

دراسة أداء الحالة المستقرة

لمحركات التيار المستمر ذات المغناطيس الدائم

**A study of the Performance of Steady State
for Permanent Magnet D.C Motors**

هيئة التعليم التقني / المعهد التقني / بعقوبة

مجيد رشيد زيدان / مدرس

المستخلص :

يقدم البحث الحالي دراسة لأداء محركات التيار المستمر ذات المغناطيس الدائم (PMDCM) من خلال إجراء الاختبارات العملية لتحديد ثوابت المحرك (Parameters) للحالة المستقرة إضافة إلى استخراج الخصائص لهذا النوع من المحركات . من ناحية أخرى تم اعتماد أسلوب المحاكاة (Simulation) باستخدام الحاسبة بناء على الأنموذج الرياضي ومن خلال التقنية العالية التي يوفرها البرنامج الحاسوبي (MATLAB) للحصول على خصائص الأداء نظريا ، ثم مقارنة النتائج بين الحالتين.

ومن أهم الاستنتاجات التي توصل إليها البحث :-

١. يتميز محرك (PMDCM) بالكفاءة العالية مقارنة بمحركات التيار المستمر ذات الإثارة الكهرومغناطيسية (باستخدام لفائف المجال) نظرا لثبوت مجاله وبسبب قلة مفاقيده وحرارته أيضا .
٢. إن عامل التخمد الميكانيكي (B_m) له تأثير سلبي على خصائص أداء المحرك للحالة المستقرة وخصوصا في حالة اللاحمل بالرغم من صغر قيمته .
٣. أعطت المحاكاة نتائج مقارنة للنتائج العملية مما يشير إلى إمكانية اعتمادها كطريقة لدراسة أداء محركات (PMDCM) ورسم خصائصها .

Abstract :

This paper present a study of the performance for Permanent Magnet D.C Motors (PMDCM) through the practical experimental to determine the parameters & characteristics for steady-state of this type of motors .In another hand the simulation approach are used by mathematical model depending on high technical were available in the computer program (MATLAB) , Then the results are compared between both cases .

The most important conclusions in this paper are :-

1. This type of motors have Efficiency higher than Electromagnetic D.C motors .
2. The damping coefficient (B_m) have negative effect on characteristics of motor especially at no-load steady state in spit of smallness value .

3. The simulation gives nearly results to practical case , therefore it can be used to study of performance of (PMDCM) and there characteristics .

المقدمة : Introduction

من المعلوم ان المجال المغناطيسي في محركات التيار المستمر تتم إثارته بطريقتين هما :-

١- باستخدام المغناطيس المصنع (من خلال اللفائف) ، أي كهرومغناطيسيا (Electromagnetically) .

٢- باستخدام المغناطيس الدائم (Permanent Magnet) . [١]

وقد احتوت المصادر والكتب العلمية على العديد من التطبيقات لمحركات النوع الأول ونالت الاهتمام الأوفر لأنها تتميز بإمكانية تغيير تيار الإثارة عن طريق استعمال مقاومة متغيرة في دائرة لفائف المجال المغذاة من مصدر قد يكون منفصلا (Separately) أو ذاتيا (Self) .

ونتيجة للتطور العلمي ومن خلال الحاجة إلى تطبيقات أوسع لمحركات التيار المستمر فقد أصبح النوع الثاني منها (ذات المغناطيس الدائم) يستعمل في مجالات عديدة مثل التطبيقات الصناعية والكثير من تقنيات المركبات (Automobile Technology) ، وقد بدأ التركيز عليها خصوصا وأنها تعمل بمديات قدرة تتراوح من أجزاء الواط (Fractional) إلى (١٠٠٠) واط للمحركات الصغيرة ، وتصل إلى

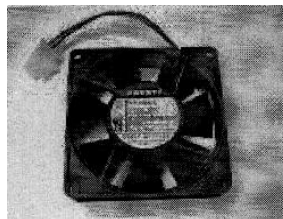
(٥٠٠٠) واط للمحركات الكبيرة ، وبمديات سرعة تتراوح من (١٢٠٠) إلى (٢٠٠٠٠) دورة/دقيقة وتغذى

بجهود مستمرة واطئة تتراوح بين (٢٤،١٢،٦) فولت عادة وفي بعض الحالات تصل ما بين (115 - 230)

فولت حسب ظروف وطبيعة عملها . وكما يتضح في الملحق [٢]

وتستخدم محركات التيار المستمر ذات المغناطيس الدائم (PMDCM) حاليا بشكل واسع وهي على نوعين الأول بالفرش (Brushes) وتكون بنماذج متعددة فأما تحتوي على تروس (Gears) أو بدون تروس . والنوع الثاني بدون فرش ، كما في الشكل رقم (١) الذي يوضح هذا النوع والمستخدم لإدارة مراوح التهوية في الحاسبات وفي أنظمة السيطرة الدقيقة أيضا ، حيث لا يخلف ذرات الكربون الناتجة عن الفرش . [٣]

كما تستخدم هذه المحركات مع المضخات الهيدروليكية ذات القدرة المتغيرة ومحركات الجهد النبضي (Pulsating Voltage Motor) والتقنيات الطبية والرياضية .



