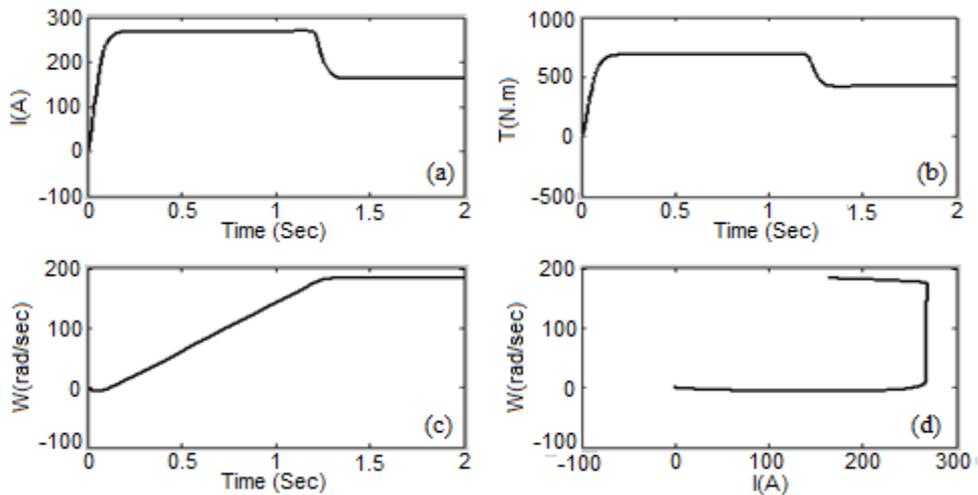


الشكل(9): نموذج التحكم بجهد التغذية.



الشكل(10): نموذج محرك التيار المستمر عند التحكم بالإقلاع عن طريق جهد التغذية.

عند التحكم بالإقلاع عن طريق التحكم بجهد التغذية نحصل على المنحنيات المميزة المبينة في الشكل(11).

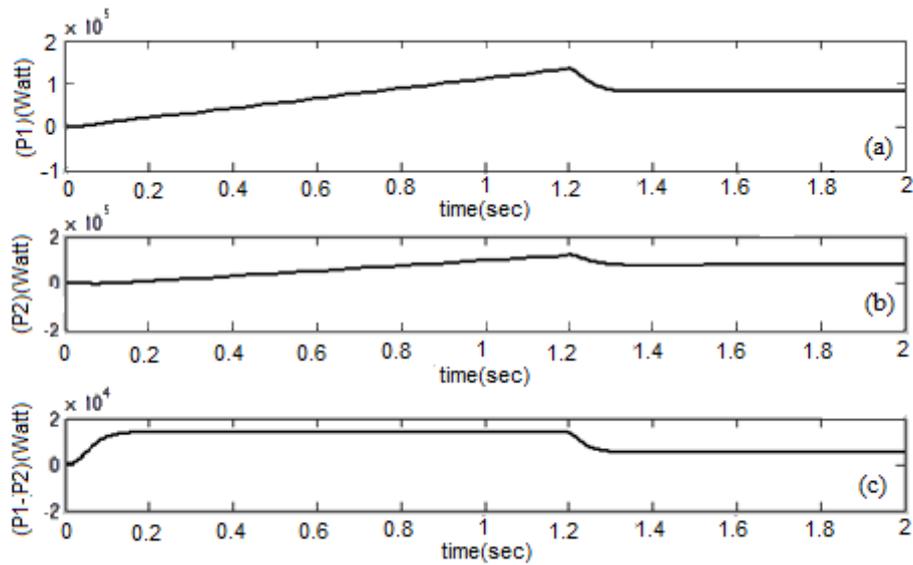


الشكل(11): المنحنيات المميزة للمحرك عند التحكم بالإقلاع عن طريق التحكم بجهد التغذية.

