

## تطوير منهجية التحكم بحركة هوائي الرادار لتحسين الكشف القطاعي

د.م. وضاح ملوك<sup>(1)</sup>

### الملخص

انتشرت آليات تطوير منظومة الرادار بشكل كبير بكافة منظوماتها الجزئية، وأحد أبرز هذه المنظومات التي تحتويها منظومة الرادار هي منظومة هوائي الرادار التي يتم تطويرها بأكثر من طريقة لأنها تعاني من مشكلة ممانعة الهواء بوجود حجم الهوائي الكبير أثناء عملية الكشف القطاعي، وتعدّ منهجية التحكم المباشر بالعزم بمحرك هوائي الرادار أبرز المنهجيات المستخدمة لإجراء المسح القطاعي في أنظمة المسح الإلكترونية. يقدم هذا البحث عملية إجراء المسح القطاعي لهوائي الرادار باستخدام منهجية التحكم المباشر بالعزم مطورة بالشبكة العصبونية الصناعية، بحيث يمكن لهذه المنهجية تخمين الفيض بطريقة أدق من طريقة التحكم المباشر بالعزم التقليدية من خلال ترشيح التغيرات والاضطرابات التي تطرأ على قيمة مقاومة الثابت للمحرك التحريضي نتيجة تغير حمولة محرك الهوائي بسبب الحجم الكبير له وممانعة الهواء الريحية، مما يؤدي بالنتيجة للحصول على عزم كهرومغناطيسي بأقل خطأ ديناميكي وستاتيكي مما هو عليه عند إجراء المسح القطاعي بمنهجية التحكم المباشر بالعزم التقليدية أو الكلاسيكية، والحصول على انسيابية أعلى لحركة هوائي الرادار، وقد تم توضيح طريقة إجراء منهجية التحكم المباشر بالعزم وكيفية تطويرها باستخدام الشبكات العصبونية الصناعية، وتمت عملية نمذجة محرك هوائي الرادار لإجراء المسح القطاعي بوجود ممانعة ريحية باستخدام برنامج ماتلاب بمنهجية التحكم المباشر بالعزم التقليدية والمدعمة بالشبكة العصبونية الصناعية وإيجاد استجابتي السرعة والعزم وإشارات الخطأ لكل الطريقتين، وإجراء مقارنة بينهما بالاعتماد على معيار متوسط مربع الخطأ، حيث أثبتت النتائج تفوق منهجية التحكم المباشر بالعزم المطورة باستخدام الشبكة العصبونية على التقليدية لإجراء عملية المسح القطاعي على العلى الرغم من من الحجم الكبير للهوائي ولوجود ممانعة الهواء الريحية. كما تم دراسة حالات لتغير عزم حركة الهوائي وفقاً لأحجام مختلفة لهوائي الرادار وإيجاد منحنيات العزوم لها، واستنتاج منحنى تغير التآرجح الأعظمي للعزم مع حجم الهوائي. وقد أثبتت منهجية التحكم المباشر بالعزم المطورة بالشبكات العصبونية المقترحة في هذا البحث تفوقها على منهجية التحكم المباشر بالعزم التقليدية لتأمين حركة هوائي الرادار لإجراء الكشف القطاعي لمختلف حجوم الهوائي.

الكلمات المفتاحية: رادار، كشف قطاعي، منهجية DTC، شبكات الذكاء الصناعي.

<sup>(1)</sup> عضو هيئة تدريسية في قسم هندسة الاتصالات، كلية الهندسة والتكنولوجيا، جامعة قرطبة الخاصة.

## Development of Control Method for the Radar Antenna Motion to Enhance Sectorial Detection

Dr. Waddah Mallouk<sup>(1)</sup>

### Abstract

Many ethology to develop radar system propagated hugely for all subsystems of radar. One of the most important subsystem of radar is detection system, which is developed by many methods because it suffers problem of air impedance and big size antenna during sector detection process. Direct Torque Control by radar antenna motor is one of the most important used method to achieve sector scanning in electronic scanning systems. This paper presents process of canning sector for radar antenna using direct torque control developed by artificial neural network, where it could estimate flux precisely more than classic DTC. This ANN- DTC filters tolerances of stator resistance because of changes in load of antenna motor, which is caused big size of antenna and air windy resistance, all of that reproduces electromagnetic torque with least of dynamic and static error than when classic DTC is used. So streamline of motion antenna is done. DTC and ANN – DTC are expressed. Motor of radar antenna to achieve sector scanning is modeled using MatLab program for both of DTC and ANN – DTC. Speed and torque responses of DTC and ANN – DTC and error signals are founded. Comparing between of DTC and ANN – DTC is achieved depended on mean square error MSE. The results improves superiority of ANN – DTC on DTC to achieve sector scanning process though big size antenna and windy air resistance. In addition many cases for change of torque's motion of antenna are studied according to many sizes of radar antenna, and torque carves are founded out. Carve of maximum torque change with size of antenna is obtained. Proposal ANN – DTC confirms it superiority on classic ANN for feeding motion radar antenna to achieve sector scanning for different sizes of antenna.

**Key words:** Radar, Sectorial Detection, Methodology DTC , ANN .

---

<sup>(1)</sup>Dept. of communication Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Cordoba Private University.

## 1- المقدمة:

مركزين على موضوع النمذجة وطريقة الحسابات دون التدخل بعمل المحرك الذي يؤمن حركة الهوائي من أجل حسابات الضغط الهوائي الذي يتعرض له هوائي الكاشف [2]. وانطلقت دراسة [3] من اعتبار أن أنظمة الرادار الدوارة هي أساس أنظمة الملاحقة في المطارات، ألا أنها تتعرض لضجيج وتأرجحات ناجمة عن ممانعة الهواء والرياح، وإن الحد منها هو أساس تطوير أنظمة هوائي الرادار لذلك قاموا باستخدام منهجية حسابات للحصول على سرعة انسيابية أثناء الحركة القطاعية، لكن أهملت هذه الدراسة تأثيرات ممانعة الهواء في عزم المحرك ولم تتطرق إليه. وقد طورت دراسة منظومة الرادار لجعلها تعمل في مجال مغناطيسي من خلال دمج كاشف الرادار وربطه مع حساس مغناطيسي من خلال خوارزمية تحكم تعتمد على إيجاد الفروق لمعرفة قوة الإشارة الحقيقية بهدف معرفة المسافة الحقيقية للهدف [4]. وتطرقنا دراسة إلى احتمالية اعتراض كاشف الرادار ودراسة تداخل إشارة الرادار المنعكسة مع إشارات الضجيج الكهرومغناطيسية لمعرفة مدى احتمالية اعتراض كاشف الرادار [5]، وتناولت دراسة أخرى تطوير منظومة الإظهار المباشر للحزم المتعددة من خلال تحسين عملية كشف الإشارات الزائفة بهدف معرفة الإشارة الحقيقية من بين الإشارات الأخرى والحصول على عملية كشف أدق [6]. وطورت منظومة جزئية في الرادار وهي منظومة حساس الرادار دوبلر من خلال تدعيمها بكاشف ومحدد الطاقة [7]. وتعدّ منهجية التحكم المباشر بالعزم من أهم منهجيات إجراء المسح القطاعي للرادار، ولا سيما كونها الخوارزمية المطبقة للتحكم بمحرك المسح القطاعي عن طريق الدارات الإلكترونية كالدائرة المتكاملة TMS320F2812 التي تعدّ العنصر الرئيس والأساسي في الدارات الإلكترونية المستخدمة لإجراء المسح الإلكتروني، لأنها تشكل وحدة