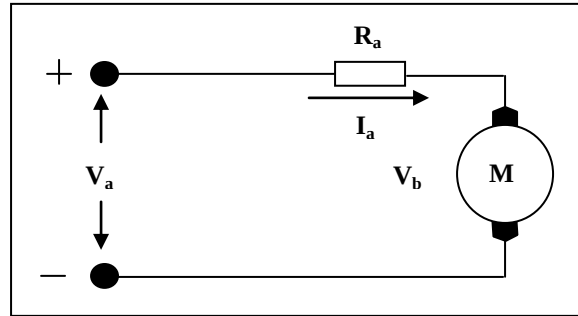
الشكل (١) استخدام محرك PMDCM بدون فرش لإدارة مراوح التهوية .

إن المغناطيس الدائم يلعب دورا مهما في تصميم وأداء هذه المحركات وقد أجريت العديد من البحوث للحصول على مغناطيس بحجم صغير ونوعية أفضل وأصبح من الممكن صناعة محركات (PMDCM) بأحجام صغيرة مع عزم خرج عالي (High Output Torque) . [٤]

الجانب النظري :

١. نمذجة الحالة المستقرة لمحرك (PMDCM) :

من أجل دراسة أداء الحالة المستقرة لمحركات المغناطيس الدائم توجد تطبيقات عديدة لأنموذج الحالة وهي تعطي وصفا لخصائص النظام ذات الصلة بالموضوع . فإذا جهز المحرك بجهد مستمر ثابت فإنه يصل إلى الحالة المستقرة ويصبح التأثير الحركي (Dynamic) صفرا . ويوضح الشكل (٢) الدائرة المكافئة لمحرك (PMDCM) مثالي يعمل عند الحالة المستقرة في حالة اللاحمل . [٥]



الشكل (٢) الدائرة المكافئة لمحرك المغناطيس الدائم المثالي في حالة اللاحمل .

1-1 . الأنموذج الرياضي : Mathematical Model

إن العلاقة الأساسية لمحرك مثالي (Ideal) هي إن القدرة الميكانيكية على محور المحرك تساوي القدرة الكهربائية المستهلكة عن طريق منتج المحرك ، حيث :-

$$T_m * \omega_m = V_b * I_a \dots\dots\dots(1)$$

حيث : T_m (العزم على محور المحرك) .

ω_m : (السرعة الزاوية للمحرك) .

V_b : (ق.د.ك العكسية) .

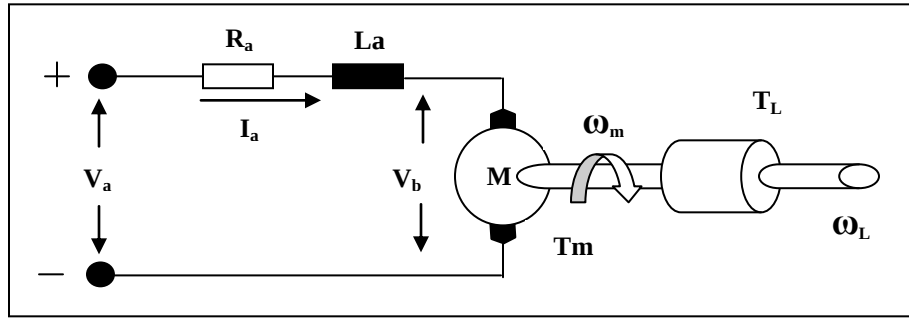
I_a : (تيار المنتج) .

أما في المحرك الحقيقي (Real) فان القدرة الكهربائية الداخلة إليه تكون دائما أكبر من القدرة الخارجة على محوره (Shaft) . وان سرعة المحرك (ω_m) تتناسب طرديا مع الجهد على طرفي المنتج (V_b) أي :-

$$V_b = K_b * \omega_m \dots\dots\dots(2)$$

حيث K_b : (ثابت التناسب وهو ثابت الق.د.ك العكسية) .

