

نموذج فعال للمحرك الحثي مع اعتبار حالة التشبع باستخدام PSPICE

خالد بن إبراهيم الدويش

قسم الهندسة الكهربائية، كلية الهندسة، جامعة الملك سعود، ص.ب. ٨٠٠،
الرياض ١١٤٢١، المملكة العربية السعودية

(استلم في ١٦/٥/١٩٩٨ م ؛ وقبل للنشر في ٧/١٠/١٩٩٨ م)

ملخص البحث. يعرض هذا البحث طريقة لوضع نموذج فعال للمحرك الحثي حيث تم تكوين هذا النموذج من المعادلات التفاضلية التي تحكم الحالة العابرة لذلك المحرك مع إمكانية أخذ حالة التشبع المغناطيسي للمحاث بالاعتبار. ويتكون النموذج من دوائر مكافئة قابلة للاستخدام مع كثير من حزم تحليل الدوائر الكهربائية. وقد تم استخدام برنامج PSPICE في هذا البحث لإجراء محاكاة أداء المحرك الحثي كما تمت مقارنة نتائج المحاكاة بنتائج مخبرية حيث أعطت توافقاً مقبولاً. كما يعرض البحث تمثيل المحرك الحثي عند ظروف تشغيلية مختلفة مثل تغذيته من مصدر أحادي الطور وكذلك من عاكس ثلاثي الطور.

مقدمة

عند استخدام أي من محركات التيار المتردد سواء المحرك الحثي أو المحرك المتزامن أو محرك الممانعة المغناطيسية في نظام للتحريك حيث يتم التحكم بسرعة المحرك فإن المحرك يكون جزءاً داخل دائرة تغذية راجعة وبذلك فإن السلوك الفعال له لا بد أن يؤخذ في الاعتبار. ولدراسة الحالة العابرة للمحرك تُستخدم عادةً طريقة تحويل متغيرات الأوجه إلى ما يكافؤها في محورين متعامدين (d-q) [١]-[٣].

وتعطي برامج تحليل الدوائر الكهربائية أداة فعّالة لدراسة الدوائر الكهربائية حيث يتوافر فيها نماذج للكثير من المكونات. ومن هذه البرامج SPICE وEMTP اللذان يعتبران أقرب للاكتمال. يمتاز EMTP باحتوائه على العديد من النماذج للمحركات الكهربائية إضافة إلى المكونات الكهربائية مع القدرة على محاكاة سلوك دوائر التحكم المربوطة بدائرة قدرة. إلا أنه لا يحتوي إلا على عدد محدود من نماذج مكونات إلكترونيات الإشارة. وفي المقابل فإن SPICE يحتوي على العديد من تلك المكونات الإلكترونية [٤]. وفي الوقت الحاضر لا يحتوي SPICE على نماذج للمحركات الكهربائية. وفيما يتعلق بالمحرك الحثي وُجِدَت بعض الدراسات لتمثيل المحرك الحثي في حالة الاستقرار [٥ : ٦] وكذلك تأثير التشبع على أداء المحرك [٧ : ٨] ويمكن التعبير عن النموذج الفعّال للمحرك الحثي بإطار مرجعي ثابت أو ذي سرعة تزامن [٩] أو مثبت على الدوّار (rotor). أما في حالة المحرك المتزامن و محرك الممانعة المغناطيسية فإن الإطار المرجعي المناسب هو المثبت على الدوّار إنه ينتج عنه استبدال الملفات متغيرة المحاثّة مع الزمن بملفات ثابتة قيم المحاثات وينتج ذلك من ثبوت الممانعة المغناطيسية عند تلك المحاور.

وفي هذا البحث عُرضت النماذج النظرية للمحرك الحثي. كما عُرضت الدوائر المكافئة للمحاث والتي يمكن استخدامها في الدوائر التي يتعرض فيها المحاث للتشبع. وبناءً عليه فإن الدوائر المكافئة للمحاث مع أخذ حالة التشبع المغناطيسي للمحاث بالاعتبار. وليبيان فائدة تلك الدوائر المكافئة فقد عُرضت على سبيل المثال بعض الأحوال التشغيلية للمحرك. حيث عُرضت حالة تغذية المحرك من محرك أحادي مع استخدام مكثف لإنشاء عزم ابتداء. وكذلك عُرضت حالة تغذية المحرك الحثي من عاكس ذي تضمين عرض النبضة.

نموذج نظري للمحرك الحثي

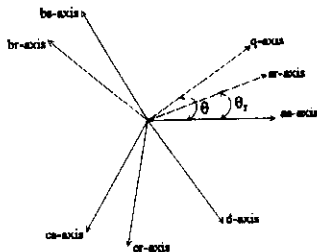
يمكن وضع نموذج للمحرك الحثي باستخدام طريقة d-q سواء بإطار مرجعي ثابت أو دوّار. والعلاقة بين متغيرات d-q و a-b-c يمكن تحديدها باستخدام تحويل الإطار المرجعي [٢] كما يلي :

$$(١) \begin{bmatrix} f_{as} \\ f_{bs} \\ f_{cs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 1 \\ \cos(\theta - 120^\circ) & \sin(\theta - 120^\circ) & 1 \\ \cos(\theta + 120^\circ) & \sin(\theta + 120^\circ) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{qs} \\ f_{ds} \\ f_{0s} \end{bmatrix}$$

وحيث إن المركبة ذات التتابع الصفري (f_{0s}) تساوي صفراً في حالة النظام ثلاثي الأسلاك، لذا يمكن إعادة كتابة المعادلة رقم (١) بالصورة التالية:

$$(٢) \begin{bmatrix} f_{qs} \\ f_{ds} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - 120^\circ) \cos(\theta + 120^\circ) \\ \sin \theta & \sin(\theta - 120^\circ) \sin(\theta + 120^\circ) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{as} \\ f_{bs} \\ f_{cs} \end{bmatrix}$$

وحيث إن θ هي الزاوية بين إحداثي as وإحداثي q كما هو موضح في الشكل رقم (١). وهذه العلاقات صحيحة سواء كان الجهد متوازناً أو غير متوازن جيبياً أو غير جيبى.



