

أثر نظام التحكم في إقلاع المحركات على مفايد الطاقة في معامل درفلة الحديد

الدكتور حاتم محمودي*

الدكتورة لينا مقديسيان**

تغريد علي***

(تاريخ الإيداع 5 / 6 / 2012. قُبل للنشر في 14 / 8 / 2012)

□ ملخص □

يعد تطوير طرق التحكم في خطوط الإنتاج الصناعي من أهم العوامل الموفرة للطاقة، وذلك لأن نسبة الطاقة المستهلكة عالمياً في القطاع الصناعي تصل إلى 41% من مجموع الطاقة الكهربائية المولدة، أما من أجل صناعة الحديد وال فولاذ، فإن الطاقة الكهربائية المستهلكة تشكل 30% من تكاليف الإنتاج الإجمالية[2]. يتناول هذا البحث التقانات المستخدمة للتحكم بخطوط درفلة الحديد في مرحلة التخشين ويركز على ما هو موجود في معامل الحديد العكوسة" كما في معمل حديد حماة ومعملي الوهيب والجود لدرفلة الحديد" حيث أن هذه المرحلة تتضمن العديد من نقاط الضعف التي تلعب دوراً كبيراً في ضياع الطاقة. يناقش البحث الطاقة المستهلكة في المرحلة الترددية والتي تصرف خلال خطف الدرافيل للبيليت وتسريعها إلى السرعة الإسمية اللازمة لعملية الدرفلة، ومن ثم إعادة إيقاف البيليت وعكس حركتها وتسريعها وهكذا وصولاً إلى انتهاء مرحلة التخشين. سيتم تقديم دراسة نظرية للمشكلة ومن ثم مقارنة القياسات ضمن المعمل مع محاكاة للعملية صممت من خلال برنامج Matlab وصولاً إلى مجموعة من التوصيات ذات العلاقة بإقلاع محركات الدرفلة للحصول على الفقد الأدنى للطاقة وذلك اعتماداً على القياسات العملية والنموذج المحاكي ضمن حدود خطأ دنيا في عملية النمذجة.

الكلمات المفتاحية: التحكم بخطوط الدرفلة، مرحلة التخشين، درفلة الحديد، طاقة محركات الدرفلة، الدرفلة على الساخن، مرحلة التخشين الترددي.

* أستاذ مساعد - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - اللاذقية - سورية.

** مدرسة - قسم العلوم الأساسية - كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - اللاذقية - سورية.

*** طالبة دراسات عليا (ماجستير) - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - اللاذقية - سورية.

on Power losses in Steel Rolling Mills

Dr. Hatm Mahmoud^{*}
Dr. Lina Makdesian^{**}
Tagreed Ali^{***}

(Received 5 / 6 / 2012. Accepted 14 / 8 / 2012)

□ ABSTRACT □

The development of controlling methods of industrial lines is considered as one of the most effective factors in power saving actions, as the power consumed globally in industrial sector reaches 41% of the total electrical power generated. As for steel industries, the electrical power consumed forms 30% of production cost [2].

This research studies the technologies used to control steel rolling mills in roughing stage, and focuses the reversing mills as those in Hama, Al-Wahib and Al-Joud factories, that this stage includes a lot of problematic points which play major role in power losses.

The research discusses the power consumed to bite the billet by rolls in reversing stage and needed to speed up it till reaches the namely speed needed for rolling operation, stopping the billet, reverse its movement direction and so on till the end of roughing stage.

A theoretical study is provided, and a comparison for measures within factories and a simulation model is listed using Matlab, concluding the study by a set of recommendations about rolling motors startup system to get the minimum operation power needed based on operational measures and simulated model within minimum errors range in simulation work.

Keywords:Controlling Rolling Lines, Roughing Stage, Steel Rolling, Power of Rolling Motors, Hot Rolling, Reverse Roughing Stage.

*. Associate Professor, Department of Design and Production Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Syria

** Assistant Professor, Department of Basic Sciences, Faculty of Information Technology & Communication Engineering, Tishreen University, Syria.

*** Postgraduate Student , Department of Design and Production Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Syria.

مقدمة:

تعتمد المنافسة في صناعة الحديد الصلب على كفاءة استخدام الموارد وسرعة تطوير المنتجات، وإن تلبية متطلبات السوق المتزايدة من المنتجات المعدنية وبخاصة الفولاذية بأشكالها المقطعية المتنوعة يقع على عاتق عمليات التشكيل التي تعتمد في الصناعات المعدنية الثانوية على العديد من العمليات الميكانيكية التي تتعامل مع المعادن بعد سبكها لإكسابها الأشكال المطلوبة، ومن أهم هذه العمليات الدرفلة، السحب والبثق والطرق.

وتعتبر عملية الدرفلة من أهم عمليات تشكيل المعادن اللدنة وإعطائها الشكل المطلوب مع عدم تغيير التركيب الكيميائي للمعدن عملياً.

تأخذ الدرفلة موقعاً هاماً وفعالاً في الإقتصاد الصناعي حيث توفر مجموعة واسعة من المنتجات المستخدمة في الصناعة المعدنية وتعتبر عملية الدرفلة عصب الصناعة الثقيلة ويتم درفلة حوالي 90% من كمية الحديد المنتج. ومن أهم التطورات التي طرأت على عملية الدرفلة بالعقود الأخيرة هي وسائل التحكم في العملية وخاصة إدخال أساليب التحكم باستخدام الحاسوب حيث يتم في خطوط الإنتاج الاستفادة من الحاسب بالتحكم بسلسلة العمليات منذ بدايتها وحتى النهاية، حيث يتم إدخال الكتل البدائية إلى أفران التسخين مروراً بمراحل الدرفلة المختلفة كافة للوصول للمنتج المطلوب. وقد تطورت عملية الإنتاج بهذه الطريقة بشكل كبير جداً بحيث أصبحت اقتصادية جداً وتقدر كلفة المعدن من 85% إلى 95% من الكلفة الكلية أما كلفة التصنيع فهي بحدود من 5 إلى 15% فقط.

لتخفيض الكلفة الإجمالية للمنتجات المعدنية اتجهت الصناعة نحو إنتاج أشكال قريبة من الأشكال النهائية المطلوبة مما يخفف الهدر في المعدن والتكلفة للمنتج، ولقد استخدمت طرق الدرفلة الخاصة ومثال على هذه الطرق إنتاج البيليات، الحلقات، الدواليب، الكرات، بعض عناصر الآلات والمقاطع المختلفة، كما تطور وبشكل ملحوظ تصميم آلات الدرفلة مما أدى إلى رفع دقة المنتجات المصنعة بالدرفلة وتحسين مواصفاتها.