كما إن سرعة المحرك تزداد بزيادة الجهد على طرفي المنتج (V_b) ومن الشكل (٣) الذي يوضح الدائرة المكافئة لمحرك ذات المغناطيس الدائم عند الحمل فان معادلة جهد المنتج تحدد من قانون كيرشوف وكما يلي :-



الشكل (٣) الدائرة المكافئة لمحرك (PMDCM) في حالة الحمل .

$$V_a - V_{Ra} - V_{La} - V_b = 0 \dots\dots\dots(3)$$

حيث V_a : (جهد المصدر المستمر) .

V_{Ra} : (الهبوط في الجهد على مقاومة المنتج) .

V_{La} : (الهبوط في الجهد بسبب محاثة المنتج) .

V_b : (ق.د.ك العكسية) .

وبالتعويض عن كل حد فان جهد المصدر يساوي :-

$$V_a = I_a R_a + L * d i_a / d t + K_b * \omega_m \dots\dots\dots(4)$$

وعند الحالة المستقرة فان الحد $(L d i_a / d t)$ يهمل وتصبح المعادلة كالآتي :-

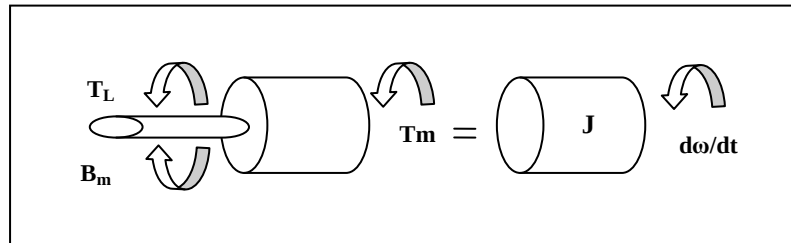
$$V_a = I_a R_a + K_b \omega_m \dots\dots\dots(5)$$

ويمكن حساب تيار المنتج من خلال الدائرة المكافئة للمحرك المبينة في الشكل (٣) كما يأتي:- [6]

$$I_a = \frac{V_a - K_b \omega_m}{R_a} \dots\dots\dots(6)$$

أما معادلة العزم لحمل المحرك فتحدد من قانون نيوتن الثاني ومن الشكل (٤) يمكن تمثيل المعادلة

كما يلي :-



الشكل (٤) مخطط حركي للجسم الحر لدوار المحرك .

$$T_L = T_m - T_J - T_{Bm} \dots\dots\dots(7)$$

حيث : T_L (عزم الحمل) .

T_m : (العزم على محور المحرك وهو العزم الكهرومغناطيسي) .

T_J : (عزم القصور الذاتي) .

T_{Bm} : (عزم التخميد الميكانيكي) .

وبالتعويض عن كل حد فإن عزم حمل المحرك يساوي :-

$$T_L = T_m - J * d\omega/dt - B_m * \omega_m \dots\dots\dots(8)$$

حيث : J (القصور الذاتي) .

B_m : (عامل التخميد الميكانيكي) .

أما العزم على محور المحرك فيتناسب طرديا مع تيار المنتج وكما يأتي :-

$$T_m = K_t * I_a \dots\dots\dots(9)$$

حيث : K_t (ثابت التناسب وهو ثابت العزم) .

ونستطيع أن نلاحظ من قانون حفظ الطاقة بأن ثابت الـ د.ك.ك العكسية (K_b) يتناسب مع ثابت

العزم (K_t) ويصبح ($K_t = K_b$) في نظام الوحدات الدولي (SI) . أي :-

$$K_b \text{ (Volt/radians/second)} = K_t \text{ (N.m/Amp.)}.....(10)$$

ونلاحظ بان الزيادة في تيار المنتج تؤدي إلى زيادة في العزم الكهرومغناطيسي (T_m) على محور المحرك ويكون أكبر من عزم الحمل (T_L) وعزم التخميد الميكانيكي (T_{Bm}) وعزم القصور الذاتي (T_J) .
وتصبح معادلة العزم عند الحالة المستقرة بعد إهمال تأثير عزم القصور الذاتي كما يأتي :-

$$T_L = T_m - B_m * \omega_m(11)$$

أي في حالة اللاحمل تتمثل المفاقيد الكهربائية بمقاومة المنتج (R_a) والمفاقيد الميكانيكية بمعامل التخميد الميكانيكي (B_m) وتصبح قيمة عزم الحمل ($T_L = 0$) و المعادلة (11) كالآتي :-

$$T_m - B_m * \omega_m = 0.....(12)$$

ويفترض في هذا النموذج بأن العزم (T_m) يساوي العزم (T_{Bm}) ، فنحصل على :-
 $B_m = T_m / \omega_m(13)$

