

تحسين أداء أنظمة القيادة التي تعمل وفق مبدأ التحكم السلمي (v/f const)

د. بسام عبد الله عطية*

(تاريخ الإيداع 23 / 2 / 2011. قُبِلَ للنشر في 12 / 9 / 2011)

□ ملخص □

يتناول البحث تقييم وتحسين أداء ومردود نظام تحكم سلمي لقيادة محرك تحريضي ثلاثي الطور ذي دائر مقصور (Squirrel Cage Induction Motor)، يعمل في الأرباع الأربعة (four-quadrant operation)، عن طريق تنظيم الانزلاق باستخدام مبدأ تعديل عرض النبضة (pulse width modulation PWM) لمعرج توتر voltage source inverter (VSI) بترانزستورات من نوع IGBT، تعمل على تنظيم كل من التردد والتوتر وفق النسبة $V/F=const$.

لقد تم وضع الخوارزمية الرياضية لنظام القيادة المذكور والتي تشكل حجر الأساس لبرمجة المعالجات والمتحكمات الميكروية المستخدمة في التطبيقات العملية لأنظمة قيادة الروافع والمصاعد، حيث تم وضع شروط التشغيل لنظام القيادة وتصميم مكونات دائرة تشكيل إشارات القدر لمفاتيح المعرج وفق مبدأ التعديل الجيبي لعرض النبضة (المتحكم PI - المحدد - متحكم الجهد..)، وبناء على الخوارزمية الرياضية، تم نمذجة النظام باستخدام برنامج `simplorer 8`.

بناءً على الدراسة والتقييم لنتائج النمذجة، تم تحديد سلبيات نظام التحكم السابق و قمنا باقتراح إضافة حلقة تحكم بتيار دخل المعرج بهدف الحصول على خواص أداء أفضل وتحسين مردود النظام عن طريق تخفيض كل من: تيارات الإقلاع والكبح - عوامل تشويه إشارات الجهود والتيارات والعزوم - الاجهادات الكهروميكانيكية الديناميكية في الحالات العابرة (إقلاع - كبح).

الكلمات المفتاحية: أنظمة ضبط السرعة، تعديل عرض النبضة، معرج جهد، ترانزستورات IGBT، عامل التشوه الكلي THD.

* أستاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة الكهربائية، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين.

Improving the Performance of Electrical Drive Systems via Scalar Speed Control (v/f const).

Dr. Bassam Abdullah Atieh *

(Received 23 / 2 / 2011. Accepted 12 / 9 / 2011)

□ ABSTRACT □

Our research concentrates on evaluating and improving the performance and the efficiency of adjustable speed Squirrel Cage Induction Motor drives operating in four-quadrant operation, controlling the slip using the pulse width modulation (PWM) of a voltage source inverter that uses IGBTs Transistors for controlling frequency and voltage and maintaining $V/F=const$.

Being fundamental to programming the microprocessors and microcontrollers used in every practical application of the control systems of elevators, lifts etc[14], The algorithm required for the electrical drives has been stated in our research. We have also defined the operating conditions for the electrical drive system and then designed the parts of the circuit responsible for generating trigger signals that control the function of the inverter switches using the pulse width modulation principal (PI controller – Limiter – Voltage controller , Etc....). And by using the SIMPLORER 8 program (Full version), we could complete the system simulation.

Based on studying and evaluating the model concerned, we have identified the disadvantages of such a system. So, we have suggested adding a loop DC current control to the inverter input in order to obtain a better performance and system efficiency by reducing start up and braking currents –the factors of distorting the signals of currents, voltages, and torques – and the excess of dynamic electromechanical overloads during transient conditions (start up-brake).

Keywords: Adjustable speed drives, pulse width modulation, voltage source inverter, IGBTs Transistors, total harmonic distortion THD.

* Associate Professor, Electromechanical Engineering Faculty, Department of Electrical Power, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تعتبر منظومات القيادة والتحكم للروافع والمصاعد والسيور المتحركة من أكثر أنظمة القيادة انتشاراً في كافة القطاعات الخدمية والإنتاجية في سوريا، حيث تتلخص أهمية هذه المنظومات في تأمين العمليات الحركية، للحصول على مسارات حركية محددة: حركة دورانية، حركة خطية، حركة ترددية بما يتناسب ومتطلبات آلية التشغيل. [3]

تتطلب بعض التطبيقات مثل الروافع والمصاعد والسيور المتحركة حالات فصل ووصل سريعة ومكررة مع عكس جهة دوران المحرك، لذلك تتطلب هذه الأنظمة التحكم بعزم المحرك من أجل ضبط تسارع الحمل وتفادي حالات التشغيل الخطرة، مثل تنزيل الحمل تحت تأثير الجاذبية. [9]

أهمية البحث وأهدافه:

لتأمين تشغيل ديناميكي ممتاز لأنظمة قيادة الروافع والمصاعد والسيور المتحركة، كان لابد من وضع خوارزميات رياضية متطورة لبرمجة المتحكمات الصغيرة والمعالجات الميكروية لتشكل أساساً في تصميم وتصنيع هذه الأنظمة محلياً وتخفيض تكاليف الاستثمار في أعمال التطوير. [6; 14]

هدف البحث:

يهدف البحث لوضع نموذج لنظام قيادة باستخدام برنامج 8 simplorer، يساهم في تصميم أنظمة قيادة الروافع والمصاعد والسيور المتحركة بهدف تحسين الأداء والمردود عبر تنظيم الانزلاق (تخفيض كل من: تيارات الإقلاع والكبح - عوامل تشويه إشارات الجهود والتيارات والعزوم - الاجهادات الكهروميكانيكية الديناميكية في الحالات العابرة)، وذلك عن طريق إضافة حلقة تحكم بتيار دخل المعرج، وبهدف تحقيق المتطلبات الرئيسية التالية: [8; 10]

- تحقيق شروط التشغيل المطلوبة لأنظمة قيادة الروافع والمصاعد والسيور المتحركة (التحكم بالسرعة والدقة في التوقف وعكس اتجاه الدوران). [4]

- تشغيل مضبوط لحالات الإقلاع والكبح من أجل الحصول على أنظمة بكفاءات عالية (تأمين راحة المسافرين وجودة المنتج). [11; 12]

- تحقيق إمكانية تنظيم استطاعة الدخل للأحمال التي يتناسب فيها العزم طرداً مع مربع السرعة (الحالات الخاصة لعمل المصاعد والروافع والسيور المتحركة). [2]

- تحقيق عامل تشوه منخفض لإشارات تيارات المحرك من أجل تخفيف آثار العزوم النبضية المتشكلة على محاور المحركات، والتي قد تؤدي لالتواء المحاور وتخفيض عمر الكراسي الحاملة. [13]

- تحقيق حالات تشغيل بمردود عالي. [5]

- تحقيق حماية كافية للنظام من أجل تفادي حدوث قفزات عالية في إشارات الجهد والتيار والعزم. [6]

طرائق البحث ومواده:

تحدد معادلة التحريك في نظام القيادة وفق المعادلة العامة للعزوم على محور المحرك: [1; 7]

$$T_d = T_M - T_L = J_T \frac{d\omega_M}{dt} = \frac{J_T}{N} \frac{d\omega_L}{dt} \quad (1)$$

حيث:

العزم الديناميكي (dynamic torque): T_d ; T_M ; T_L ، عزم المحرك، عزم الحمل الميكانيكي.
 السرعة الزاوية للدائر (Rotor angular velocity)، السرعة الزاوية للحمل الميكانيكي على الترتيب (Load angular velocity).

عزم العطالة الكلي (total mass moment of inertia) للأجزاء الدوارة منسوبة لمحور المحرك. J_T
 $N = \frac{\omega_L}{\omega_M}$: نسبة تحويل ناقل الحركة (Transmission ratio of gear)، تساوي الواحد عند الربط المباشر للحمل على محور المحرك.

يتحدد تسارع الحمل الميكانيكي بالمعادلة التالية:

$$\frac{d\omega_L}{dt} = \frac{N \cdot T_d}{J_T} \quad (2)$$

بناء على أهداف البحث، سيتم اقتراح نظام قيادة لمصعد أو رافعة بطريقة التحكم السلمي، حيث تتميز هذه الأنظمة بالعمل على عزم حمل $T_L = \text{const}$.

يمكن الحصول على خواص ميكانيكية $T_M = f(s)$ (عزم-انزلاق) مشابهة لمحركات التيار المستمر بتنظيم سرعة الدوران عن طريق تغيير تردد التغذية، مع الحفاظ على قيمة العزم الأعظمي $T_{M,max}$ والنسبة $V/F = \text{const}$. يتم بهذه الطريقة ضبط عزم المحرك عن طريق التحكم بالانزلاق. [11]

سوف نستعرض فيما يلي شروط التشغيل المطلوبة لنظام القيادة المقترح خلال مرحلتي الصعود والهبوط (العمل بالأرباع الأربعة) بعزم حمولة $T_L = \text{const}$:

(a) شروط التشغيل المطلوبة لمرحلة الصعود:

(1) تحقيق إقلاع سلس بتسارع منتظم، وذلك ضمن المجال الزمني $0 > t > t_1 \text{ sec}$.