أهمية البحث وأهدافه:

تشكل الطاقة العصب الأساسي لكل الصناعات وتعتبر بشكليها الكهربائي والبترولي العامل الإقتصادي الرئيسي والمهم في كلفة وحدة الإنتاج الصناعي وتشكل في بعض الصناعات حوالي 60% من الكلفة الإجمالية للمنتج، من هنا تظهر أهمية التركيز على ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها في قطاع الصناعة بشكل عام، وفي عدد من الصناعات ذات الاستهلاك الكبير للطاقة بشكل خاص [7]. تعتبر عمليات تشكيل المعادن من الصناعات التي تعتمد على الطاقة، وتعتبر الطاقة العامل الأساسي في حساب التكلفة حيث يدخل فيها ارتفاع أسعار الكهرباء، والتي تؤدي إلى ارتفاع تكلفة الإنتاج وبالتالي ارتفاع الأسعار [3]. لذلك من أجل تخفيض تكاليف الإنتاج كان لابد من تخفيض الطاقة المستهلكة في عمليات الدرفلة، خاصة في عملية الدرفلة على الساخن التي تستهلك الطاقة العظمى مقارنة بعمليات التشكيل الأخرى، حيث تعتبر هذه العملية من العمليات الهامة وذات إنتاجية كبيرة، وقد ازدهرت هذه الصناعة في سوريا وخصوصاً في الآونة الأخيرة حيث يوجد في القطر العديد من المعامل التي تنتج القضبان المسلحة وكذلك المعامل التي تنتج المقاطع البسيطة والمعقدة بالإضافة إلى إنتاج للفائف المعدنية وغيرها من المنتجات المعدنية.

يوجد في معمل درفلة الحديد على الساخن هدر كبير في الطاقة سواء كانت الطاقة الكهربائية أم الحرارية، والهدر يتم في الوقود المستخدم وكذلك بسبب الزمن الضائع، لذلك فإن توفير الطاقة واستخدامها بشكل أمثل من المواضيع التي من المهم دراستها والبحث فيها لما لها من أثر كبير على العملية الإنتاجية وعلى التكلفة وأثرها على الاقتصاد الصناعي، مع الاختيار السليم لقدرة المحركات المناسبة لعملية الدرفلة [6]، [5].

إن الهدف من هذا البحث هو دراسة إمكانية توفير الطاقة في خط إنتاج القضبان الحديدية بعملية الدرفلة على الساخن الذي تتبعه معامل درفلة الحديد العكوسة، واختصار الزمن في مرحلة التبخين التي تعمل بنظام عكسي ترددي وإعادة تصميمها والتعويض عنها بمحطات موصولة على التسلسل، وإجراء دراسة مقارنة لنتائجها، وعملية نمذجة للتصميمين.

الاستخدام الأمثل للطاقة في معمل درفلة الحديد

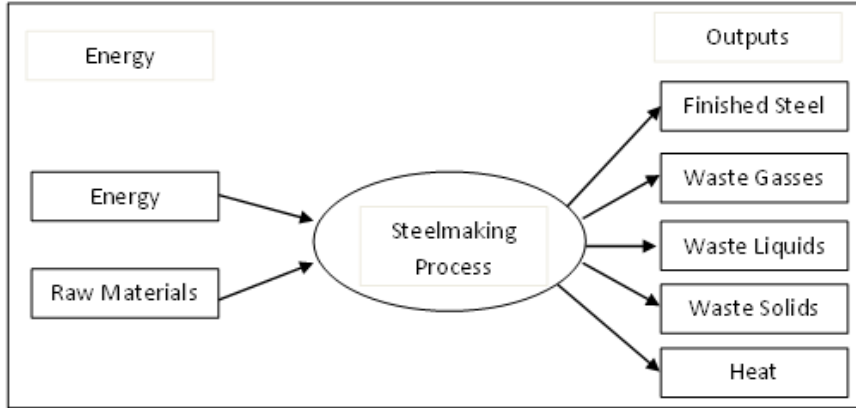
وصف المشكلة

إن كل العمليات في كافة الأنظمة غير الميتة أو المعزولة ملخصة بالشكل التالي (دخول - معالجة - وصول للنتيجة أو الخرج) ووفق قانون مصونية الطاقة إن الدخل يجب أن يتحول إلى خرج، وهنا يمثل لدينا الدخل المادة الخام والطاقة، ويتم في المعالجة تسخين المادة الخام حتى الصهر بغية سباكتها كمعدن شبة صافي، إلا أن ذلك لا يتم بهذه البساطة حيث نحصل في الخرج على الحديد وعدد من الضياعات على شكل ضياعات غازية، سائلة، صلبة وحرارية كما في الشكل (1) الذي يبين ضياع الطاقة في عملية تصنيع الفولاذ، إن تخفيض هذه الضياعات يشكل هدفاً أساسياً في معظم الدراسات بسبب التكلفة المضافة للإنتاج والضرر البيئي الناتج عنها، وبالتالي تظهر عدة مشاكل منها :

- المشاكل المختلفة الناتجة عن الوقود المستخدم بكافة أنواعه (بترولي، غازي، كهربائي...).
- مشاكل عملية فشل التصنيع سواء كان فشل في الجودة وفشل في المنتج النهائي (عيوب).
- الضياعات الناتجة عن فقدان حرارة الشرائح من قوالب الصب وضياعات فرن إعادة التسخين، ضياع حرارة مياه التبريد، عدم الاستفادة من حرارة القضبان النهائية.

إن توفير الطاقة يعني التخفيض من الطاقة المستهلكة مع استرداد ما أمكن من الطاقة وإعادة استخدامها في عمليات أخرى، ويجب دراسة عمليات تصنيع وتشكيل الفولاذ المؤلف من إعادة التسخين والدرفلة نظراً لأهميتها في توفير الفرص الممكنة لتوفير الطاقة.

وفق الدراسات المنشورة، يمكن أن نعوض الفقد بنسبة $2/3$ من خلال تطبيق العمليات بشكل أمثل، مثل تحسين تصميم الأفران، تحسين التحكم بالعمليات، تحسين عمليات التسخين الأولي و $1/3$ يمكن الوصول إليها عن طريق دراسات وأبحاث مستقبلية. [1]



الشكل(1)مخطط توازن الطاقة.

سنقوم خلال هذا البحث بالتحكم بالطاقة اللازمة في محرك مرحلة التخشين المتمثلة في خطف البيلت من قبل الدرافيل وزيادة سرعته من n_1 إلى سرعة الدرفلة الاسمية n_2 .