وللحصول على العلاقة التي يتم من خلالها بناء منحنى (العزم - السرعة) نعوض عن العزم الكهرومغناطيسي (T_m) من المعادلة (9) في معادلة عزم الحمل (11) لينتج :-

$$T_L = K_t * I_a - B_m * \omega_m(14)$$

وبالتعويض عن تيار المنتج (I_a) من المعادلة (6) وبالاستعانة بالمعادلة (10) نحصل على :-

$$T_L = K_t * [(V_a - K_t * \omega_m) / R_a] - (B_m * \omega_m).....(15)$$

$$T_L = (K_t / R_a) * V_a [(K''_t * \omega_m) / R_a] - (B_m * \omega_m)(16)$$

وفي حالة التجانس للحركة المجردة (Kinetic Compatibility) وبغض النظر عن الكتلة

(ω_L) والقوة فأن السرعة الزاوية على محور المحرك (أي :- ω_m) تكون مساوية إلى السرعة الزاوية للحمل
 $\omega_m = \omega_L(17)$

ولنفرض أن :-

$$M = \frac{K_t}{R_a} \text{ (Constant)} \quad ; \quad \text{Re ff.} = \frac{K''_t}{R_a} + B_m \text{ (Constant)}$$

فأن معادلة عزم الحمل تصبح :-

$$TL = M * Va - Re_{ff} * \omega L \dots\dots\dots(18)$$

ومن خلال هذه العلاقة يمكن بناء منحنى (العزم - السرعة) للحالة المستقرة ، حيث يعتبر عزم الحمل كدالة للسرعة ($\omega_L = T_L$). وتعتبر قيمة (Re_{ff}) قيمة ثابتة وتمثل ميل المنحنى وبهذا فإن منحنى (العزم - السرعة) يكون خطي . [7]

ولإيجاد القدرة الخارجة للمحرك عند الحالة المستقرة ، وبما إن المحرك يعتبر معدة تحويل للطاقة الكهربائية الداخلة إلى طاقة ميكانيكية خارجة . وإن قسم من الطاقة الكهربائية يتحول إلى حرارة في لفائف المنتج على (Fractional & Windage) شكل مفايد والباقي من القدرة الكهربائية يتحول إلى قدرة ميكانيكية ، في حين أن بعض من القدرة الميكانيكية يضيع بشكل مفايد احتكاك ومقاومة هواء (Losses - والمتبقي يمثل الخرج لإدارة الحمل ميكانيكيا . [8]

وبما أن معادلة القدرة الكهربائية الداخلة والناجمة من الجهد المجهز المستمر وتيار المنتج هي:-

$$P_{in} = V_a * I_a \dots\dots\dots(19)$$

فأن معادلة القدرة الخارجة للمحرك هي :-

$$P_{out} = P_{in} - P_{LOSS} \dots\dots\dots(20)$$

حيث : P_{in} (القدرة الداخلة) .

: P_{LOSS} (المفايد الكلية) .

ويمكن إيجاد القدرة الخارجة للمحرك من العلاقة التالية أيضا :-

$$P_{out} = T_L / \omega_m \dots\dots\dots(21)$$

وتكون قيمة القدرة الخارجة (صفر) عند كل من تيار اللاحمل (I_{ao}) وتيار القصر (I_{asc}) لمحرك المغناطيس الدائم .

ونحصل على كفاءة المحرك عند الحالة المستقرة من نسبة القدرة الخارجة إلى القدرة الداخلة وكما يأتي :-

[٩]

$$\%Eff = \frac{P_{out}}{P_{in}} * \%100 \dots\dots\dots(22)$$

ولتحديد خصائص محرك المغناطيس الدائم موضوع البحث لابد من تعشيق محوره الدوار مع الحمل .

الجانب العملي :

٢. إجراءات البحث: Research Procedures

يتناول هذا الجانب مجموعة الإجراءات الهندسية التي تهدف إلى تحقيق متطلبات البحث الحالي من خلال الجانب العملي المتمثل بالقياسات والاختبارات التي أجريت على المحرك علاوة على إجراءات الجانب النظري المتمثل بتصميم برمجيات المحاكاة وباستخدام برنامج (MATLAB – version 6.5).

١-٢ الإجراءات الهندسية :

لغرض التحقق من نتائج برنامج المحاكاة (Simulation) تم القيام بالخطوات العملية التالية لتأكيد موثوقية البرنامج من خلال استخدام محرك (PMDCM) بالفرش وبالمواصفات المبينة في الجدول رقم (١) .

الجدول (١) مواصفات محرك (PMDCM) المستخدم لإجراء الاختبارات .

