

## النمذجة والمحاكاة للإقلاع المباشر والإقلاع بطريقة $V/F=Const.$ في المحرك التحريضي ثلاثي الطور باستخدام Matlab/Simulink

الدكتور علي الجازي\*

### الملخص

يُعرضُ بناء نموذج لمحاكاة نظام تحكم بالمحرك التحريضي باستخدام المكتبة Matlab\simulink and Matlab\SimPowerSystem، ومن خلال استخدام مجموعة من عناصر المكتبة simulink، والمكتبة SimPowerSystem بحيث يمثل كل عنصر حلاً لمجموعة من المعادلات الرياضية (النموذج الرياضي) للمحرك ونظام التحكم به.

وسنقدم في هذه المقالة بحثاً يدور حول المحاكاة لبعض الطرائق المتبعة في قيادة المحرك التحريضي الثلاثي الطور من نوع القفص السنجابي (قيادة باستخدام تقنية ثبات النسبة بين التوتر والتردد  $(V/f) = const$ )، الإقلاع المباشر دون قيادة) ومن ثم مقارنة أداء المحرك في هاتين الحالتين من خلال النتائج التي تم الحصول عليها بنتيجة هذه المحاكاة .

الكلمات المفتاحية: محركات التيار المتناوب، قيادة محركات التيار المتناوب، التحكم باستخدام النسبة  $V/F$   
أنظمة التحكم، Matlab/Power System Blockset .

\* أستاذ مساعد - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة دمشق

## 1 - مقدمة

ومختبرة عملياً، ثم مقارنة نتائج المحاكاة بالنتائج العملية أو المخبرية (معملية) لهذه النظم من قبل باحثين آخرين مثلاً منشورات IEE , IEEE .

- في حالة توافر النماذج الفيزيائية يقوم بعض الباحثين بإجراء الاختبارات العملية على هذه النماذج ، وبناء نماذج لمحاكاة لهذه الأنظمة بهدف الكشف عن مدى دقة النموذج الرياضي وقدرة النموذج والبرنامج اللذين تم اختيارهما لإعطاء نتائج تكون قادرة على إعطاء نتائج محاكاة متطابقة قدر الإمكان من الواقع العملي وتستخدم مثل هذه الحالة في المخبر الجامعية لتمكين المتعلمين من التعامل مع الحالة الفيزيائية وحالة المحاكاة ومعرفة أسباب الاختلاف في النتائج إن وجدت.

تُستخدم في المحاكاة العديد من العناصر المتاحة في البيئات البرمجية الجاهزة، وهذه العناصر بُنيت اعتماداً على النماذج الرياضية للأنظمة، لذلك يتم عادة استخدام هذه العناصر كصندوق مغلق ( Black Box ) له مجموعة من المداخل والمخارج دون التدخل في إجراء أي تعديل على بنية هذه العناصر، أما إذا كان الهدف هو تحري تأثر بعض الخصائص بسبب حالات تشغيل غير مستقرة أو حالات تغذية غير نظامية فيجب العودة للنموذج الرياضي وتعديله بما يتناسب وإمكانية إظهار أثر تلك الحالات، ومن ثمَّ يجب بناء عنصر على غرار هذه العناصر يتناسب مع النموذج الرياضي المقترح (الجديد).

## 3 - النموذج الرياضي للمحرك التحريضي الثلاثي الطور

هناك العديد من النماذج الرياضية التي يُمثل بها المحرك التحريضي الثلاثي الطور (I.M) فيمكن أن يُمثل باستخدام المحاور الحقيقية (A,B,C) أو باستخدام محاور

صُممت العديد من البرامج الحاسوبية من قبل باحثين وشركات إنتاج برمجيات ، وزُودت هذه البرامج بإمكانية المحاكاة للنظم الكهربائية (الشبكات المولدات المحركات أنظمة التحكم بأشكالها أنظمة القيادة المختلفة.... الخ ) ، ولكن هذه الأنظمة تتنوع حسب الغاية منها أو حسب صلاحيتها إذ منها ما يصلح لمحاكاة الأنظمة في الحالة المستقرة Steady State فقط ، وبعضها الآخر يمكن استخدامه في محاكاة الأنظمة الكهربائية في كلتا الحالتين المستقرة والديناميكية فعلى سبيل المثال تُعد دراسة السلوك العابر في نظم الشبكات، والقيادة الكهربائية، ونظم التحكم من المسائل المهمة. إن المعادلات (الرياضية والتفاضلية) لمعظم الأنظمة اليوم باتت معروفة وتكتب بأشكال مختلفة (نماذج رياضية مختلفة) ولكن هذه المعادلات الرياضية أحياناً قد تكون غير كافية ويلزم وجود الخبرة مع حل المعادلات التفاضلية والتحليل الفيزيائي لمعرفة مدى دقة النتائج وصلاحيتها.

## 2 - تعريف النمذجة والمحاكاة

تعرف النمذجة (Modeling) بأنها كل ما يتعلق بالمعادلات الرياضية العادية والتفاضلية .... لأي نظام، في حين المحاكاة فهي تطويع هذه المعادلات لوضعها ضمن مخطط صندوقي يتكون من مجموعة من العناصر بحيث يقوم كل عنصر بأداء مهمة مطلوبة منه وتستخدم في:

- الحالات التي لا تتوفر فيها نماذج فيزيائية، بحيث يتم من خلالها تحري سلوك هذه الأنظمة ومن ثم مناقشة هذه النتائج ولأبداً هنا من دخول الخبرة في إمكانية قبول النتائج أو رفضها.
- إجراء نمذجة ومحاكاة لنماذج فيزيائية موجودة

5 - النموذج الرياضي للمحرك التحريضي من الدارة المكافئة لدينا :

آ - معادلات التشابك المغناطيسي Flux linkage في الثابت

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_{qs}}{dt} &= \omega_b [v_{qs} - \frac{\omega_e}{\omega_b} \psi_{ds} + \frac{R_s}{x_{ls}} (\psi_{mq} + \psi_{qs})] \\ \frac{d\psi_{ds}}{dt} &= \omega_b [v_{ds} + \frac{\omega_e}{\omega_b} \psi_{qs} + \frac{R_s}{x_{ls}} (\psi_{md} + \psi_{ds})] \\ \frac{d\psi_{qr}}{dt} &= \omega_b [v_{qr} - \frac{(\omega_e - \omega_r)}{\omega_b} \psi_{dr} + \frac{R_s}{x_{ls}} (\psi_{mq} - \psi_{qr})] \\ \frac{d\psi_{dr}}{dt} &= \omega_b [v_{dr} - \frac{(\omega_e - \omega_r)}{\omega_b} \psi_{dr} + \frac{R_s}{x_{ls}} (\psi_{md} - \psi_{dr})] \end{aligned} \quad (1)$$