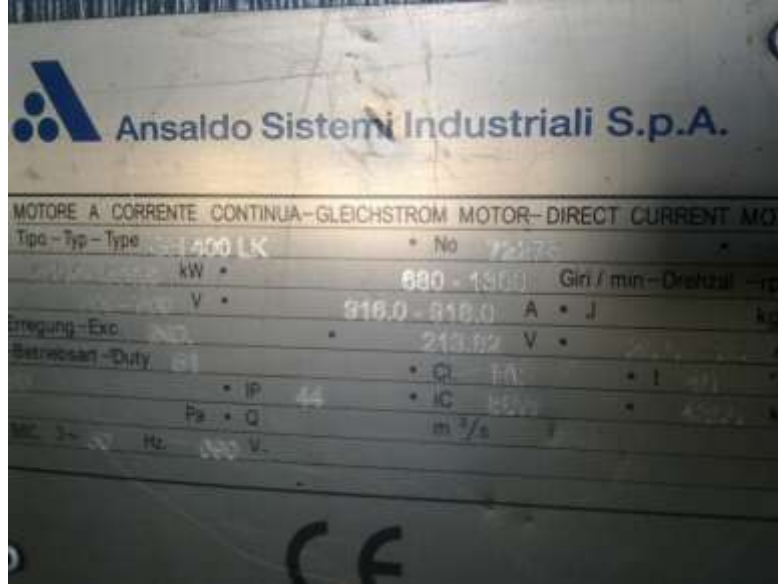
طرائق البحث ومواده:

هناك نوعان من المعامل التي تعمل بشكل عكوس للبيليت في مرحلة التخشين، إحداهما بدرفيلين، وبالتالي لا بد من إيقافهما وعكس حركتهما من أجل الذهاب والإياب للبيليت (معمل الجود)، ويتم عكس الحركة من خلال إيقاف المحرك وعكس حركته. النوع الثاني لديه ثلاثة درافيل، وبالتالي يدور الدرفيلان العلوي والسفلي بشكل معاكس، وعليه فإنه لا داعي لعكس الاتجاه ، ولكن نحتاج إلى طاولة تقوم برفع وخفض البيليت من أجل عكس الاتجاه (معمل حماة ومعمل الوهيب)، ونجد في الشكل (2) صورة للجهاز المستخدم.



الشكل (2) صورة الجهاز المستخدم في عملية القياس

لقد تم استخدام جهاز قياس محلل إشارة من نوع QualiStar والذي يؤمن العديد من القياسات، ولقد ركزنا على الاستفادة من قياس التيارات والجهود والإستطاعات في هذا البحث، الموصول مع دخل المحرك، ذو اللوحة الاسمية الموجود المبينة في الشكل (3).



الشكل (3) يبين صورة اللوحة الإسمية للمحرك موضوع البحث.

فيما يلي قيم اللوحة الإسمية منقولة من المحرك نظراً لعدم إمكانية الحصول على صورة واضحة.

IEC motore A grrentecontinun- Gleichstorum motor DirectCunjevent motor			
60034-1	tipo-Type-Type	GH400LK	No 72278
590.0-590.0	KW	rpn680-1300	Cini/min-Drehzal-rpn
700	700V	916.0-916.0	A
ECc-Erregung-Exe	IND.	213.62	v
Serv-Betriebsart-Duly	S1	Cl	H/F
IM	B3	*IP	44
		IC	88W
kg			4300
ΔP		3/s	
B6c		3	50 HZ 690v

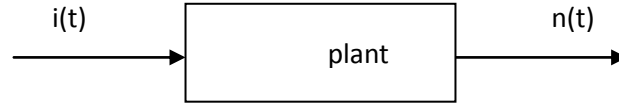
النتائج والمناقشة

يوضع التيار الثابت للمحرك عند قيمة ثابتة في العملية الديناميكية لإقلاع وفرملة وحدة الدرفلة، مثلاً تيار المحرك يقدر بـ $I=2I_r$ ثم لا يتغير حتى يصل إلى السرعة المطلوبة، أي أن التيار الثابت لا يعالج كحمل فعلي، ولكن من وجهة نظر التحكم الأمثل فإن هذا غير منطقي، إذ يجب أن يكون يرتبط التيار بالحمل الفعلي.

بعد دورة إقلاع وتوقف واحدة، فإن الكمية الإجمالية من الطاقة الكهربائية لا يكون كبير جداً، ولكن بما أن المحطة العكوسة تعمل بتردد عالٍ، فإن القيم التكاملية للطاقة المستهلكة لعدة ساعات في اليوم من التشغيل تصبح ذات أهمية عالية مع عمر المعمل.

التحكم بالطاقة للوصول إلى استهلاك أصغري.

عادةً تدار المحطات العكوسة الثقيلة بواسطة محرك تيار مستمر DC مع تيار دخل i وخرج n دورة في الدقيقة "معمل الجود لدرفلة الحديد" كما يظهر في الشكل (4)



الشكل (4) يبين مخطط صندوقي لمحطة الدرفلة

نصف المصنع مستخدمين المعادلة الديناميكية التالية

$$\frac{dn}{dt} = K_1(i - I_L) \quad (1)$$

حيث n سرعة الدوران وتقاس [rpm]

i تيار التحكم المتغير يقاس [A] amperes

I_L تيار الحمل المطلوب لدرفلة الفولاذ.

K_1 معامل محدد يعطى بالعلاقة:

$$K_1 = \frac{C_M \cdot 4g}{GD^2 \cdot \frac{2\pi}{60}} \quad [4]$$

تابع التكلفة الذي يقيس الطاقة المستهلكة يؤخذ من المعادلة التالية:

$$J = I_L^2 t_s + \int_{t_1}^{t_2} i^2 dt \quad (2)$$

إن الشروط الحدية هي:

$$n(t_1) = n_1$$

$$n(t_2) = n_2$$

$$t_2 = \text{free}$$

n_1 سرعة الدوران الابتدائية عندما تدخل البيلت وحدة الدرفلة .

n_2 سرعة الدوران النهائية عندما يكون المحرك محمّل (عادة تعبر عن السرعة الإسمية للمحرك).

t_2 زمن تسريع المحرك إلى السرعة n_2 .

t_s الزمن من t_2 إلى لحظة خروج البيلت من الدرافيل .

خلال t_s ، تعمل المحطة بسرعة ثابتة $n = n_2$ ، إذا كان للبيلت (فولاذ الصب) طول محدد و كانت السرعة

محددة ، فإن الزمن t_s يمكن تحديده بدلالة الزمن t_1 والزمن t_2 :

$$I_L^2 t_s = \Phi(t_1, t_2) \quad (3)$$

بالتالي يصبح تابع التكلفة :

$$J = \Phi(t_1, t_2) + \int_{t_1}^{t_2} i^2 dt \quad (2')$$

الآن نحل التحكم الأمثلي من المعادلات (1) و (2) و (3) :

وفق Hamiltonian يكون :

$$H = i^2 + \lambda K_1 (i - I_L) \quad (4)$$

مع المعادلة المساعدة:

$$\lambda' = -\frac{\partial H}{\partial n} = 0$$

$$\lambda = \text{constant} \quad (5) \quad \text{حيث}$$

باشتقاق المعادلة (4) مع الأخذ بعين الاعتبار المتحكم i نحصل على :

$$\frac{\partial H}{\partial i} = 2i_{opt} + \lambda K_1 = 0$$

$$i_{opt} = -\frac{1}{2} \lambda K_1 \quad (6) \quad \text{أو}$$

بمكاملة المعادلة (1) ينتج:

$$n(t) = K_1 \left(-\frac{1}{2} \lambda K_1 - I_L \right) t + C \quad (7)$$

حيث C ثابت التكامل .

لاحقاً ، يجب أن نجد الثابت λ ومن ثم الثابت C .