شكل رقم (١). إحداثيات المحرك الحثي.

مع ملاحظة أن التحليل المستتج في هذا البحث قد تم الوصول إليه بافتراض ما يلي:

١- إهمال التوافقيات الزمنية والفراغية في المحرك.

٢- تماثل واتزان ملفات أطوار الآلة:

$$(٣) \begin{aligned} v_{qs} &= R_s i_{qs} + \omega \lambda_{ds} + p \lambda_{qs} \\ v_{ds} &= R_s i_{ds} - \omega \lambda_{qs} + p \lambda_{ds} \\ 0 &= R_r i_{qr} + (\omega - \omega_r) \lambda_{dr} + p \lambda_{qr} \\ 0 &= R_r i_{dr} - (\omega - \omega_r) \lambda_{qr} + p \lambda_{dr} \end{aligned}$$

معادلات ترابط الفيض هي :

$$\begin{aligned} \lambda_{qs} &= L_{ls}i_{qs} + L_m(i_{qs} + i_{qr}) \\ \lambda_{ds} &= L_{ls}i_{ds} + L_m(i_{ds} + i_{dr}) \\ \lambda_{qr} &= L_{rs}i_{qr} + L_m(i_{qs} + i_{qr}) \\ \lambda_{dr} &= L_{rs}i_{dr} + L_m(i_{ds} + i_{dr}) \end{aligned} \quad (٤)$$

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (٥)$$

أما العزم الكهروميكانيكي الناتج فهو :

$$T_e = \frac{3}{2} \left(\frac{P}{2} \right) (\lambda_{ds}i_{qs} - \lambda_{qs}i_{ds}) \quad (٦)$$

حيث P هي عدد الأقطاب.

كما أن العلاقة بين السرعة و العزم هي :

$$T_e - T_L = \frac{J}{P/2} \frac{d\omega_r}{dt} + \frac{B}{P/2} \omega \quad (٧)$$

حيث ω_r هي السرعة الكهربائية لدوران الدوار (rotor)

J هو عزم القصور

B هو معامل الاحتكاك

T_L هو عزم الحمل الميكانيكي المدار

نموذج ذو إطار مرجعي عام

معادلات الجهد لإطار مرجعي ثابت يمكن الحصول عليها من (١) مع تحديد $\theta=0$ وكذلك

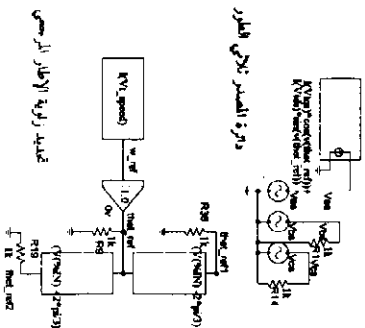
الحال لإطار مرجعي متزامن و إطار مرجعي مثبت على الدوار (rotor) مع تحديد $\theta=\omega_e t$

و $\theta = \int_0^t \omega_r dt$ حسب الترتيب. كما أن التيار المعبر عنه بـ $d-q$ يمكن تحويله إلى $a-b-c$ بنفس

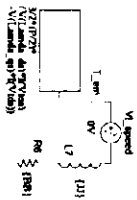
الطريقة باستخدام (٢).

نموذج فعال للمحرك الحثي

دائرة المحرر ثلاثي الطور

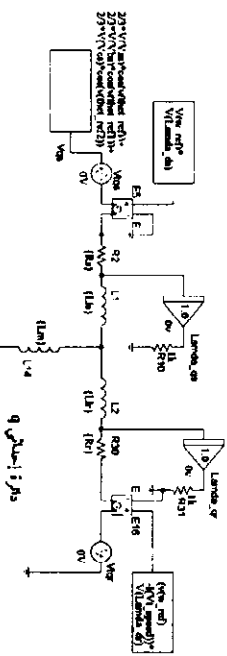


تقدير زاوية إظهار البرشبي

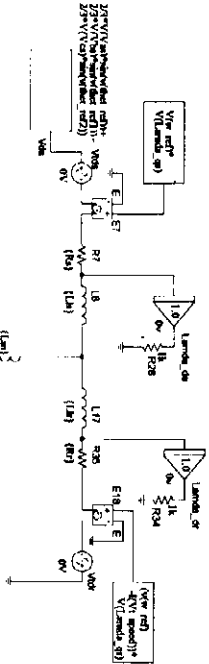


الدائرة الإلكترونية

PARAMETERS		PARAMETERS	
R1	5.62	F	4
R2	5.0815	Vm	180
L1	0.974		
PARAMETERS		PARAMETERS	
Ld	4.254E-1	M	1142
Rd	4.254E-1	M1	0.9429
Ic	{ 0.2184E+02}		



دائرة إحتطقي q



دائرة إحتطقي d

شكل رقم (٩). البوابات الكافية للمحرك الحثي عند إظهار مرجعي عام.