وبإجراء التكامل للمعادلات السابقة :

$$\begin{aligned} \psi_{qs} &= \omega_b \int [v_{qs} - \frac{\omega_e}{\omega_b} \psi_{ds} + \frac{R_s}{x_{ls}} (\psi_{mq} + \psi_{qs})] dt \\ \psi_{ds} &= \omega_b \int [v_{ds} + \frac{\omega_e}{\omega_b} \psi_{qs} + \frac{R_s}{x_{ls}} (\psi_{md} + \psi_{ds})] dt \\ \psi_{qr} &= \omega_b \int [v_{qr} - \frac{(\omega_e - \omega_r)}{\omega_b} \psi_{dr} + \frac{R_s}{x_{ls}} (\psi_{mq} - \psi_{qr})] dt \\ \psi_{dr} &= \omega_b \int [v_{dr} - \frac{(\omega_e - \omega_r)}{\omega_b} \psi_{dr} + \frac{R_s}{x_{ls}} (\psi_{md} - \psi_{dr})] dt \end{aligned} \quad (2)$$

إذ :

$$\begin{aligned} \psi_{mq} &= x_m^* [\frac{\psi_{qs}}{x_{ls}} + \frac{\psi_{qr}}{x_{lr}}] ; \psi_{md} = x_m^* [\frac{\psi_{ds}}{x_{ls}} + \frac{\psi_{dr}}{x_{lr}}] \\ i_{qs} &= \frac{1}{x_{ls}} (\psi_{qs} - \psi_{mq}) ; i_{ds} = \frac{1}{x_{ls}} (\psi_{ds} - \psi_{md}) \\ i_{qr} &= \frac{1}{x_{lr}} (\psi_{qr} - \psi_{mq}) ; i_{dr} = \frac{1}{x_{lr}} (\psi_{dr} - \psi_{md}) \end{aligned} \quad (3)$$

$$x_m^* = \frac{1}{(\frac{1}{x_m} + \frac{1}{x_{m1s}} + \frac{1}{x_{lr}})} \quad (4)$$

ب - معادلات العزم

$$T_e = \frac{3}{2} (\frac{p}{2}) \frac{1}{\omega_b} (\psi_{ds} i_{qs} - \psi_{qs} i_{ds}) ; T_e - T_L = J (\frac{2}{p}) \frac{d\omega_r}{dt} \quad (5)$$

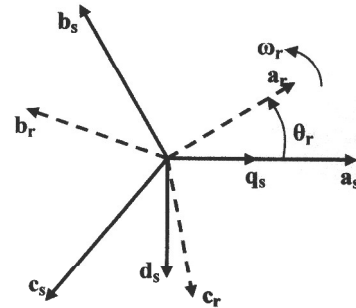
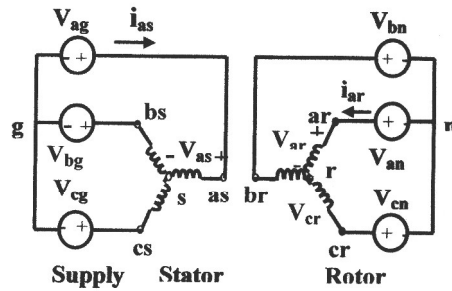
إذ :

d : المحور المباشر أمّا q فهو المحور المتعامد .

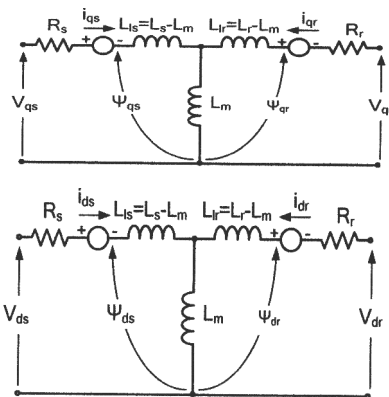
s : متغيرات الثابت أمّا r فهي متغيرات الدائر .

بارك (d, q, o) ، أو محاور كلارك (α, β, o) ، ونظراً إلى سهولة التعامل مع المحاور d q فقد اختير تمثيل المحرك التحريضي باستخدام الدارة المكافئة الديناميكية على المحاور (d, q, o) واستخدمت معادلات التشابك المغناطيسي ψ ضمن هذه المعادلات [1],[2],[3].

4 - الدارة المكافئة والمخطط الشعاعي للمحرك التحريضي



الشكل (1) المخطط الشعاعي للمحرك التحريضي الثلاثي الطور



الشكل (2) الدارة المكافئة للمحرك التحريضي الثلاثي الطور

$\psi_{ij}$  : سيالة التشابك المغناطيسي إذ  $i$  يساوي إما  $q$  أو  $d$  أو  $r$  أو  $s$  .

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \left(\frac{p}{2J}\right)(T_e - T_L) \quad (7)$$

$$\theta_e = \int \omega_e dt \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} v_{an} \\ v_{bn} \\ v_{cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} +\frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & +\frac{2}{3} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} & +\frac{2}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{ao} \\ v_{bo} \\ v_{co} \end{bmatrix} \quad (9)$$

د - معادلات التوتر حسب محاور بارك

(a,b,c) والمحاور (d,q)

$$v_{qs}^s = v_{an}$$

$$v_{ds}^s = -\frac{1}{\sqrt{3}}(v_{bn} - v_{cn})$$

$$\begin{bmatrix} v_{qs}^s \\ v_{ds}^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{an} \\ v_{bn} \\ v_{cn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$v_{qs} = v_{qs}^s \cos \theta_e - v_{ds}^s \sin \theta_e$$

$$v_{ds} = v_{qs}^s \sin \theta_e + v_{ds}^s \cos \theta_e \quad \Leftrightarrow$$

$$\begin{bmatrix} v_{qs} \\ v_{ds} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_e & -\sin \theta_e \\ \sin \theta_e & \cos \theta_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{qs}^s \\ v_{ds}^s \end{bmatrix} \quad (11)$$

هـ- معادلات التيارات حسب محاور بارك

(a,b,c) والمحاور (d,q)

$$i_{qs}^s = i_{qs} \cos \theta_e + i_{ds} \sin \theta_e$$

$$i_{ds}^s = -i_{qs} \sin \theta_e + i_{ds} \cos \theta_e \quad \Leftrightarrow$$

$$\begin{bmatrix} i_{qs}^s \\ i_{ds}^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_e & \sin \theta_e \\ -\sin \theta_e & \cos \theta_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \end{bmatrix} \quad (12)$$

مرحلة التحويل من المستوي التزامني (q,d) المرتبط

بالثابت إلى المستوي الحقيقي (a,b,c).

$V_{qs}, V_{ds}$  : توترات الثابت على المحاور  $q, d$  .

$V_{qr}, V_{dr}$  : توترات الدائر على المحاور  $q, d$  .

$F_{md}, F_{mq}$  : السيلالات التحريضية المتبادلة على

المحاور  $d, q$  .

$R_s, R_r$  : مقاومة الثابت والدائر .