الفقرة (Item)	التفاصيل (Descriptions)
جهد التشغيل (V_{in})	24 V
تيار المنتج (I_a)	1.5 A
القدرة الخارجة (P_{out})	20 W
عزم الحمل (T_L)	0.17 N.m
السرعة (N)	1150 r.p.m

٢- أ : اختبارات الحالة المستقرة :

لغرض تحديد وقياس ثوابت المحرك (Parameters) لابد من القيام بالاختبارات العملية التالية :-

١- قياس مقاومة المنتج (R_a) :-

$$Ra = \frac{Vin}{Iasc} \text{(Ohm)} \quad \text{حيث :-}$$

٢- تحديد ثابت الـ (ق.د.ك) العكسية (K_b) وثابت العزم (K_t) :-

$$Kb = \frac{Vb}{\omega m} \text{(V/rad./sec)} \quad \text{حيث :-}$$

وفي نظام الوحدات الدولي (SI) فإن الثابت أعلاه يتناسب مع ثابت العزم (K_t) ، لذلك :- [10]
 $K_t = K_b \dots\dots\dots (N.m/A)$

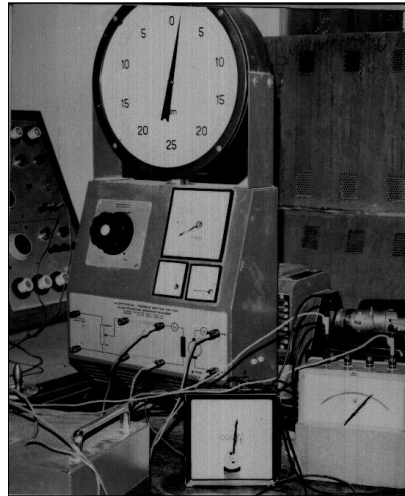
٣- تحديد عامل التخميد الميكانيكي (B_m) :-

بعد حساب العزم الكهرومغناطيسي (T_m) وهو مساوي لعزم التخميد الميكانيكي (T_{Bm}) في حالة اللاحمل ومن المعدل لكل من قيمتي (T_m) و (ω_m) يتم حساب عامل التخميد الميكانيكي (B_m) وكما يأتي:-

$$B_m = \frac{T_m}{\omega_m} \dots\dots\dots (N.m/rad./sec)$$

٢- ب : إيجاد خصائص الأداء العملية للمحرك :

من أجل الحصول على خصائص الأداء العملية تم تشغيل المحور الدوار للمحرك بصورة مباشرة مع مولد ذو إثارة منفصلة بغية إجراء اختبار التحميل . حيث جهز المحرك بجهد مستمر وتم البدء من حالة اللاحمل (No-Load) ثم زيادة التحميل بصورة تدريجية لحين توقف محور الدوران عن الحركة ومن خلال الاختبار تم تسجيل قراءات تيار المنتج (I_a) والسرعة (N) وعزم الحمل (T_L) . وكما مبين في الشكل رقم (٥) .



الشكل (٥) صورة توضح اختبار التحميل للمحرك .

٢-٢ إجراءات برنامج المحاكاة :

بعد الانتهاء من الاختبارات العملية للمحرك والتي تدخل كعوامل رئيسية في إجراء عملية المحاكاة فقد تم استخدام برنامج (MATLAB) ومن خلال التقنية العالية التي يوفرها في سرعة إجراء الحسابات وإظهار النتائج تم الحصول على خصائص المحرك وبثلاث خطوات هي :-

- أ . إيجاد منحنيات خصائص المحرك للنتائج العملية .
 ب . إيجاد منحنيات خصائص المحرك لنتائج المحاكاة .
 جـ . إيجاد منحنيات خصائص المحرك لكلا الحالتين (النظرية والعملية) .
 ولاختصار خطوات البحث فقد تم رسم الخصائص للحالتين معا بهدف التركيز على المقارنة بينهما .

٣- النتائج : Results

إن النتائج التي تم الحصول عليها من الاختبارات العملية التي أجريت على المحرك فضلا عن نتائج برنامج المحاكاة هي :-

٣-١ قياس وتحديد ثوابت المحرك :

أ- مقاومة المنتج (R_a) :

تم قياس مقاومة المنتج وبطريقتين وكما يأتي :-

❖ الطريقة الأولى :- من خلال قفل دوار المحرك وباستخدام قانون أوم فأن:-

$$R_a = \frac{V_a}{I_{asc}} = \frac{24}{5} = 4.8\Omega$$

$$R_a = 4.7\Omega$$

❖ الطريقة الثانية :- بالقياس المباشر وكانت قيمتها :-

ب- ثابت الد.ق.د.ك. (ك.ب) (K_b) وثابت العزم (K_t) :-

ويتم حسابهما من خلال القراءات العملية المبينة في الجدول رقم (٢) وكما يأتي :-

الجدول (٢) القراءات العملية لحساب ثابت الد.ق.د.ك. العكسية (K_b) .