تحتوي منظومة الرادار على العديد من المكونات المتداخلة فيما بينها، تتكامل فيما بينها وتعمل بشكل متكامل ولكل جزء تأثير في أداء الجزء الآخر، ويقوم كل نظام جزئي فيها بمهمة محددة وأداء معين لتحسين وتطوير عمل منظومة الرادار كاملة وتأدية المهمة المطلوبة، وإن عملية تطوير الرادار تكون بتطوير المنظومات الجزئية له وتحسين أدائها، وأي تطوير معين في جزء محدد من الرادار ينعكس إيجاباً على منظومة الرادار كاملة، مما يتسبب بتطوير منظومة الرادار نتيجة تطوير أداء المنظومة الجزئية المكونة لمنظومة الرادار.

## 2- الدراسة المرجعية:

تنوعت الدراسات المرجعية في مجال تطوير منظومة هوائي الرادار لتحسين الكشف القطاعي، حيث قامت مجموعة باحثين بدراسة سلوك الأيروديناميكي للرادار ومساره بغية الحصول على المسار الأمثل والأداء الأفضل على العلى الرغم من وجود شروط ممانعة الرياح والهواء خلال المسح القطاعي لمسافة قطاعية قدرها مترين، وركزوا على موضوع الحصول على زاوية وسرعة دقيقتين على الرغم من وجود شروط ريحية وهوائية مختلفة، حيث يتم تحريك الرادار بمحرك كهربائي، وتتم قيادته بواسطة علبة سرعة للحصول على عزم مناسب تحت شروط هوائية صعبة بهدف فهم آلية الحركة القطاعية تحت شروط هوائية قاسية ومعرفة العزم الواجب تطبيقه للتغلب على هذه الشروط الممانعة [1]. وانطلاقاً من حقيقة وجود أحمال ريحية ثقيلة على هوائي الرادار قام باحثون بنمذجة سلوك هوائي الرادار، واستخدموا طريقة الحسابات الديناميكية الانسيابية من أجل محاولة التغلب على العزوم الريحية والهوائية الكبيرة أثناء عملية الكشف القطاعي

الأول: تطوير منظومة جزئية في منظومة الرادار .  
الثاني: تطوير الرادار ليتناسب مع العمل في ظروف محددة.  
الثالث: استخدام الرادار في منظومات أخرى بغية تطويرها.

يركز البحث الحالي على تطوير منظومة جزئية في الرادار، وهي منظومة التحكم بعملية المسح القطاعي بهدف تحسينها، مما يساهم في تطوير منظومة الرادار للعمل وفق ظروف محددة تتمثل بوجود عزوم ممانعة لحركة الهوائي بسبب سرعة الرياح وحركة الهواء التي تؤدي إلى تأرجحات في العزم تسبب خطأ ستاتيكيًا وديناميكيًا يتناسب طردياً مع حجم الهوائي.

### 3- مشكلة البحث:

يبين الشكل (1) النقطة البحثية التي يتناولها هذا المقال، المتعلقة بتطوير منهجية التحكم الخاصة بمحرك هوائي الرادار لجعله قادراً على إجراء عملية المسح والكشف القطاعي أثناء ظروف ريحية مختلفة بأحجام هوائي متغيرة، و كما هو واضح من الشكل فإنه يوجد في لوحة التحكم والمراقبة الخاصة بالرادار "Control panel & Screen" عنصر أساسي يسمى وحدة التحكم الرئيسية MCU (Main Control unit)، وهي عبارة عن متحكم صغير، أو معالج إشارة رقمي DSP تحتوي بداخلها على منهجية تحكم مبرمجة بغاية إجراء هدف محدد، وتعدُّ منهجية التحكم المباشر بالعزم DTC من أبرز منهجيات التحكم الخاصة بمحرك هوائي الرادار لتأمين الحركة القطاعية اللازمة للمسح القطاعي بغية ملاحقة الهدف وكشفه ضمن قطاع محدد، والتي تشكل مجملها منظومة الملاحقة الخاصة بهوائي الرادار (Radar Servo)، لكن بسبب حجم هوائي الرادار الكبير نسبياً وشكله الدائري الذي يجعل تأثير الحركة الريحية للهواء كبيراً مما يسبب - حجم

التحكم الرئيسية في نظام القيادة الإلكتروني لمحرك المسح القطاعي في منظومات الرادار الإلكترونية التي تعتمد على معالج إشارة رقمي (Digital Signal Processing) DSP كالمعالج TMS320F2812 لتنفيذ هذه الخوارزميات [8]. كما أن ربط خوارزميات التحكم بمنظومات الرادار أسهم بتطويرها بشكل كبير، وحصلت العديد من هذه الدراسات على براءة اختراع لما لها من أهمية كبيرة في تطوير منظومة الرادار، فعلى سبيل المثال نجد أن المخترع "James" طور كاشف رادار الشرطة من خلال اختراعه الذي اعتمد على إضافة إشارات تحكم شملت مؤشرات صوتية وضوئية من خلال ربط منظومة الرادار بمنهجية التحكم المعتمد [9]. وفي السياق نفسه في موضوع كاشف الرادار فقد ركزت دراسات على موضوع الربط بين محرك العربة وكاشف الرادار الخاص بالشرطة بغية الحصول على أفضل عملية كشف [10]. وبعض الدراسات جعلت من منظومة الرادار جزء من تطوير منظومة أخرى بهدف الحصول على فائدة محددة، فقد قدم الباحث دوكلز منهجية للتحكم الأوتوماتيكي بمحرك عربة وإشاراتها عن طريق إشارة الرادار من خلال الفصل بين سرعة العربة وسرعة الهدف [11]. وطورت دراسات أخرى منظومات رادار لتتناسب مع عمل الرادار في شروط محددة ليتناسب مع شروط البيئة وظروفها التي يعمل فيها كعمل الرادار على محرك عربة متنقلة، حيث يرافقه تغيرات بتوجيه الهوائي وفقاً لتغير مسار العربة، وصعوبة في كشف الأهداف القريبة والبعيدة [12]. وقد قدمت دراسات أبحاث تعلقت باستخدام منظومة الرادار لتطوير منظومة أخرى، كتطوير العربات باستخدام منظومة رادار بغية المراقبة المرورية ضمن مجال قدره 50m [13].