(2) الحفاظ على سرعة دوران $N_1 = \text{const}$ ، ضمن المجال الزمني $t_1 > t > t_2 \text{ sec}$.

(3) تحقيق كبح سلس بتسارع منتظم، ضمن المجال الزمني $t_2 > t > t_3 \text{ sec}$.

(b) شروط التشغيل المطلوبة لمرحلة الهبوط:

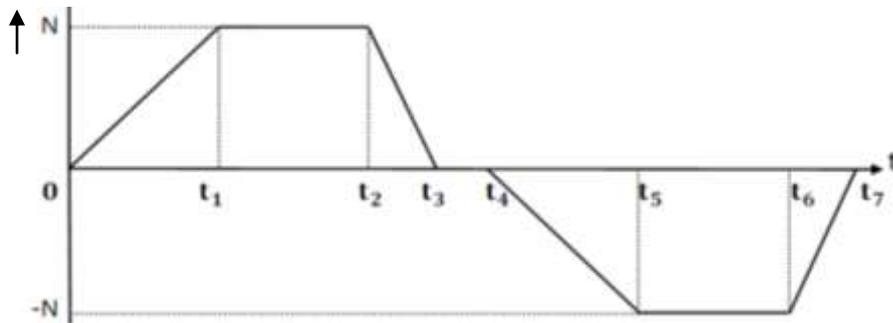
(1) تحقيق إقلاع سلس بتسارع منتظم، ضمن المجال الزمني $t_4 > t > t_5 \text{ sec}$.

(2) الحفاظ على سرعة دوران $N_2 = \text{const}$ ، ضمن المجال الزمني $t_5 > t > t_6 \text{ sec}$.

(3) تحقيق كبح سلس بتسارع منتظم، ضمن المجال الزمني $t_6 > t > t_7 \text{ sec}$.

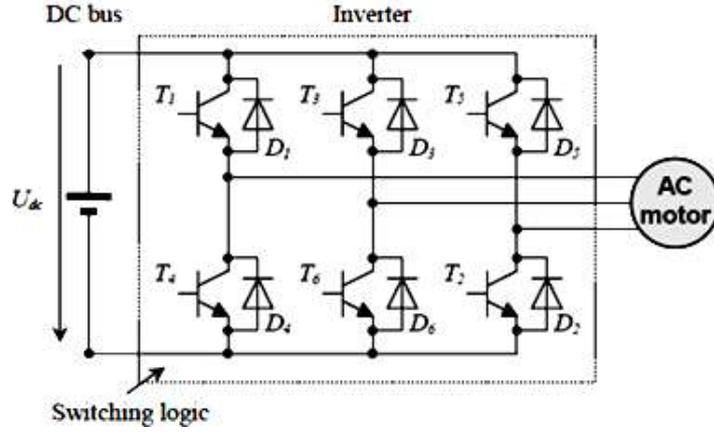
يبين الشكل (1) شروط سرعة الدوران لنظام القيادة المقترح (مصعد - رافعة) عند العمل بعزم حمولة ثابت

$T_L = \text{const}$



شكل (1) شروط سرعة الدوران لنظام القيادة المقترح عند العمل بعزم حمولة ثابت.

تتم تغذية المحرك عن طريق معرج توتر (VSI) voltage source inverter يعمل وفق نظام قيادة سلمية (الشكل 2). [2].



الشكل(2): ربط المحرك التحريضي مع دائرة معرج توتر (VSI) ثلاثي الأطوار.

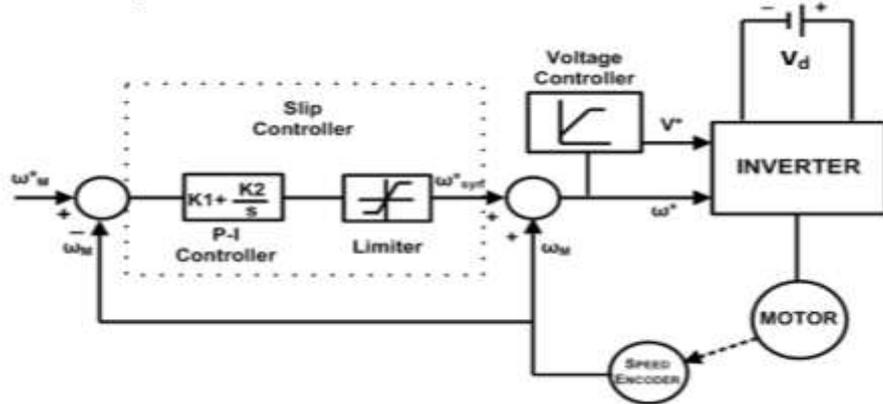
يبين الشكل (3) مكونات نظام التحكم السلمي المقترح $V/F=const$ بتنظيم الانزلاق من أجل تثبيت العزم الاعظمي عند سرعات عمل مختلفة. يستخدم المتحكم الميكروي (microcontroller) للعمل بتعديل عرض النبضة (PWM)، حيث يتم التحكم بمطال جهد وتردد المحرك عن طريق تنظيم إشارات القرح لمفاتيح المعرج (Switching logic) (الشكل 4) وفق المراحل التالية:

- 1) تتم مقارنة سرعة المحرك (ω_M) مع السرعة المطلوبة (ω_M^*) للحصول على تردد التغذية المطلوب (ω^*) باستخدام متحكم انزلاق تناسبي تكاملي (PI controller) مع محدد (Limiter).
- 2) يتم تنظيم إشارات القرح لمفاتيح المعرج (الشكل 4) بتشكيل إشارات جهود مرجعية جيبيية (u_a^* ; u_b^* ; u_c^*) ثلاثية الطور متزنة يكون مطالها متناسباً مع التردد، حيث يتم حساب مطالها في متحكم الجهد (voltage controller) وفق مبدأ التحكم السلمي، مع الأخذ بعين الاعتبار تعويض هبوط الجهد على مقاومة الثابت عند العمل بسرعات منخفضة:

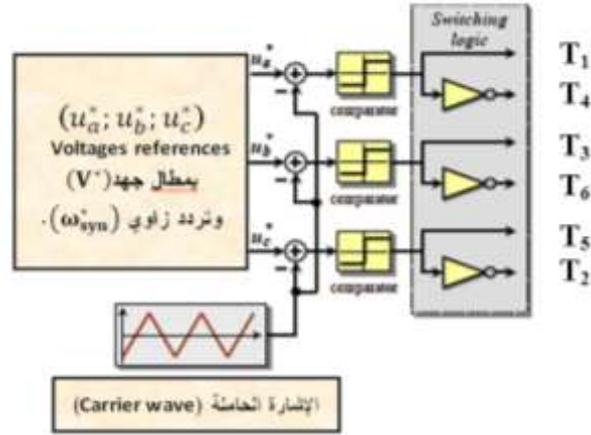
$$u_a^* = e^* \sin(\theta) ; u_b^* = e^* \sin(\theta - 120) ; u_c^* = e^* \sin(\theta + 120)$$

$$e^* = (9 \cdot \omega^* / 314) + 1 ; \theta = \omega^* \cdot t \quad \text{حيث:}$$

كما يتم تشكيل إشارة حاملة (Triangular Carrier signal) مثلثية بتردد تعديل محدد.



الشكل (3): نظام تحكم سلمي بتنظيم الانزلاق.



الشكل(4): دائرة تشكيل إشارات القذح لمفاتيح المعرج وفق مبدأ Sinusoidal PWM.

(3) يتم تشكيل إشارات القذح التي تطبق على المفاتيح العلوية للمعرج (Switching logic) (الشكل 4) بمقارنة الإشارة الحاملة مع الإشارات المرجعية u_a^* ; u_b^* ; u_c^* ، وباستخدام العواكس يتم تشكيل إشارات القذح لبقية المفاتيح حسب الترتيب المبين على الشكل (4).

تمت دراسة نظام القيادة وفق المعطيات التالية:

✓ معطيات المحدد (Limiter):

نتيجة أن خرج المحدد يمثل تردد عمل نظام القيادة، فقد تم اعتماد الحدود العظمى وفق التالي:

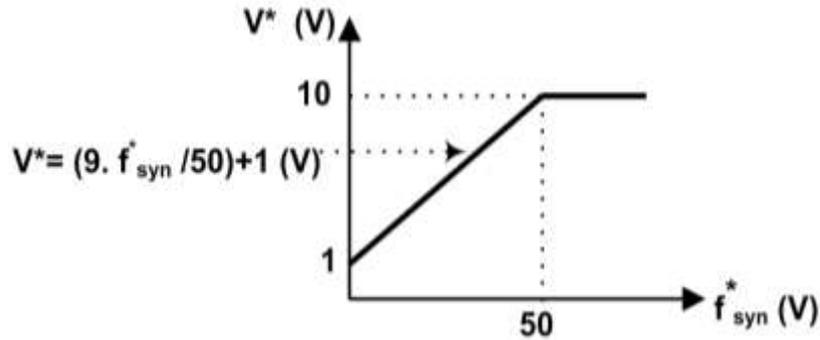
- الحد الأعلى لإشارة الخرج = 50 Hz (Upper Limit).

- الحد الأدنى لإشارة الخرج = -50 Hz (Lower Limit)، والذي يمثل التردد الأعظمى لنظام القيادة عند

العمل بسرعات دوران سالبة.