نضيف الشروط الحدية إلى المعادلة (1) ، ثم المعادلة (7) نحصل على :

$$\lambda = -\frac{2}{K_1} \left[\frac{n_2 - n_1}{K_1(t_2 - t_1)} + I_L \right] \quad (8)$$

$$C = \frac{n_1 t_2 - n_2 t_1}{t_2 - t_1} \quad (9) \quad \text{و}$$

نعوض (8) و (9) في المعادلتين (6) و (7) ينتج :

$$i_{opt} = -\frac{K_1}{2} \cdot \left\{ -\frac{2}{K_1} \left[\frac{n_2 - n_1}{K_1(t_2 - t_1)} + I_L \right] \right\} = \frac{n_2 - n_1}{K_1(t_2 - t_1)} + I_L \quad (6')$$

و المعادلة :

$$n(t) = K_1 \left\{ \left(-\frac{K_1}{2} \right) \cdot \left(-\frac{2}{K_1} \right) \left[\frac{n_2 - n_1}{K_1(t_2 - t_1)} + I_L \right] - I_L \right\} t + \frac{n_1 t_2 - n_2 t_1}{(t_2 - t_1)}$$

$$= \left(\frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1} \right) t + \frac{n_1 t_2 - n_2 t_1}{(t_2 - t_1)} \quad (7')$$

$$\frac{\partial \phi(t_1, t_2)}{\partial t_2} + H(t_2) = 0 \quad (10) \quad \text{بما أن } t_2 \text{ حرة ، فإنه لدينا شروط طارئة هي :}$$

$$\phi(t_1, t_2) = I_L^2 t_s \quad \text{الآن ، سوف نجد } t_s \text{ من أجل إستخدامها في :}$$

$$\frac{dLa}{dt} = K_2 n \quad (11) \quad \text{معادلة الحركة لقطعة العمل (البليت) هي}$$

حيث La المسافة التي تقطعها البليت خلال عملية التسريع . K_2 محيط الدرافيل .

$$K_2 = \pi \frac{D}{60} \quad \text{قطر الدرافيل .}$$

لذلك في عملية تسريع الدرافيل بأكملها ، المسافة التي تقطعها قطعة العمل هي :

$$La = \int_{t_1}^{t_2} k_2 n dt = \int_{t_1}^{t_2} k_2 \left[\left(\frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1} \right) t + \frac{n_1 t_2 - n_2 t_1}{t_2 - t_1} \right] dt$$

$$= k_2 \left[\frac{1}{2} \left(\frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1} \right) (t_2^2 - t_1^2) + \frac{n_1 t_2 - n_2 t_1}{t_2 - t_1} (t_2 - t_1) \right]$$

$$= \frac{1}{2} k_2 (n_2 + n_1) (t_2 - t_1) \quad (12)$$

وبالتالي عندما نحدد الطول L للبليت نستطيع إيجاد t_s كالتالي:

$$t_s = \frac{L-L_a}{k_2 n_2} = \frac{L}{k_2 n_2} - \frac{(n_2+n_1)(t_2-t_1)}{2n_2}$$

حيث $L - L_a$ يمثل طول البيلت التي تنتقل بسرعة ثابتة لـ $k_2 n_2$ ثم

$$\phi(t_1, t_2) = I_L^2 \left[\frac{L}{k_2 n_2} - \frac{(n_2+n_1)(t_2-t_1)}{2n_2} \right] \quad (13)$$

بتعويض 13 في 10 نجد:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \phi(t_1, t_2)}{\partial t_2} + H(t_2) &= -I_L^2 \frac{(n_2+n_1)}{2n_2} + \left[\frac{n_2-n_1}{k_1(t_2-t_1)} + I_L \right]^2 \\ &\quad - 2 \left[\frac{n_2-n_1}{k_1(t_2-t_1)} + I_L \right] \cdot \left[\frac{n_2-n_1}{k_1(t_2-t_1)} \right] \\ &= -\frac{n_2+n_1}{2n_2} I_L^2 - \left[\frac{n_2-n_1}{k_1(t_2-t_1)} \right]^2 + I_L^2 = 0 \end{aligned}$$

$$-\frac{n_2+n_1}{2n_2} I_L^2 - \left[\frac{n_2-n_1}{k_1(t_2-t_1)} \right]^2 + I_L^2 = 0 \quad \text{وبالتالي نجد:}$$

$$\begin{aligned} \left[\frac{n_2-n_1}{k_1(t_2-t_1)} \right]^2 &= \frac{n_2-n_1}{2n_2} I_L^2 \\ \frac{n_2-n_1}{k_1(t_2-t_1)} &= \pm \sqrt{\frac{n_2-n_1}{2n_2}} \cdot I_L \end{aligned}$$

إن إشارة + يجب أن تستخدم من أجل $n_2 > n_1$ والتي هي الحالة الاعتيادية وبالتالي نجد:

$$\frac{n_2-n_1}{k_1(t_2-t_1)} = + \sqrt{\frac{n_2-n_1}{2n_2}} \cdot I_L \quad (14)$$

$$i_{opt} = \left(1 + \sqrt{\frac{n_2-n_1}{2n_2}} \right) I_L \quad (15) \quad \text{بتعويض 14 بـ 6' نجد أخيراً}$$

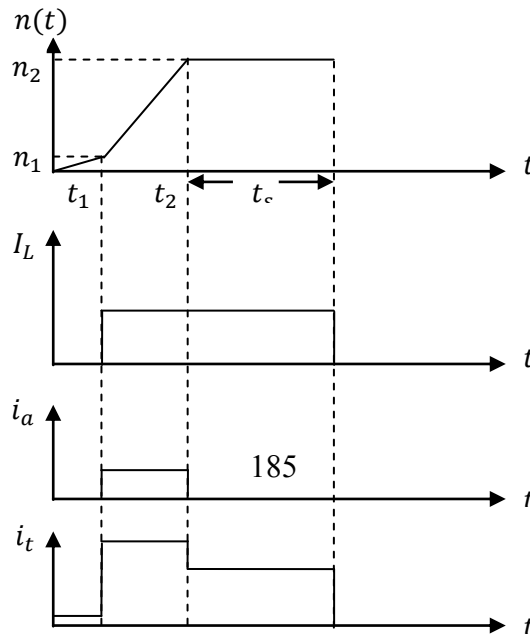
$$i_{opt} = \left(1 + \sqrt{\frac{1-\alpha}{2}} \right) I_L \quad (15') \quad \text{ثم } n_1 = \alpha n_2 \quad \text{أو نضع}$$

حيث تمثل α جزء من السرعة التي تشغل عندها وحدة الدرفة عند استقبال البيلت.

المعادلة (15) هي التعبير الخاص بالتحكم بالطاقة الدنيا التي سعينا إليها وهي النتيجة التحليلية الأهم في هذا

العمل. الحل المعطى في المعادلة (15') يطبق على كامل الزمن بين t_1 و t_2 .

بعد الزمن t_2 ، يصبح التيار i مساوياً لتيار الحمل والسرعة تكون ثابتة، كما في الشكل (5).



الشكل (5) يوضح أشكال موجية نموذجية لكامل العملية .