بناءً على ما سبق يمكن رسم دوائر مكافئة للمحرك الحثي كما هو مبين في الشكل رقم (٢) حيث تختار السرعة الزاوية للإطار المرجعي في دائرة تحديد زاوية الإطار المرجعي. وكما هو مبين فإن تيارات الدخل قد عُبر عنها بمصادر تيار محكومة كما أن جهد v_{ds} و v_{qs} قد عُبر عنها بمصادر جهد محكومة. كما أن العزم الكهروميكانيكي قد عُبر عنه بمصدر جهد محكوم أما السرعة فإنه يمثلها التيار المار في V_t -speed وعزم القصور عُبر عنه بالملف J, I بينما عبر عن معامل الاحتكاك بالمقاومة BB حيث:

$$(٨) \quad JJ = \frac{J}{(P/2)}$$

$$(٩) \quad BB = \frac{B}{(P/2)}$$

وحيث إن $\theta_r = \int \omega_r dt$ ، فإنه للحصول على θ_r يمرر التيار الممثل للسرعة على مكثف والجهد الناشئ عليه هو θ_r مع وضع الجهد الابتدائي عليه يساوي صفراً. تلك الدوائر المثلة للمحرك الحثي يمكن جعلها دائرة فرعية (subcircuit) تتصل بمصادر الجهد v_{ds} و v_{qs} وعزم الحمل (T_L) والتي يجري تغييرها حسب توصيل دائرة المحرك ونوع الحمل الميكانيكي.

النموذج النظري للمحرك الحثي مع اعتبار التشبع
الجهد المُستَح في المحاث (L) هو:

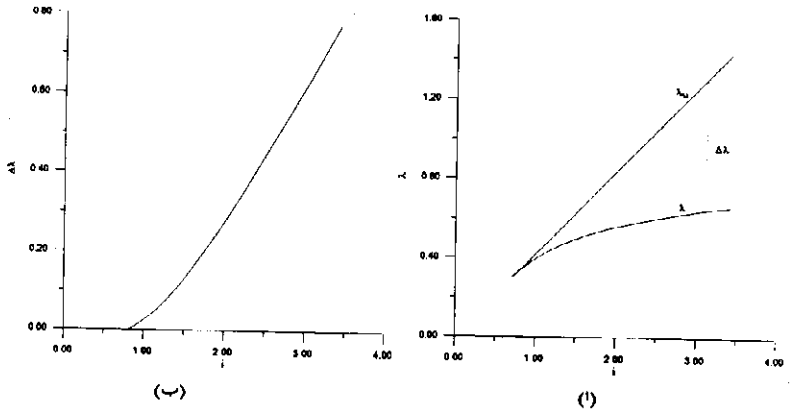
$$(١٠) \quad v_L = p\lambda$$

حيث λ هو ترابط الفيض المغناطيسي ويساوي

$$(١١) \quad \lambda = L(i) \cdot i$$

وتعتمد قيمة المحاث على التيار المار به ولذا فإنه لا بد من قياس العلاقة بين λ و i

للحصول على تمثيل أدق للمحاث.



شكل رقم (٣). (أ) قياس ترابط الفيض المغناطيسي، (ب) $\Delta\lambda$ مستبظة من (أ).

يبين الشكل (٣) العلاقة بين λ و i والتي تم قياسها للمحرك الآتي ذكره، ويمكن وضع العلاقة التالية [٢]:

$$(12) \quad \lambda = \lambda u - \Delta\lambda$$

حيث λu هو ترابط الفيض الخطي ويساوي:

$$(13) \quad \lambda u = L i$$

وبذا يكون الجهد المستحث

$$(14) \quad v_L = L pi - p(\Delta\lambda)$$

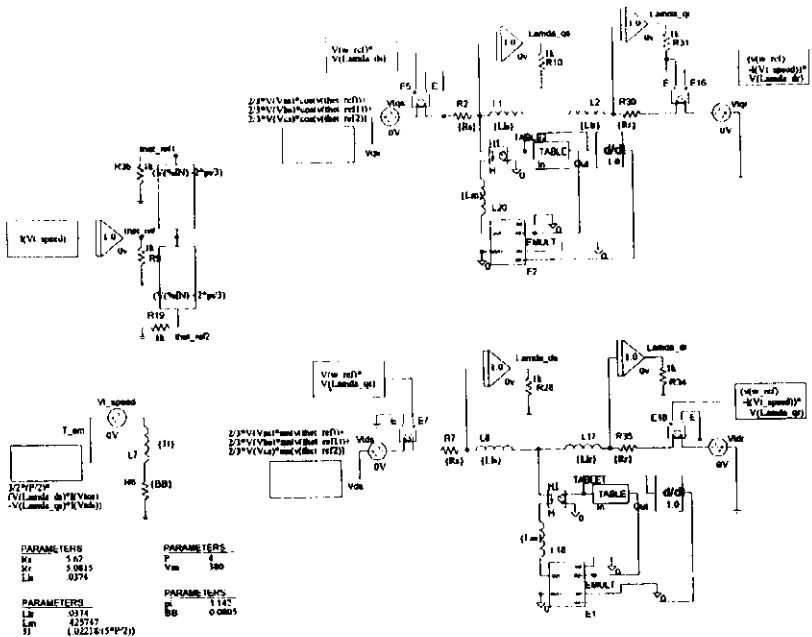
حيث $L pi$ هو جهد المحاث عند اهمال التشبع (v_{Lu}). ويمكن التعبير عن $p(\Delta\lambda)$ بالتالي:

