

مقارنة الأداء والمردود لأنظمة التحكم السلمية والشعاعية في قيادة المحرك التحريضي ثلاثي الأطوار عند العمل على حمولة متغيرة السرعة

حنان مهجه*

(تاريخ الإيداع 20 / 10 / 2013. قُبل للنشر في 21 / 11 / 2013)

▽ ملخص ▽

يتطلب تطوير كفاءة وإنتاجية أغلب التطبيقات الصناعية عمل الآلات المستخدمة فيها بسرعات ثابتة ومتغيرة. حيث يمكن التحكم بسرعة المحركات التحريضية المستخدمة في هذه التطبيقات من خلال ضبط مطال وتردد جهد التغذية المطبق على أطوار الثابت للمحرك التحريضي ثلاثي الأطوار. وبما أن معظم استراتيجيات التحكم التقليدية قد أظهرت ضعفاً في قيادة المحركات التحريضية من حيث الأداء وضباعات الطاقة الكهربائية. فقد تمت في هذا البحث دراسة طريقتي التحكم الشعاعي والسلمي في قيادة المحرك التحريضي ثلاثي الأطوار ذي الدائر المقصور، ووضع نماذج عملية باستخدام برنامج الماتلاب للتحكم بسرعة المحرك واختبار هذه النماذج في أثناء تشغيل المحرك مع حمولة ذات سرعات ثابتة ومتغيرة. كما تمت مقارنة أداء المحرك في كل نظام لوضع أساس يسهل عملية اختيار الطريقة الفضلى لقيادة المحرك تبعاً للتطبيق العملي المطلوب. وقد ثبت بنتيجة هذا البحث تفوق تقنية التحكم الشعاعي من حيث الأداء والمردود على تقنية التحكم السلمي.

الكلمات المفتاحية: قابلية الجهد، التحكم الشعاعي، التحكم السلمي، التعديل النبضي العرضاني الجببي، تعديل شعاع الفراغ.

* قائم بالأعمال معاون - قسم الميكاترونك - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Performance and Efficiency Comparison between Scalar and Vector control systems of 3-Phase Induction Motor with a variable speed loading

Hnan Mohja*

(Received 20 / 10 / 2013. Accepted 21 / 11 / 2013)

▽ ABSTRACT ▽

The increase of performance and productivity of most industrial systems requires machines working with variable and constant speeds. The speed of Induction Motors in these applications is controlled through the adjustment of frequency and amplitude of voltage supply applied on stator phases of these motors.

Since most traditional control methods have shown weakness in driving induction motors with regard to performance and power losses, this research introduce a study of scalar and vector methods for driving 3-phase squirrel cage induction motors. The study uses Matlab to present practical models for controlling motor speed with testing results of running motor under variable and constant speed loadings. A Comparison of motor performance between the two systems (scalar and vector) to select the better method for driving motors. As a result, the research showed the advantage of vector control over scalar control

Keywords: Voltage Inverter, Vector Control, Scalar Control, Sine Pulse Width Modulation(SPWM), Space Vector Modulation(SVPWM).

* Academic Assistant, Department of Mechatronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

مقدمة:

تحتل أنظمة القيادة الكهربائية ذات التيار المتناوب مجالاً واسعاً في التطبيقات الصناعية، وهي تعتمد بشكل أساسي على المحركات التحريضية ثلاثية الطور، نظراً للميزات الهامة التي تتمتع بها هذه المحركات، وعلى الإلكترونيات الصناعية. حيث يعد مجال الإلكترونيات الصناعية الحقل الأثشط من حيث سرعة التطور الحاصل على مستوى التجهيزات والأداء والكلفة الاقتصادية. وقد أصبحت استراتيجيات التحكم المستخدمة في هذه الأنظمة من أهم المواضيع التي تركزت الدراسات والأبحاث عليها في الآونة الأخيرة.

تقاد المحركات التحريضة عادةً باستخدام قالمبات جهد أو تيار. تتطلب المفاتيح الكهربائية للقالبية قيادةً من خلال دارة تحكم مناسبة. تدعى القالمبات التي تعتمد على تقنية تعديل عرض النبضة بالقالمبات ذات التعديل النبضي العرضاني (Pulse Width Modulation (PWM)، وهي التقنية الأكثر شيوعاً للتحكم بالقالمبات. حيث يمكن جعل جهد الآلة الكهربائية متغيراً عن طريق تزويد جهد دخل القالبية المستمر إلى ملفات الآلة لفترات زمنية أطول أو أقصر، أما التردد فيمكن تغييره عن طريق تغيير عدد نبضات الجهد على طول محور الزمن. ويوجد العديد من تقنيات الـ PWM أشهرها: تقنية التعديل النبضي العرضاني الجيبي (Sine Pulse Width Modulation (SPWM)، وتقنيات التعديل باستخدام شعاع الفراغ (Space Vector PWM (SVPWM) [1]، [2].

يتعامل التحكم السلمي (Scaller Control) مع مطال متغيرات التحكم في الآلة دون الأخذ بالحسبان التأثيرات المتبادلة بين هذه المتغيرات مما يجعل الاستجابة بطيئة في المحرك، حيث يعتمد في تطبيقه العملي للقالبية المتحكم بها على استخدام تقنية التعديل النبضي العرضاني الجيبي (SPWM). إلا أن التحكم الشعاعي يتعامل مع مطال وزاوية الطور للمتغيرات الشعاعية في المحرك حيث يقوم بفك الترابط (decouples) بين كل من أشعة تيار ثابت والمتحرض لذلك يمكن التحكم بهما بشكل مستقل مما يعطي استجابة سريعة. ويعتمد التحكم الشعاعي في تطبيقه للقالبية المتحكم بها على استخدام تقنية تعديل شعاع الفراغ (SVPWM) [3].

تم في هذا البحث تعريف كل من طريقتي التحكم الشعاعي والسلمي، ووضع نموذج عملي باستخدام برنامج (Matlab) لكل تقنية ومحاكاة عملها باستخدام مكتبة (Matlab Simulink). وتمت مقارنة النتائج التي حصلنا عليها بعد تطبيق تقنيتي التحكم على محرك تحريضي ثلاثي الأطوار ذي دائر مقصور. كما تم تحليل أداء كل تقنية عند عمل المحرك على حمولة ذات سرعة ثابتة ومتغيرة (متمثلة بحالة المصعد الكهربائي).

أهمية البحث وأهدافه:

في عصرنا الحالي، بات استخدام المحركات الكهربائية أمراً حتماً مع ظهورها في عدد غير محدود من التطبيقات الصناعية. لسوء الحظ، فإن الغالبية العظمى من هذه المحركات تكون صغيرة لا تتجاوز استطاعتها بضعة كيلوواتات، وهذه المحركات تكون عادة ضعيفة المردود إذ يصل مردودها إلى 50% فقط. وهذا يعني أن نصف الاستطاعة المستهلكة في المحرك لا تتحول إلى عمل مفيد. وبما أن أداء المحرك يعتمد بشكل أساسي على استراتيجية التحكم المستخدمة، تم تطوير نظريات جديدة للتحكم بهذه المحركات كان آخرها التحكم السلمي والتحكم الشعاعي. تأتي أهمية هذا البحث من أنه يقدم للمستثمر وسيلة لاختيار طريقة التحكم الفضلى لتشغيل المحرك بأعلى كفاءة ممكنة.