$V_a(V)$	$I_a(A)$	$N(r.p.m)$	$\omega_m(rad/sec)$	$V_b(V)$
24	0.40	1450	151.8	22.2
22	0.39	1300	136.1	20.3
20	0.37	1200	125.6	18.4
18	0.30	1100	115.2	16.5

$$K_b = 0.1463 \dots\dots\dots(V/rad/sec)$$

ولحساب ثابت العزم (K_t) فأن :-

$$K_b = K_t$$

$$K_t = 0.1463 \dots\dots\dots(N.m/A)$$

ج- عامل التخميد الميكانيكي (B_m) :

بالاستعانة بالجدول (٢) ومن حساب العزم الكهرومغناطيسي (T_m) وكما موضح في الجدول (٣) تم حساب عامل التخميد الميكانيكي (B_m) وكما يأتي :-

الجدول (٣) العزم الكهرومغناطيسي (T_m) وفقا للسرعة الزاوية (ω_m) .

ω_m (rad/sec)	T_m (N.m)
151.8	0.060
136.1	0.057
125.6	0.054
115.2	0.053

$$B_m = \frac{T_{m...average}}{\omega_{m...average}} = \frac{0.055}{132.2}$$

$$B_m = 4 \times 10^{-4} \dots\dots\dots (N.m/rad./sec)$$

٢-٣ الخصائص العملية للمحرك :

بعد إجراء اختبار الحمل للمحرك موضوع البحث حسب الفقرة (٢-ب) تم الحصول على النتائج لكل من تيار المنتج (I_a) وعزم الحمل (T_L) والقدرة الخارجة (P_{out}) والكفاءة ($Eff.\%$) والمبينة في الجدول رقم (4) بهدف استخراج منحنيات خصائص أداء المحرك لكل من السرعة وتيار المنتج والقدرة الخارجة والكفاءة مع عزم الحمل .

حيث يوضح الشكل (٦) ان تيار المنتج يزداد بصورة خطية مع زيادة عزم الحمل (أي تتناسب طردي) ، في حين أن السرعة تقل عند ازدياد العزم و بشكل خطي أيضا (أي تتناسب عكسي) كما في الشكل (٧) ، فيما يبين الشكل (٨) خصائص العزم مع الكفاءة ونلاحظ ان للمحرك كفاءة عالية بسبب مجاله الثابت الناتج من المغناطيس الدائم ولقلة مفايده وحرارته لعدم احتوائه على ملفات المجال ، أما الشكل (٩) فيعطي خصائص القدرة مع عزم الحمل .

ونلاحظ ان منحنيات القدرة والكفاءة تبدأ بقيمة (صفر) عند اللاحمل ، أي عندما يكون تيار المنتج ($I_{ao} = 0$) وتنتهي بـ (صفر) أيضا عند التوقف ، أي عندما يكون تيار المنتج ($I_{asc} = 0$) ، في حين يصبح المنحني بأعلى قيمة عند الحد المقرر لعمل المحرك (Rated value) أي عندما يكون تيار المنتج نصف تيار القصر ($0.5 I_{asc}$) تقريبا وهو تيار التوقف ، لكون تيار المنتج يتناسب طرديا مع عزم الحمل

الجدول (4) النتائج العملية (Practical Results) لمحرك (PMDCM) .

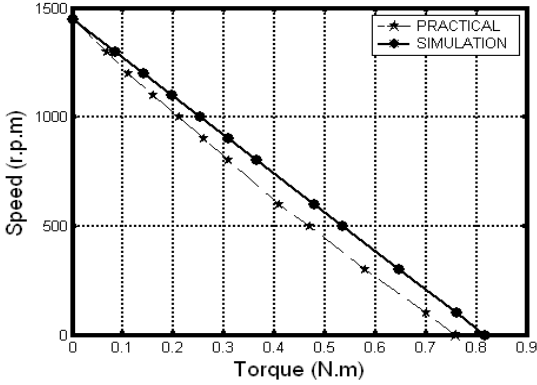
السرعة N(r.p.m)	تيار المنتج I _a (A)	القدرة الداخلة P _{in} (W)	القدرة الخارجة P _{out} (W)	عزم الحمل T _L (N.m)	الكفاءة Eff.(%)
0	5.16	124	0	0.76	0
100	4.63	111	8	0.68	7.2
300	4.12	99	19	0.6	19
500	3.35	80.5	25	0.48	31
600	2.95	71	28	0.4	39.5
800	2.46	59	27	0.32	45.8
900	2	48	24	0.26	50
1000	1.63	39	22	0.21	56.4
1100	1.44	34.5	18	0.16	52.2
1200	1.13	27	14	0.10	51.8
1300	0.83	20	8	0.05	40
١٤٥٠	0.41	10	0	0	0