$$(15) \quad p(\Delta\lambda) = (d(\Delta\lambda)/di)(di/dt)$$

حيث $(d(\Delta\lambda)/di)$ يمكن تحديدها من الشكل (ب٣). وبناءً على المعادلات (١٣ - ١٥):

$$(16) \quad v_L = v_{Lu} - (v_{Lu}/L)(d(\Delta\lambda)/di)$$

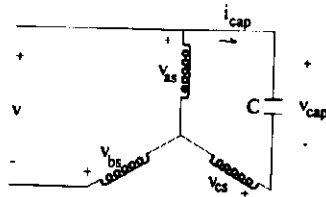
بناءً على ذلك يمكن رسم دوائر مكافئة للمحرك الحثي مع اعتبار التشبع كما هو مبين في الشكل (٤) حيث يلاحظ استبدال L_m بدائرة تكافؤ حالة التشبع. في تلك الدائرة يستخدم جدول يعطي مقابل كل قيمة لـ i جهداً يساوي $d(\Delta\lambda)/di$. القيم في ذلك الجدول مأخوذة من الشكل (٣). هذه الدوائر المكافئة للمحاث المشبع يمكن جعلها دائرة فرعية (subcircuit) واستخدامها محل المحاث.



شكل رقم (٤). الدوائر المكافئة للمحرك الحثي مع اعتبار التشبع عند إطار مرجعي عام.

النموذج النظري للمحرك الحثي عند توصيله بدائرة مصدر أحادي الطور أو عاكس

النموذج المعطى للمحرك الحثي يمكن استخدامه عند تغذية المحرك من مصدر ثلاثي متوازن أو أي مصدر آخر حيث إن الدائرة الفرعية الممثلة للمحرك لن يطرأ عليها أي تغيير. ويجب تحديد v_{as} و v_{bs} من خلال طبيعة الدائرة التي تربط المحرك الحثي و الدائرة المتصلة به. وعلى سبيل المثال سيعرض النموذج النظري للمحرك الحثي عند توصيله بدائرة عاكس أو مصدر أحادي الطور.



شكل رقم (٥). تغذية المحرك من مصدر أحادي مع استخدام مكثف لإنشاء عزم ابتداء.

توصيل المحرك الحثي بمصدر أحادي الطور

من المعلوم أنه لا ينشأ عزم ابتداء إذا وُصّل المحرك الحثي بمصدر أحادي الطور. ولذا فإنه لا بد من توصيل محوّل للطور بين خط المحرك الغير موصل بالمصدر وأحد الخطين الموصلين بالمصدر. ومن الوسائل الاقتصادية استخدام مكثف لهذا الغرض كما في الشكل (٥). ويمكن كتابة العلاقات التالية:

$$(١٧) \quad v_{cap} = \frac{1}{C} \int i_{cap} dt$$

$$(١٨) \quad v = v_{as} - v_{bs}$$

$$(١٩) \quad v_{as} - v_{cs} - v_{cap} = 0$$

للتحويل إلى d-q تستخدم (٢) وبالتعويض في المعادلتين (١٨) و(١٩) يعطي:

$$(٢٠) \quad v_{qs} = \frac{v}{3} - \frac{1}{6} \frac{1}{C} \int i_{qs} dt + \frac{1}{2\sqrt{3}} \frac{1}{C} \int i_{ds} dt$$

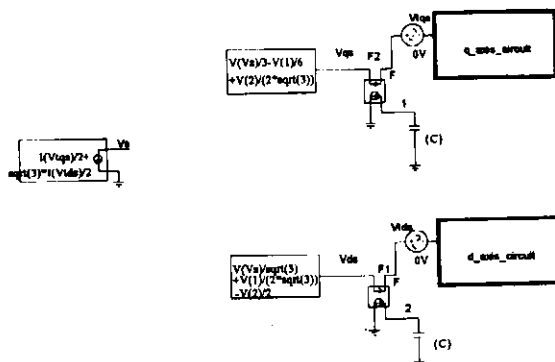
$$(٢١) \quad v_{ds} = \frac{v}{\sqrt{3}} + \frac{1}{2\sqrt{3}} \frac{1}{C} \int i_{qs} dt - \frac{1}{2} \frac{1}{C} \int i_{ds} dt$$

لإجراء التكامل للتيارات تستخدم الدوائر المكافئة المبينة في الشكل (٦)، وبذا يمكن إعادة كتابة المعادلتين (٢٠) و(٢١) لتصبح:

$$(٢٢) \quad v_{qs} = \frac{v}{3} - \frac{1}{6} v_1 + \frac{1}{2\sqrt{3}} v_2$$

$$(٢٣) \quad v_{ds} = \frac{v}{\sqrt{3}} + \frac{1}{2\sqrt{3}} v_1 - \frac{1}{2} v_2$$

وبين الشكل (٦) الدوائر المكافئة للربط بين المحرك الحثي والمصدر أحادي الطور.