✓ معطيات متحكم الجهد (voltage controller):

تم تحديد النسبة V/f وفق الخواص المبينة على الشكل (5):

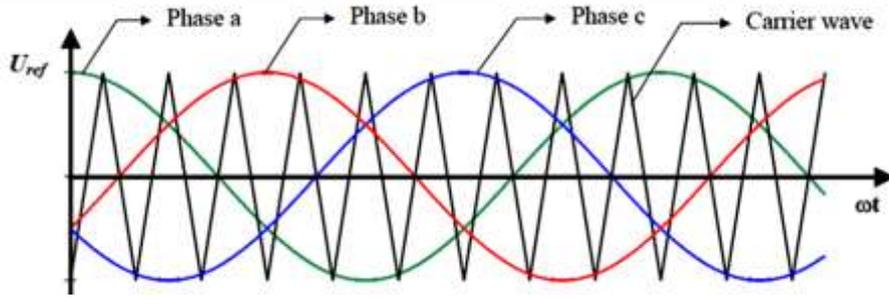


الشكل (5): مخطط متحكم الجهد (voltage controller).

✓ معطيات إشارة التعديل (الإشارة الحاملة المثلثية) (Carrier Triangular signal):

تردد التعديل (Frequency modulation) = 2000 Hz ; المطال (Amplitude) = 10 (v).

يبين الشكل (6) عينة من الإشارات المرجعية للأطوار الثلاثة والإشارة الحاملة المثلثية.



الشكل (6): عينة من الإشارات المرجعية للأطوار الثلاثة والإشارة الحاملة المثلثية.

✓ معطيات المحرك التحريضي:

$$U_n = 380V; f = 50Hz; P_n = 10 \text{ kW}; \cos \varphi_n = 0.8; \eta_n \% = 82; \frac{M_{max}}{M_n} = 1.8$$

- مقاومة ملفات الثابت والدائر (Stator & Rotor Resistance) $R_1 = 0.87; R_2 = 0.84 \Omega$

- المحارضة التسريبيه لملفات الثابت والدائر والمحارضة التبادلية على الترتيب:

$$L_{s1} = 2.45mH; L_{s2} = 4.33mH; L_m = 61mH$$

- عدد أزواج الأقطاب $P = 2$. عزم عطالة الأجزاء الدوارة $J = 0.075 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

✓ معطيات تشغيل الحمل الميكانيكي:

الجدول (1): شروط تشغيل الحمل الميكانيكي خلال مرحلتي الصعود و الهبوط.

$T_L = 5 \text{ Nm}; t_1 = 0.5 \text{ sec}; t_2 = 1 \text{ sec}$		
$N = 2000 \cdot t$ $N = 1000 \text{ rpm}$ $N = -2000 \cdot (t - t_{x1}) \text{ rpm}$ $N = 0 \text{ rpm}$	$0 > t > t_1$ $t_1 > t > t_2$ $t_2 > t > t_3$ $t = t_3$	خلال مرحلة الصعود
$T_L = 5 \text{ Nm}; t_4 = 4 \text{ sec}; t_5 = 4.5 \text{ sec}; t_6 = 5.5 \text{ sec}$		
$N = -2000 \cdot (t - t_4) \text{ rpm}$ $N = -1000 \text{ rpm}$ $N = 2000 \cdot (t - t_7) \text{ rpm}$ $N = 0 \text{ rpm}$	$t_4 > t > t_5$ $t_5 > t > t_6$ $t_6 > t > t_7$ $t = t_7$	خلال مرحلة الهبوط

النتائج والمناقشة:

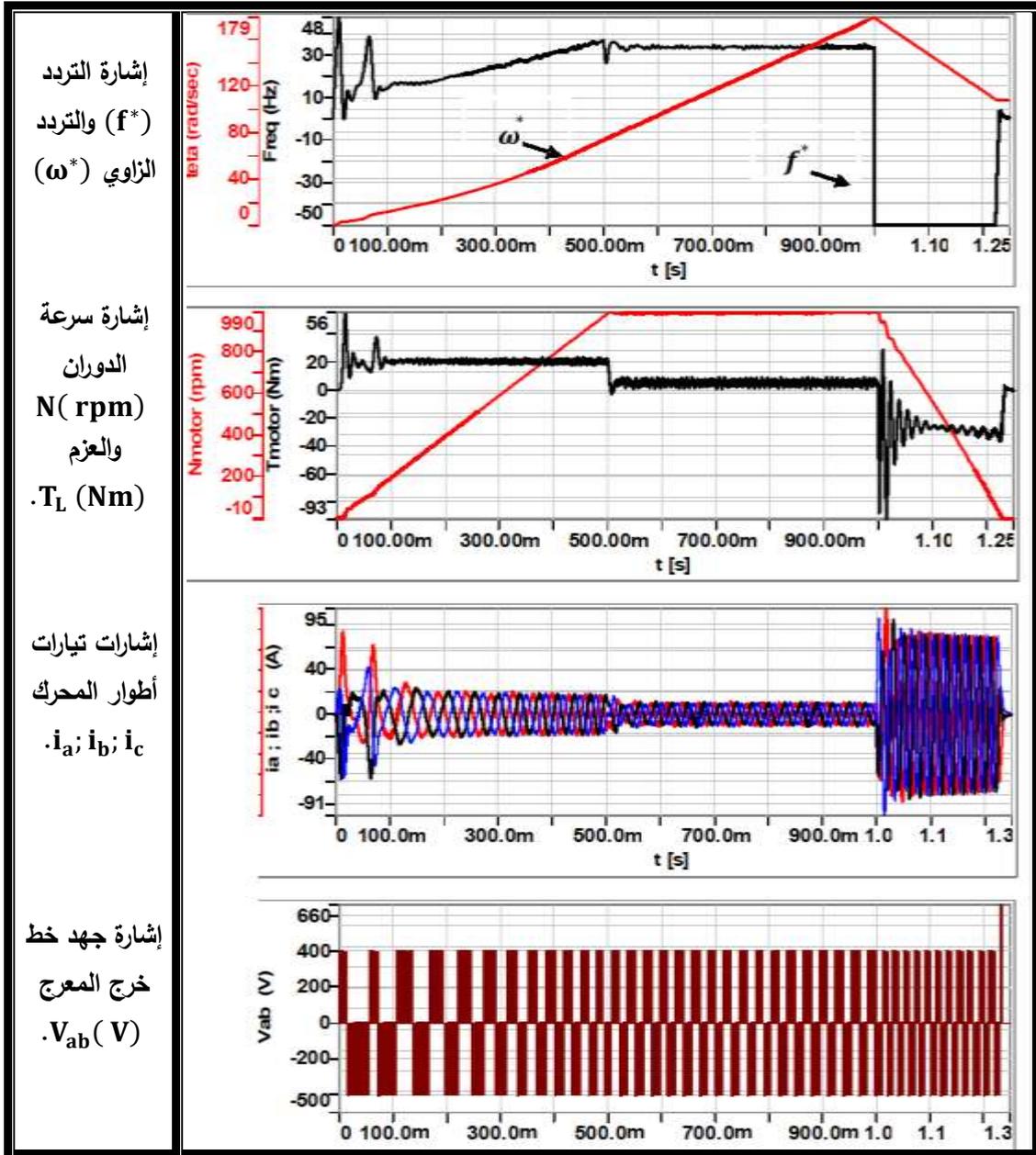
لتسهيل تحليل النتائج، تم تقسيم نتائج الدراسة إلى مرحلتين:

1- نتائج مرحلة الصعود $t_3 > t > 0$:

يبين الشكل (7) تغيرات بارامترات النظام خلال مرحلة الصعود.

نلاحظ من إشارات تيار المحرك والعزم، أن هناك حالات تحميل زائدة خلال الفترة $t_2 > t > t_3$ والتي

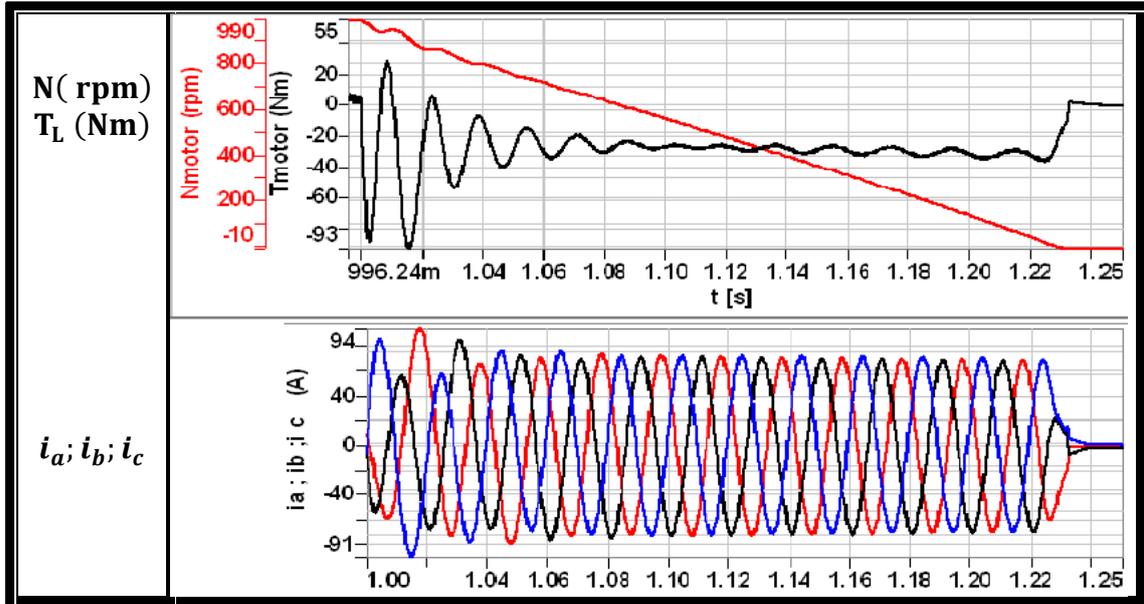
تمثل حالة الكبح (تباطؤ النظام) خلال مرحلة الصعود.