$X_{ls}$  : المفاعلة التحريضية لمفات الثابت وتساوي

$(\omega_e \cdot l_{ls})$  .

$X_{lr}$  : المفاعلة التحريضية لمفات الدائر وتساوي

$(\omega_e \cdot l_{lr})$  .

$i_{qs}, i_{ds}$  : تيارات الثابت على المحاور  $q, d$  .

$i_{qr}, i_{dr}$  : تيارات الدائر على المحاور  $q, d$  .

$p$  : عدد الأقطاب أمّا  $J$  عزم العطالة .

$T_e$  : عزم الخرج الكهربائي أمّا  $T_L$  فهو عزم الحمولة .

$\omega_e$  : التردد الزاوي الكهربائي للثابت .

$\omega_b$  : التردد الزاوي الكهربائي (تردد الأساس) المقترح

للمحرك .

$\omega_r$  : السرعة الزاوية الكهربائية للدائر .

في حالة المحركات التحريضية ذات القفص السنجاي

كما هو الحال بالنسبة إلى المحرك المدروس فإن قيم

توترات الدائر  $V_{qr}, V_{dr}$  على المحاور  $q, d$  تساوي

الصفري .

وبالتعويض

$$\psi_{qs} = \omega_b \int \left[ v_{qs} - \frac{\omega_e}{\omega_b} \psi_{ds} + \frac{R_s}{x_{ls}} \left( \frac{x_{ml}}{x_{lr}} \psi_{qr} + \left( \frac{x_{ml}}{x_{ls}} - 1 \right) \psi_{qs} \right) \right] dt \quad (6)$$

$$\psi_{qs} = \omega_b \int \left[ v_{qs} + \frac{\omega_e}{\omega_b} \psi_{qs} + \frac{R_s}{x_{ls}} \left( \frac{x_{ml}}{x_{lr}} \psi_{dr} + \left( \frac{x_{ml}}{x_{ls}} - 1 \right) \psi_{ds} \right) \right] dt$$

$$\psi_{qr} = \omega_b \int \left[ -\frac{(\omega_e - \omega_r)}{\omega_b} \psi_{dr} + \frac{R_r}{x_{lr}} \left( \frac{x_{ml}}{x_{lr}} \psi_{qs} + \left( \frac{x_{ml}}{x_{lr}} - 1 \right) \psi_{qr} \right) \right] dt$$

$$\psi_{qr} = \omega_b \int \left[ -\frac{(\omega_e - \omega_r)}{\omega_b} \psi_{qr} + \frac{R_r}{x_{lr}} \left( \frac{x_{ml}}{x_{lr}} \psi_{ds} + \left( \frac{x_{ml}}{x_{lr}} - 1 \right) \psi_{dr} \right) \right] dt$$

**2 - الثانية :** محاكاة المحرك عند إقلاعه مع وجود نظام قيادة باستخدام تقانة ثبات النسبة (V/f) إذ تم (إقلاع المحرك من السكون تغيير قيمة السرعة المرجعية وإظهار أثر ذلك في التيار والعزم الكهرومغناطيسي - تحميله بشكل قفزات في الحملية ومراقبة التغيرات التي تحدث خلال ذلك) وسيتم المقارنة بين التغيرات التي تحدث في معطيات المحرك خلال حالات العمل التي يقوم بها.

### 6-1 - المخطط الصندوقي لمحاكاة المحرك التحريضي بحالة الإقلاع المباشر

في هذه الفقرة بُني المخطط الصندوقي اعتماداً على النموذج الرياضي المبين في المعادلات الرياضية السابقة (المعادلات التفاضلية التي تمثل التشابك المغناطيسي بين ملفات المحرك .....الخ). وتبين الأشكال (4) و(5) مخططات صندوقية كاملة لمحاكاة المحرك بحالة الإقلاع المباشر. قبل البدء برسم المخطط الصندوقي الخاص بمحاكاة المحرك سنطرق مثلاً على الطرائق الممكنة من خلال استخدام العناصر المختلفة المتاحة في البيئة البرمجية المستخدمة ومقارنة النتائج التي يتم الحصول عليها من هذه الطرائق المختلفة. لنأخذ إحدى معادلات التحويل بين المحاور بالنسبة إلى التوتر وهذا يدل على أنه يمكن بناء مخططات المحاكاة بطرائق مختلفة فمثلاً:

$$\begin{bmatrix} v_{an} \\ v_{bn} \\ v_{cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} +\frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & +\frac{2}{3} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} & +\frac{2}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{ao} \\ v_{bo} \\ v_{co} \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} i_a &= i_{qs}^s \\ i_b &= -\frac{1}{2}i_{qs}^s - \frac{\sqrt{3}}{2}i_{ds}^s \\ i_c &= \frac{1}{2}i_{qs}^s - \frac{\sqrt{3}}{2}i_{ds}^s \end{aligned} \Leftrightarrow \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs}^s \\ i_{ds}^s \end{bmatrix} \quad (13)$$

### 6 - المخططات الصندوقية لمحاكاة أنظمة إقلاع

#### وقيادة المحرك التحريضي

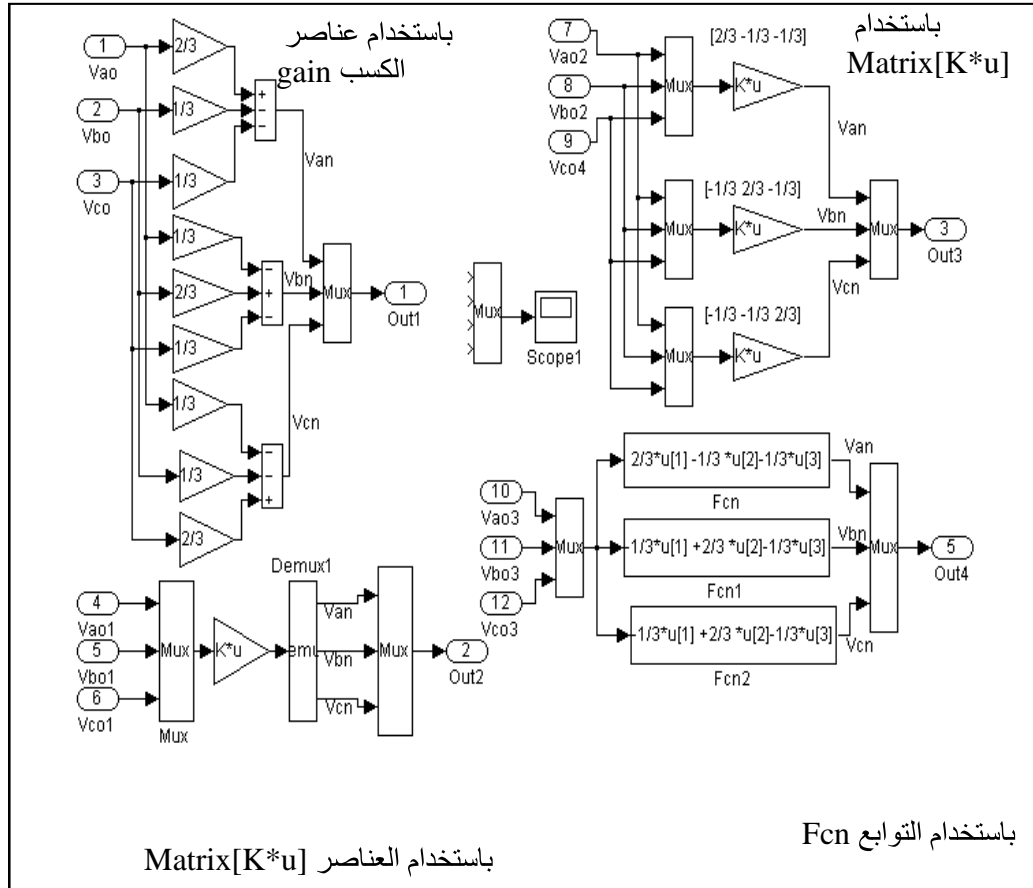
هناك العديد من طرائق إقلاع وقيادة المحركات التحريضية: [4],[5]