يمكن تصنيف الأبحاث المتعلقة بمجال الرادار من خلال الدراسات المرجعية السابقة إلى ثلاثة مجالات:

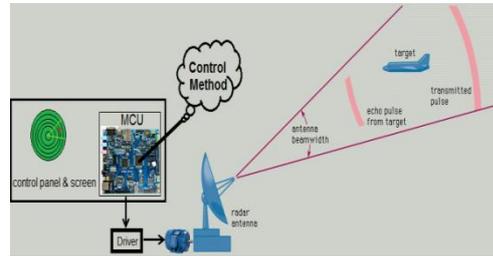
التي قد تؤدي إلى زيادة الحمولة عند وجود الرياح المعاكسة لحركة الهوائي أو إنقاص الحمولة للرياح الموافقة لها، ومنه فإن تغير الحمولة يسبب تغير قيمة مقاومة محرك هوائي الرادار نتيجة الأثر الحراري العالي للتيارات الكهربائية الكبيرة نسبياً والمستجرة بسبب وجود حمولة كبيرة ناتجة عن حجم الهوائي وحركة الهواء، مما يؤدي بالنتيجة إلى وجود تأرجحات وتذبذبات في عزم حركة الهوائي تحول دون وجود انسيابية في حركته، وعدم استجابة دقيقة، لذا يهدف هذا البحث إلى تأمين انسيابية حركة الهوائي في الكشف القطاعي على الرغم من حجمه الكبير ووجود حركة الهواء، وتأمين حركة هوائي الرادار المطلوبة لإجراء الكشف القطاعي دون وجود تأرجحات وتذبذبات في العزم مع سرعة ثابتة قدرها 30rpm، على الرغم من اختلاف حجم الهوائي بوساطة تطوير أنظمة مسح الرادار الإلكترونية عن طريق تطوير منهجيات وخوارزميات عملها.

## 5-خطوات البحث:

تم إنجاز هذا البحث وفق الخطوات الآتية:

- 1- نمذجة محرك هوائي الرادار الكهربائي ثلاثي الطور وفقاً للمحاور الثنائية q-d
- 2- دراسة التحكم بمحرك هوائي الرادار الكهربائي واستعراضه، بوساطة منهجية التحكم المباشر للعزم DTC (Direct Torque Control) ومعرفة السلبيات الممكن حدوثها لحركة الهوائي أثناء تطبيق هذه المنهجية.
- 3- تطوير منهجية التحكم المباشر بالعزم بالذكاء الاصطناعي باستخدام شبكة عصبونية لإجراء التخمين اللازم لتلافي تأثيرات الحجم الكبير للهوائي وحركة الهواء واستخدام الطريقة المطورة DTC-ANN (Direct Torque Control - Artificial Neural Network) لقيادة محرك هوائي الرادار الكهربائي، وتحصيل النتائج وفقاً لعملية الكشف القطاعي.

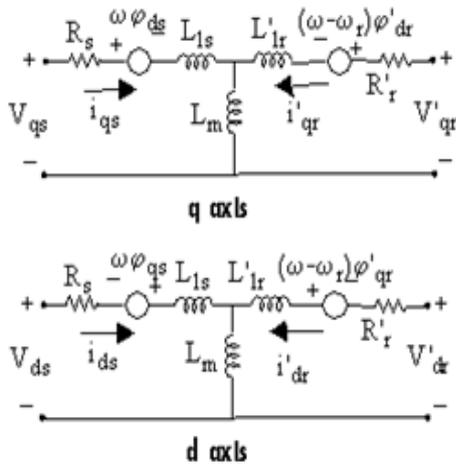
الهوائي وتأثير ممانعة الحركة الريحية فيه - بالمجمل وجود أحمال كبيرة نسبياً تتطلب من المحرك تأمين عزم عالٍ ضمن حركة الملاحقة القطاعية، ويؤدي ذلك بالنتيجة إلى وجود تأرجحات في إشارة العزم بسبب الخطأ الديناميكي والستاتيكي الكبيرين الناتجين، الأمر الذي يتسبب بالنتيجة إلى فقدان الهدف، أو عدم كشفه، أو ملاحقته عند وجود أخطاء ستاتيكية وديناميكية كافية لفقدان الهدف عند تحركه بسرعة محددة، حيث تتناسب قيمة الخطأ الديناميكي والستاتيكي عكساً مع سرعة الهدف عند كشفه، بمعنى آخر كلما زادت سرعة الهدف وجب تقليل الخطأ الديناميكي والستاتيكي لنتمكن من كشفه وملاحقته عند المسح والكشف القطاعي. بالمحصلة يجب اعتماد منهجيات تحكم تقلل من الخطأ الستاتيكي والديناميكي لتحسين عملية الكشف القطاعي.



الشكل (1) مخطط توضيحي لتحديد النقطة البحثية لبيان أهمية تطوير منهجية DTC وأثره في عملية الكشف القطاعي في منظومة الرادار.

## 4-هدف البحث وأهميته:

تبرز أهمية البحث في تحسين عملية الكشف القطاعي في الرادار، والتي تتطلب وجود أنظمة تحكم إلكترونية دقيقة ذات استجابة سريعة وخالية من الانتقالات الحادة بين زاويتي التبديل القطاعي، وتؤمن انتقالاً ناعماً وسلساً من اتجاه لآخر، ومناسباً لعملية الكشف القطاعي، وبالأخص أثناء ملاحقة الهدف على الرغم من وجود حمولة كبيرة، تتمثل بحجم هوائي الرادار، وحركة الهواء



الشكل (2) الدارات المكافئة لمحرك هوائي الرادار ثلاثي الطور في الإحداثيات الثنائية q,d [15,16]

أما الجزء الميكانيكي لمحرك الهوائي فتُعطى معادلاته بالشكل الآتي:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \omega_m}{\partial t} &= \frac{1}{2H} (T_e - F\omega_m - T_m) \\ \frac{\partial \theta_m}{\partial t} &= \omega_m \end{aligned} \quad (2)$$

حيث يبين الجدول (1) دلالة كل رمز في مجموعتي المعادلات (1) و(2) الخاصة بعملية نمذجة محرك هوائي الرادار كالتالي:

الجدول (1) دلالات رموز محرك هوائي الرادار

الدلالة	الرمز
المقاومة، والمحاكاة التسريعية للثابت	$L_{1s}, R_s$
المحاكاة الكلية للثابت	$L_s$
جهد وتيار الثابت وفق المحور d	$V_{ds}, I_{ds}$
السرعة الزاوية لمحرك الهوائي	$\omega_m$
السرعة الزاوية الكهربائية تساوي $\omega_r = p\omega_m$	$\omega_r$
عدد أزواج الأقطاب	$T_p$
العزم الميكانيكي لمحرك الهوائي	$T_m$
معامل العطالة للهوائي والهواء	$H$
المقاومة والمحاكاة التسريعية للدوار	$R'_r, L'_{1r}$
جهد وتيار الدوار وفق المحور d	$V'_{dr}, I'_{dr}$

4- تحصيل نتائج عملية الكشف القطاعي بوجود منظومة تحكم باستخدام DTC على الرغم من وجود تغيرات الحمولة الناتجة عن الحجم الكبير للهوائي وحركة الهواء، ثم تحصيل النتائج باستخدام طريقة التحكم المباشر بالعزم المطورة بالنكاه الاصطناعي باستخدام الشبكات العصبونية DTC-ANN، وإجراء مقارنة لاستجابة عملية الكشف وفق نظامي التحكم (منهجية التحكم المباشر والمطورة باستخدام الشبكات العصبونية) لمعرفة مدى مقدار التحسين الحاصل على عملية الكشف، وتحصيل النتائج النهائية، ومناقشتها.

### 6- نمذجة محرك هوائي الرادار:

إن محرك هوائي الرادار عبارة عن محرك كهربائي ومن ثمّ فهو نظام كهروميكانيكي يتكون من جزأين: جزء كهربائي وجزء ميكانيكي، يبين الشكل (2) الدارات المكافئة للجزء الكهربائي لمحرك هوائي الرادار ثلاثي الطور في فراغ الإحداثيات الثنائية، وبناءً على هذه الدارة تُعطى معادلات الجزء الكهربائي للمحرك بمجموعة المعادلات الآتية [14,15]:

$$\begin{aligned} V_{qs} &= R_s i_{qs} + \frac{\partial \varphi_{qs}}{\partial t} + \omega \varphi_{ds} \\ V_{ds} &= R_s i_{ds} + \frac{\partial \varphi_{ds}}{\partial t} - \omega \varphi_{qs} \\ V'_{qr} &= R'_r i'_{qr} + \frac{\partial \varphi'_{dr}}{\partial t} + (\omega - \omega_r) \varphi_{qr} \\ V'_{dr} &= R'_r i'_{dr} + \frac{\partial \varphi'_{qr}}{\partial t} + (\omega - \omega_r) \varphi_{dr} \\ T_e &= 1.5p(\varphi_{ds} i_{qs} - \varphi_{qs} i_{ds}) \\ \varphi_{qs} &= L_s i_{qs} + L_m i'_{qr} \\ \varphi_{ds} &= L_s i_{ds} + L_m i'_{qr} \\ \varphi'_{qr} &= L'_r i'_{qr} + L_m i_{qs} \\ \varphi'_{dr} &= L'_r i'_{dr} + L_m i_{ds} \\ L_s &= L_{1s} + L_m \\ L'_r &= L'_{1r} + L_m \end{aligned} \quad (1)$$

تتم عملية نمذجة محرك هوائي الرادار الكهربائي ثلاثي الطور باستخدام مجموعة المعادلات (1) و (2) و (3) و (4)، وذلك لتمثيل الجزئين الكهربائي والميكانيكي لمحرك الهوائي وإجراء التحويلات من الإحداثيات abc إلى الإحداثيات الثنائية q-d وبالعكس، حيث يكون دخل النموذج ككل جهود التغذية ( $V_{bcs}, V'_{abr}, V'_{bcr}, V_{abs}$ )، وعزم الحموله (العزم الميكانيكي لمحور المحرك الهوائي ولحركة الهواء)  $T_m$  وخرجه السرعة والعزم اللذان يعطيانها محرك الهوائي.

#### 7- طريقة التحكم المباشر بالعزم التقليدية:

يبين الشكل (3) المخطط الصندوقي لمنهجية التحكم المباشر بالعزم، حيث يتم إيجاد قيم الجهود  $V_{bcs}$  و  $V_{abs}$  والتيارات  $i_{bs}$  و  $i_{as}$  عن طريق حساسات الجهود والتيارات الموصولة مع ثابت محرك الهوائي، ليتم بعدها حساب قيم الجهود  $V_{qs}$  و  $V_{ds}$  والتيارات  $i_{qs}$  و  $i_{ds}$  عن طريق تحويلات بارك المبينة بمجموعتي المعادلات (3) و (4)، لتأتي بعدها مرحلتا تخمين الفيض وتخمين العزم.

تعتمد مرحلة تخمين الفيض على التيارات والجهود الناتجة من تحويل بارك لتخمين قيم تدفق الفيض  $\hat{\phi}_{qs}$  و  $\hat{\phi}_{ds}$  على المحورين الإحداثيين q-d من أجل حساب تدفق فيض الثابت  $|\phi_s|$  وزاوية الثابت  $\theta_s$  وفق مجموعة المعادلات الآتية [18]:

المحارضة المغناطيسية	$\frac{L_m}{V}$
جهد وتيار الثابت وفق المحور q	$i_{qs}$
تدفق الثابت وفق المحور d و q	$\phi_{ds}$
زاوية موضع محرك الهوائي	$\theta_m$
زاوية المواضع الكهربائية للدوار تساوي $\theta_r = p\theta_m$	$\theta_r$
السرعة الزاوية للإطار المرجعي	$\omega$
العزم الكهرومغناطيسي	$T_e$
معامل الاحتكاك للهوائي والهواء	$V_f$
جهد وتيار الدوار وفق المحور q	$i_{qr}$
تدفق الدوار وفق المحور d و q	$\phi'_{dr}$
المحارضة الكلية للدوار	$L_r$

أما عملية الانتقال من الإحداثيات الثلاثية abc إلى الإحداثيات الثنائية qd أو العكس فتتم باستخدام تحويل بارك، تعطى تحويلات بارك للجهود وفق المعادلات الآتية [15,17]:

$$\begin{bmatrix} V_{qs} \\ V_{ds} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 \cos \theta & \cos \theta + \sqrt{3} \sin \theta \\ 2 \sin \theta & \sin \theta - \sqrt{3} \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{abs} \\ V_{bcs} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} V'_{qr} \\ V'_{dr} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 \cos \beta & \cos \beta + \sqrt{3} \sin \beta \\ 2 \sin \beta & \sin \beta - \sqrt{3} \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V'_{abr} \\ V'_{bcr} \end{bmatrix}$$