المقارنة والقياسات

من أجل بيليت بطول L و تيار ثابت متعلق بنسبة التخفيض للبيليت ، فإن الطاقة المصروفة خلال عملية الدرفلة بأكملها تعطى بالعلاقة:

$$A = R (i_a + I_L)^2 \frac{n_2 - n_1}{k_1 i_a} + R I_L^2 \left(\frac{L}{k_2 n_2} - \frac{n_2^2 - n_1^2}{2k_1 n_2 i_a} \right) \quad (16)$$

حيث R المقاومة الكلية للدائرة .

i_a جزء من التيار الزائد عن تيار الحمل، تيار تسريع البيليت.

الجزء الأول من المعادلة (16) يعبر عن الطاقة المصروفة خلال طور التسريع.

أما الجزء الثاني فهو الطاقة المصروفة خلال عملية التشغيل عند سرعة ثابتة.

الآن ، يمكن أن نقارن حالتى الطاقة المصروفة، إحداهما باستخدام التحكم الأمثل i_{opt} والأخرى باستخدام

التيار الثابت i_c .

من أجل i_{opt} :

$$A_{opt} = R \left(1 + \sqrt{\frac{n_2 - n_1}{2n_2}} \right)^2 I_L^2 \cdot \frac{n_2 - n_1}{K_1 \sqrt{\frac{n_2 - n_1}{2n_2}} I_L} + R I_L^2 \left(\frac{L}{k_2 n_2} - \frac{n_2^2 - n_1^2}{2K_1 n_2 \sqrt{\frac{n_2 - n_1}{2n_2}} I_L} \right) \quad (17)$$

من أجل التيار الثابت i_c :

$$A_c = R (i_c + I_L)^2 \frac{n_2 - n_1}{k_1 i_c} + R I_L^2 \left(\frac{L}{k_2 n_2} - \frac{n_2^2 - n_1^2}{2k_1 n_2 i_c} \right) \quad (18)$$

الفرق بين الحالتين هو :

$$\Delta A = A_c - A_{opt} = \frac{R(n_2 - n_1) \left(i_c - \sqrt{\frac{n_2 - n_1}{2n_2}} I_L \right)^2}{K_1 i_c} \quad (19)$$

في المعادلة (19) تكون ΔA موجبة أو صفر لأن $n_2 > n_1$

وهي صفر فقط إذا كانت $i_c = \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{n_1}{2n_2} \right)} I_L$ مساوية القيمة المثالية.

من المعادلة (15) تبين أن تحكم الطاقة الأقل معتمد على n_2 و n_1 و I_L و

$$i_{opt} = f(n_1, I_L, n_2)$$

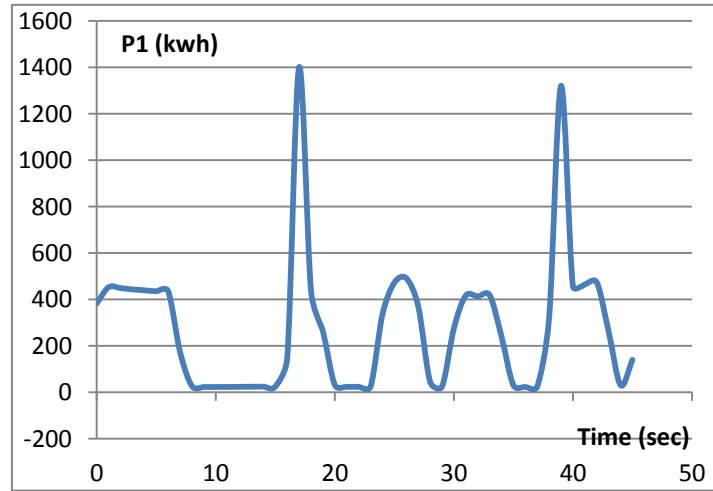
n_2 تمثل معدل السرعة المعروفة سلفاً للمحرك، بالتالي يمكن أن نكتبها مرة أخرى كالتالي:

$$i_{opt} = f(n_1, I_L) \quad (20)$$

$$i_{opt} = f(\alpha, I_L) \quad (20') \quad \text{وكما في (15') نجد}$$

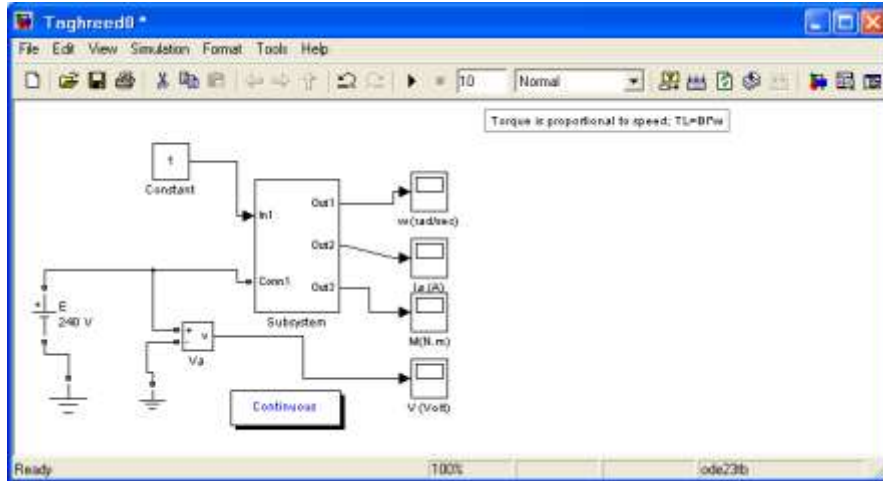
الآن، n_1 يجب أن تكون أكبر من الصفر خلال الفترة من $0 \sim t_1$ ، لكي تدخل البيليت إلى الدرافيل. إذا كان هناك مرونة في الزمن t_1 فإن هذه المرونة يمكن أن تستخدم لتقليل الطاقة المصروفة في تسريع الدرافيل إلى السرعة n_1 .

لأسباب تتعلق بجدولة الإنتاج فإننا لانستطيع ترك t_1 اعتباطية بشكل كامل. حسب المعادلة (15)، نعلم أنه من أجل تحقيق التحكم بالطاقة الأقل فإنه من الضروري قياس I_L و n_1 على الخط. هناك طرق عديدة للحصول على I_L . أحد هذه الطرق هو قياس $\frac{dn}{dt}$ ، ثم حساب I_L بشكل غير مباشر [4]. قياساتنا الميدانية تمت على وحدة درفلة عكوسة ويحمل منقطع تستخدم وحدة درفلة Ansaldo Sistemi Industriali S.P.A. وتم نمذجة وحدة الدرفلة العكوسة وغير العكوسة وفق برنامج Matlab ومقارنة النتائج. نوضح في الشكل (6) فيما يلي مخطط لدورة عمل بيليت، حيث تحتاج كل دورة إلى 45 sec تقريباً، ومن خلال القياسات تبين أن قيمة الطاقة المستجدة خلال دورة عمل هي 12537KW.sec، ويتقسيم هذا المقدار على زمن الدورة البالغ 45 sec تكون القيمة المتوسطة للاستطاعة خلال دورة عمل 279.6 KW، وبالتالي يستهلك هذا المحرك طاقة قدرها 279.6 KWh. الشكل (6) يظهر الطاقة خلال حالتي إقلاع فقط من دورة العمل وذلك لأن الحد الأدنى لأزمنة تسجيل المقادير المقاسة هو ثانية واحدة وفق جهاز القياس المستخدم، وبالتالي خلال عدة محاولات قياس تمكنا من التقاط هاتين النقطتين فقط، علماً أن الإقلاع يتم خمس مرات في دورة العمل الواحدة.