يهدف هذا البحث إلى وضع نموذج لقيادة محرك تحريضي ثلاثي الأطوار ذي دائر مقصور باستخدام تقنيتي التحكم الشعاعي والسلمي. وإجراء عملية مقارنة بين نظامي التحكم الشعاعي والسلمي لتحليل أداء كل نظام عند تشغيل المحرك على حمولة ذات سرعة ثابتة ومتغيرة، للاستفادة منها في التطبيقات العملية المعتمدة على هذا النوع من المحركات الكهربائية.

طرائق البحث ومواده:

تم في هذا البحث توضيح طريقة قيادة قالبة الجهد ثلاثية الأطوار باستخدام تقنيتي تعديل شعاع الفراغ والتعديل النبضي العرضاني الجيبي، لتشكل لاحقاً أساساً لنموذجي قيادة يعتمدان تقنيتي التحكم الشعاعي والتحكم السلمي على التوالي. كما تم تشكيل النماذج بالاعتماد على بيئة الماتلاب، مكتبة النمذجة. بالإضافة إلى تشكيل نموذج يمثل حمولة ذات سرعة ثابتة ومتغيرة، يتم تطبيقها على المحرك المقاد باستخدام طريقتي التحكم أنفتي الذكر، ومن ثم مقارنة أداء النظام في كل حالة.

3-1- مفهوم التحكم السلمي:

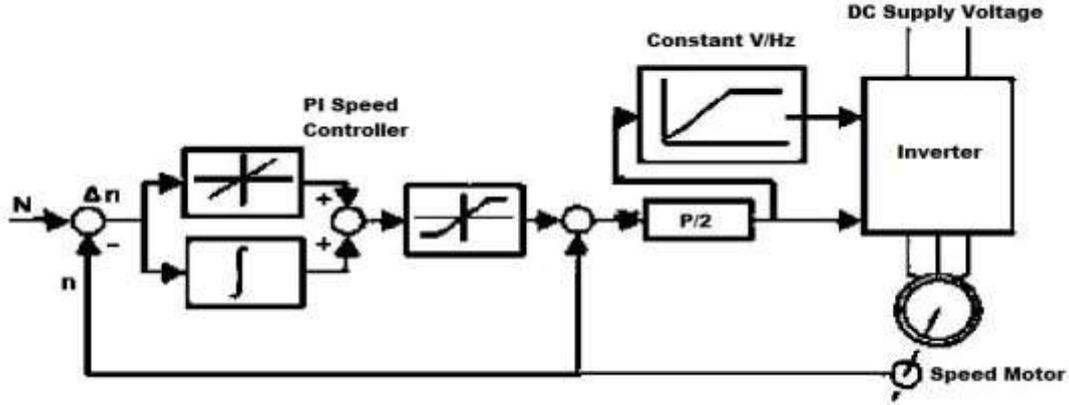
عند تزويد المحرك التحريضي ثلاثي الأطوار بجهد وتردد أساسي وثابت، فإنه يعمل غالباً كآلة ثابتة السرعة. تتطلب العديد من التجهيزات الصناعية والأبحاث العلمية والنظم الكهربائية محركات تحريضية قابلة للتحكم والقيادة (متغيرة السرعة) من خلال ضبط سرعاتها بدقة معينة. في السنوات الأخيرة ونتيجة ازدياد الأجهزة الصلبة المستخدمة في التطبيقات زادت الحاجة لإيجاد آليات لقيادة المحركات التحريضية وفقاً لبارامترات التحكم المطلوبة في تلك التطبيقات.

التحكم السلمي هو التحكم بمطالات متغيرات التحكم فقط مع إهمال تأثيرات الارتباط المتبادلة بين هذه المتغيرات في الآلة التحريضية. عن طريق التحكم بمطال الجهد مثلاً يمكن التحكم بالفيض، وعن طريق التحكم بالتردد أو الانزلاق يمكن التحكم بالعزم. إذاً، تتلخص خوارزمية التحكم السلمي بالتحكم بالمحرك عن طريق تغيير التردد والجهد معاً مع الحفاظ على نسبة تغير ثابتة ($V/f = \text{constant}$)، من خلال تغذية المحرك باستخدام قالبة جهد تعتمد مبدأ التعديل النبضي العرضاني الجيبي [3]، [4].

يوضح الشكل (1) حلقة التحكم المغلقة المستخدمة في قيادة المحرك التحريضي ثلاثي الأطوار باستخدام مبدأ التحكم V/f . حيث يتم تحديد تردد العمل بالاعتماد على السرعة المطلوبة وسرعة الدوران المقاسة من المحرك، ويستخدم المتحكم PI لتنظيم انزلاق السرعة وذلك للحفاظ على سرعة المحرك عند القيمة المطلوبة. حيث تستخدم العلاقة (1) التي تربط بين مطال متغيرات التحكم فيض ϕ وجهد V وتردد زاوي ω .

$$\phi \approx \frac{V}{\omega} = \frac{1}{2\pi f} \quad \dots \dots (1)$$

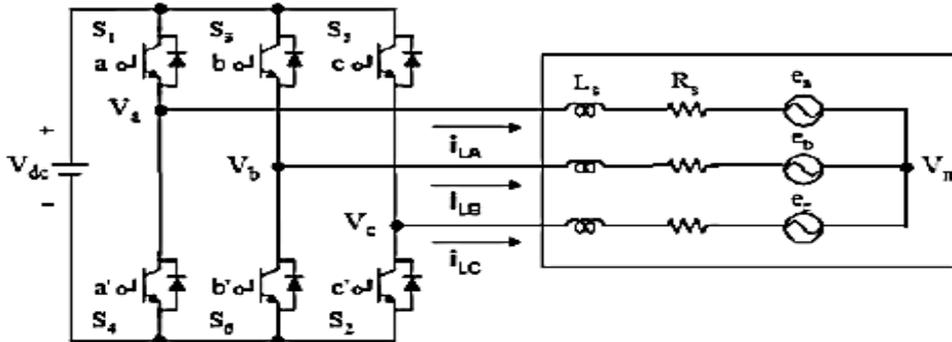
يستخدم التردد الناتج في تحديد مطال وزاوية الجهد المستخدم في نظام التعديل النبضي العرضاني الجيبي والذي سيقود القالبة، وهذا ما سيتم توضيحه في الفقرة التالية. تقدم أجهزة القيادة المعتمدة على التحكم السلمي بعض الضعف في أدائها إلا أنها سهلة التطبيق، وتستخدم بشكل واسع في التطبيقات الصناعية. لكنها أصبحت أقل أهمية في الوقت الراهن بسبب الأداء المتوقع لأنظمة القيادة المعتمدة على التحكم الشعاعي والمطلوبة في أغلب التطبيقات [4].



الشكل (1) حلقة التحكم المغلقة بالنسبة الثابتة v/f المستخدمة لقيادة المحرك التبريضي [4]

• التعديل النبضي العرضاني الجيبي:

يبين الشكل (2) الدارة النموذجية لقالبة الجهد ثلاثية الأطوار التي تعتمد مبدأ التعديل النبضي العرضاني PWM، وتحتوي ستة مفاتيح إلكترونية من S1 إلى S6 التي تشكل إشارة الخرج، حيث تتم قيادتها باستخدام متغيرات التبديل a, a', b, b', c, c'. عندما تكون الترانزستورات العلوية مغلقة (switched on) تكون قيم a, b, c مساوية الواحد، بينما تكون الترانزستورات السفلية مفتوحة (switched off) وهذا يقابل الحالة صفر للمتغيرات a', b', c'. وبالتالي يمكن استخدام حالات الفتح والإغلاق للترانزستورات العلوية لتحديد جهد الخرج. تتم قيادة هذه القالبة، عند تطبيق نظام التحكم السلمي، بالاعتماد على طريقة التعديل النبضي العرضاني الجيبي [4],[5],[6].