وتعطى تحويلات بارك للتيارات وفق المعادلات الآتية [5,6,7]:

$$\begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\cos \theta + \sqrt{3} \sin \theta & -\sqrt{3} \cos \theta - \sin \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i'_{ar} \\ i'_{br} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta \\ -\cos \beta + \sqrt{3} \sin \beta & -\sqrt{3} \cos \beta - \sin \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i'_{qr} \\ i'_{dr} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$i_{cs} = -i_{as} - i_{bs}$$

$$i'_{cr} = -i'_{ar} - i'_{br}$$

حيث إنه في تحويل بارك يكون الإطار المرجعي هو الدوار (Rotor (Park transformation)، وتكون الزوايا  $\theta = \theta_r, \beta = 0$

وذلك من خلال المقارنة مع العزم المرجعي المرغوب  $T_e^*$ ، وقيمة فيض الثابت المرجعي المرغوب  $|\varphi_s^*|$ ، وإجراء عملية hysteresis وفق المعادلتين الآتيتين [15,18]:

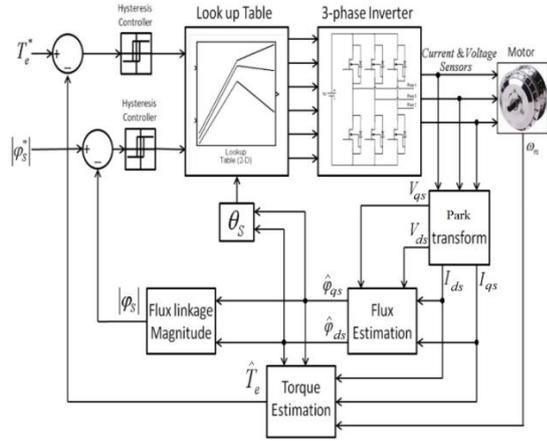
$$dT = \begin{cases} -1; T_e^* - \hat{T}_s < 0 \\ 0; T_e^* - \hat{T}_s = 0 \\ +1; T_e^* - \hat{T}_s > 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$d\varphi = \begin{cases} 1; |\varphi_s^*| - |\varphi_s| > 0 \\ 0; |\varphi_s^*| - |\varphi_s| \leq 0 \end{cases}$$

يبين الشكل (4) جميع الحالات الممكنة لشعاع تدفق الفيض وفقاً لفتح مفاتيح المبدل وإغلاقه، مع ملاحظة أن الحالة (000) والحالة (111) تمثلان حالة توقف لمحرك الهوائي، لذلك لم يتم إدخالها ضمن مخطط توضع شعاع تدفق الفيض، إذا تم تقسيم مستوي توضع شعاع الفيض إلى ستة قطاعات من (1) إلى (6) وكنا في القطاع k، فإن عمليتي زيادة العزم أو الفيض أو إنقاصه تتم وفقاً للجدول (2) [16,19]، ومن ثم تتم عملية التحكم المباشر بالعزم من خلال تحديد مقدار الزيادة أو الإنقاص في عزم المحرك للوصول إلى العزم المرجعي المرغوب بناءً على (Takahashi look-up table)، الجدول (3) حيث عن طريق زاوية الثابت  $\theta_s$  يتم تحديد القطاع (من  $s_1$  حتى  $s_6$ )، ثم بواسطة  $dT$  و  $d\varphi$  الناتجة عن مجموعة المعادلات (7) يتم تحديد آلية التبديل للحصول على العزم المطلوب. الجدول (2) جدول زيادة العزم وإنقاصه، وكذلك الفيض،

#### بناء على اختيار القطاع

شعاع الجهد	ازدياد	تناقص
تدفق ثابت	$V_k, V_{k+1}, V_{k-1}$	$V_{k+3}, V_{k+2}, V_{k-2}$
العزم	$V_{k+1}, V_{k+2}$	$V_{k-2}, V_{k-1}$



الشكل (3) المخطط الصندوقي لمنهجية DTC التقليدية

للتحكم بمحرك هوائي الرادار [19]

$$\hat{\varphi}_{ds} = \int (V_{ds} - R_s i_{ds}) dt$$

$$\hat{\varphi}_{qs} = \int (V_{qs} - R_s i_{qs}) dt$$

$$|\varphi_s| = \sqrt{\hat{\varphi}_{ds}^2 + \hat{\varphi}_{qs}^2} \quad (5)$$

$$\theta_s = \tan^{-1} \left( \frac{\hat{\varphi}_{ds}}{\hat{\varphi}_{qs}} \right)$$

تعتمد مرحلة تخمين العزم على التيارات والجهود الناتجة من تحويل بارك بالإضافة للسرعة المقاسة لتخمين قيمة العزم  $\hat{T}_e$  وفق مجموعة المعادلات الآتية:

$$\hat{\varphi}_{qr} = \hat{\varphi}_{qs} - L_s i_{qs}$$

$$\hat{\varphi}_{dr} = \hat{\varphi}_{ds} - L_s i_{ds}$$

$$e_q = \frac{d\hat{\varphi}_{qr}}{dt}$$

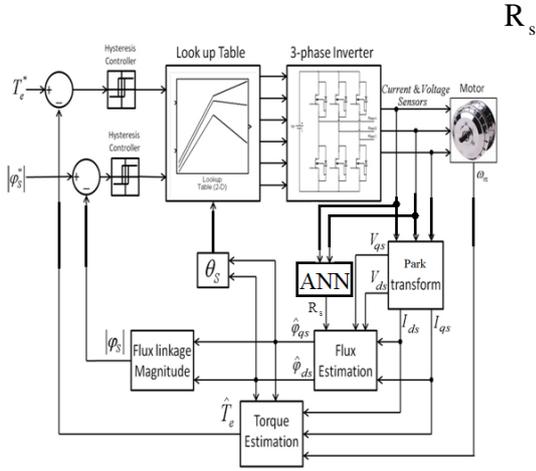
$$e_d = \frac{d\hat{\varphi}_{dr}}{dt} \quad (6)$$

$$\hat{T}_e = \frac{3p}{2} \left[ \frac{e_q}{\omega} i_{qs} + \frac{e_d}{\omega} i_{ds} \right]$$

حيث:  $e_d$  و  $e_q$  القوة المحركة الكهربائية على المحور d و q على الترتيب.