شكل (6) : مخطط دورة عمل بيليت يبين الإستطاعة المستهلكة المقاسة

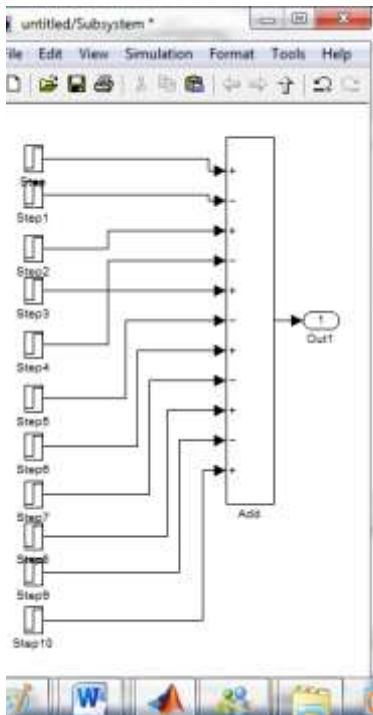
تم تبسيط النموذج ليصبح أكثر سهولة في الاستخدام، شكل (7).



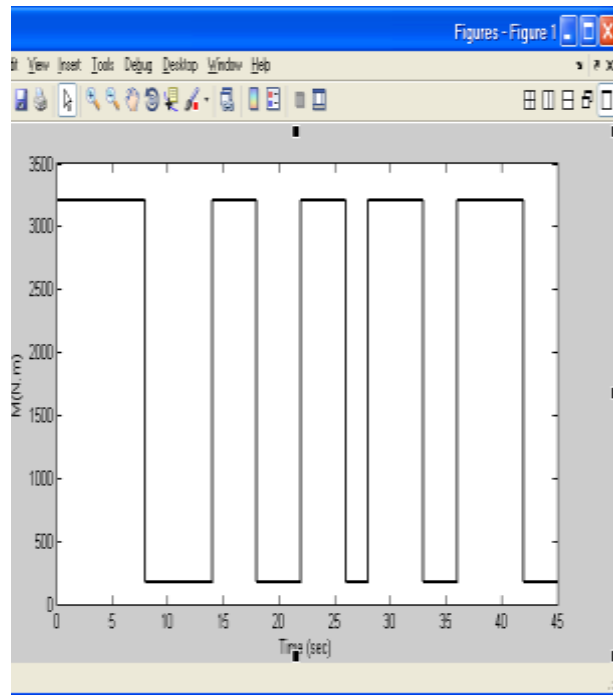
شكل (7) نموذج المحرك المبسط

قمنا بنمذجة حمولة المحرك لنتناسب مع القيم المقاسة واقعياً وفق المتوسط الزمني لـ 35 بيليت، والشكل (8) يبين كيفية نمذجة حمل المحرك حيث كان الزمن بالثانية.

عمل 1	راحة 1	عمل 2	راحة 2	عمل 3	راحة 3	عمل 4	راحة 4	عمل 5	راحة 5
8.0625	6.5625	3.8125	3.71875	4.3125	1.84375	4.84375	2.9375	6.1875	1.53125



A



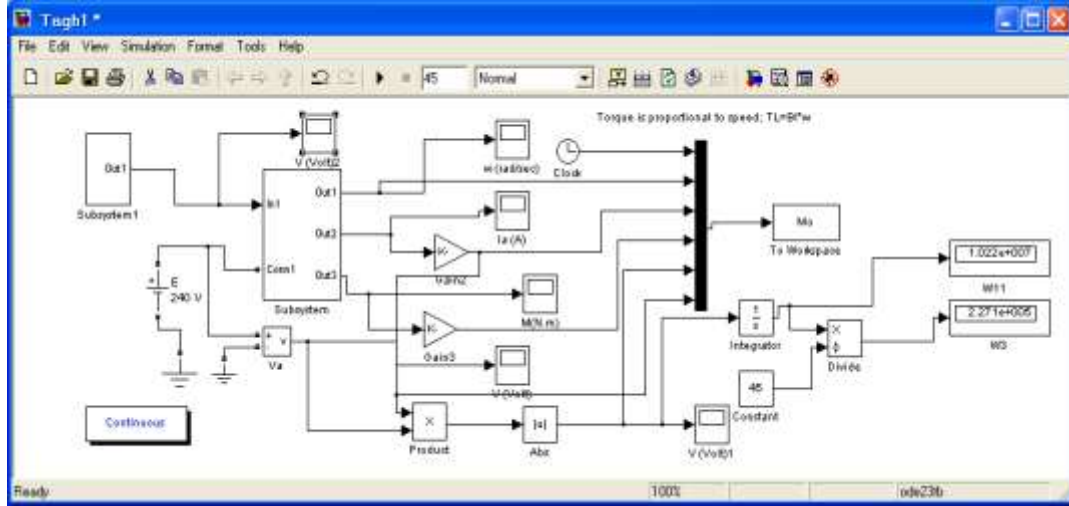
B

الشكل (8) نمذجة الحمل a: نمذجة دورة العمل الزمنية وفق القيم المبينة في الجدول أعلاه.

b: شكل تغير الحمولة المطبقة على محور العمل

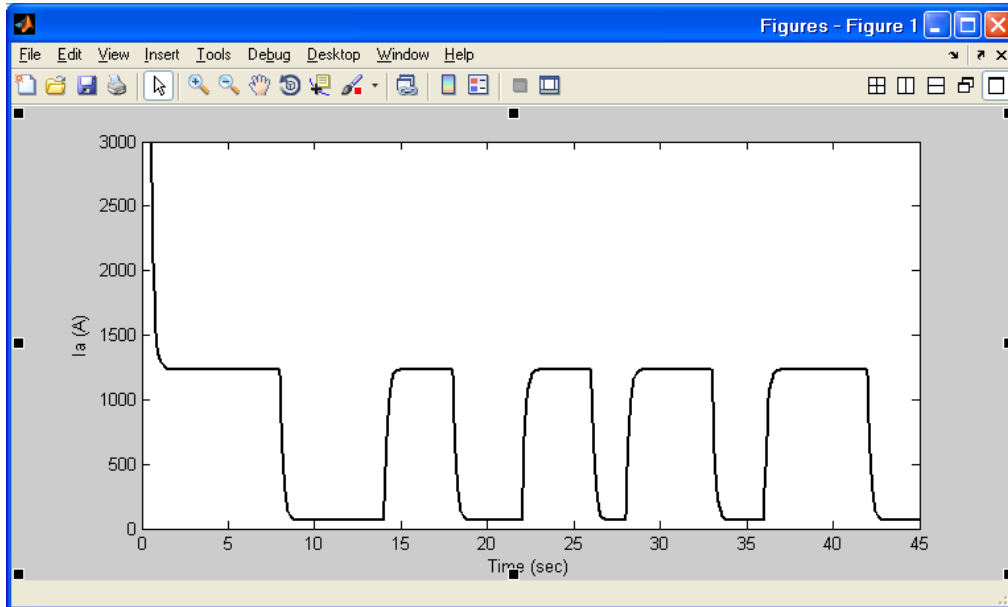
نمذجة المحرك عند عمله بشكل مستمر مع حمل متغير

الشكل (9) يبين عمل المحرك بشكل مستمر مع حمل دوري متقطع ، يتم إقلاع المحرك بشكل مباشر مرة واحدة ويستمر في العمل وينفس الاتجاه نظراً لوجود ثلاث درافيل، رغم عدم وجود حمل أحياناً أي هو يعمل وفق نظام العمل S1 . وبمعنى آخر يبقى المحرك في حالة عمل حتى لو توقف خط الإنتاج لفترات زمنية مختلفة.