- 1 - الطرائق التقليدية (مباشر إضافة مقاومات تغيير عدد الأقطاب ستار /دلتا).
- 2 - طرائق تعتمد على إدخال وسائط إلكترونية (ممرجات مدرجات).
- 3 - طرائق تستخدم فيها تقانات التحكم الحديث مثل:
  - آ - التحكم بالنسبة V/F بحالة حلقة تغذية خلفية مغلقة (Closed lope) أو بحالة حلقة تغذية خلفية مفتوحة (Open lope).

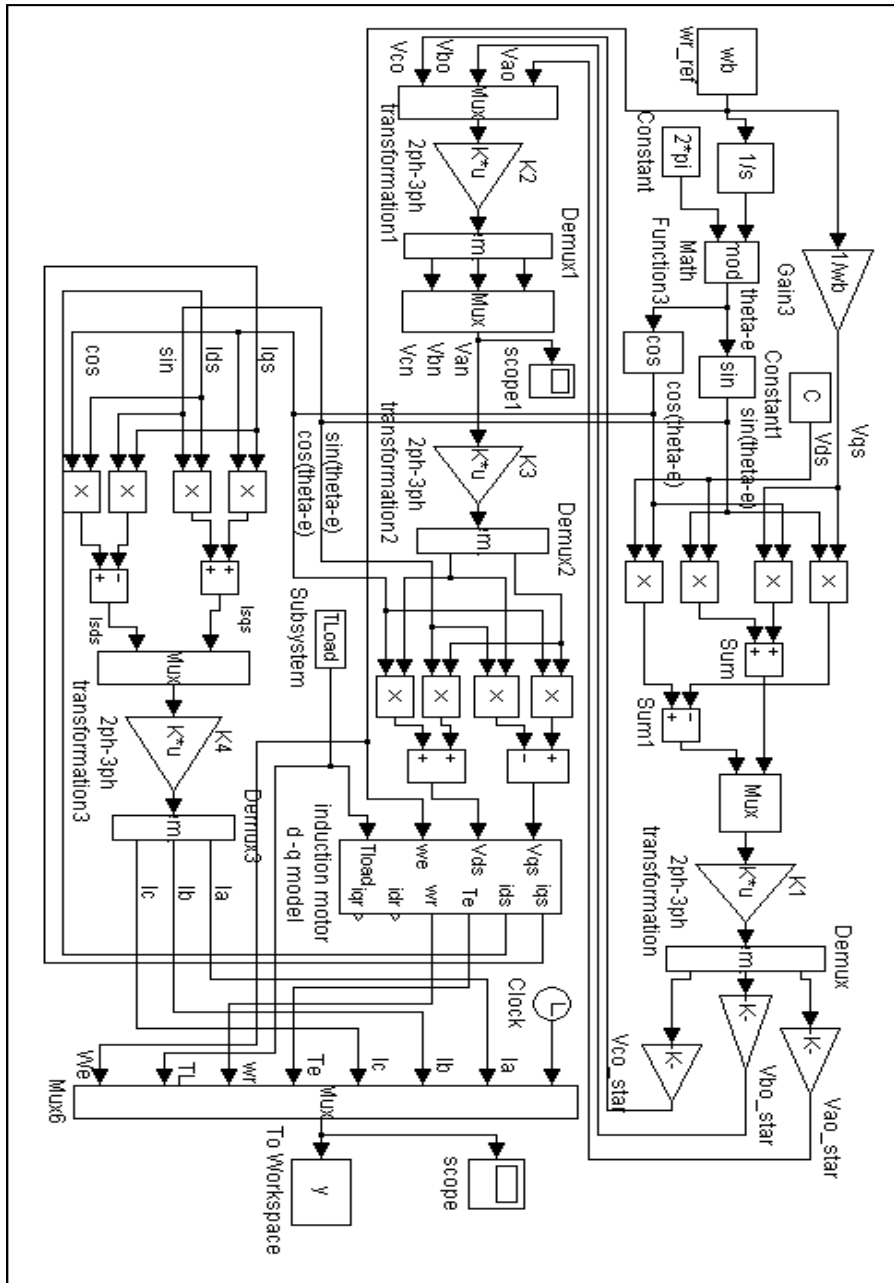
ب - التحكم الشعاعي: (Indirect Vector Control, Direct Vector Control) أو مايسمى بالتحكم الموجه: Field Oriented Control, Direct Field-Oriented Current Control, Direct Field-Oriented Voltage Control, Indirect Field-Orientation Control.

في هذه المقالة سوف يتم عرض وبناء مخططين صندوقيين بهدف محاكاة المحرك التحريضي عند حالتين من حالات الإقلاع والقيادة للمحرك التحريضي ومن ثم مقارنة مخططات الأداء لهاتين الطريقتين علماً أن هناك طرائق متعددة لبناء المخططات الصندوقية لمحاكاة مثل هذه الطرائق لكنها تختلف عن بعضها من حيث العناصر المستخدمة:

**1- الأولى :** محاكاة المحرك عند إقلاعه من السكون ودون تحكم (إقلاع مباشر) ثم تحميله بشكل قفزات في الحملية ومراقبة التغيرات التي تحدث خلال ذلك.