الشكل (7): نتائج مرحلة الصعود $t_3 > t > 0$.

يبين الشكل (8) تغيرات إشارات كل من السرعة والعزم و تيارات المحرك خلال فترة الكبح لمرحلة الصعود

خلال المجال الزمني $t_2 > t > t_3$.



الشكل (8): نتائج مرحلة الصعود خلال الفترة $t_2 > t > t_3$ (الكبح).

✓ دراسة نتائج مرحلة الصعود ضمن المجال $810 \text{ ms} > t > 840 \text{ ms}$:

تم تحليل نظام القيادة خلال هذه المرحلة التي تمثل عينة من مرحلة العمل بسرعة وعزم ثابتين نظراً لأن التردد كان معادلاً 33.333 هرتز خلال هذه المرحلة (الشكل 9).

يبين الشكل (9) نتائج النمذجة لتغيرات إشارات تيارات أطوار المحرك i_a, i_b, i_c وجهد الخط V_{ab} وجدول مطالات وزوايا التوافقيات ومخطط طيف المطالات لكل منهما لدور واحد ضمن المجال $810 > t > 840 \text{ ms}$ ($f=33.33\text{Hz}$). وبناء على نتائج النمذجة تم حساب البارامترات الأساسية لكل من تيار وجهد المحرك والاستطاعة الحقيقية الكلية للدخل والخرج والمردود (الجدول 2و3).

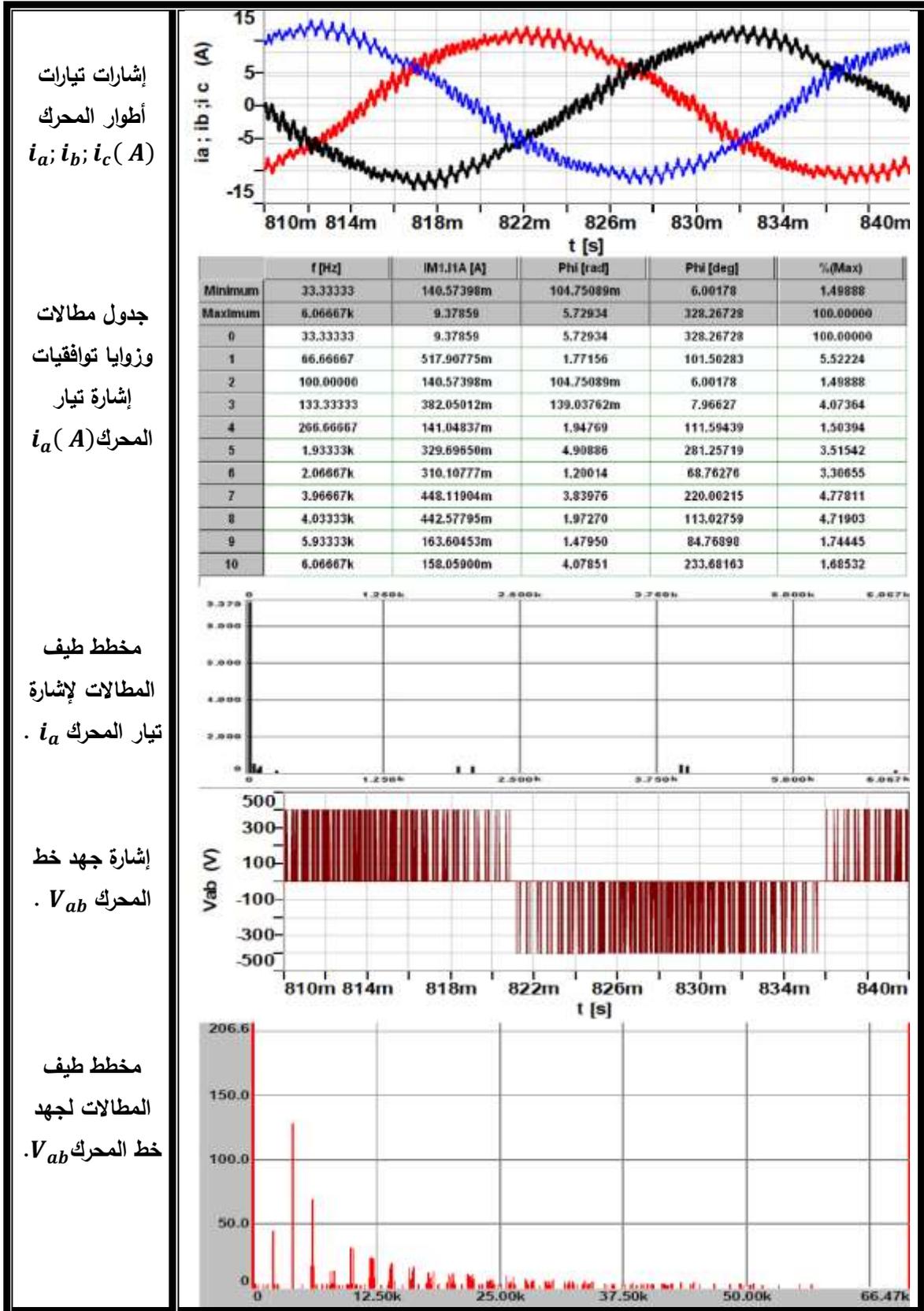
الجدول (2): قيم تيار وجهد الخط للمحرك خلال الفترة $t_2 > t > t_3$ من مرحلة الصعود.

القيمة الفعالة الكلية (A;V)	القيمة الفعالة للتوافقيات العليا (A;V)	عامل التشوه الكلي %	زاوية التوافقية الأساسية φ_1 (deg)	القيمة الفعالة للتوافقية الأساسية (A;V)	
6.67	0.77	11.59	328.27=-31.73	6.63	تيار المحرك
224.93	171.07	117.14	67.05	146.05	جهد الخط

الجدول (3): استطاعات الدخل P_{in} والخرج P_o والمردود $\eta\%$.

المردود $\eta\%$	الاستطاعة الحقيقية الكلية للخرج P_o (W)	الاستطاعة الحقيقية الكلية للدخل P_{in} (W)
79,8	513	643

حيث: $(P_{in} = \sum_{h=1}^{h=\infty} P_{in,h} = \sum_{h=1}^{h=\infty} U_h \cdot I_h \cos\varphi_h)$; $(P_o = T \cdot 2 \cdot \pi \cdot N / 60)$



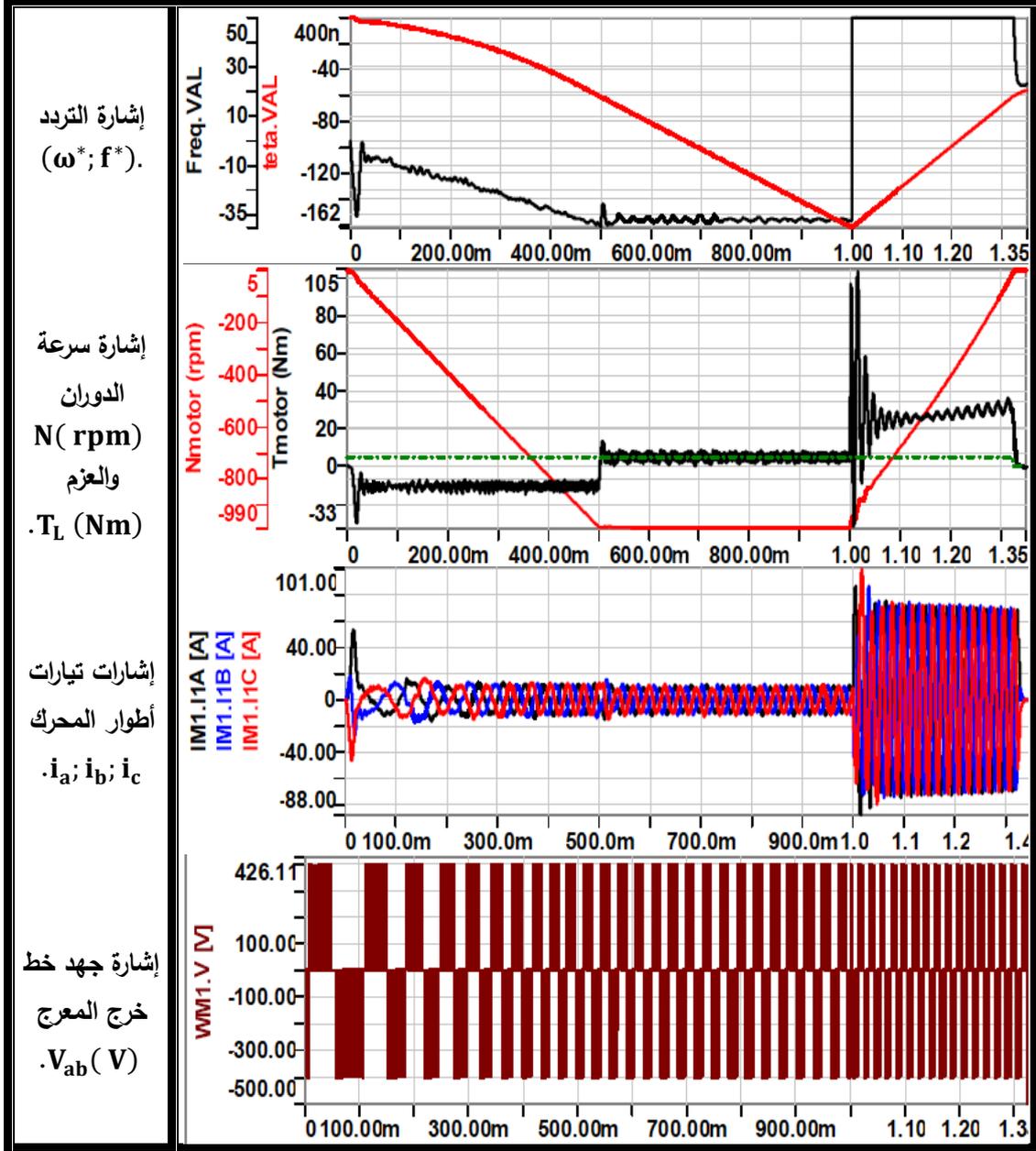
الشكل (9) تغيرات إشارات تيارات المحرك (i_a, i_b, i_c) وجهد الخط V_{ab} وجدول مطالات وزوايا التوافقيات ومخطط طيف المطالات لكل منهما لدور واحد ضمن المجال $.810 > t > 840 \text{ ms}$.