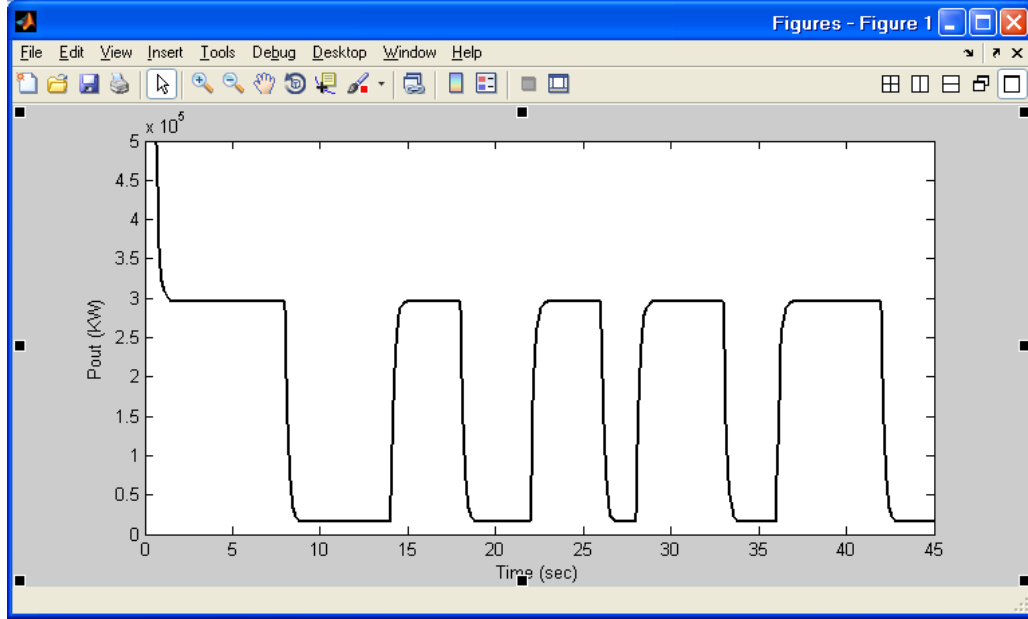
الشكل (9) نموذج عمل المحرك بشكل مستمر مع حمل متقطع دوري

في الشكل (10) نبين تغير تيار المحرك خلال دورة العمل وكيف يتناسب مع تطبيق الحمولة.



الشكل (10) منحنى التيار لنظام العمل المستمر مع تغير الحمولة

كما يبين الشكل (11) مقدار تغير الاستطاعة المستجرة كتابع للزمن خلال دورة العمل مع حمولة متغيرة وعمل مستمر وذلك وفق قراءات النموذج الذي تم تصميمه ليوافق نظام العمل الفعلي.

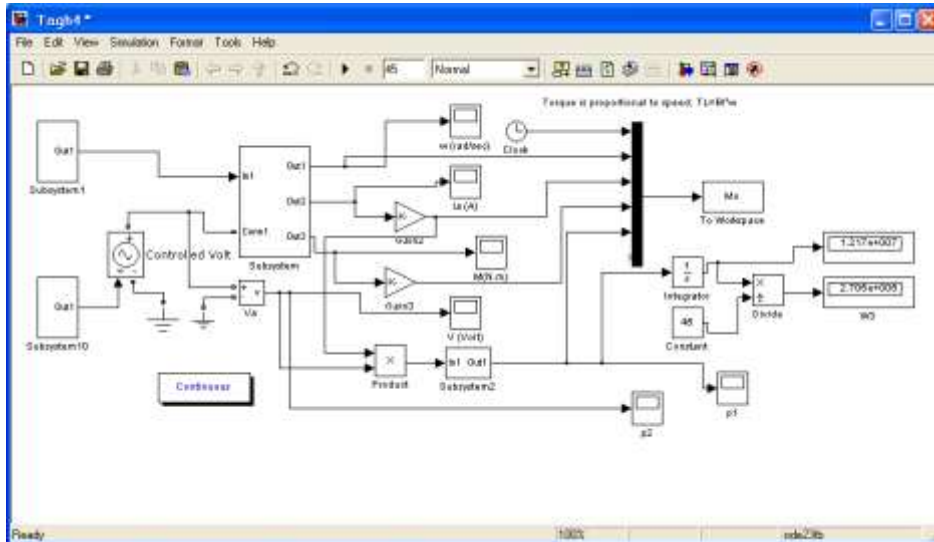


الشكل (11) منحنى الاستطاعة المستجرة عند العمل المستمر للمحرك مع حمل متقطع

بإضافة عنصر مكاملة، تم قياس مقدار القدرة المستهلكة من قبل المحرك خلال دورة عمل، وبإجراء عملية الحساب لمعرفة قيمة القدرة المستجرة بالكيلواط ساعي في الساعة تم الحصول على القيمة: $W=227 \text{ KWh/h}$ المبينة على النموذج في الشكل (9).

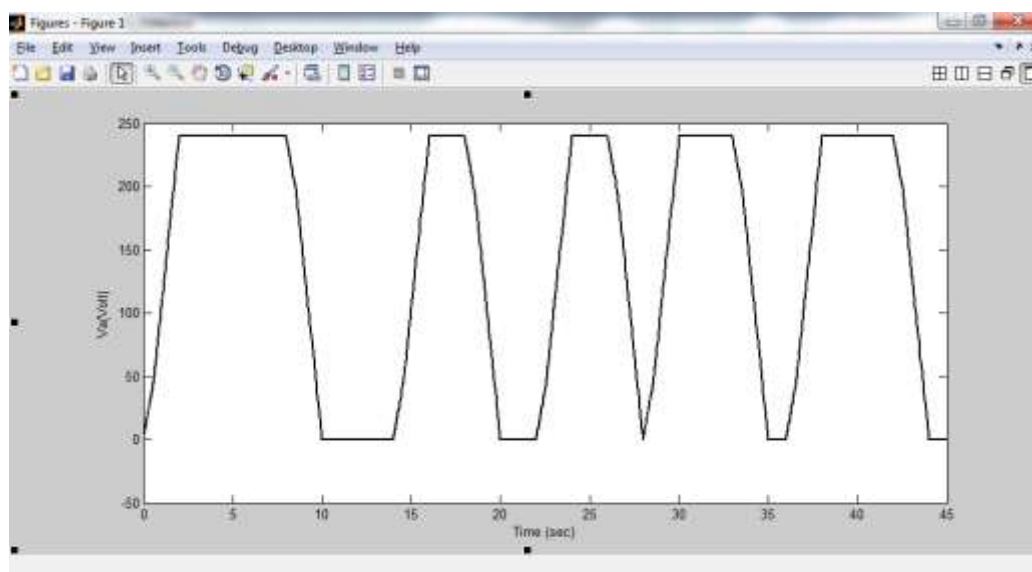
نمذجة المحرك عند عمله بشكل متقطع مع حمل متغير ومع وجود تنظيم للجهد المطبق على المحرك.