بعد تخمين الفيض والعزم يتم من خلالهما حساب قيمة  $dT$  و  $d\varphi$  الخطأ في كل من العزم والفيض على الترتيب،

طبقة الخرج، لأن الخرج هو عبارة عن قيمة مقاومة الثابت



الشكل (5) المخطط الصندوقي لمنهجية التحكم المباشر

بالعزم المطورة بالشبكة العصبونية DTC-ANN

ويبين الشكل (6) طوبولوجية الشبكة العصبونية المستخدمة لتطوير منهجية التحكم المباشر بالعزم. يُعطى نموذج الشبكة العصبونية المقترح بالمعادلة الآتية:

$$R_s = f_2(W_s f_1(W_I I + B_I) + b_3) \quad (8)$$

حيث

$b_3$ : انزياح عصبون الخرج.

$B_I$ : مصفوفة انزياحات طبقة الدخل

$$B_I = [b_1 \quad b_2]^T$$

$W_I$ : مصفوفة أوزان عصبونات طبقة الدخل

$$W_I = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} \\ w_{21} & w_{22} \end{bmatrix}^T$$

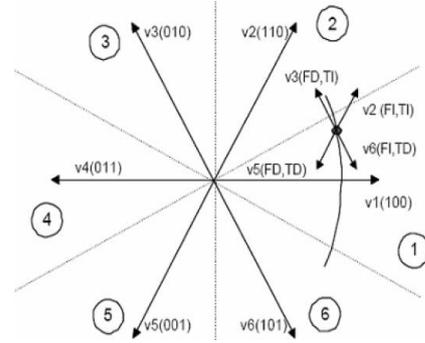
$f_1$ : تابع تنشيط طبقة الدخل، وهو تابع tangent

sigmoid ويعطى بالمعادلة الآتية:

$$f_1(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1 \quad (9)$$

$W_s$ : مصفوفة أوزان عصبون طبقة الخرج

$$W_s = [w_1 \quad w_2]^T$$



الشكل (4) توضع شعاع تدفق الثابت وفقاً لجميع حالات

تبديل مفاتيح المبدل switching inverter حيث

FD: flux decrease. FI: flux increase. TD: torque decrease. TI: torque increase [18]

الجدول (3) جدول تبديل خوارزمية DTC التقليدية [16,18]

$d\varphi$	$dT$	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$s_4$	$s_5$	$s_6$
1	1	v2	v3	v4	v5	v6	v1
	0	v0	v7	v0	v7	v0	v7
	-1	v6	v1	v2	v3	v4	v5
0	1	v3	v4	v5	v6	v1	v2
	0	v0	v7	v0	v7	v0	v7
	-1	v5	v6	v1	v2	v3	v4

## 8- طريقة التحكم المباشر بالعزم المطورة

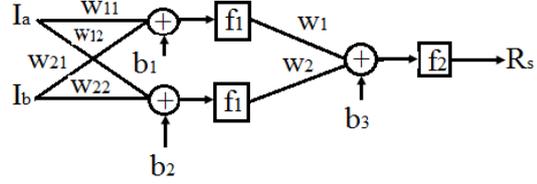
### بالشبكات العصبونية:

تكمن عملية ضعف طريقة التحكم المباشر بالعزم الكلاسيكية عند وجود أحمال كبيرة والتي تتسبب بتغير قيم مقاومة الثابت  $R_s$  نتيجة الأثر الحراري للتيارات الكبيرة نسبياً عند هذه الأحمال، مما يسبب عدم دقة تخمين الفيض لوجود مقاومة الثابت ضمن معادلات التخمين، كما هو مبين بمجموعة المعادلات (5)، لذلك تم اقتراح إضافة شبكة عصبونية لطريقة DTC تقوم بتخمين قيمة مقاومة الثابت من تيار المحرك المستجيب أثناء وجود أحمال كبيرة، كما هو مبين بالشكل (5)، حيث تتكون الشبكة العصبونية من عصبونين في طبقة الدخل، لأن شعاع الدخل مكون من قيمتين  $I = [i_a \quad i_b]^T$ ، وعصبون في

برمجة مجموعة المعادلات من (5) إلى (7) بالإضافة إلى قيم جدول الاختيار وفق الخطوات المبينة في الفقرة (5) لتوليد نبضات قرح المبدل inverter لإجراء عملية التحكم بمحرك هوائي الرادار وإدخال السرعة والعزم المرجعيين المطلوبين لمعرفة مدى فعالية طريقة DTC لإجراء عملية المسح القطاعي، مع الأخذ بعين الاعتبار وجود تغيرات في قيمة مقاومة ثابت محرك الهوائي بسبب تغير الحمولة الناتج عن حجم الهوائي الكبير وعن الممانعة الريحية لحركة الهواء العكسية، وتتراوح قيمة هذه التغيرات ضمن  $\pm 20\%$  لكل من مقاومتي الثابت والدوار، أي أنه تم أخذ أعلى تغيرات قد تحصل نتيجة الممانعة الهوائية والريحية لهوائي الرادار بحجمه الكبير البالغ قطره 9m، وقد تم تحصيل العزم والسرعة وفقاً لمنهجية التحكم DTC، كما تم إجراء عملية المحاكاة نفسها، وبالشروط السابقة نفسها، ولعملية المسح القطاعي نفسها، وذلك لطريقة التحكم المباشر بالعزم المطورة بالشبكة العصبونية التي تم توضيحها في الفقرة (6) من خلال برمجة المعادلة (8) وذلك بعد إجراء عملية التدريب للشبكة العصبونية كما هو موضح بالشكلين (8) و (9)، حيث يوضح الشكل (8) منحنى تدريب الشبكة العصبونية، والذي يبين وصول الشبكة العصبونية لأداء عالٍ، حيث بلغت قيمة متوسط مربع الخطأ (Mean Square Error (MSE))  $2.78 \times 10^{-4}$ ، في حين يبين الشكل (9) منحنى الملاءمة، حيث بلغت نسبة الملاءمة 99.999% لكافة البيانات التدريبية والتحقق والاختبار والكلية. يبين الشكلان (10) و (11) السرعة والعزم الناتجين عن تطبيق كلٍّ من منهجيتي DTC و DTC-ANN لإجراء المسح القطاعي لهوائي الرادار، حيث نلاحظ وجود تغيرات وتذبذبات كبيرة في السرعة والعزم عند إجراء المسح القطاعي وفق منهجية DTC، مما يتسبب في زيادة الخطأ الستاتيكي لهذه العملية، وهذه

$f_2$  : تابع تنشيط طبقة الخرج، وهو تابع Linear، ويعطى بالمعادلة الآتية:

$$f_2(x) = x \quad (10)$$



الشكل (6) بيئة الشبكة العصبونية الصناعية المستخدمة لتطوير منهجية التحكم المباشر بالعزم DTC-ANN