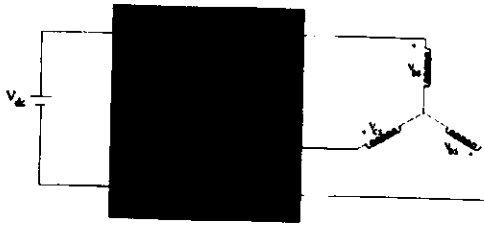


شكل رقم (٦). الدوائر المكافئة للمحرك عند تغذيته من مصدر أحادي الطور.

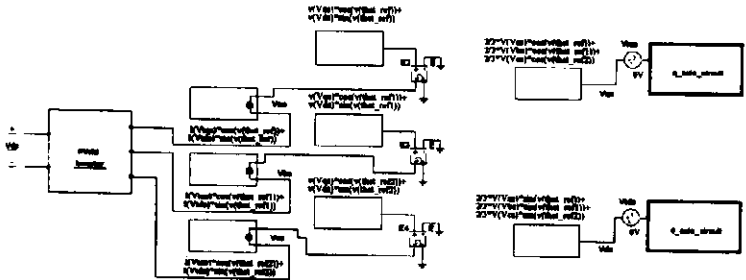
تغذية المحرك الحثي من عاكس ذي تضمين عرض النبضة

(Pulse width modulation inverter)

يعتبر العاكس ذو تضمين عرض النبضة أهم وسيلة للتحكم بسرعة المحرك الحثي من خلال تغيير تردد الجهد الداخل على المحرك. ومن المتيسر تمثيل أداء العاكس لتكونه من مكونات إلكترونية ممثلة في مكتبة PSPICE. وكما يبين الشكل (١٧) فإن ناتج العاكس ثلاثي الطور ولذا فإنه لا بد من تحويل هذا الناتج إلى إحداثيات $d-q$ ليناسب نموذج المحرك الحثي. ولأن العلاقات المعطاة في (٢) و (٣) عامة لأي نوع من أنواع الجهد سواء كان جيبياً أو غيره فإن ناتج العاكس يحول إلى إحداثيات $d-q$ و يبين الشكل (٧ب) الدوائر المكافئة التي تربط بين الدوائر المكافئة للمحرك الحثي والعاكس.



(أ)



(ب)

شكل رقم (٧). (أ) التحكم بسرعة المحرك الحثي باستخدام عاكس ذي تضمين عرض النبضة، (ب) الدوائر المكافئة للمحرك الحثي عند توصيله بعاكس.

نتائج محاكاة المحرك الحثي باستخدام النماذج النظرية له

يمكن إجراء المحاكاة الفعالة للدوائر الميينة في الشكلين (٢ و٣) باستخدام أي من الحزم البرمجية لتحليل الدوائر الكهربائية. وقد تم استخدام PSPICE لغرض المحاكاة الفعالة في هذا البحث. ولتأكيد نتائج المحاكاة تم أخذ نتائج مخبرية ويعطي الجدول رقم (١) خصائص المحرك ومتغيراته التي تم قياسها.

جدول رقم (١). بيانات المحرك المستخدم.

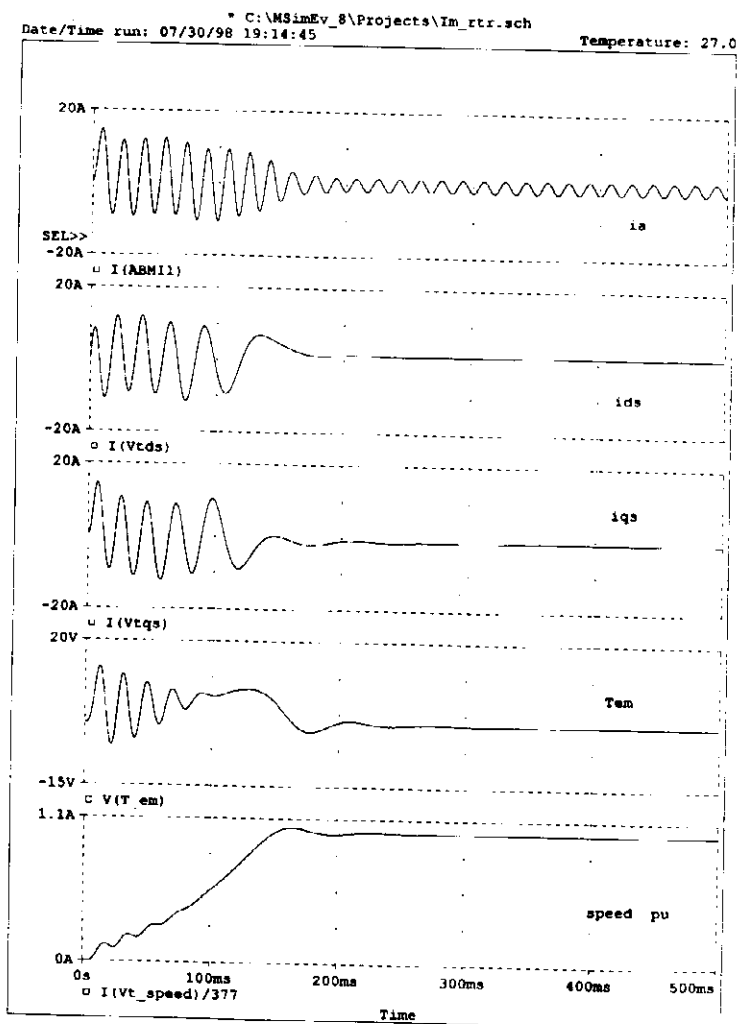
$\Delta-Y$ 220/380 V
5/2.9 A
1.0 KW, PF=0.71, 1700 rpm, 60 Hz
$R_s=5.62 \Omega$, $R_r=5.0815 \Omega$
$L_m=0.425747$ H, $L_{ls}=0.0374$ H, $L_{lr}=0.0374$ H
$J=0.0044$ Kg/m ²

يبين الشكل رقم (٨) نتائج المحاكاة باستخدام متغيرات الإطار المرجعي المثبت على الدوار (rotor) حيث يبين الحالة العابرة (transient) بعد تسليط جهد متوازن يساوي القيمة المقدرة (rated) على المحرك الغير مُحَمَّل.