يبين الشكل (12) النموذج الموافق لعمل المحرك بشكل متقطع وحمولة متغيرة، حيث يتم إيقاف المحرك في لحظة انعدام الحمل على محوره (أي عند انتهاء كل مرحلة) ثم إعادة إقلاعه من جديد لعكس حركته لتتوافق مع حركة المنتج (البليت).



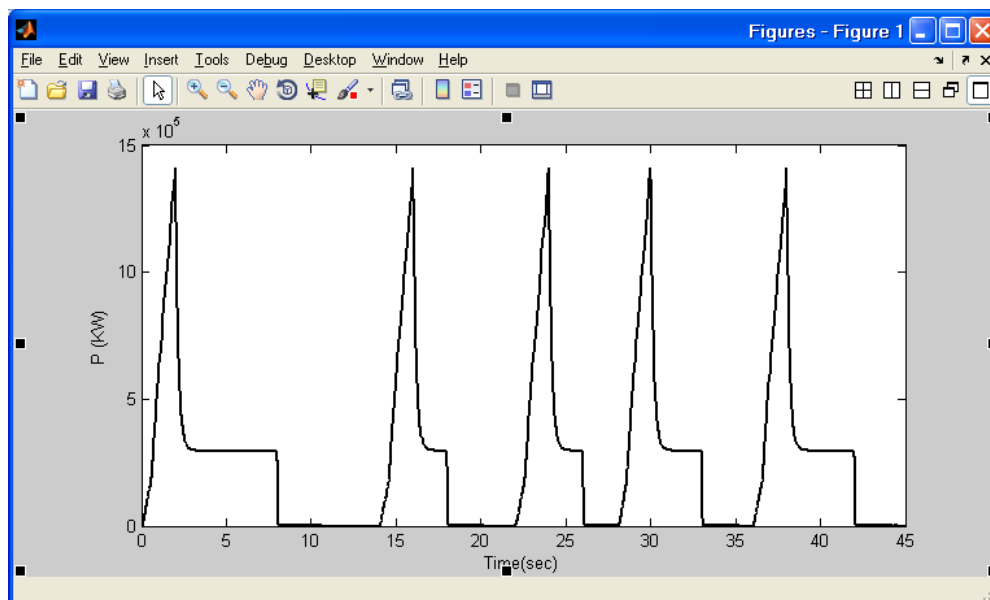
شكل (12) نموذج عمل المحرك بإقلاع متكرر مع حمل متقطع

الشكل (13) يبين تغير لحظات تطبيق الجهد على المحرك لتتناسب مع لحظة وجود الحمل على محوره.



الشكل (13): إشارة جهد المتحرض عند تنظيمها كتابع للزمن

في مثل نظام العمل هذا يتبين وجود قيم كبيرة للتيار وبالتالي للمفاقيد خلال الحالة العابرة المتوافقة مع إقلاع المحرك، ورغم أن زمن الحالة العابرة قصير لكن باعتبار أنها تتكرر 400 مرة في الساعة تقريباً، بالتالي فإن عمل المحرك على الحالة العابرة يشكل فترة زمنية كبيرة لا يمكن تجاهلها أو إهمالها وتؤثر بشكل كبير على عمل المحرك وعلى قيمة الاستطاعة المستجرة من الشبكة. والشكل (14) يبين ذلك.



الشكل (14): منحنى الاستطاعة المستجرة في حالة الحمل المتقطع مع إقلاع متكرر وتنظيم للجهد

وبالقيام بنفس الإجراءات التي طبقت في النموذج السابق المبين في الشكل (9) تم الحصول على الاستطاعة المستجرة من الشبكة بالكيلواط ساعي في الساعة وكانت 270 KWh/h .

الاستنتاجات والتوصيات

1. بينت نتائج الدراسة أن المحرك في معامل درفلة الحديد التي تتميز دورة عملها بحمولة متقطعة يستجر طاقة كهربائية أقل في حال كان نظام العمل للمحرك هو النظام S1 أي نظام العمل المستمر ذو الإقلاع الواحد بغض النظر عن وجود الحمولة أم لا .
2. إن التحول من نظام العمل ذو الإقلاع المتكرر والمستخدم في بعض معامل الحديد يوفر (70080 KWh) من الطاقة الكهربائية في العام للمحرك الواحد ونظراً لوجود محركين على التسلسل فإن يوفر 140160 KWh.
3. إن برنامج Simpower system يتكامل مع برنامج Matlab للنمذجة الكهربائية لجزء كبير من دورة عمل مرحلة التخشين.
4. إن استخدام النمذجة الحاسوبية يوفر الكثير من الجهد المطلوب لإجراء حسابات الطاقة على هذه المحركات.
5. أكدت القراءات الناجمة عن النماذج دقة مقبولة في عمليات القياس حيث كانت نسبة الخطأ بحدود (3.433476%)، وهذا التطابق يجعل هذه النماذج مفيدة للاستخدام في عمليات نمذجة اوسع يستفاد منها في اجراء دراسات متكاملة لتوفير الطاقة على مستوى معمل الدرفلة بكامله.
6. نوصي باستخدام نظم الدرفلة ذات العمل المستمر للمحركات الكهربائية.

المراجع :

1. M. Molina, C. M. Brito, K. Michels. Saving One Barrell of Oil per Ton (SOBOT), American Iron and Steel Institute, October 2005, 25.
2. Ashok S. PLC-based Load Management in Steel Rolling Mills. Senior Member IEEE. Vol. 107, No. 4 , 2010, 16-38.
3. M. Sombolstan, M. Salimi. Power optimization of common breaking-down sequences in shape rolling. Journal of Materials Processing Technology 177, 517-520.
4. Fang-Jing Zheng and Gerald Cook. Energy Optimal Control for Steel Rolling .Fellow, IEEE, 1985, 6-85.
5. k.Burtsev . Rolling practice. Mir Publishers, Moscow, 1973, 448.
6. أ. سوفوروف. تشكيل المعادن بالضغط. دار مير للطباعة والنشر، 1978، 766.
7. التقرير الصادر عن فريق قضايا الطاقة المستدامة في إدارة التنمية المستدامة والإنتاجية للجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، الإسكوا، بعنوان ترشيد استخدام الطاقة في القطاع الصناعي في الدول العربية، في مؤتمر الطاقة العربي الثامن، 2008، 60.