يبين المنحني (a) من الشكل(11) مميزة التيار $I(t)$ أثناء إقلاع المحرك، حيث نتحكم بجهد الدخل المطبق على مدخل المحرك (الطريقة المقترحة)، حيث يتزايد التيار من الصفر إلى أن يصل إلى 270 A ثم يتناقص ليستقر على قيمة تيار الحمل، وأما المنحني (b) من الشكل(11) يعبر عن مميزة العزم للمحرك $T(t)$ أثناء الإقلاع، حيث يتزايد من الصفر إلى 650 N.m ثم يتناقص إلى القيمة المستقرة المساوية لعزم الحمولة الستاتيكي، ويعبر المنحني (c) من الشكل السابق عن مميزة السرعة $w(t)$ أثناء عملية الإقلاع حيث تتزايد بشكل خطي من الصفر إلى أن تستقر على السرعة الموافقة للحمل، في حين أن المنحني (d) من ذات الشكل يبين المميزة الكهربائية للمحرك $w(I)$ (العلاقة التي تربط بين السرعة والتيار).

كما يوضح الشكل(12) مميزة استطاعة الدخل والخرج والمفايد للمحرك عند استخدام مقومات (المبدلات) المصنعة من أنصاف النواقل للإقلاع.

من المنحني (a) في الشكل(12) مميزة استطاعة الدخل الكهربائية للمحرك $P_1(t)$ أثناء الإقلاع بطريقة التحكم بالجهد المطبق على مدخل المحرك (الطريقة المقترحة)، ويبين المنحني (b) استطاعة الخرج الميكانيكية $P_2(t)$ المأخوذة من محور المحرك، بينما يوضح المنحني (c) مفايد الطاقة والتي تساوي إلى حاصل الفرق بين الاستطاعة الكهربائية المقدمة على الدخل والاستطاعة الميكانيكية التي نحصل عليها من خرج المحرك.



الشكل (12) منحنيات كل من: (a) استطاعة الدخل $P_1(t)$ ، (b) استطاعة الخرج $P_2(t)$ ، (c) مفايد الطاقة $[P_1(t) - P_2(t)]$.

بإجراء المكاملة في النموذج للحصول على مفايد الطاقة في حالتها التحكم بالجهد والتحكم عن طريق مقاومات الإقلاع وبعد أن أوجدنا ناتج الفرق بين قيم المفايد عند عدد مرات إقلاع مختلفة بالساعة وعند استطاعات اسمية مختلفة للمحرك بنتيجة التحويل من نظام الإقلاع باستخدام مقاومات إقلاع (النظام التقليدي)، إلى نظام إقلاع عن طريق التحكم بجهد التغذية الكهربائية عن طريق أنصاف النواقل (النظام المقترح)، نحصل على الأرقام المبينة في الجدول (2) والتي تظهر الوفر في مفايد الطاقة المستهلكة، بعد الأخذ بعين الاعتبار أن P_{in} استطاعة المحرك الاسمية، و Z عدد مرات الإقلاع بالساعة.

جدول (2): الوفر في مفايد طاقة المحرك مقدرة بالكيلواط ساعي عند استطاعات اسمية مختلفة وعدد مرات إقلاع متعددة.