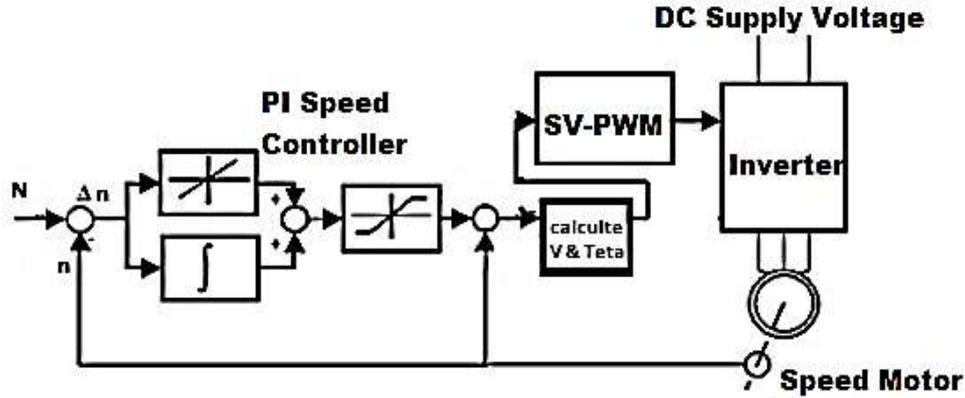


الشكل (2) قالبة جهد ثلاثية الطور تعتمد مبدأ التعديل النبضي العرضاني PWM [2]

3-2- مفهوم التحكم الشعاعي:

تم اكتشاف التحكم الشعاعي في بداية السبعينيات من القرن الماضي 1970، جاءت هذه الطريقة لتبرهن أنه بالإمكان قيادة المحركات التبريضية كما لو أنها محركات تيار مستمر. وبالتالي أعطت الكفاءة العالية في قيادة المحركات التبريضية. يتعامل التحكم الشعاعي مع مطال وزاوية الطور للمتغيرات الشعاعية في المحرك حيث يقوم بفك ارتباط كل من شعاعي تيارى الثابت والمتحرض لذلك يمكن التحكم بهما بشكل مستقل مما يعطي استجابة سريعة [7],[8].

يوضح الشكل (3) حلقة التحكم المغلقة المستخدمة في قيادة المحرك التحريضي ثلاثي الأطوار باستخدام تعديل شعاع الفراغ التي سيتم توضيحها في الفقرة التالية.



الشكل (3) حلقة التحكم المغلقة بتعديل شعاع الفراغ المستخدمة لقيادة المحرك التحريضي [7]

• مفهوم التعديل النبضي العرضاني باستخدام تعديل شعاع الفراغ:

تعتبر طريقة تعديل شعاع الفراغ من أكثر طرق التعديل النبضي العرضاني شيوعاً في تطبيقات نظم القيادة الحديثة. يشير التعديل النبضي العرضاني باستخدام شعاع الفراغ (SVPWM) إلى تسلسل معين لتبديل حالة الترانزستورات العلوية من قالبة الجهد ثلاثية الأطوار. وتستخدم لتوليد توافقيات أقل تشوهاً في جهود الخرج أو في التيارات المطبقة على أطوار محرك التيار المتناوب ومن أجل استخدام أكثر ثقة لمنبع الجهد.

تبين المعادلتان (2) و(3) العلاقة بين شعاع متغيرات التبديل $[a, b, c]^T$ وكل من شعاع جهد الخط

$[V_{ab} V_{bc} V_{ca}]^T$ وشعاع جهد الطور $[V_a V_b V_c]^T$ على التوالي:

$$\begin{bmatrix} V_{ab} \\ V_{bc} \\ V_{ca} \end{bmatrix} = V_{dc} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad \dots \dots (2)$$

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{V_{dc}}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad \dots \dots (3)$$

وكما هو موضح في الشكل (2)، يوجد ثماني تشكيلات ممكنة لمصفوفة الفتح والإغلاق للمفاتيح الإلكترونية العلوية. وبما أن حالات الفتح والإغلاق للمفاتيح الإلكترونية السفلية تكون معاكسة تماماً لحالات المفاتيح العلوية، سيكون من السهل تحديدها بعد تحديد حالة المفاتيح العلوية. يمكن بالاعتماد على المعادلتين (2) و(3) إيجاد أشعة التبديل الثماني، وجهود الأطوار الناتجة، وجهود الخطوط الناتجة بدلالة جهد التغذية المستمر V_{dc} .

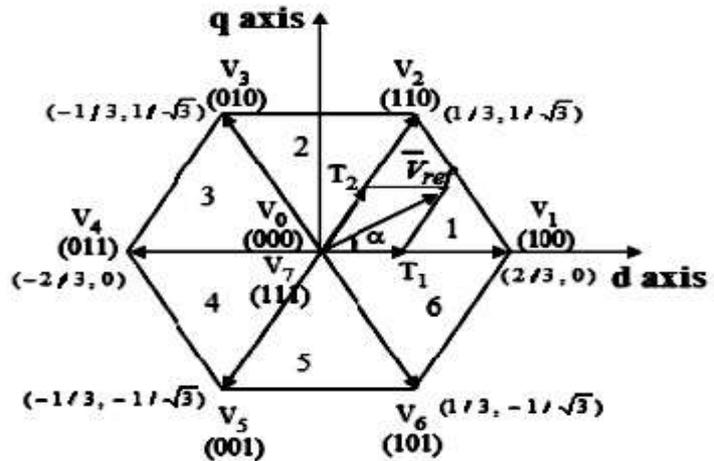
$$f_{dq0} = [f_d \ f_q \ f_0]^T \quad , \quad K_s = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \quad \text{حيث يكون:}$$

$f_{abc} = [f_a \ f_b \ f_c]^T$ حيث يشير f إلى متغير الجهد أو التيار.

لتطبيق التعديل النبضي العرضاني باستخدام شعاع الفراغ (SVPWM)، يمكن تحويل معادلات الجهد في الجملة المرجعية abc إلى الجملة المرجعية للثابت dq والتي تتألف من المحورين الأفقي d والعمودي q، بحيث تكون العلاقة بين الجملتين المرجعيتين على الشكل التالي:

$$f_{dq0} = K_s f_{abc} \quad \dots \dots (4)$$

يمكن تحديد الأشعة الستة غير الصفرية والشعاعين الصفريين. حيث تشكل الأشعة الستة غير الصفرية ($V_1 - V_6$) المحاور سداسية الشكل الموصوفة في الشكل (4)، والقدرة الكهربائية التي تغذي الحمل. وتكون الزاوية بين كل شعاعين متجاورين غير صفريين (60°). بينما تكون الأشعة الصفرية (V_0 and V_7) عند المبدأ، وينتج عنها تطبيق جهد صفري على الحمل. وتسمى الأشعة الثمانية بأشعة الفراغ الأساسية ويشار إليها كالتالي V_0 ، $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7$. يمكن تطبيق نفس التحويل على جهد الخرج للحصول على شعاع الجهد المرجعي V_{ref} في المستوى d-q [5]، [9]، [10].