الشكل (3) يبين أربعة مخططات متكافئة وللمعادلة نفسها

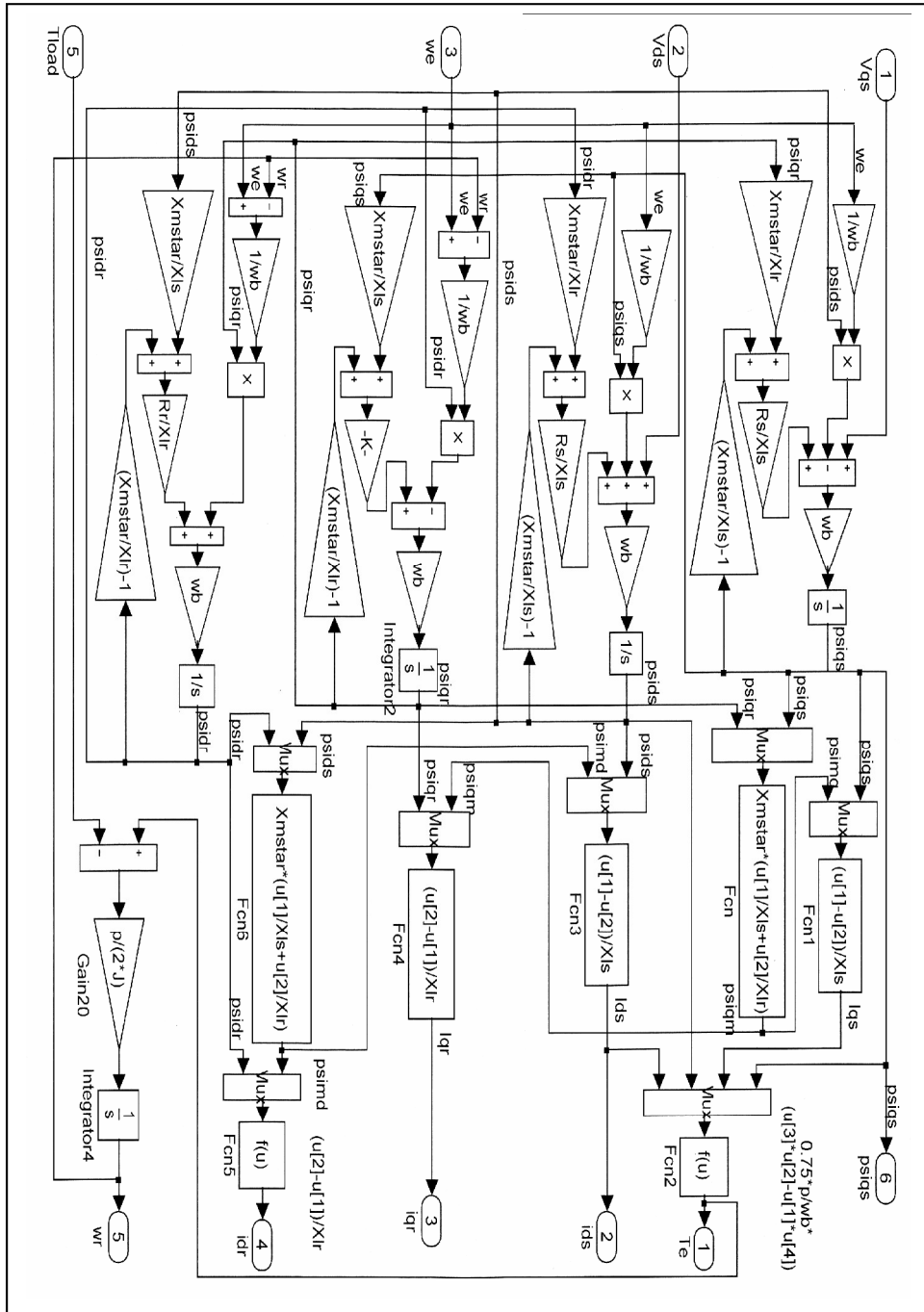


الشكل (4) : مخطط صندوقي تفصيلي لمحاكاة المحرك التحريضي عند الإقلاع المباشر من السكون ثم التحميل باستخدام عناصر المصفوفات Matrix[K\*u].