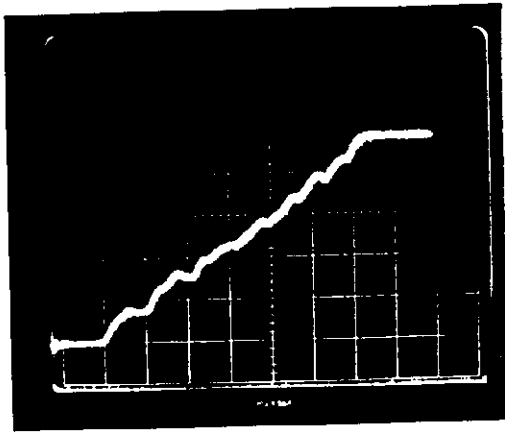
وبمقارنة النتائج العملية في الشكل (٩) مع نتائج المحاكاة يلاحظ قرب نتائج المحاكاة من النتائج المخبرية مما يعطي ثقة بأسلوب المحاكاة المتبع.

نتائج محاكاة المحرك الحثي مع اعتبار التشبع

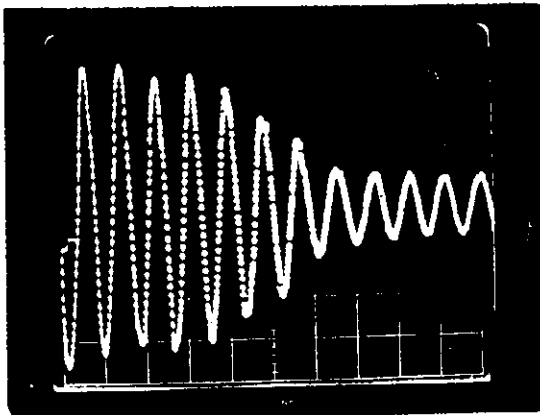
القياسات المتعلقة بالمحرك عند اعتبار التشبع معطاة في الشكل (١٣). وبعد إدخال القيم $(\frac{d(\Delta\lambda)}{di}, i)$ في جدول في الدائرة المكافئة الميينة في الشكل (٣) نفذ البرنامج ليعطي النتائج المعروضة في الشكل (١٠). ويلاحظ أن التيارات قد ازدادت قيمها مقارنة بالشكل (٩) ونتج عن ذلك زيادة في العزم الكهروميكانيكي الذي نشأ عنه نقص في زمن وصول المحرك إلى السرعة المقدرة. ويلاحظ أن هذا الزمن أقرب للزمن الذي تم قياسه.



شكل رقم (٨). نتائج المحاكاة باستخدام متغيرات الإطار المرجعي المثبت على الدوار (rotor).



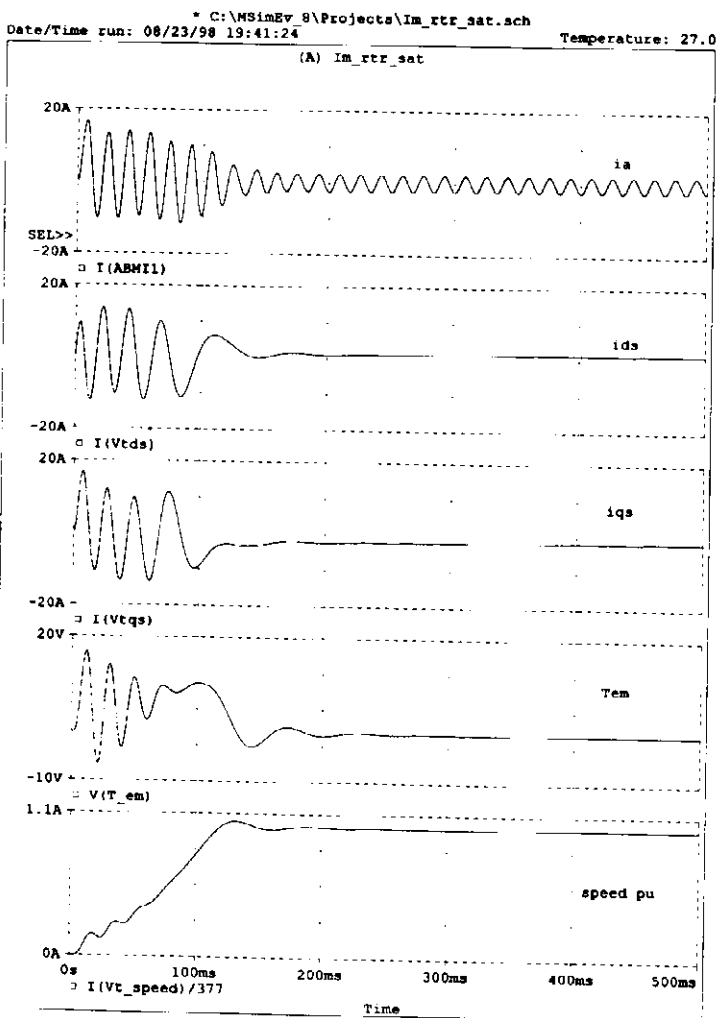
(أ)