الشكل (4) القطاعات وأشعة التبديل الأساسية [9]

النتائج والمناقشة:

تم في هذه الفقرة توضيح مراحل العمل التي تتلخص في نمذجة الحموله ذات السرعة الثابتة والمتغيرة وتوضيح نماذج التحكم التي تم التوصل إليها ومن ثم تحليل أداء عمل كل نظام عند تطبيق الحموله على المحرك.

3-3 نمذجة الحموله ذات السرعة الثابتة والمتغيرة:

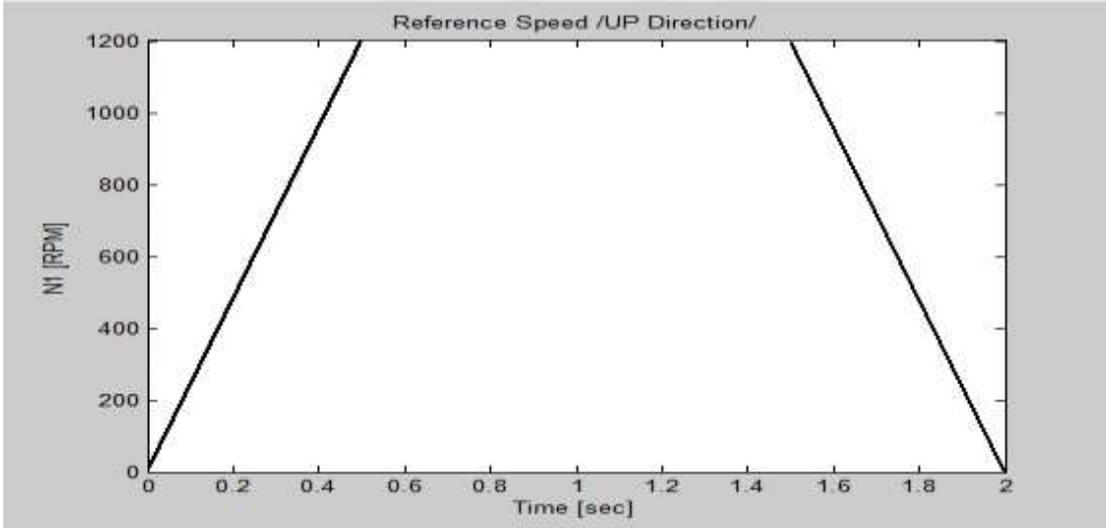
تم اختبار هذه الدراسة على حالة تشغيل تمثل نظام قيادة لمصعد كهربائي في كلا حالتي الصعود والهبوط. يقسم نظام العمل إلى مرحلتين:

4-1-1-1 مرحلة الصعود: تمثل حالة عمل المحرك في الربع الأول (اتجاه الدوران موجب) وتقسّم إلى

ثلاث حالات وفق المعادلة (5) لتحقيق تسارع ثابت في أثناء حالة الإقلاع والتوقف. يوضح الشكل (5) مخطط السرعة المرجعية لمرحلة الصعود.

$$N1 = \begin{cases} 2400 * t & 0 < t \leq 0.5 \\ 1200 & 0.5 < t \leq 1.5 \\ -2400 * (t - 2) & 1.5 < t \leq 2 \end{cases} \quad \dots \dots (5)$$

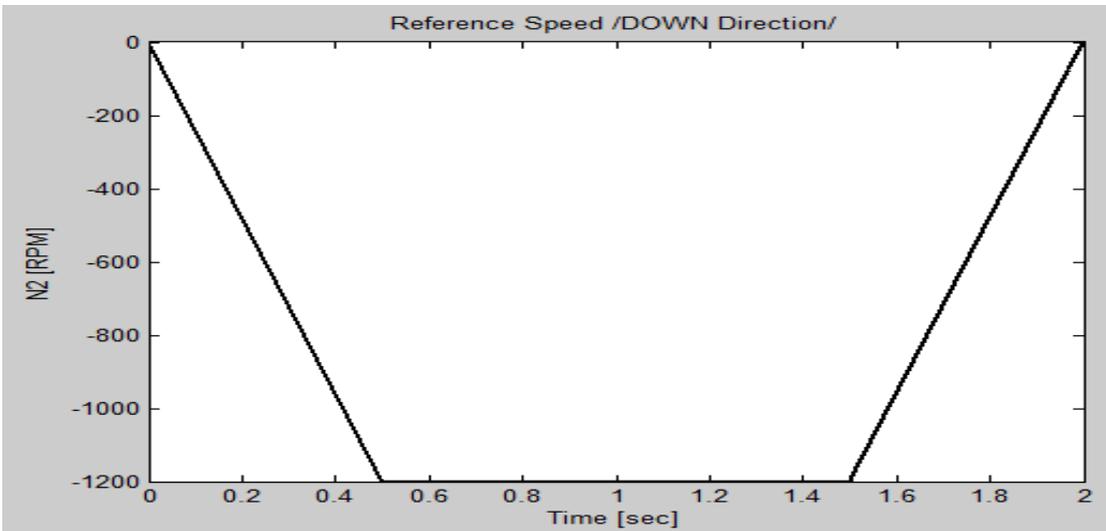
حيث تمثل $N1$ السرعة المرجعية في مرحلة الصعود، و t يمثل الزمن.



الشكل (5) مخطط السرعة المرجعية لمرحلة الصعود

4-1-2- مرحلة الهبوط: تم تمثيل حالة الهبوط أي حالة عمل المحرك في الربع الثالث (اتجاه الدوران سالب) وفق المعادلة (6)، ويوضح الشكل (6) مخطط السرعة المرجعية N2 في هذه الحالة.

$$N2 = \begin{cases} (-2400) * t & 0 < t \leq 0.5 \\ (-1200) & 0.5 < t \leq 1.5 \\ (2400) * (t - 2) & 1.5 < t \leq 2 \end{cases} \dots \dots (6)$$