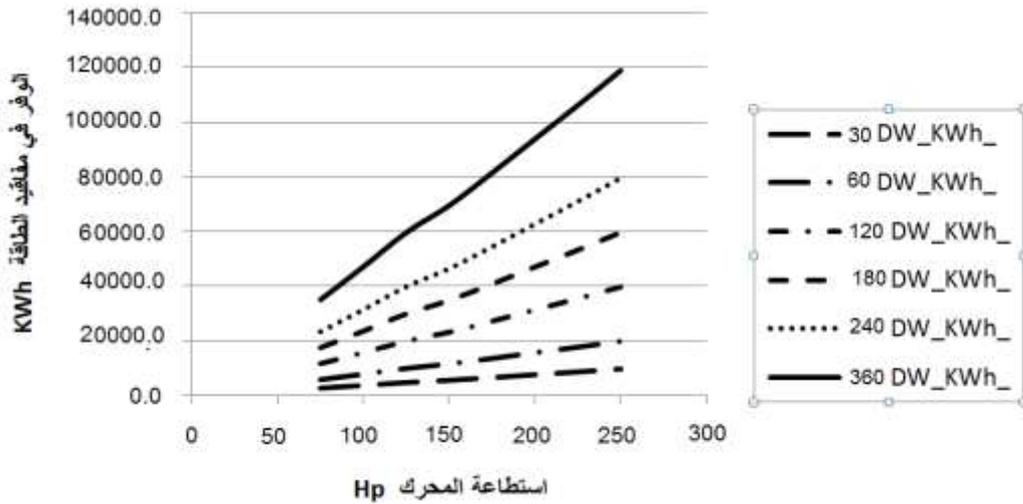
250	225	200	175	150	125	100	75	$\frac{P_n}{Z}$
9935.744	8873.28	7846.592	6808.26	5811.52	4988.67	3946.18	2940.29	KWh_30
19871.488	17746.56	15693.18	13616.5	11623	9977.34	7892.35	5880.58	KWh_60
39742.976	35493.12	31386.37	27233	23246.1	19954.7	15784.7	11761.2	KWh_120
59614.464	53239.68	47079.55	40849.5	34869.1	29932	23677.1	17641.7	KWh_180
79485.952	70986.24	62772.74	54466	46492.2	39909.4	31569.4	23522.3	KWh_240
119228.92	106479.3	94159.1	81699.1	69738.2	59864.1	47354.1	35283.5	KWh_360

وإذا اعتبرنا أن سعر الكيلواط ساعي 3 ليرة سورية نحصل على الوفر الممكن بالليرة السورية نتيجة التحويل من نظام الإقلاع باستخدام مقاومات إقلاع (النظام التقليدي) إلى نظام إقلاع بطريقة التحكم بجهد التغذية الكهربائية باستخدام مقوم مصنع من أنصاف النواقل كما هو مبين في الجدول (3).

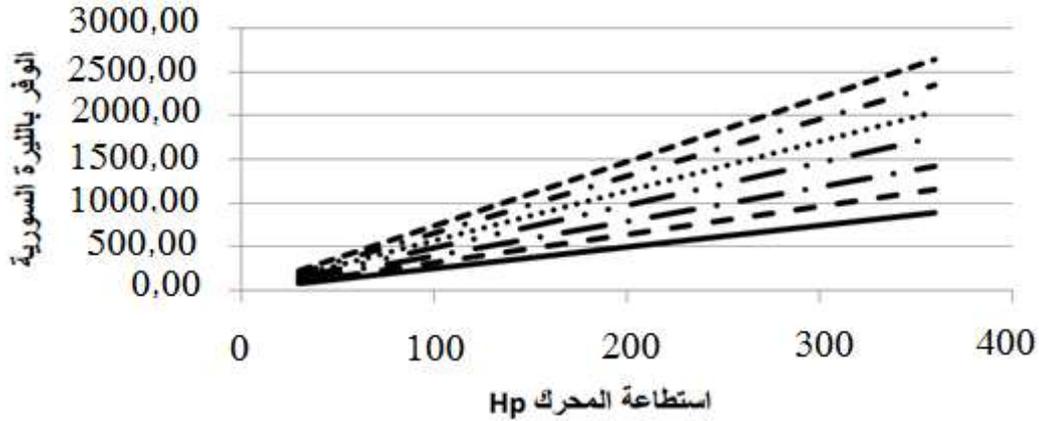
جدول (3): الوفر في مفايد طاقة المحرك مقدرا بالليرة السورية عند استطاعات اسمية مختلفة وعدد مرات إقلاع متعددة.