٣-٣ نتائج برنامج المحاكاة :

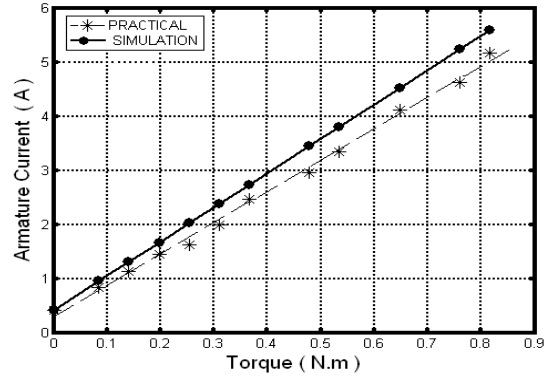
من خلال الأنموذج الرياضي للمحرك وباستخدام برنامج (MATLAB – version 6.5) تم تنفيذ برنامج المحاكاة الحاسوبي ولقيم مختلفة للسرعة تبدأ من (N=0) إلى السرعة النهائية وهي (N=1450 r.p.m) من أجل الحصول على قيم (I_a و T_L و P_{out} و Eff.%) حيث يوضح الجدول (٥) نتائج المحاكاة للمحرك في حين تم استخدام نفس الأشكال (٦) و (٧) و (٨) و (٩) لرسم خصائص الأداء وفقاً لبرنامج المحاكاة من أجل مقارنتها مع النتائج العملية .

الجدول (٥) نتائج المحاكاة (Simulation Results) لمحرك (PMDCM) .

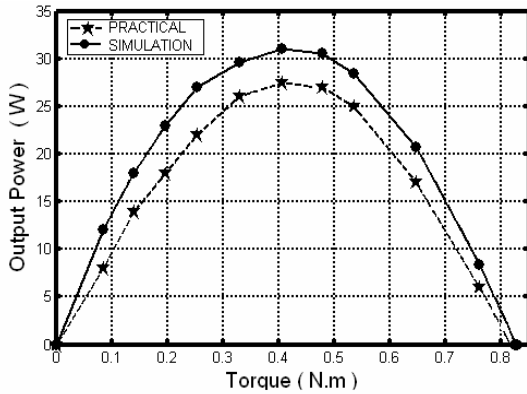
السرعة N(r.p.m)	تيار المنتج I _a (A)	القدرة الداخلة P _{in} (W)	القدرة الخارجة P _{out} (W)	عزم الحمل T _L (N.m)	الكفاءة Eff.(%)
0	5.5876	134.1727	0.0000	0.8567	0.0000
100	5.2393	126.0012	8.3514	0.7984	6.6280
300	4.5127	109.1298	20.7435	0.6823	19.0081
500	3.8000	92.1134	28.4213	0.5735	30.8547
600	3.4442	83.9085	30.4956	0.4998	36.3439
800	2.7318	66.0812	31.0017	0.3979	46.9146
900	2.3751	57.3734	29.5815	0.3496	51.5596
1000	2.0192	49.0407	26.9847	0.2891	55.0251
1100	1.6627	40.2346	23.0113	0.2312	57.1928
1200	1.3063	31.7912	17.9995	0.1847	56.6179
1300	0.9502	23.1465	11.9987	0.1200	51.8381
١٤٥٠	0.4161	9.9893	0.0009	0.0000	0.0090



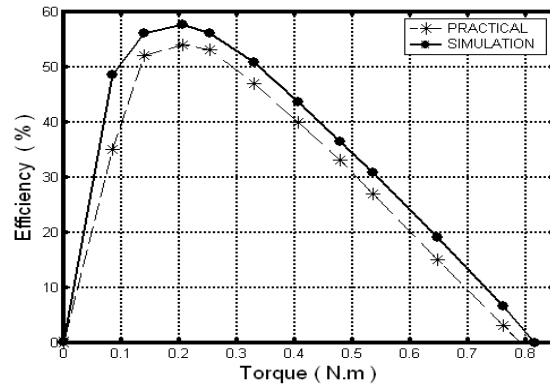
الشكل (٧) مقارنة نتائج العزم مع السرعة



الشكل (٦) مقارنة نتائج العزم مع تيار المنتج



الشكل (٩) مقارنة نتائج العزم مع القدرة الخارجة



الشكل (٨) مقارنة نتائج العزم مع الكفاءة

4- الاستنتاجات : Conclusions

بناء على ماتقدم من الجداول والعلاقات البيانية ولتحليل نتائج البحث التي أفرزتها المقارنة بين الحالة النظرية (من خلال المحاكاة بالحاسبة وباستخدام برنامج - MATLAB) والحالة العملية (من خلال القياسات والإجراءات المختبرية) فقد تبين مايلي :-