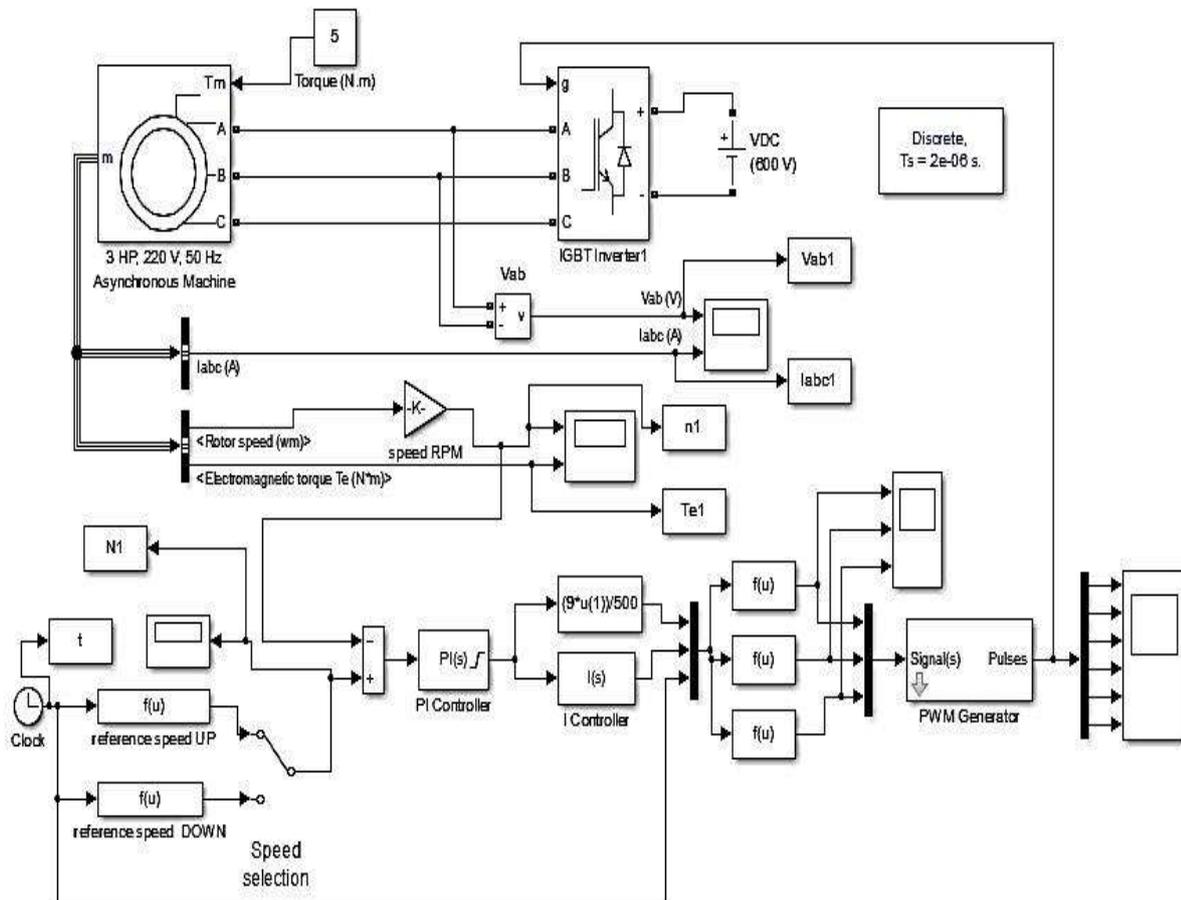


الشكل (6) مخطط السرعة المرجعية لمرحلة الهبوط

4-2- نماذج التحكم المستخدمة في نظامي القيادة:

4-2-1- نظام التحكم السلمي:

يوضح الشكل (7) نظام التحكم السلمي حيث يتم اختيار حالة العمل (صعوداً أو هبوطاً) باختيار السرعة المرجعية (Reference Speed (UP or DOWN)، في هذا النظام يتم استنتاج تردد العمل المطلوب لتصحيح الخطأ بين السرعة المرغوبة (المرجعية) والسرعة الحقيقية (الفعلية) عن طريق إدخال إشارة الخطأ إلى متحكم تناسبي تكاملي (Integral Proportional (PI) Controller مع محدد لإشارة التردد ضمن المجال $(-50 \sim +50) Hz$ ، وبإجراء تكامل لإشارة خرج المحدد تنتج إشارة التردد الزاوي (ωt) والتالي إمكانية تحديد الإشارات المرجعية الثلاث في نظام التعديل النبضي العرضاني بإشارة مثلثية ذات تردد $5 KHz$ والتي تولد بدورها نبضات التحكم الست على مفاتيح قابلية الجهد التي تغذي المحرك التحريضي.

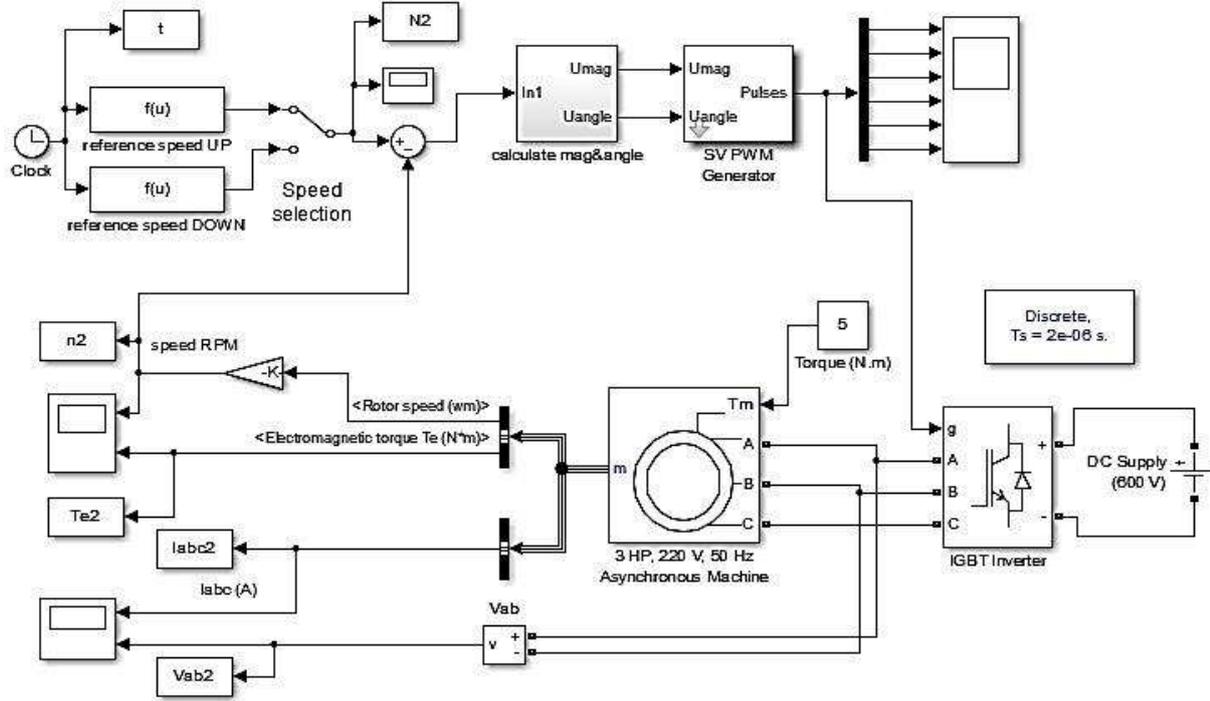


الشكل (7) نموذج نظام التحكم السلمي

4-2-2- نظام التحكم الشعاعي:

يوضح الشكل (8) نظام التحكم الشعاعي حيث يتم كذلك اختيار حالة العمل (صعوداً أو هبوطاً) باختيار السرعة المرجعية (Reference Speed (UP or DOWN)، في هذا النظام يتم استنتاج تردد العمل المطلوب لتصحيح الخطأ بين السرعة المرغوبة (المرجعية) والسرعة الحقيقية (الفعلية) عن طريق إدخال إشارة الخطأ إلى متحكم تناسبي تكاملي (Integral Proportional (PI) Controller مع محدد لإشارة التردد ضمن المجال $(-50 \sim +50) Hz$ ، وبإجراء تكامل لإشارة خرج المحدد تنتج إشارة التردد الزاوي (ωt) وبالتالي إمكانية تحديد إشارة الجهد المرجعي (شعاع

الجهود الفراغية الدوار) المستخدم في نظام التعديل النبضي العرضاني بتعديل شعاع الفراغ وفق تردد تعديل 5 KHz والذي يولد بدوره نبضات التحكم الست على مفاتيح قابلة الجهد التي تغذي المحرك التحريضي.