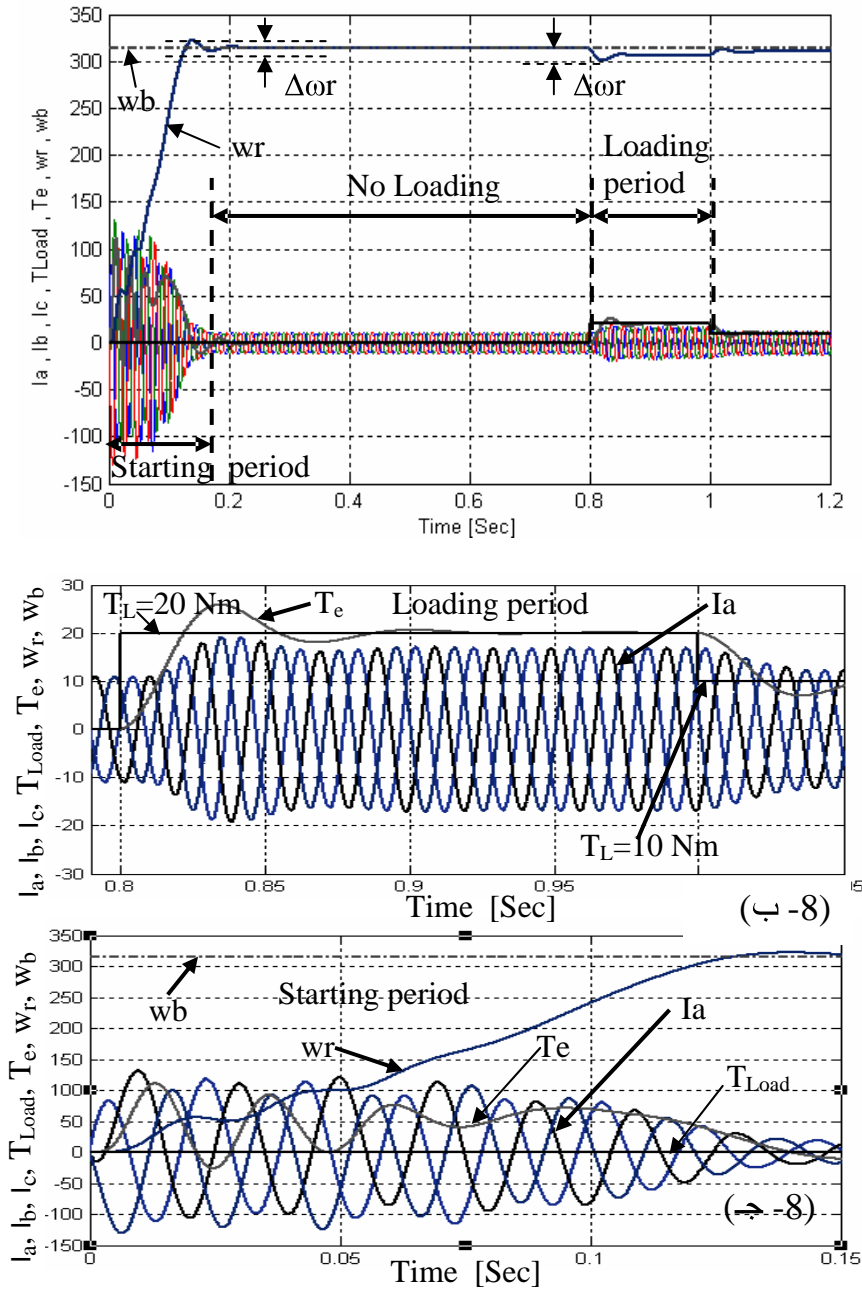




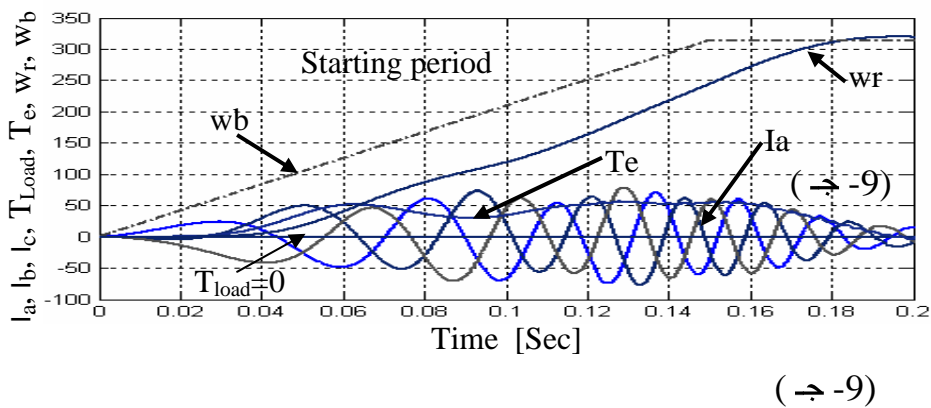
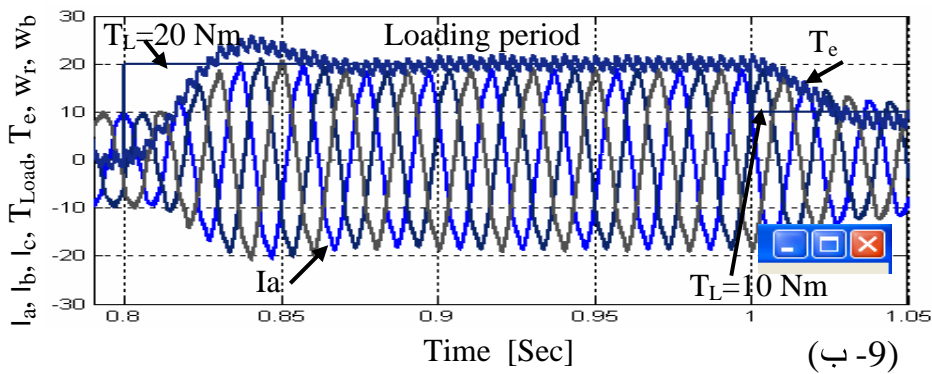
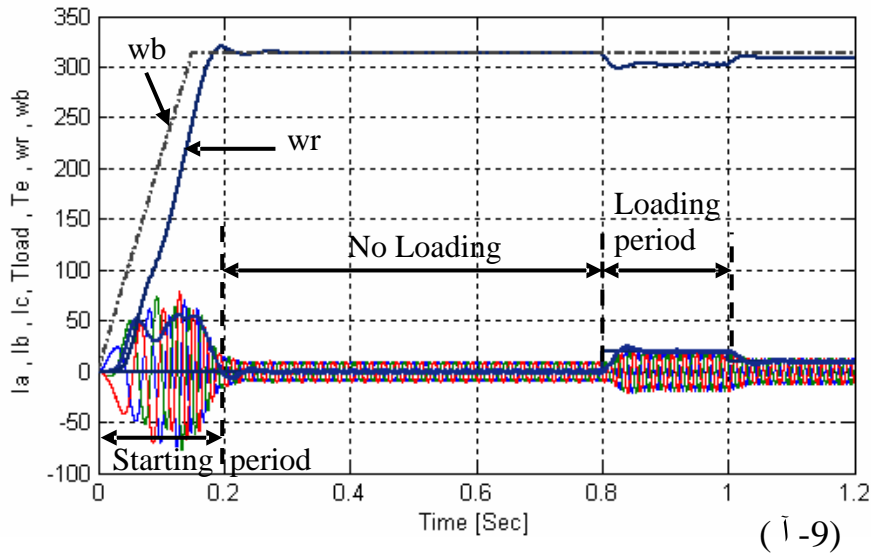




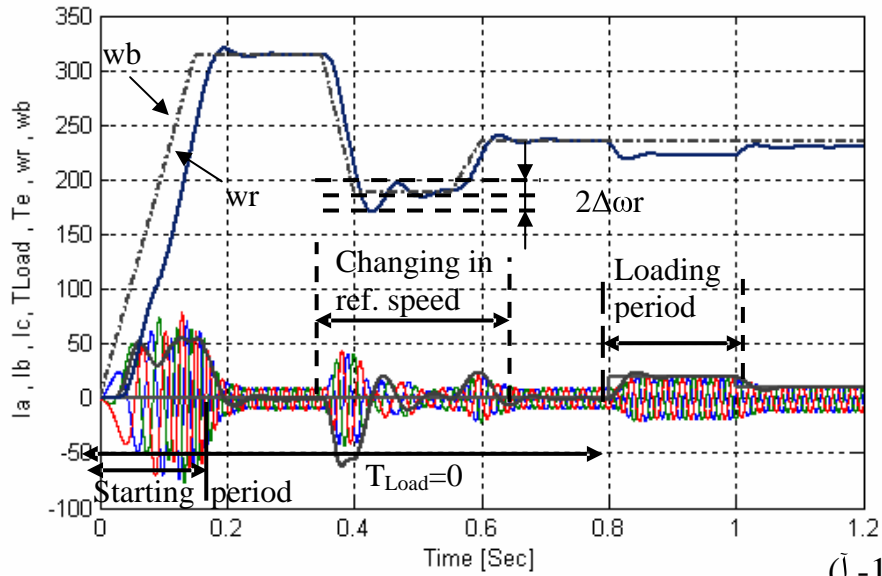
الشكل (7) يبين المخطط الصندوقي التفصيلي للوحدة Induction Motor d-q model



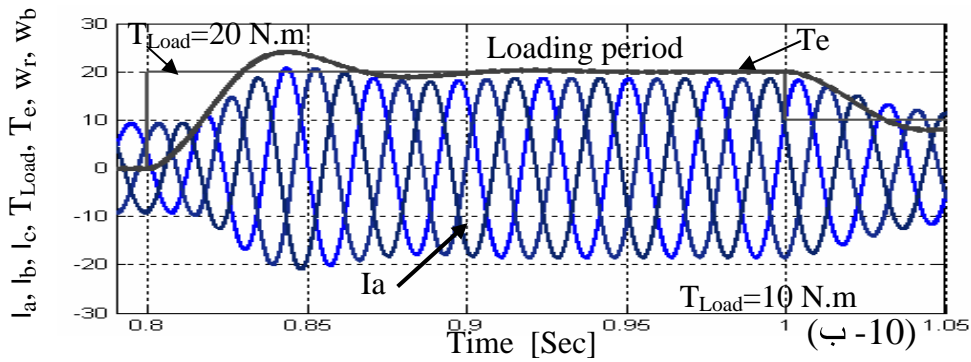
الشكل (8) يبيّن نتائج المحاكاة بحالة الإقلاع المباشر ثم تحميل المحرك