١. إن خصائص الأداء العملية ذات قيم أوطأ من خصائص المحاكاة ، ويعود ذلك إلى الظروف الميكانيكية والكهربائية المحيطة بعمل المحرك علاوة على نسبة الخطأ الموجودة في أجهزة القياس ، ولكون الظروف مثالية باستخدام المحاكاة .
٢. يتميز محرك (PMDCM) بالكفاءة العالية مقارنة بمحركات التيار المستمر ذات الإثارة الكهرومغناطيسية (باستخدام لفائف المجال) نظرا لثبوت مجاله وبسبب قلة مفايده وحرارته أيضا .
٣. له خصائص قريبة من خصائص محرك التوازي (Shunt Motor) ذات الإثارة الذاتية .
٤. إن عامل التخميد الميكانيكي (B_m) له تأثير سلبي على خصائص أداء المحرك للحالة المستقرة وخصوصا في حالة اللاحمل بالرغم من صغر قيمته .
٥. أعطت المحاكاة نتائج مقارنة للنتائج العملية مما يشير الى إمكانية اعتمادها كطريقة لدراسة أداء محركات (PMDCM) ، علاوة على إثبات مصداقية الأنموذج الرياضي المستخدم .
٦. إمكانية الاستفادة من البرمجيات الحاسوبية المتقدمة لدراسة أداء المكائن الكهربائية وفهم سلوكها وخصائصها في المجال التعليمي اعتمادا على الأنموذج الرياضي (Mathematical Model) ، خصوصا في المواقع والمختبرات التي تفتقر إلى وجود هذه الأجهزة .

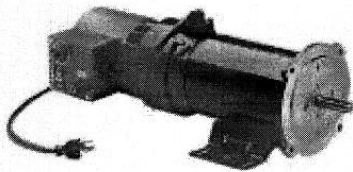
المراجع : References

١. عباس ، سلطان حسين ” راغب ، محمد السيد ” عجاج ، رجاء يونس . ” المكائن الكهربائية “ ، دار الحكمة للطباعة والنشر ، هيئة المعاهد الفنية ، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي ، الموصل ، العراق ، ١٩٩٠
2. <http://www.innovexpo.itte.uq.edu.au> / 2003 /exhibits/s 36328/thesis.pdf .
3. S.Wiak , R.Naolski , K.Ldwinek , Z.Gawecki , “**Brushles PMDCM for Electric Bick and their impulse System for Battery Charging** ” International Journal of Electrical Engineering in Transportation ,Vol. 1 , No. 1 , 2005 .
4. C.G. Veinott , “**Fractional & Sub Fractional Horse Power Electric Motors** ” Third Edition, Mc Graw-Hill , Inc., New York, 1970.
5. R.G. Longoria , “**Modeling of a Permanent Magnet DC Motor** ” The University of Texas at Austin , USA , 2000 .
[www.me.utexas.edu/Gtario/me 244L/labs/pmdcm /modeling.pdf](http://www.me.utexas.edu/Gtario/me%20244L/labs/pmdcm/modeling.pdf) .

6. D.O. Anderson , “*Modeling DC Electric Motors* ” Louisiana Tech. University,USA , 1993 .
/delea/instructiontp:www.Latech.edu ht /motordc .pdf .
7. R.G. Longoria , “*(PMDCM) Modeling , Testing & Control* ” The University of Texas at Austin , USA , 2000 .
utexas-edu /Plotario/me 244L/labs/pmdcm /modeling.html . www.me http:
8. S.A. Nasar, “ *Hand Book of Electric Machines* ” Mc Graw-Hill,Inc.USA, 1987
9. M.G. Say, E.O. Tylor, “*Direct Current Machines* ” Pitman Press, Great Britain ,1982
10. P.R. Smith , “*Computer Mediated Learning in Engineering Education* ” Computer Edu. ,Vol. 19 ,No.12 , [P.37] , New York , 1992

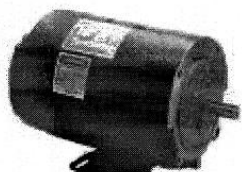
ملحق (١) : أنواع لمحركات التيار المستمر ذات المغناطيس الدائم

Permanent Magnet Direct Current Motors



- Permanent magnet DC motor
- 56 frame
- C-Face with plug-in and run
- 115 volt or 230 volt SCR speed control
- 115-230 volts PMDC
- Has skewed armature for smooth, quiet operation
- Reversible base
- Class H insulation

Century® V-Pak PMDC
Adjustable Speed Packages



- 90 and 180 volt SCR rated motor
- Class H insulation
- TENV and TEFC with removable rigid bases

Century® Industrial
PMD Motors