250	225	200	175	150	125	100	75	Pn / Z
29807.2	26619.8	23539.8	20424.8	17434.6	14966.0	11838.5	8820.9	SL_30
59614.5	53239.7	47079.6	40849.5	34869.1	29932.0	23677.1	17641.7	SL_60
119228.9	106479.4	94159.1	81699.1	69738.2	59864.1	47354.1	35283.5	SL_120
178843.4	159719.0	141238.7	122548.6	104607.4	89796.1	71031.2	52925.2	SL_180
238457.9	212958.7	188318.2	163398.1	139476.5	119728.1	94708.2	70566.9	SL_240
357686.8	319438.1	282477.3	245097.2	209214.7	179592.2	142062.3	105850.4	SL_360

يوضح الشكل (13) تبعية الوفر في مفايد الطاقة نتيجة التحول من نظام الإقلاع التقليدي إلى الإقلاع باستخدام مقومات من أنصاف النواقل للتحكم بجهد الدخل. كما يوضح الشكل (14) تبعية الوفر في الليرة السورية نتيجة التحول من نظام الإقلاع التقليدي إلى الإقلاع باستخدام أنصاف النواقل للتحكم بجهد الدخل (النظام المقترح).



الشكل (13): تبعية الوفر في مفايد الطاقة بالكيلواط ساعي نتيجة التحول من نظام الإقلاع التقليدي إلى الإقلاع عن طريق نظام الإقلاع المقترح.



— /Kwh75S.L- - - /Kwh100·S.L- — · /Kwh125S.L-
 — · /Kwh150S.L-..... /Kwh175S.L- — · · /Kw200·S.L-
 --- /Kwh225S.L-

الشكل(14): تبعية الوفر في الليرة السورية

نتيجة التحول من نظام الإقلاع التقليدي إلى الإقلاع عن طريق نظام الإقلاع باستخدام أنصاف النواقل.

بدراسة المنحنيات في الشكلين (13) و(14) نحصل على العلاقات المبينة في الجدولين (4) و(5) التي تبين العلاقة بين الوفر في مفايد الطاقة جدول(3) وكل من استطاعة المحرك الاسمية وعدد مرات الإقلاع في الساعة Z، وكذلك العلاقة بين الوفر بالليرة السورية جدول(4) وكل من استطاعة المحرك الاسمية وعدد مرات الإقلاع في الساعة (عند $\sigma^2 = 0.9993$ وهي معامل الارتباط الذي يحدد مدى تطابق البيانات الفعلية مع البيانات الناتجة عن المعادلة المستنتجة وتأخذ القيم من 0 إلى 1 وكلما اقتربت هذه القيمة من الواحد تكون المعادلة أكثر دقة) [10].

جدول(4): الوفر في مفايد الطاقة بالكيلواط ساعيتنابع لاستطاعة المحرك الاسمية.

$y_{1_360} = 475 .28 P_n - 507 .4$	Z=360
$y_{1_240} = 316 .85 P_n - 338 .27$	Z=240
$y_{1_180} = 237 .64 P_n - 253 .7$	Z=180
$y_{1_120} = 158 .43 P_n - 169 .13$	Z=120
$y_{1_60} = 79 .214 P_n - 84 .567$	Z=60
$y_{1_30} = 39 .607 P_n - 42 .285$	Z=30

جدول(5): الوفر بالليرة السورية كتابع لاستطاعة المحرك الاسمية.

$y_{2_360} = 1425 .8 P_n - 1522 .2$	Z=360
$y_{2_240} = 950 .56 P_n - 1014 .8$	Z=240
$y_{2_180} = 712 .92 P_n - 761 .1$	Z=180
$y_{2_120} = 475 .28 P_n - 507 .4$	Z=120
$y_{2_60} = 237 .64 P_n - 253 .7$	Z=60
$y_{2_30} = 118 .82 P_n - 126 .85$	Z=30

وبدراسة الجدولين (4) و(5) نصل إلى النتائج التالية:

1 - الوفر الممكن في الطاقة بالكيلواط ساعي في العام (Y_1) كتابع لاستطاعة المحرك الاسمية وعدد مرات الإقلاع في الساعة، نتيجة التحول من نظام إقلاع يستخدم مقاومات إقلاع (النظام التقليدي)، إلى نظام إقلاع يستخدم المقاومات المصنعة من أنصاف النواقل للتحكم بجهد الدخل (النظام المقترح) ولمحرك واحد يُعطى بالعلاقة التالية:

$$Y_1 = (1.32 P_n - 1.4094) \cdot Z$$

حيث أن P_n استطاعة المحرك الاسمية، و Z عدد مرات الإقلاع بالساعة.