### 9- النتائج والمناقشة:

تمت عملية نمذجة محرك هوائي الرادار من خلال برمجة مجموعتي المعادلات من (1) حتى (4) بوساطة برنامج MatLab، حيث إن مواصفات المحرك مأخوذة كما هو مبين بالجدول الآتي:

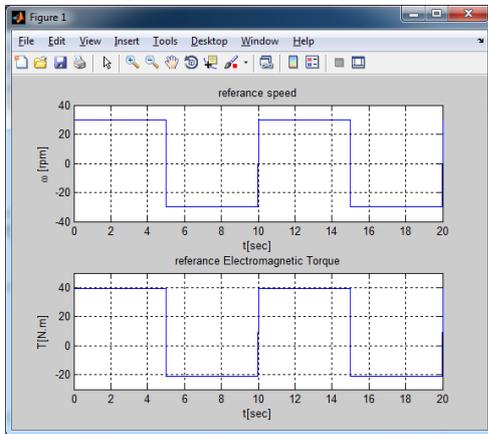
الجدول (4) قيم بارامترات ومواصفاته محرك هوائي الرادار

#### المنمذج لإجراء المسح القطاعي

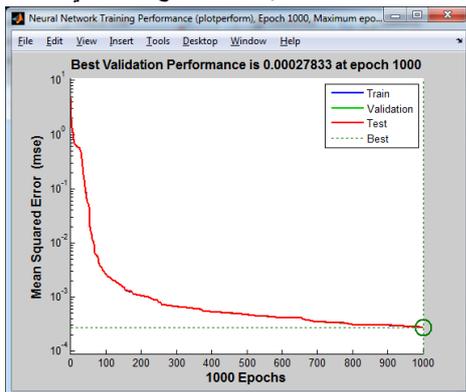
البارامتر	القيمة
الاستطاعة الاسمية	150Kw
الجهد الاسمي	380v
التردد	50Hz
عدد أزواج الأقطاب	2
مقاومة الثابت	14.85mΩ
محاوضة الثابت	0.3027mH
مقاومة الدوار	9.295mΩ
محاوضة الدوار	0.3027mH
عزم العطالة	3.1Kg.m <sup>2</sup>
معامل الاحتكاك	0.08N.m.s

تم إجراء المحاكاة وفق السيناريو الآتي: يتحرك الهوائي ضمن قطاع قدره  $60^\circ \pm$  بعزم ناتج عن حجم الهوائي وممانعة الهواء لحركة المسح القطاعي تقدر 100N.m بسرعة ثابتة قدرها 30rpm، ومن ثمَّ وجود سرعة ثابتة بحركة محرك الكهريائي بالاتجاهين قدرها  $\pm 30$ rpm كما هو مبين بالشكل (7) السرعة والعزم المرجعيان (الأمثلان) المطلوبان لحركة هوائي الرادار القطاعية. تمت عملية نمذجة منهجية التحكم المباشر بالعزم DTC من خلال

(12) و(13) إشارتي الخطأ لكل من العزم والسرعة وفق منهجيتي DTC و DTC-ANN، وقد تم حساب قيمة MSE لكل من إشارتي الخطأ للسرعة والعزم لكل من طريقتي التحكم DTC و DTC-ANN لإجراء المسح القطاعي كما هو مبين بالجدول (5). حيث تبين تفوق طريقة DTC-ANN على DTC والحصول على قيم MSE أقل، مما يعني وجود خطأ ديناميكي وستاتيكي أقل، وإنقاص التآرجح في إشارة العزم مما يسهم بإجراء عملية المسح القطاعي لهوائي الرادار بشكل مرن وناعم.

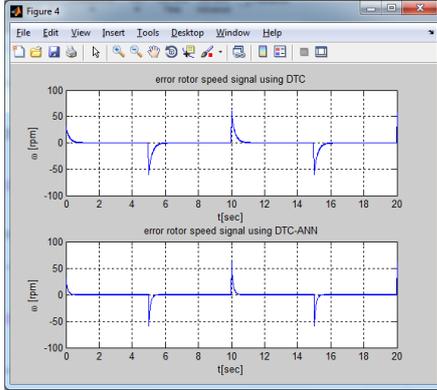


الشكل (7) السرعة والعزم الكهرومغناطيسي المرجعين المطلوبين لإجراء المسح القطاعي.

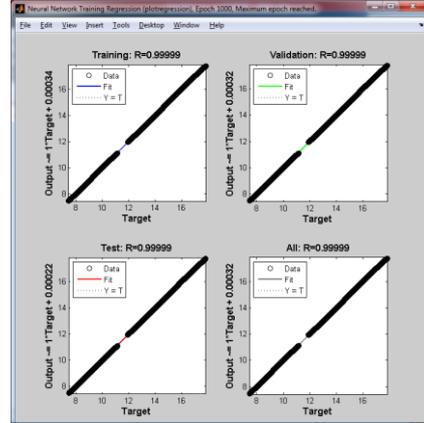


الشكل (8) منحنى تدريب الشبكة العصبونية المستخدمة لتطوير منهجية DTC-ANN

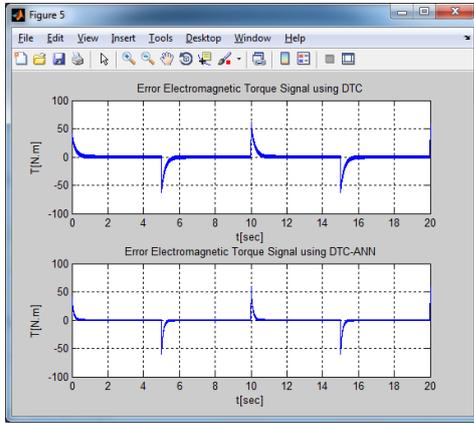
التغيرات أكبر في العزم وأكثر وضوحاً، ويعود سبب ذلك إلى أن تأثير تغير قيمة مقاومة الثابت كبير عند تخمين العزم، حيث يظهر وبشكل واضح في مجموعتي المعادلات (5) و(6) أن قيمة مقاومة الثابت تتعلق بتخمين الفيض الذي بدوره يدخل بتخمين العزم الكهرومغناطيسي، ومن ثم عند تغير الحمولة نتيجة وجود حجم كبير وهو حجم الهوائي الخاص بالرادار ووجود ممانعة ريحية وهوائية أثناء عملية المسح القطاعي لهوائي الرادار، يتم استجرار تيارات كبيرة نسبياً والتي لها أثر حراري يؤدي لوجود تغيرات في مقاومة ثابت محرك هوائي الرادار وعدم ثبات قيمتها، مما ينتج عنه وجود تغيرات في قيمة الفيض المخمن يظهر تأثيره في شكل اضطرابات وتذبذبات في العزم المخمن، لأنه يتعلق بقيمة الفيض المخمن، مما يسبب بالنتيجة زيادة في الخطأ الستاتيكي لعملية المسح القطاعي لهوائي الرادار، وتؤثر هذه الاضطرابات أيضاً في الخطأ الديناميكي أيضاً، وهذا واضح من الشكل (11)، حيث تترافق الاضطرابات مع إشارة العزم أثناء بدء عملية المسح القطاعي، وخلال التبديل من القطاع الموجب إلى القطاع السالب، والانتقالات بين مستويات العزم اللازمة لإجراء المسح القطاعي لهوائي الرادار مسببة تأرجحاً واضحاً في العزم، أما عند إجراء المسح القطاعي وفق طريقة DTC-ANN فنقوم الشبكة العصبونية بتحسين عملية تخمين العزم من خلال تحسين تخمين قيمة الفيض، لأنها تقوم بدور مرشح للتغيرات التي تطرأ على مقاومة الثابت من خلال تخمين القيمة الصحيحة وتقديرها عن طريق قياس التيارات المسحوبة للثابت، مما يؤدي بالنتيجة لتحسين قيمة العزم المطبق على هوائي الرادار لإجراء عملية المسح القطاعي كما هو مبين بالشكل (11) مما يقلل الخطأ الستاتيكي والديناميكي في العزم المخمن مع الحفاظ على السرعة والمساهمة في تقليل الخطأ فيها. يبين الشكلان