الشكل (8) نموذج نظام التحكم الشعاعي

3-4 مناقشة النتائج:

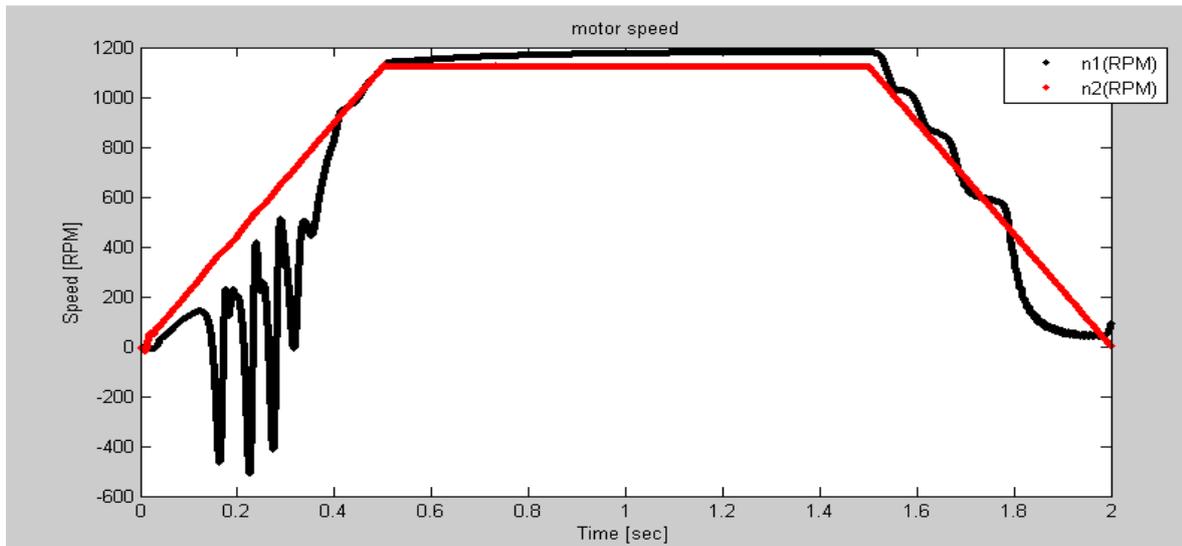
تم تنفيذ النموذج عند جهد 600 dc Volts للمنبع المستمر الذي يغذي القالب، عزم الحمل 5 N.m . مواصفات المحرك التحريضي ثلاثي الأطوار ذي الدائر المقصور المستخدم في الدراسة:

- عدد أزواج الأقطاب $P = 2$ - تردد العمل 50 Hz
- مقاومة طور الثابت $R_s = 0.435 \Omega$ - مقاومة طور الدوار $R_r = 0.816 \Omega$
- تحريضية طور الثابت $L_s = 4 \text{ mH}$ - تحريضية طور الدوار $L_r = 2 \text{ mH}$
- التحريضية المتبادلة بين طور في الثابت و طور في الدوار $L_m = 69.31 \text{ mH}$
- عزم العطالة $J = 0.023 \text{ Kg. m}^2$
- الجهد الاسمي. $220/380$ - التيار الاسمي $5.3/3.2 \text{ A}$
- السرعة الاسمية 1420 RPM - الاستطاعة الاسمية 3 HP

3-4-1- مرحلة الصعود:

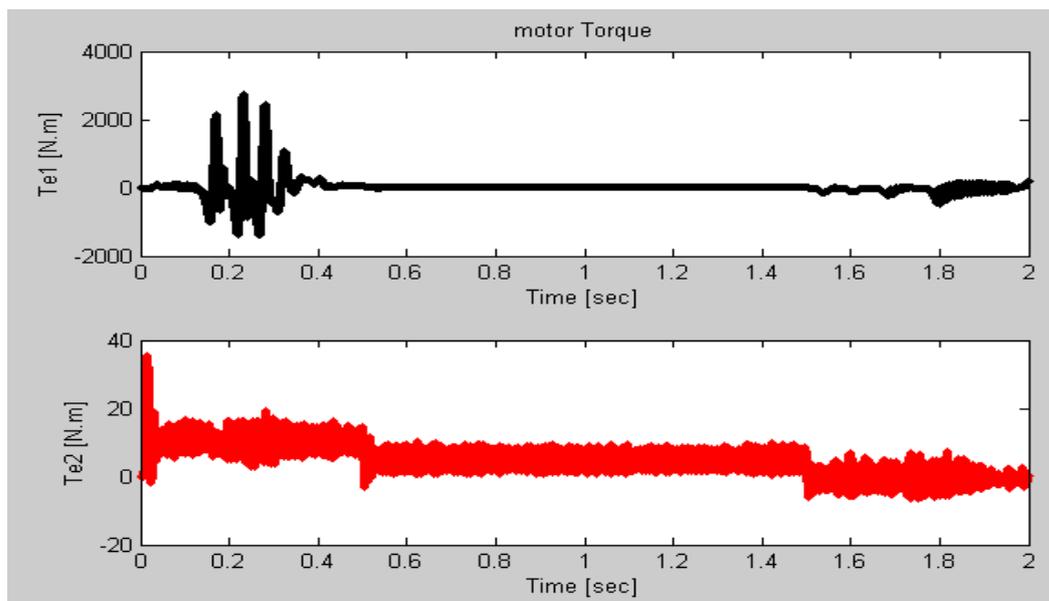
• يوضح الشكل (9) منحنى السرعة في نظامي التحكم في أثناء الصعود. في المنحني الناتج عن النظام السلمي والممثل بالمنحني n1 تبين أنه في حالة التسارع بعد الانطلاق كانت قيمة الخطأ الأعظمي بالسرعة (500 RPM) وقد حدثت عند الأزمنة ($0.23, 0.27 \text{ sec}$). في حالة السرعة الثابتة كانت قيمة الخطأ الأعظمي بالسرعة (10 RPM) وحدثت عند الزمن (0.8 sec). بينما كانت قيمة هذا الخطأ في حالة التباطؤ قبل التوقف (100 RPM) وحدثت عند الزمن (1.77 sec). أما في المنحني الناتج عن النظام الشعاعي تبين أن أعظم قيمة للخطأ في السرعة كانت (2)

(RPM) في جميع الحالات وهي قيمة صغيرة جداً مقارنة بالقيم الناتجة عن استخدام التحكم السلمي مما يوضح تفوق طريقة التحكم الشعاعي على طريقة التحكم السلمي من حيث الأداء.