(ب)

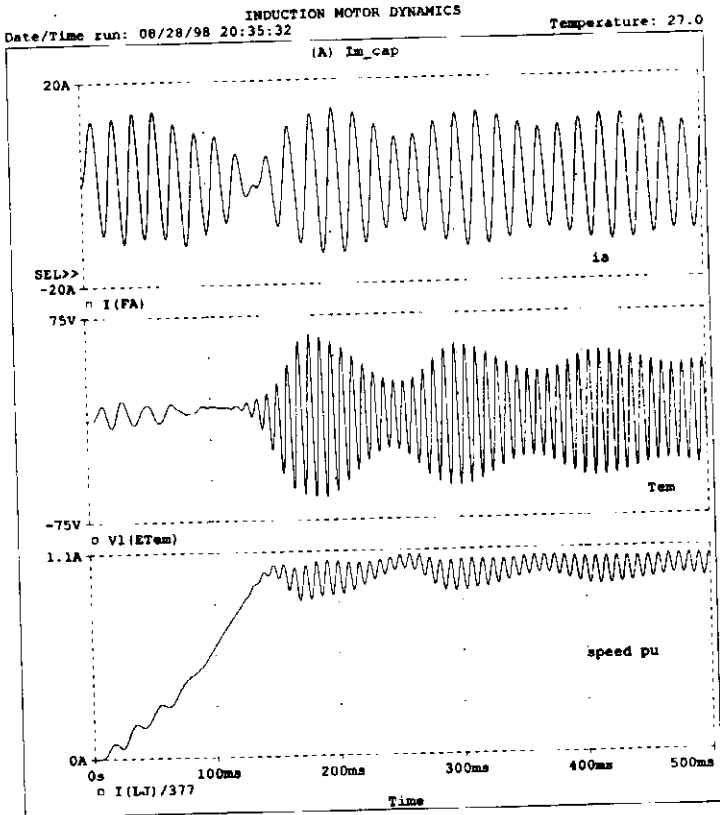
شكل رقم (٩). (أ) قياس سرعة اشرك ٠,٠٢٠ ت/جزء. (ب) قياس

٥ ٠,٠٢٠ ت/جزء، ٦,٢٥ أمبير/جزء.



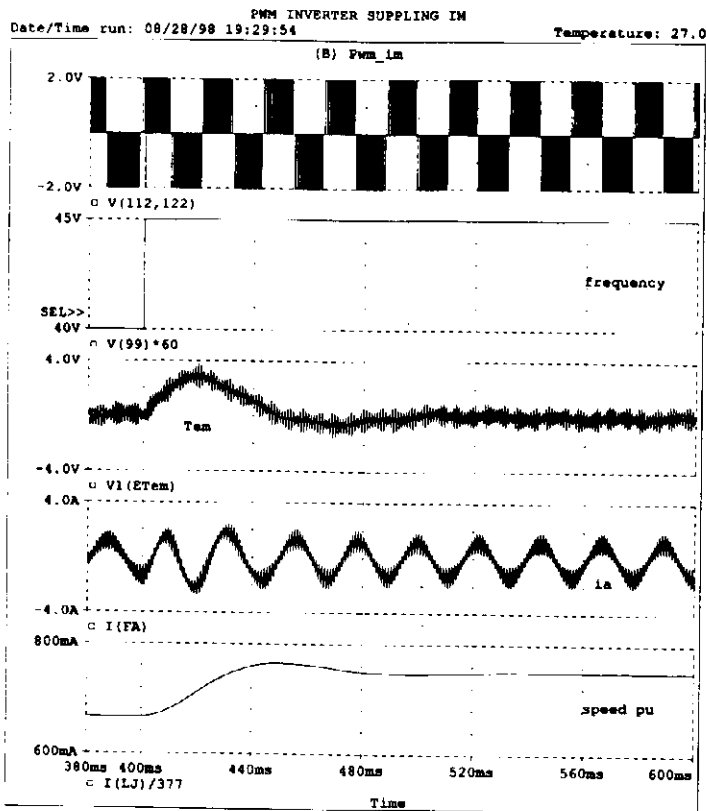
شكل رقم (١٠). نتائج المحاكاة باستخدام متغيرات الإطار المرجعي الثابت مع اعتبار التلبيح.

نتائج محاكاة المحرك الحثي عند توصيله بمصدر أحادي الطور أو دائرة عاكس في الدوائر المكافئة المبينة في الشكل (٣) تم اختيار مكثف يعطي أقل عدم توازن للمحرك [١٠] وبإجراء المحاكاة للمحرك عند توصيله بمصدر أحادي الطور أخذت النتائج المبينة في الشكل (١١).



شكل رقم (١١). نتائج المحاكاة للمحرك عند توصيله بمصدر أحادي الطور باستخدام متغيرات الإطار المرجعي الثابت.