2 - وفر الاستطاعة الممكن مقدراً باللييرة السورية في العام (Y_2) كتابع لاستطاعة المحرك الاسمية وعدد مرات الإقلاع في الساعة، نتيجة التحول من نظام إقلاع يستخدم مقاومات إقلاع (النظام التقليدي)، إلى نظام إقلاع يستخدم المقاومات المصنعة من أنصاف النواقل للتحكم بجهد الدخل (النظام المقترح) ولمحرك واحد يُعطى بالعلاقة التالية:

$$Y_2 = (3.9606 P_n - 4.228) \cdot Z$$

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- تبين من خلال البحث أن هناك كمية كبيرة من الطاقة غير المفيدة تصرف عند إقلاع المحركات.
- 2- أن هناك إمكانية لتوفير مقدار كبير من الطاقة إذا تم التقليل من المفايد غير المفيدة من خلال التحكم بجهد التغذية وتقديم الجهد اللازم لإنجاز عملية الإقلاع فقط دون الحاجة إلى تبديد الفائض عبر مقاومات إقلاع.
- 3- إن النظام المقترح أفضل من النظام التقليدي من حيث الوفر في الطاقة المستهلكة عند العمل في الأنظمة الدورية قصيرة الزمن.

4- الحصول على علاقة تربط بين الوفر في الطاقة (Y_1) وباللييرة السورية (Y_2) في العام كتابع لاستطاعة المحرك الاسمية وعدد مرات الإقلاع في الساعة، نتيجة التحول من نظام إقلاع يستخدم مقاومات إقلاع (النظام التقليدي)، إلى نظام إقلاع يستخدم مقاومات من أنصاف النواقل (النظام المقترح).

بناءً على النتائج السابقة نوصي باستبدال جميع أنظمة القيادة والتحكم التقليدية والتي تستخدم مقاومات إقلاع بأنظمة حديثة تستخدم مقاومات من أنصاف النواقل توفر الكثير من الطاقة المهدورة وخاصةً في أنظمة الروافع التي تشكل مستهلكاً كبيراً للطاقة في المنشآت الصناعية والاستثمارية وكذلك المصاعد التي تشكل مستهلكاً مهماً للطاقة في المباني السكنية والرسمية كما في المشافي والفنادق وغيرها.

المراجع:

- 1- PYRHONEN, J; JOKINEN, T; HRABOVCOVA, V. *Design of Rotating Electrical Machines*. John Wiley & Sons Ltd, England, 2009, 544.
- 2- MILLER, R; MILLER, M. *Industrial Electricity and Motor Controls*. Canada, 2007, 448.
- 3- ASHISH, T. *Modern Control Design With Matlab And Simulink*. John Wiley & Sons Ltd, England, 2002, 503 .
- 4- ATTIA, J. O. *Electronic and circuit analysis using Matlab*. 2nd.ed, USA, 2004, 416.
- 5- SHINIANSKY, A. V. *SpavishnikboAftamatizirovanoElectroprivda*. Mosco, 1983, 616.
- 6- KELJIK, J. *Ac/Dc Motors Controls and Maintenance*. Ninth ed, Delmar, USA, 2001, 360.
- 7- CHAPMAN, S, J. *Matlab Programming with Application for Engineers*, 4st . ed, Thomson Learning, Canada, 2008, 567.
- 8- Martinez, J.S.V. *Series Wound DC Motor modeling and simulation, considering magnetic, mechanical and electric power losses. This paper appears in: Circuits and Systems, 2009. MWSCAS '09. 52nd IEEE International Midwest Symposium on, 2-5 Aug, 2009, Page(s): 1073 – 1077.*
- 9- Bilgin, H.F. *A unity-power-factor buck-type PWM rectifier for medium/high-power DC motor drive applications. This paper appears in: Industry Applications, IEEE Transactions on, Sep/Oct 2002, Page(s): 1412 -1425*
- 10- د.بيري، ماجد عبد الرحمن. *طرق الحسابات الإحصائية باستخدام Excel*. الرياض 2003, 474.