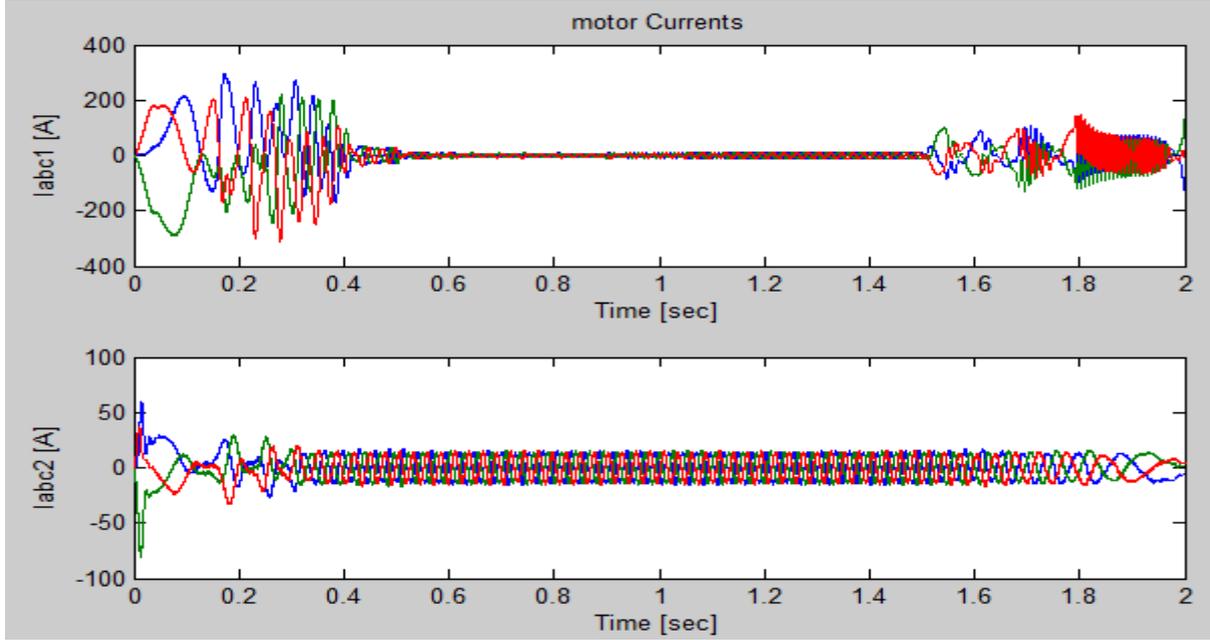


الشكل (9) سرعة المحرك في نظامي التحكم الشعاعي والسلمي خلال مرحلة الصعود

• يوضح الشكل (10) منحنى العزم الكهرومغناطيسي للمحرك في كلا النظامين في أثناء الصعود. وبالتحليل تبين ظهور عزم بترددات بيئية في منحنى العزم T_e1 الناتج عن التحكم السلمي حيث وصلت إلى قيم عالية جداً تجاوزت في بعض الأزمنة القيمة (2500 N.m). أدت إلى ظهور تيارات عالية ممثلة بالمنحنى $I_{abc}1$ الموضح في الشكل (12) تجاوزت قيمتها الأعظمية في بعض الأزمنة القيمة (200 A). أما في المنحنى T_e2 في الشكل (10) الناتج عن التحكم الشعاعي نلاحظ أن العزم تتراوح ضمن حدود مقبولة لا تتجاوز حدود تغيراتها قيمة (20 N.m). كما أن التيارات الناتجة عن هذه العزوم كما هو موضح في الشكل (11) والممثلة بالمنحنى $I_{abc}2$ تكون بحالات عابرة مقبولة لاتتجاوز القيمة (50 A) ولفترة زمنية قصيرة جداً لتعود إلى حدود القيمة (15 A).



الشكل (10) العزم الكهرومغناطيسي للمحرك في نظامي التحكم الشعاعي والسلمي خلال مرحلة الصعود

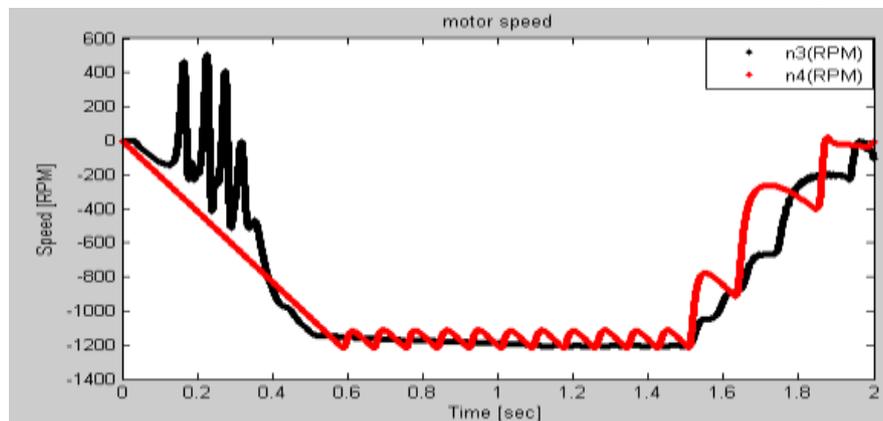


الشكل (11) تيارات أطوار الثابت للمحرك في نظامي التحكم الشعاعي والسلمي خلال مرحلة الصعود

إن ظهور مثل هذه القيم لكل من العزوم والتيارات العابرة في التحكم السلمي يؤدي إلى انخفاض المردود نتيجة زيادة الضياعات كما يؤثر سلباً من ناحية الأداء لأنه يسبب ارتفاعاً في درجة حرارة التجهيزات والعناصر الإلكترونية (مفاتيح القالبية) وقد يؤدي إلى انهيار هذه العناصر عند تجاوز القيم الحدية المسموح بها. ويؤثر سلباً من الناحية الاقتصادية نتيجة الحاجة إلى شراء مفاتيح الكترونية قادرة على تحمل هذه الاستطاعات الكبيرة. ونستنتج أيضاً تفوق التحكم الشعاعي على التحكم السلمي من ناحية الأداء والكفاءة و الكلفة الاقتصادية الخاصة بالمفاتيح الإلكترونية.

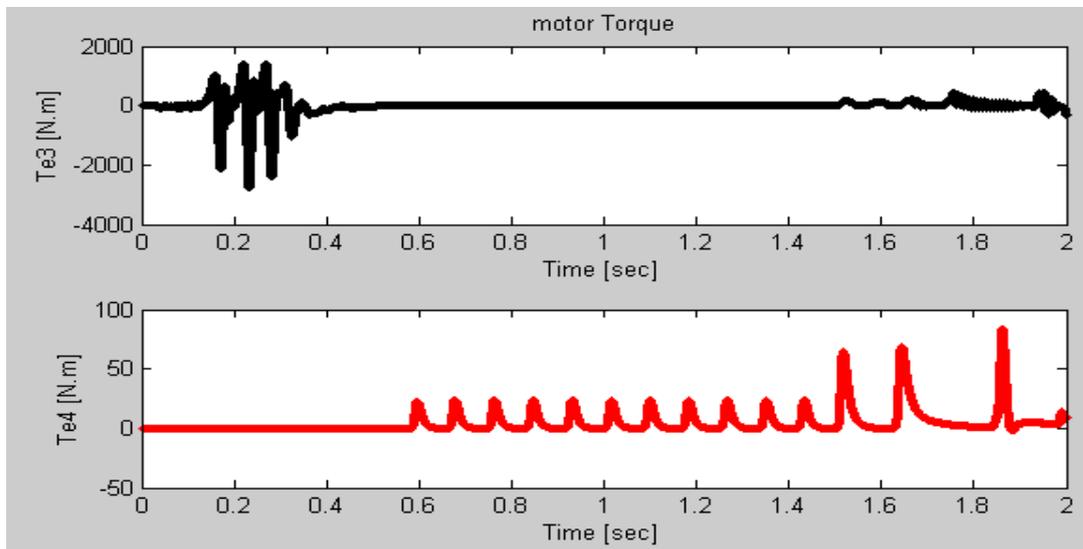
4-3-2- مرحلة الهبوط:

• يوضح الشكل (12) منحنى السرعة في نظامي التحكم في أثناء الهبوط (أي عند دوران المحرك بالاتجاه المعاكس). في المنحنى n3 الناتج عن تطبيق النظام السلمي تظهر العديد من القيم الأعظمية لخطأ السرعة ويحدود عالية. بينما كانت قيمة هذا الخطأ في المنحنى n4 الناتج عن تطبيق النظام الشعاعي صغيرة جداً مقارنة بالقيم الناتجة عن استخدام التحكم السلمي مما يوضح أيضاً تفوق طريقة التحكم الشعاعي على طريقة التحكم السلمي من حيث الأداء عند عمل المحرك على نفس الحمولة ويعكس اتجاه الدوران.