بتمثيل الدائرة المثالية لدائرة العاكس المغذي للمحرك و بإجراء المحاكاة أعطيت النتائج المبينة في الشكل (١٢). وقد اختير تردد الفتح و القفل للعاكس ليساوي ١٠٠٠ هرتز ويلاحظ في النتائج المعطاة استجابة المحرك لزيادة تردد العاكس من ٤٠ إلى ٤٥ هرتز حيث استجاب المحرك لهذا التغيير في تردد العاكس بزيادة سرعته من ٠,٤ إلى ٠,٥ لكل وحدة.



الشكل رقم (١٢). نتائج المحاكاة للمحرك عند توصيله بعاكس باستخدام متغيرات الإطار المرجعي الثابت.

الخلاصة

عرض هذا البحث النموذج النظري للمحرك الحثي. ذلك النموذج يمكن أن يكون ذا إطار مرجعي ثابت أو تزامني أو مثبت على الدوار وعُرِضت دوائر مكافئة للمحرك قابلة للاستخدام مع كثير من الخزم البرمجية المستخدمة لتحليل الدوائر الكهربائية وقد استخدم برنامج PSPICE لإجراء محاكاة لأداء محرك ثلاثي الطور وتمت مقارنة نتائج المحاكاة مع نتائج مخبرية أجريت على ذات المحرك وكان في التوافق بين تلك النتائج تأكيد لصحة النموذج الذي استخدم.

ولفرض اعتبار حالة التشبع في المحرك فقد عُرِضت الدوائر المكافئة للمحاث المشبع. تلك الدوائر يمكن استخدامها في تمثيل أداء المحرك الحثي وغيره من المحركات وكذلك المحول. وبناءً على ذلك فقد وضعت دوائر مكافئة للمحرك الحثي مع اعتبار حالة التشبع. وقد تبين من البحث إمكانية تمثيل أداء المحرك الحثي عند ظروف تشغيلية مختلفة. وعلى سبيل المثال فقد عُرِضت الدوائر المكافئة للمحرك الحثي عند تغذيته من مصدر أحادي مع استخدام مكثف لفرض إيجاد عزم ابتداء وكذلك الدوائر المكافئة للمحرك الحثي عند تغذيته من عاكس. ويمكن أخذ أي ظرف تشغيل للمحرك الحثي بالاعتبار بنفس الطريقة المبينة في هذا البحث.

المراجع

- Bose, B. K. *Power Electronics and AC Drives*. Prentice-Hall, 1986. [١]
- Krause, P. C. *Analysis of Electric Machinery*. Mc Graw Hill, 1986. [٢]
- _____ and Thomas, C. H. "Simulation of Symmetrical Induction Machinery." [٣]
IEEE Trans, Vol. PAS-84, No. 11 (Nov. 1965), 1038-1053.
- Franceschini, G.; Pirani, S. and Rinaldi, M. "SPICE Assisted Simulation of Controlled [٤]
 Electric Drives: An Application to switched Reluctance Drives." *IEEE Trans*,
 Vol. IA-27, No. 6 (Nov/Dec. 1991), 1103-1110.
- Arkadan, A. A.; Rossillo-Johnson, V. and Demerdash, N. A. "A DC-AC Inverter- [٥]
 Induction Motor System Network Model Compatible with Commonly
 Known Network Analysis Software Packages." *APEC'89*, 13-17 Mar 1989,
 Baltimore, MD, USA, 195-202.
- Prigozy, S. "Generation of 3-Phase Induction Motor Characteristic Curve with [٦]
 PSPICE." *Computer in Education Jrnl.*, Vol.4, No.2 (Apr.-Jun. 1994), 16-23.
- Reynaud, J. F. and Pillay, P. "Modeling of Saturation Effects in the Magnetizing [٧]
 Branch of an Induction Motor Using PSPICE." *Proc. IEEE Southeastcon*
 '92, 12-15 April 92, Birmingham, AL, USA, 513-516.
- Reynaud, G. and Pillay, P. "Modeling of Saturation in Induction Machines using [٨]
 EMTP, PSPICE and a Dedicated Computer Program." *Electrical Power*
System Research, Vol. 30, No. 3 (Sep 1994), 279-285
- الدويش، خالد. "نموذج فعال للمحرك الحثي باستخدام PSPICE." المؤتمر الهندسي [٩]
 الرابع، جمادى الآخرة ١٤١٦، جدة، المملكة العربية السعودية، ٥٦-٤٩.
- Badr, M.; Alolah, A. and Abdel-halim, M. "A Capacitor Start Three Phase Induction [١٠]
 Motor." *IEEE Trans. on Energy Conversion*, Vol. 10. No. 4 (Dec. 1995),
 675-680.

Dynamic Model of Saturated Induction Motor Using PSPICE

Khaled E. Addoweesh

*Electrical Engineering Dept., College of Engineering, King Saud University,
P.O Box 800, Riyadh-11421, K.S.A.*

(Received 16 May 1998; accepted for publication 7 October 1998)

Abstract. This paper presents a method to make a dynamic model of the induction motor from the differential equations, which describe the transient state of the motor taking in consideration magnetic saturation of the magnetizing inductor. The model consists of equivalent circuits, which could be used with many electric circuits simulators. In this paper PSPICE was used to simulate the performance of the induction motor. Comparison of the simulation and experimental results showed good agreement between them. Also, this paper present modeling of the induction motor under different operating conditions such as: induction motor supplied from single-phase supply and from three-phase pulse width modulated (PWM) inverter.