2- نتائج مرحلة الهبوط $t_7 > t > t_4$:

تم دراسة نظام القيادة المقترح وفق المعطيات المذكورة لمرحلة الهبوط (الجدول 1).

لسهولة تحليل النتائج خلال مرحلة الهبوط تم افتراض $t_4 = 0$.

يبين الشكل (10) متغيرات نظام القيادة المقترح خلال مرحلة الهبوط $t_7 > t > t_4$.



الشكل (10) متغيرات نظام القيادة خلال مرحلة الهبوط $t_7 > t > t_4$.

تبين النتائج الحصول على تسارع ثابت خلال فترتي تسارع وتباطؤ النظام والحصول على سرعة ثابتة خلال

المجال $t_6 > t > t_5$.

✓ دراسة نتائج مرحلة الهبوط $840 \text{ ms} > t > 810 \text{ ms}$:

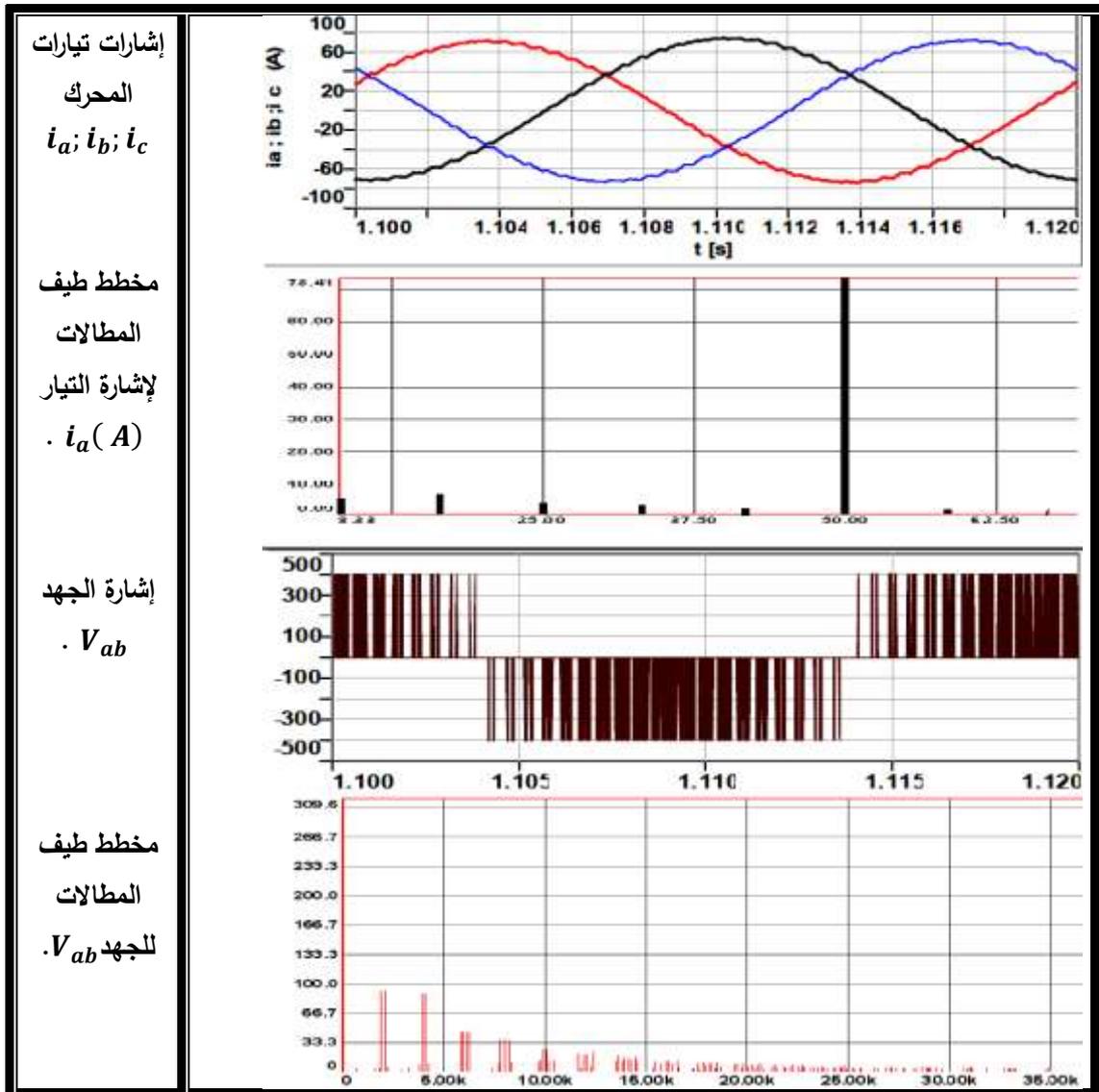
تم دراسة النظام خلال هذه المرحلة نظراً لأن التردد كان معادلاً 33.333 هرتز، وقد كانت النتائج متوافقة مع مرحلة الصعود. كما تبين النتائج، أن أكبر حالة تحميل للنظام تتم في المجال $t_6 > t > t_7$ ، والتي تمثل حالة تباطؤ النظام في مرحلة الهبوط، لذلك سوف نحلل نتائج هذه الفترة لتحديد استطاعة النظام (محرك- ترانزستورات..).

✓ دراسة نتائج مرحلة الهبوط خلال فترة الكبح $1.12 \text{ sec} > t > 1.1 \text{ sec}$:

تم دراسة نظام القيادة على عينة من بداية مرحلة الكبح أثناء الهبوط، ونظراً لأن التردد كان معادلاً $f = 50 \text{ Hz}$ ، فقد تم تحليل نظام القيادة ضمن المجال $(1.1 \geq t \geq 1.12 \text{ sec})$.

يبين الشكل (11) تغيرات إشارات كل من تيار المحرك (i_a) وجهد الخط (V_{ab}) ومخطط طيف المطالآت لكل

منهما لدور واحد خلال فترة الكبح ضمن المجال $1.1 \geq t \geq 1.12 \text{ sec}$.



الشكل (11) تغيرات إشارات كل من تيار المحرك (i_a) وجهد الخط (V_{ab}) ومخطط طيف المطالآت لكل منهما لدور واحد خلال فترة الكبح

ضمن المجال $1.1 \geq t \geq 1.12 \text{ sec}$

تبيين الجداول (4 و 5) نتائج تحليل النظام خلال فترة الكبح ضمن المجال $1.1 \geq t \geq 1.12 \text{ sec}$.

الجدول (4): قيم تيار وجهد الخط للمحرك خلال الفترة $1.1 \geq t \geq 1.12$ s من مرحلة الهبوط.