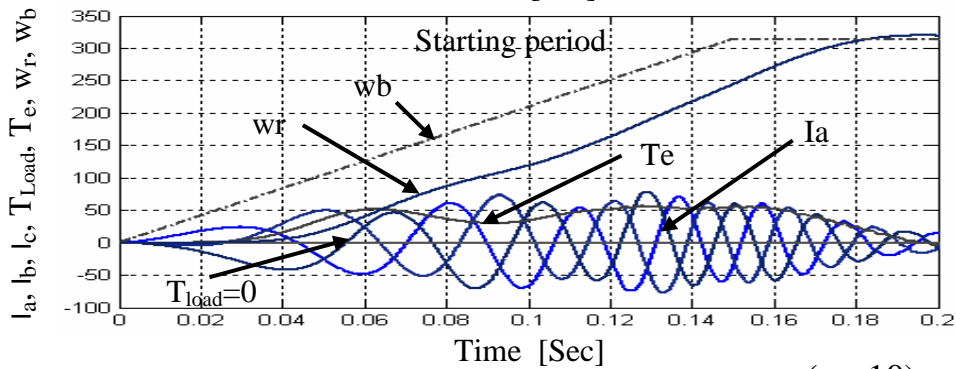
الشكل (9) يبيّن نتائج المحاكاة من دون تغيير في السرعة المرجعية ثم تحميل المحرك



(أ - 10)

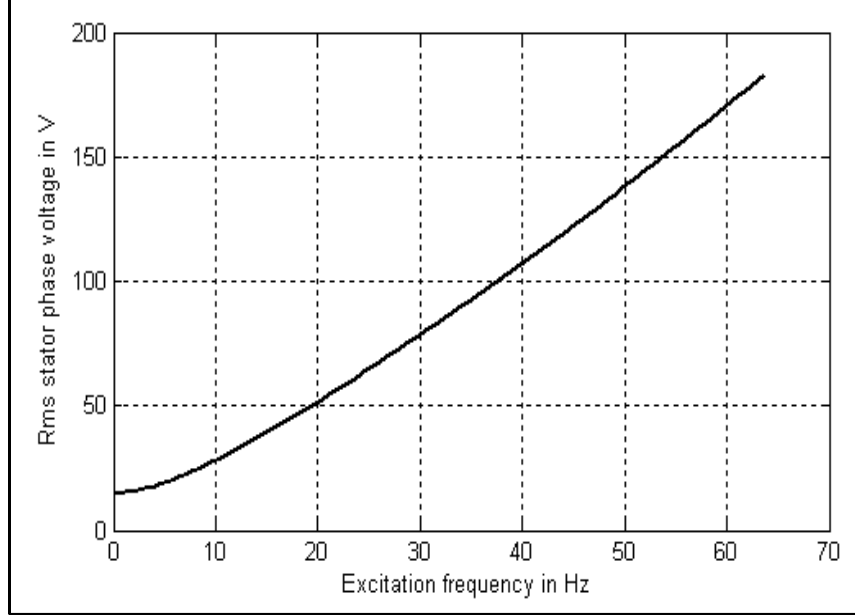


(ب - 10)



(ج - 10)

الشكل (10) نتائج المحاكاة عند تغيير السرعة المرجعية ثم تحميل المحرك



الشكل (11) منحنى تغير العلاقة  $V/F=Const.$

أما السرعة فقد تزايدت من الصفر حتى السرعة الاسمية مع ظهور قفزة  $\Delta\omega_r$  استمرت لمدة قصيرة جداً وقيمتها لا تتجاوز 2% من القيمة الاسمية للسرعة وهي ضمن المجال المقبول ولتوضيح منحنيات الأداء بشكل أفضل عند الإقلاع والتحميل أُخِذَتْ أجزاء (عينات) من هذه المنحنيات (التيارات، السرعة، العزم الكهرومغناطيسي) وكُبِّرَتْ كما هو مبين في الشكلين (8 ب) و(8 ج).

ب - في الشكل (9) عُرِضَتْ نتائج المحاكاة للمحرك عند إقلاعه وتشغيله بتقانة  $V/f=const.$  وبقاء السرعة المرجعية ثابتة واتباع مراحل الإقلاع والتحميل نفسها كما هو في حالة الإقلاع المباشر إذ لاحظنا من خلال منحنيات الأداء أن القيمة العظمى لتيار الإقلاع قد انخفضت إلى نحو 50% من قيمتها في حالة الإقلاع المباشر. وهذا ما يميز هذه الحالة من التشغيل. تم أخذ (عينات) أجزاء

#### - النتائج

من نتائج المحاكاة للمحرك التي تم الحصول عليها عند حالتى التشغيل المذكورتين تم التوصل إلى ما يأتى :

1 - من خلال نتائج المحاكاة المبينة في الأشكال (8) (9) (10) أمكننا التعرف على منحنيات أداء المحرك عند كل حالة من حالات التشغيل وقد تم التحليل لهذه المنحنيات التي تُظهر أداء المحرك عند الإقلاع من السكون، والتحميل، وتغيير السرعة المرجعية  $\omega_b$  في حالة استخدام التحكم بالمحرك بثبات النسبة  $V/f$  إذ:

أ - في الشكل (8) أظهرت منحنيات الأداء للمحرك عند حالة الإقلاع المباشر من السكون مروراً بحالة اللاحمل ثم حالة التحميل عند المدة الزمنية 0.8 Sec.

إن القيمة العظمى لتيار الإقلاع قد وصلت إلى 130 أمبيراً أي ما يعادل أربعة أمثال التيار الاسمي البالغ  $I_n=33A$  واستمرت مدة الإقلاع نحو 0.15Sec.

4 - من خلال منحنى العزم الكهرومغناطيسي يتضح أن التغيرات في هذا العزم الناتجة عن التغيرات في عزم الحمل لن تكون تغيرات بشكل قفزة (Step) ومطابقة لمنحنى تغيرات عزم الحمل بل تأخذ زمناً للاستجابة يتعلق بمحددات المحرك نفسه.