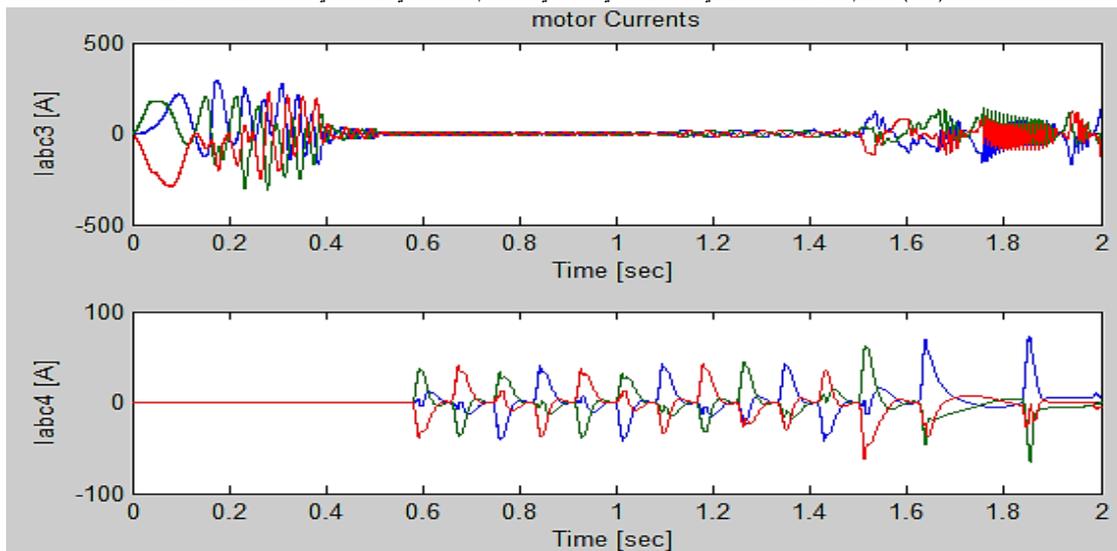


الشكل (12) سرعة المحرك في نظامي التحكم الشعاعي والسلمي خلال مرحلة الهبوط

• يوضح الشكل (13) منحنى العزم الكهرومغناطيسي للمحرك في كلا النظامين في أثناء الهبوط. ونتج بعد التطبيق أيضاً ظهور عزوم بترددات بينية في منحنى العزم T_e3 الناتج عن تطبيق التحكم السلمي حيث وصلت إلى قيم عالية جداً في بعض الأزمنة. أدت إلى ظهور تيارات عالية ممثلة بالمنحنى $I_{abc}3$ الموضح في الشكل (15) تجاوزت قيمتها الأعظمية في بعض الأزمنة القيمة (250 A). بينما تتراوح قيم العزوم ضمن حدود مقبولة في المنحنى T_e4 في الشكل (13) الناتج عن تطبيق التحكم الشعاعي. كما أن التيارات الناتجة عن هذه العزوم كما هو موضح في الشكل (14) والممثلة بالمنحنى $I_{abc}4$ تمر بقيم ضمن حدود مقبولة. ونستنتج بعد دراسة حالتي الصعود والهبوط للحمولة أيضاً تفوق طريقة التحكم الشعاعي على طريقة التحكم السلمي من ناحية الأداء والكفاءة و الكلفة الخاصة بالمفاتيح الإلكترونية للقالبة بينما تعوض الكلفة الاقتصادية في تقنية التحكم السلمي بسبب عدم الحاجة فيها إلى متحكم يقوم بإعطاء نبضات التحكم على القالبية. حيث يمكن استخدام طريقة التحكم الشعاعي في التطبيقات العملية التي تحتاج استقرار أكبر في إشارات الخرج وتحكم مستقل بالعزم والسرعة.



الشكل (13) العزم الكهرومغناطيسي للمحرك في نظامي التحكم الشعاعي والسلمي خلال مرحلة الهبوط



الشكل (14) تيارات أطوار الثابت للمحرك في نظامي التحكم الشعاعي والسلمي خلال مرحلة الهبوط

الاستنتاجات والتوصيات:

- تعتبر كلٌّ من خوارزمية التحكم الشعاعي والتحكم السلمي من الخوارزميات الأساسية في قيادة المحركات التحريضة وهي الأفضل من حيث الأداء مقارنة بخوارزميات التحكم التقليدية، وبنتيجه هذه الدراسة تبين أن تقنية التحكم الشعاعي أفضل من تقنية التحكم السلمي من حيث الأداء والمردود.
- تعتبر طريقة التعديل النبضي العرضاني الجببي الطريقة العامة لقيادة محركات التيار المتناوب، بينما تزداد الرغبة في استخدام طريقة تعديل شعاع الفراغ لأنها تستثمر الجهد بشكل أفضل وهذا ما كان واضحاً من خلال الحصول على مردود أفضل عند تطبيق تقنية تعديل شعاع الفراغ لقيادة قالبة الجهد.
- نحصل باستخدام تقنية تعديل شعاع الفراغ على تشوهات أقل في إشارة تيار المحرك. بينما كانت التشوهات كبيرة وواضحة باستخدام تقنية التحكم السلمي.

المراجع:

1. Yu, Zhenyu.; Figoli, David., "AC Induction Motor Control Using Constant V/Hz Principle and Space Vector PWM Technique with TMS320C240", 1998, Texas Instruments Incorporated. P. 11-57.
2. Phung Quang, Nguyen.; Dittrich, Jörg-Andreas., "Vector Control Of Three Phase AC Machines", 2001, Germany: Springer. P. 1-300.
3. JUNG, JIN-WOO., "PROJECT #2 SPACE VECTOR PWM INVERTER", 2005, The Ohio State University.
4. Lepka, Jaroslav.; Stekl, Petr., "3-Phase AC Induction Motor Vector Control Using a 56F80x, 56F8100 or 56F8300 Device", 2005, P. 6-24, Freescale Semiconductor.
5. JUNG, JIN-WOO., "PROJECT #1 SINE-Δ PWM INVERTER", 2005.
6. Kim, Dong Hwa., "GA-PSO based vector control of indirect three phase induction motor", 2007, Daejeon, South Korea, Applied Soft Computing 7 (2007) 601-611.
7. Mosskull, Henrik., "Robust Control of an Induction Motor Drive", 2008, Sweden. P. 1-73, Stockholm - SE-100 44.
8. Mishra, Anupam.; Panda, Sunil. and Srinivas, B., "Control of Voltage Source Inverters using PWM/SVPWM", 2009, Rourkela, Orissa-769008.
9. Kaur, Kulraj., "Analyses and Comparison of Scalar and Vector Control for Adjustable Speed AC Drives", 2011, Punjab.
10. Reddy, Vijaya.; K.Rao , Siva., "MODELING AND SIMULATION OF MODIFIED SINE PWM VSI FED", 2, 2012, Journal Impact Factor (2012): 3.2031. pp. 343-351.