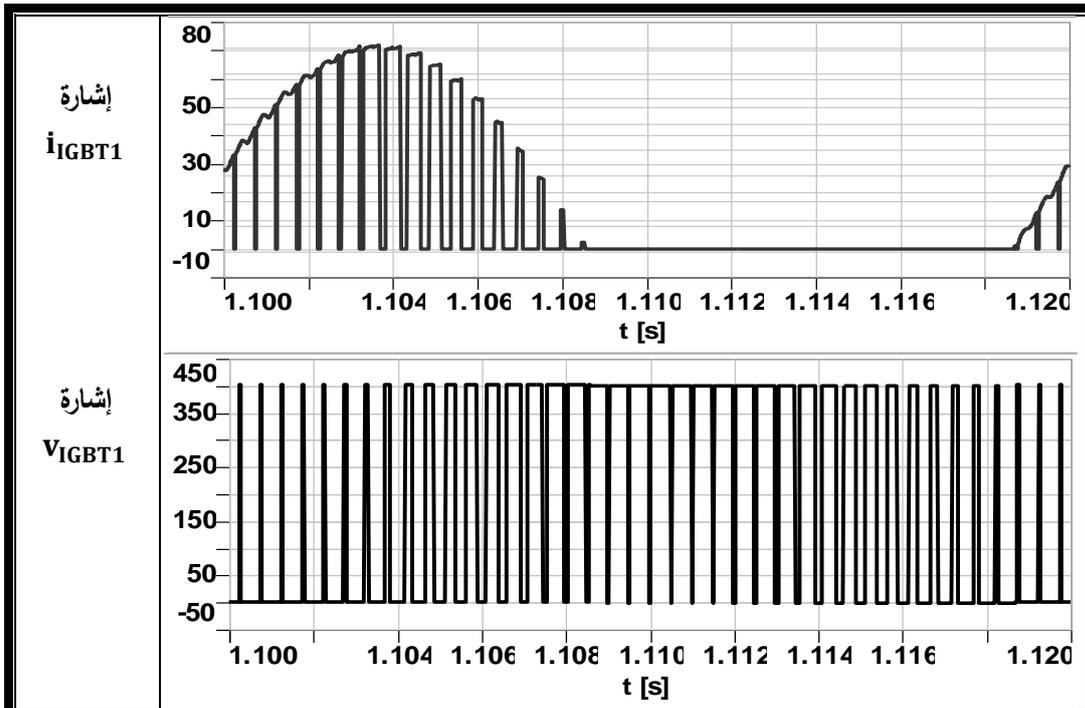
القيمة الفعالة للتيار (A;V)	القيمة الفعالة للجهد (A;V)	عامل التشوه الكلية %	زاوية التوافقية الأساسية φ_1 (deg)	القيمة الفعالة للتيار (A;V)	
51.92	0.835	1.61	24.05	51.91	تيار المحرك
277.21	170.07	77.68	110.18	218.92	جهد الخط

الجدول (5): استطاعات الدخل P_{in} والخرج P_o والمردود $\eta\%$.

المردود $\eta\%$	الاستطاعة الحقيقية الكلية للخروج P_o (W)	الاستطاعة الحقيقية الكلية للدخل P_{in} (W)
13.2	1435	10890

3-تحديد مواصفات الترانزستورات:

يبين الشكل (12) إشارة تيار الترانزستور (i_{IGBT1}) والجهد على الترانزستور (v_{IGBT1}).



الشكل (12) إشارة تيار الترانزستور (i_{IGBT1}) والجهد على الترانزستور (v_{IGBT1}).

تحدد مواصفات ترانزستورات المعرج بالقيم المحددة بالجدول (5).

الجدول (5): مواصفات ترانزستورات المعرج للنظام المدروس.

القيمة العظمى للتيار	القيمة الفعالة للتيار	القيمة العظمى للجهد	القيمة الفعالة للجهد
86.91 (A)	48.64 (A)	400 (V)	283)

4-تحديد إيجابيات وسلبيات النظام:

- الإيجابيات: (الأشكال 7 و 10)

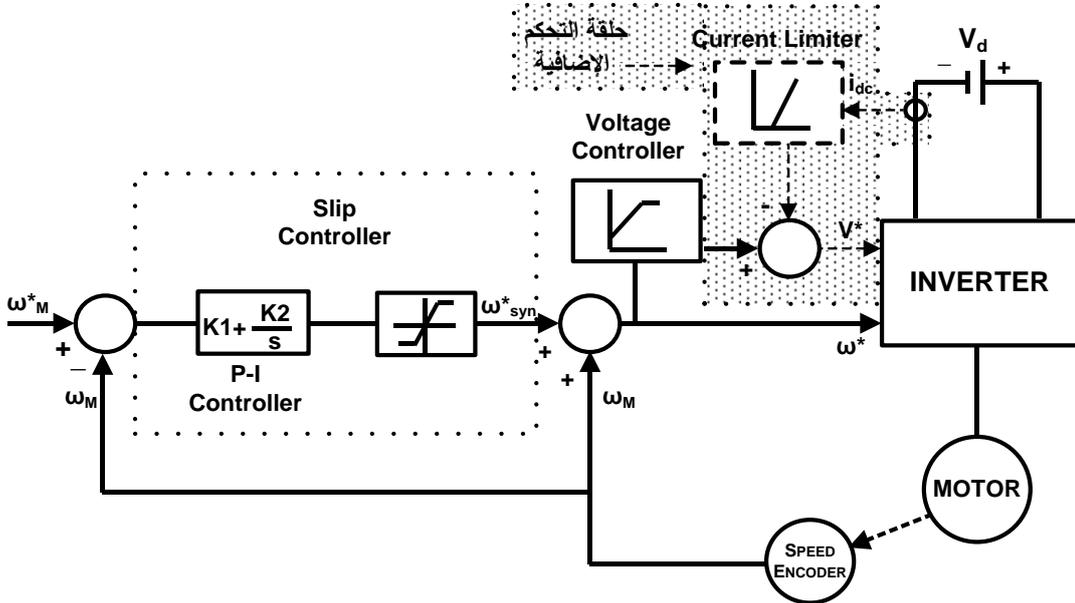
- (1) نظام قيادة اقتصادي غير معقد، نتيجة لإتمام نظام التحكم باستخدام حلقة تغذية عكسية بكاشف سرعة (speed encoder) فقط.
- (2) تحقيق العمل بالأرباع الأربعة (تحقيق التسارع والتباطؤ خلال مراحل الصعود والهبوط).
- (3) تحقيق تسارع ثابت خلال مراحل التسارع والتباطؤ (الإقلاع والكبح).
- (4) تحقيق سرعة دوران ثابتة خلال مراحل الصعود والهبوط عند العمل بعزم ثابت.
- (5) عامل تشوه منخفض لتيارات المحرك (الجدول 3).
- (6) تقادي حدوث قفزات جهد وتيارات عالية.

- السلبيات:

- (1) ظهور حالات ديناميكية عالية تحميل زائد خلال مراحل الكبح أثناء الهبوط و الصعود.
- (2) عدم صلاحية نظام التحكم للتطبيقات الصناعية التي تتطلب تغيرات غير خطية (تسارع غير ثابت) خلال مراحل العمل.
- (3) عامل استطاعة ومردود منخفضين.

5- تطوير نظام التحكم:

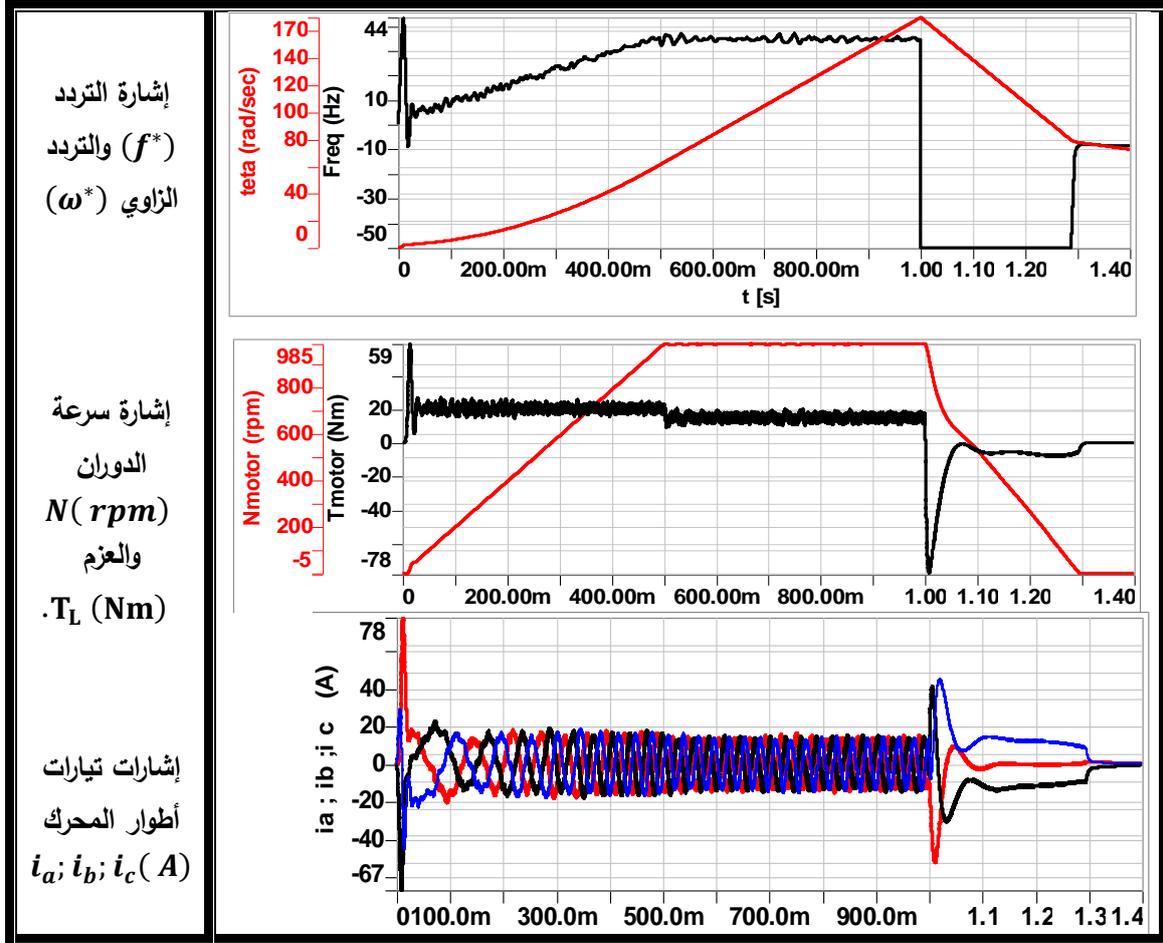
لتجاوز سلبيات النظام تم إضافة حلقة تحكم إضافية باستخدام محدد تيار Current Limiter دخله يمثل التيار المستمر (I_{dc}) للتحكم بمطالات وتردد الإشارات المرجعية (u_a^* ; u_b^* ; u_c^*) وتيار وعزم المحرك عن طريق متحكم صغري (الشكل 13).