#### 7 - ملف قراءة محددات المحرك وإظهار نتائج المحاكاة

**% data of the motor**

**P=10; % KW Rated power**

**VL\_L=220; % R.m.s of voltage per Line**

**Veff=127; % R.m.s of voltage per phase**

**Vm=Veff\*sqrt(2); %max. value of voltage .**

**f=50; % frequency .**

**w=2\*pi\*f; % angular frequency**

**Rr=0.36; %rotor resistance**

**Rs=0.45; %stator resistance**

**Xls=1.35; %stator inductance**

**Xm=Xs-Xls; %magnetizing inductance**

**Xs=34.8; Xr=34.4;Xo=32.8; Lls=Xls/wb ;**

**Llr=Xlr/wb ; Lm= Xm/wb ;**

**Xlr=1.6; %rotor inductance**

**fb=50; %base frequency**

**%fb=100; %base frequency**

**p=4; %number of poles**

**J=0.05; %moment of inertia**

**%wr\_ref=314 % reference speed**

**Lr=Llr+Lm; %self inductance of rotor winding**

.

**Tr=Lr/Rr; % time constant of the rotor .**

**C=0**

**% Impedance and angular speed calculations**

**wb=2\*pi\*fb; %base speed**

**Xls=wb\*Lls; %stator reactance**

**Xlr=wb\*Llr; %rotor reactance**

من هذه المنحنيات خلال مدد الإقلاع والتحميل وتكبيرها بغية إظهار التغيرات في المنحنيات كما هو مبين في الشكلين (9 ب) و (9 ج) .

ج - في الشكل (10) عُرِضَتْ نتائج المحاكاة للمحرك عند إقلاعه بتقانة  $V/f=const.$  كما في الحالة السابقة. إضافة إلى تغيير السرعة المرجعية (wb) وإظهار منحنيات أداء المحرك خلال هذه الحالة. من مراقبة منحنيات الأداء نلاحظ أن التغيرات التي ظهرت في هذه المنحنيات (خلال مدة الإقلاع ومدة التحميل) مماثلة للتغيرات التي ظهرت في الحالة السابقة (حالة عدم تغيير السرعة المرجعية). إنما عند تغيير السرعة المرجعية (wb) ظهرت أيضاً قفزة  $\Delta\omega_r$  في منحنى السرعة الحقيقية وهذه القفزة متخامدة كما هو مبين في الشكل (10 أ)، أمّا مدتا الإقلاع والتحميل فقد تم توضيحهما في الشكلين (10 ب) و (10 ج).

2 - يمكن وضع أكثر من مخطط محاكاة لكل حالة من حالات تشغيل المحرك إذ تم بناء أربعة مخططات مختلفة للمعادلة (14) باستخدام العناصر المتاحة في البيئة البرمجية Matlab/Simulink and Matlab/SimPowerSystem كما تم توضيحه في الشكل (3) حيث تم اختبار المخططات الأربعة والحصول على تطابق في النتائج.

3 - من خلال مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها (منحنيات التيارات، والعزوم الكهرومغناطيسية والسرعات) من المحاكاة لكنتا حالتا التشغيل المذكورتين تبين لنا المميزات التي تمتاز بها حالة الإقلاع باستخدام تقانة ثبات النسبة  $V/F$  على حالة الإقلاع المباشر كما هو موضح في الشكلين (8) و (9).

النمذجة والمحاكاة للإقلاع المباشر والإقلاع بطريقة V/F=Const. في المحرك التحريضي ثلاثي الطور باستخدام Matlab/Simulink

```

frated=50;
w=(-400:4:400);
f=w/(2*pi);
N=length(w);
for n=1:N;
we=w(n);
xls=0.66; xls=Lls*wb
rs=0.45;
iasb=33;
xm=5.8339;% xm=Lm*wb
wb=2*pi*frated;
%we=wb;
emb=i*iasb*xm;
em=abs(we)*emb/wb;
xls=(we/wb)*xls;
zs=rs+i*(abs(we)/wb)*xls;
xm=(we/wb)*xm;
vrms(n)=abs(em+iasb*zs);
end
vrms_vf=vrms;
we_vf=w;
%clf
plot(f(:),vrms(:),'-')
ylabel('Rms stator phase voltage in V');
xlabel('Excitation frequency in Hz ');
grid

Xm=wb*Lm; %magnetizing reactance
Xmstar=1/(1/Xls+1/Xm+1/Xlr) ;
K1=[1 0; -1/2 -sqrt(3)/2; -1/2 sqrt(3)/2]
K2=[2/3 -1/3 -1/3; -1/3 2/3 -1/3; -1/3 -1/3 2/3]
K3=[1 0 0; 0 -1/sqrt(3)1/sqrt(3)]
K4=[1 0 ; -0.5 -sqrt(3)/2; -0.5 sqrt(3)/2]
K5=[1 0;-1/2 -sqrt(3)/2;-1/2 sqrt(3)/2]
K6=[2/3 -1/3 -1/3;-1/3 2/3 -1/3;-1/3 -1/3 2/3]
K7=[1 0 0;0 -1/sqrt(3) 1/sqrt(3)]
K8=[1 0;-0.5 -sqrt(3)/2;-0.5 sqrt(3)/2]
Time1_values=[0 25e-6 50e-6 75e-6 100e-6];
Vref_values=[0 1 0 -1 0];
Time_values=[0 0.2 0.3 0.4 0.6 0.8 1];
%wr_ref_values=[0 wb wb wb wb wb wb];
%wr_ref_values=[0 0.9*wb 0.9*wb 0.6*wb
0.6*wb 0.75*wb 0.75*wb];
%wr_ref_values=[0 0.8*wb 0.8*wb 0.5*wb
0.5*wb 0.65*wb 0.65*wb];
wr_ref_values=[0 wb wb 0.6*wb 0.6*wb
0.75*wb 0.75*wb];
TLoad_values=[0 0 0 0 0 20 -10];
Vd=300 ; % Voltage of the DC Power Supply .
keyboard
clf;
% Plotting Stage of Currents, Torques, Speeds.
Plot(y(:,1),y(:,2), y(:,1),y(:,3), y(:,1),y(:,4),
y(:,1),y(:,5), y(:,1),y(:,6), y(:,1),y(:,7),
y(:,1),y(:,8)),grid

% Plotting Stage of Voltage per Hertz

```



## المراجع

- [1] R. Krishnan, "Electric Motor Drives", Book, Prentice Hall of India, 2002
- [2] Jimmie J. Cathy, "Electric Machines, Analysis and applying Matlab", MCGRAW-HILL, International, Edition , 2001 .
- [3] Matlab ver. 6.3, Simulink, "Dynamic System Simulation for Matlab, "manual, Mathworks, Inc., 2000- 2001.
- [4] Burak Ozpineci, Leon M. Tolbert," Simulink Implementation of Induction Machine Model-A Modular Approach ",2003, IEEE.
- [5] Chee-Mun Ong, "Dynamic Simulation of Electric Machine", Using Matlab/ Simulink, Book, 1998 by Prentice Hall PTR , p. 167 – p. 258
- [6] Matlab\ Simulink, Matlab\ Sim Power System Ver. 2006a, Mathworks.