الشكل (13): نظام تحكم سلمي بتنظيم الانزلاق مع حلقة تحكم إضافية بالتيار المستمر (I_{dc}).

✓ تصحيح حالة الصعود:

يبين الشكل (14) تغيرات بارامترات النظام المعدل خلال مرحلة الصعود.



الشكل (14) تغيرات بارامترات النظام المعدل خلال مرحلة الصعود.

بمقارنة إشارات كل من العزم وتيارات المحرك لنظام التحكم المعدل (الشكل 14) مع نظام التحكم السابق (الشكل 7)، نلاحظ انخفاض الحالات العابرة الكهروديناميكية لنظام التحكم المعدل خلال فترات الإقلاع والكبح لمرحلة الصعود، مع الحفاظ على تسارع ثابت، حيث:

- زمن الحالة العابرة خلال مرحلة الإقلاع كانت قبل التصحيح 100 ms وبعد التصحيح 15 ms.
- التيار الاعظمي خلال مرحلة الإقلاع كان قبل التصحيح 91 A وبعد التصحيح 78 A.
- زمن الحالة العابرة خلال مرحلة الكبح كانت على طول مرحلة الكبح وبعد التصحيح 18 msec.
- التيار الاعظمي خلال مرحلة الكبح كان يعادل قبل التصحيح 86.91 A وبعد التصحيح 38 A.

✓ تصحيح حالة الهبوط:

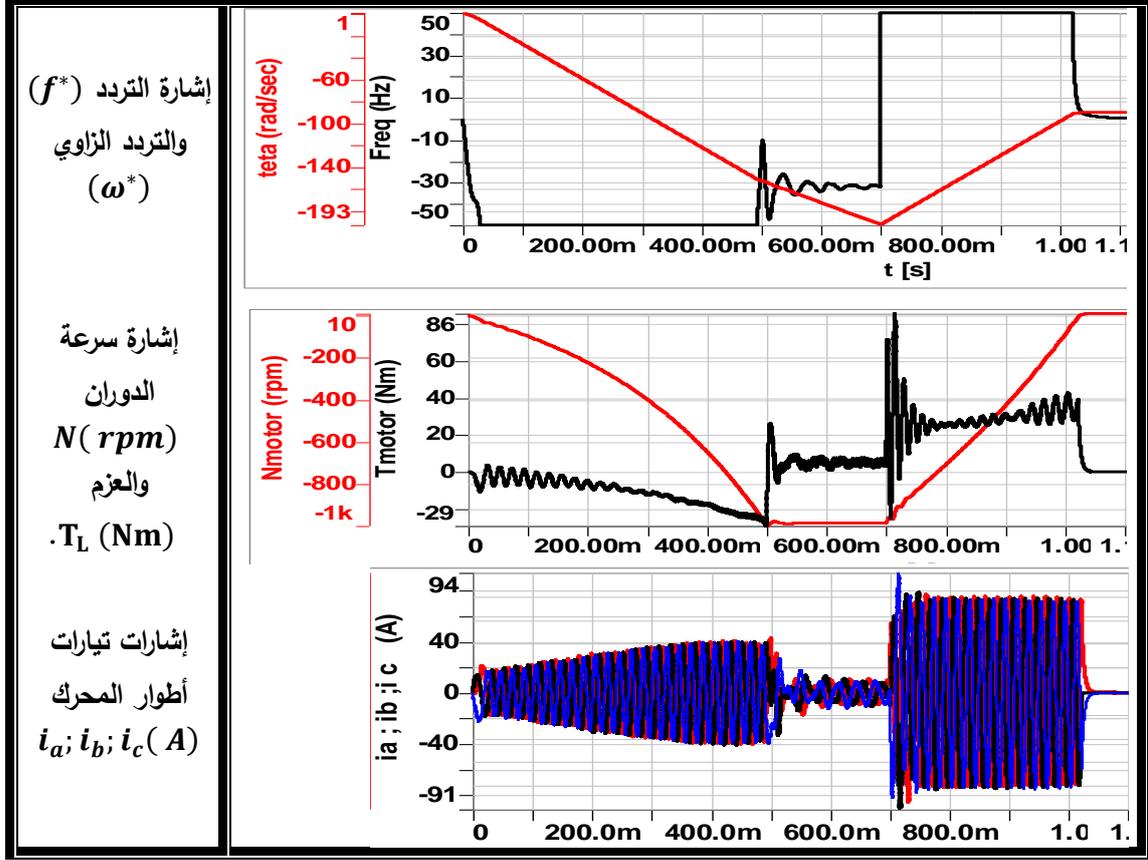
يبين الشكل (15) تغيرات بارامترات النظام المعدل خلال مرحلة الهبوط.

بمقارنة إشارات كل من العزم وتيارات المحرك لنظام التحكم المعدل (الشكل 15) مع نظام التحكم السابق (الشكل 10)، نلاحظ انخفاض الحالات العابرة الكهروديناميكية لنظام التحكم المعدل خلال فترات الإقلاع والكبح لمرحلة الهبوط، حيث:

- زمن الحالة العابرة خلال مرحلة الإقلاع كانت قبل التعديل 30 ms وبعد التعديل نلاحظ غياب الحالة العابرة

نهائياً.

- التيار الاعظمي خلال مرحلة الإقلاع كان قبل التصحيح 56 A وبعد التصحيح 20 A.
- زمن الحالة العابرة خلال مرحلة الكبح كانت على طول مرحلة الكبح قبل وبعد التعديل.
- التيار الاعظمي خلال مرحلة الكبح كان قبل التصحيح 101 A وبعد التصحيح 94 A.



الشكل (15) تغيرات بارامترات النظام المعدل خلال مرحلة الهبوط.

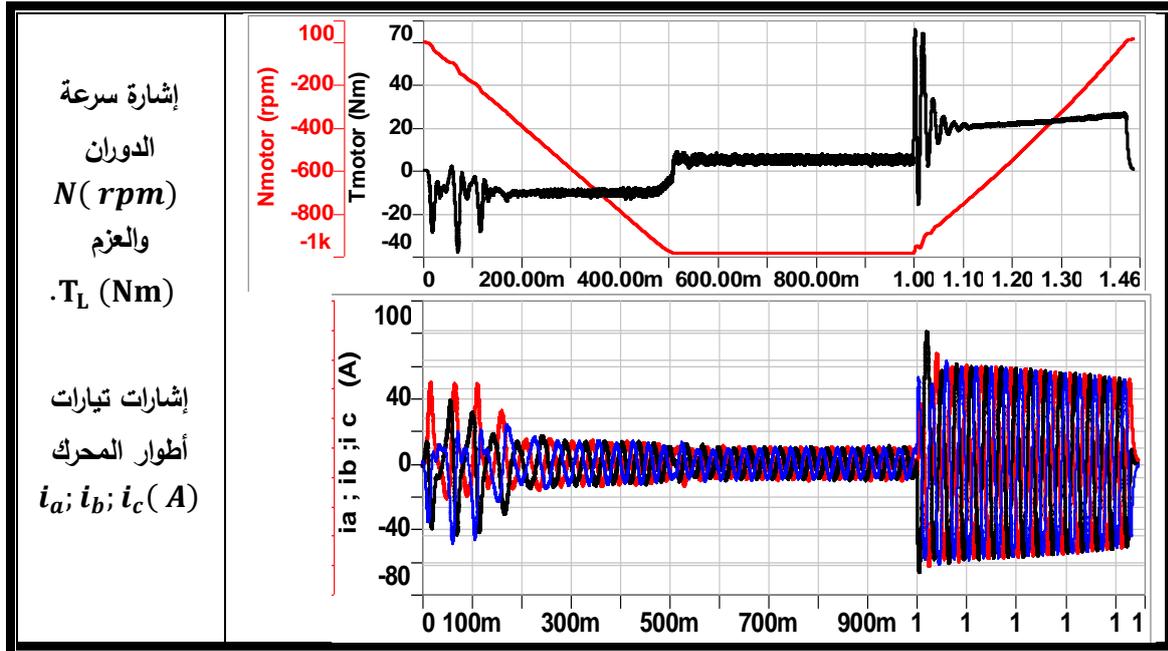
بناء على نتائج النمذجة لمرحلة الهبوط تم تحديد مردود النظام المعدل ضمن المجال $0.75 \geq t \geq 0.77$ ، نتيجة أن تردد العمل كان يعادل 50 Hz (الجدول 6).

الجدول (6) : نتائج تحليل النظام خلال فترة الكبح ضمن المجال $0.75 \geq t \geq 0.77$ sec.

المردود $\eta\%$	الاستطاعة الحقيقية الكلية للخروج $P_o (W)$	الاستطاعة الحقيقية الكلية للدخل $P_{in} (W)$
23.35	934	4000

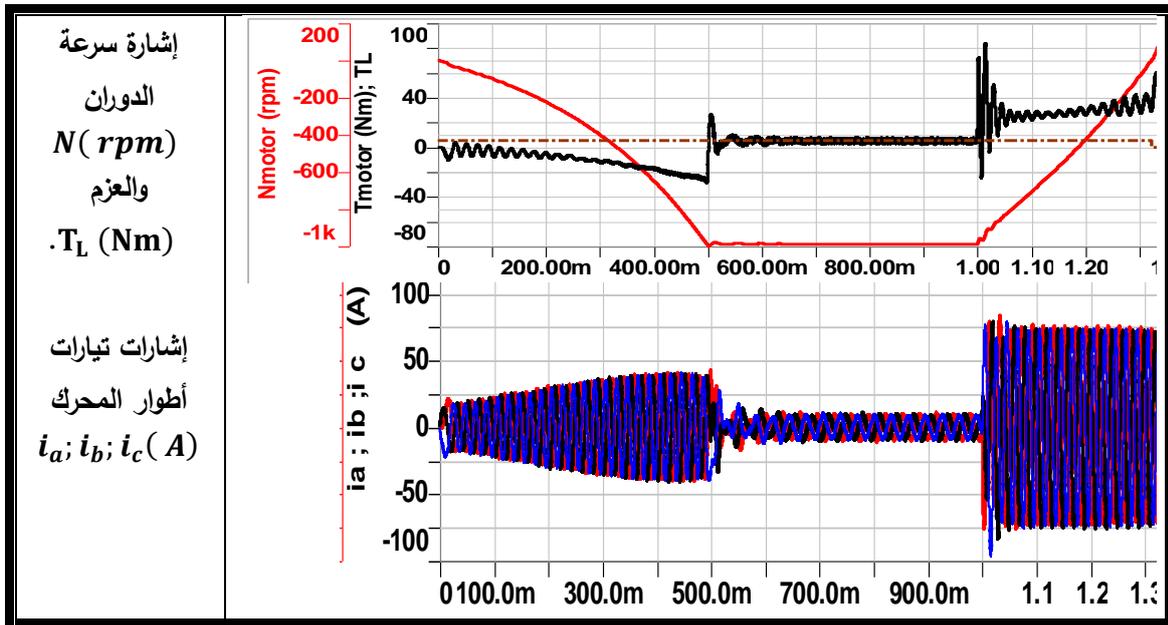
بمقارنة نتائج الجدول (6) مع الجدول (4) نلاحظ ارتفاع المردود لهذه المرحلة، حيث كان المردود معادلاً 13.2% وأصبح 23.35%.

بتغيير محددات حلقة التحكم بالتيار المستمر، يمكننا الحصول على خواص ميكانيكية مميزة لنظام القيادة. يبين الشكل (16) تغيرات بارامترات النظام خلال مرحلة الهبوط، والحصول على تسارع ثابت خلال الإقلاع والكبح لمرحلة الهبوط مع انخفاض الحالات العابرة الكهروديناميكية.



الشكل (16) الحصول على تسارع ثابت خلال الإقلاع والكبح لمرحلة الهبوط مع انخفاض الحالات العابرة الكهروديناميكية.

كما يبين الشكل (17) تغيرات بارامترات النظام خلال مرحلة الهبوط، والحصول على تسارع خطي خلال الإقلاع والكبح لمرحلة الهبوط مع انخفاض الحالات العابرة الكهروديناميكية.



الشكل (17) الحصول على تسارع خطي خلال الإقلاع والكبح لمرحلة الهبوط مع انخفاض الحالات العابرة الكهروديناميكية.

الاستنتاجات والتوصيات:

1. وضع نموذج لنظام تحكم سلمي (V/F=const.) عبر تنظيم الانزلاق لمحرك تحريضي يعمل في الأرباع الأربعة، باستخدام برنامج 8 simplorer، يساهم في تصميم وتصنيع أنظمة قيادة الروافع والمساعد والسيور المتحركة بأداء ومردود عالي محلياً وتخفيض تكاليف الاستثمار في أعمال التطوير.
2. تحليل نتائج النمذجة في حالات العمل الساكنة والديناميكية (إقلاع - تسارع - تباطؤ - إيقاف).
 - تحديد دقة وكفاءة ومردود النظام.
 - تحديد آثار التوافقيات العليا في إشارات الجهد والتيار والعزم (الأشكال 9 و 11، الجداول 4 و 5 و 6).
 - تحديد مواصفات ترانزستورات المعرج (الجدول 5).
3. تطوير نظام تحكم سلمي (Scalar Control V/F=const.) عبر تنظيم الانزلاق لمحرك تحريضي يعمل في الأرباع الأربعة بإضافة حلقة تحكم بتيار دخل المعرج للحصول على خواص مميزة، وتخفيض الاجهادات الميكانيكية والكهربائية العالية في الحالات العابرة لعمل النظام.
 - يحقق النموذج المعدل، التحكم بالسرعة والدقة في التوقف وعكس اتجاه الدوران و تشغيل مضبوط لحالات الكبح والإقلاع عن طريق ضبط التسارع، مع تحقيق عامل تشوه منخفض لإشارات تيارات المحرك من أجل تخفيف آثار العزوم النبضية المتشكلة على محاور المحركات، وتحقيق حماية كافية للنظام من أجل تفادي حدوث قفزات عالية في إشارات الجهد والتيار.

المراجع:

- [1] M. Bounadja, A. Mellakhi, B. Belmadani: A High Performance PWM Inverter Voltagefed Induction Machines Drive with an Alternative Strategy for Speed Control, Serbian Journal of Electrical Engineering, Vol. 4, No. 1, June 2007, pp.35 – 49.
- [2] K. Rathnakannan, V. Ranjan: The Modeling and the Analysis of Control Logic for a Digital PWM Controller based on a Nano Electronic Single Electronic Transistor, Serbian Journal of Electrical Engineering Vol. 5, No. 2, Nov. 2008, 285 – 304.
- [3] O. Muravlev, et al, “Energetic parameters of induction Motors as the basis of energy saving in a variable speed drive, ” Electrical Power Quality and Utilization, Vol. IX, No. 2, 2005.
- [4] I. Kioskesidis, N. Margaris, “Loss minimization in scalar controlled induction motor drives with search controller, ” IEEE Trans. Power Electronics, Vol. 11, No. 2, 1996, pp. 213-220.

- [5] C. Thanga Raj, "Improving energy efficiency in partial loaded induction motor-using power electronic controllers, " J. Engineering and Technology, Vol. 1, No. 2, 2006, pp. 13-17.
- [6] S. N. Vulosavic, E. Levi, "A method for transient torque response improvement in optimum efficiency induction motor drives, " IEEE Trans. Energy Conv., vol. 18, no. 4, 2003, pp. 484-493.
- [7] G. S. Kim, et al., "Control of induction motors for both high dynamic performance and high power efficiency, " IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 39, 1992, pp. 323-333.
- [8] S. N. Vulosavic, E. Levi, "Robust DSP-Based efficiency optimization of a variable speed induction motor drive," IEEE Trans. Ind. Elect., vol. 50, no. 3, 2003, pp. 560-570.
- [9] S. Ghozzi , K. Jelassi, X. Roboam, "Energy optimization of induction motor drives, " in Proc. IEEE Conf. Industrial Technology (ICIT), 2004, pp. 602-610.
- [10] Gan Dong, O. Ojo, "Efficiency optimizing control of induction motor using natural variables, " IEEE Trans. Ind. Elect. Vol. 53, No. 6, 2006, pp.1791-1798.
- [11] M. Cacciato, A. consoli, G. Scarcella, G. Seelba, A. Testa, "Efficiency optimization technique via constant optimal slip control of induction motor drives, " Proc. IEEE Power Electronics, Electric Drives, automation, and Motion, 2006, pp. 32-42.
- [12] P. Gnacinski, "Energy saving work of frequency controlled induction cage machine, " Energy Conversion and Management, Vol. 48, 2007, pp. 919-926.
- [13] G. Zenginobuz, et al., "Performance optimization of induction motors during voltage – controlled soft starting, " IEEE Trans. Energy Conv., vol. 19, No. 2, 2004, pp. 278-288.
- [14] Nalin Kant Mohanty, Ranganath Muthu , "Microcontroller Based PWM Controlled Four Switch Three Phase Inverter Fed Induction Motor Drive, " Serbian Journal of Electrical Engineering Vol. 7, No. 2, November 2010, 195-204.