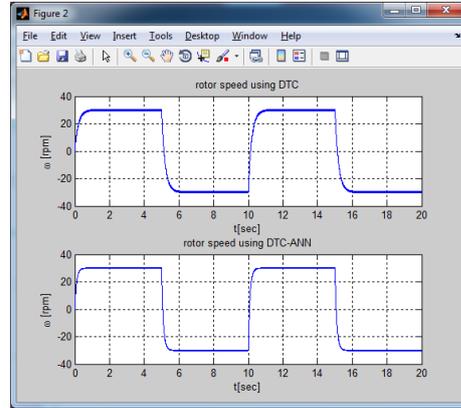
الشكل (12) قيمة خطأ السرعة الناتجة عن تطبيق منهجية DTC و DTC-ANN.



الشكل (9) منحنى الملاءمة للشبكة العصبونية المستخدمة لتطوير منهجية DTC-ANN



الشكل (13) قيمة خطأ العزم الناتجة عن تطبيق منهجية DTC و DTC-ANN.



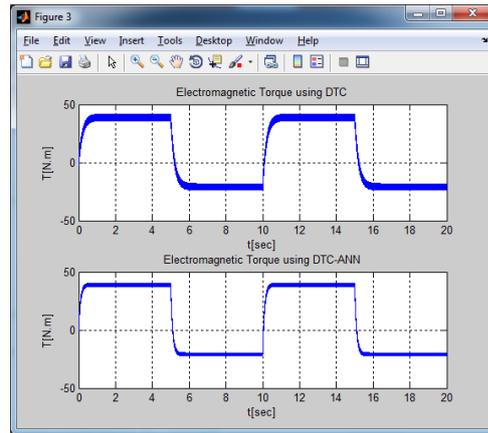
الشكل (10) السرعة الناتجة عن تطبيق منهجية DTC و DTC-ANN لإجراء المسح القطاعي

الجدول (5) قيم MSE كل من السرعة والعزم لكل من

طريقتي التحكم DTC و DTC-ANN

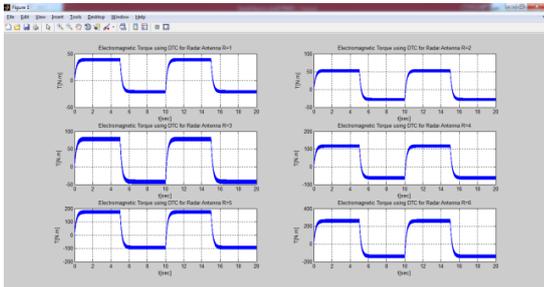
العزم	السرعة	المنهجية
9.03e+03	6.6e+03	DTC
4.01e+03	3.9e+03	DTC-ANN

تم تحليل النتائج من خلال معرفة تأثير تغير حجم هوائي الرادار في إشارات العزوم الكهرومغناطيسية للحفاظ على سرعة مسح قطاعي ثابتة، وهو مقدار السرعة نفسها المبينة في الشكل (10)، بمعرفة مقدار حدوث عملية المسح القطاعي لهوائي الرادار بشكل مرن وناعم، وذلك بتغيير نصف قطر هوائي الرادار من 1m إلى 6m ليشمل مختلف أنواع هوائيات الرادار المستخدمة في محطات



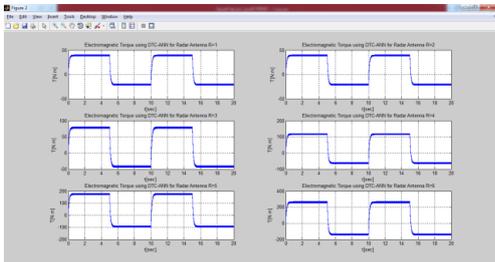
الشكل (11) العزم الناتجة عن تطبيق منهجية DTC و DTC-ANN لإجراء المسح القطاعي لهوائي الرادار

باستخدام الشبكة العصبونية DTC-ANN تكون مقدار زيادة قيمة متوسط مربع الخطأ MSE طفيفة كما هو مبين بالشكل (16)، حيث إن قيمة MSE تبدو أكثر ثباتاً مع تغير قيمة نصف قطر هوائي الرادار، بمعنى آخر إن زيادة حجم الهوائي تؤثر سلباً في عملية الكشف القطاعي بسبب زيادة MSE لإشارات التحكم للعزوم الكهرومغناطيسية لمحرك الرادار، وذلك بسبب زيادة ممانعة الهواء ووزن الهواء عند ازدياد حجمه، والتي تتناسب طردياً مع حجم الهوائي وعكساً مع عملية الكشف القطاعي، في حين عند تطبيق منهجية DTC-ANN تكون قيمة MSE ثابتة تقريباً، ولا تعطي أي تغيرات كما في طريقة DTC أي أن منهجية DTC-ANN تجعل من تغير حجم الهوائي أقل تأثيراً في عملية الكشف القطاعي، وذلك بسبب تكيفها مع التغيرات الناتجة عن زيادة ممانعة الهواء وحجم هوائي الرادار.



الشكل (14) قيمة العزم الكهرومغناطيسي الناتجة عن

تطبيق منهجية DTC وذلك لأحجام مختلفة لهوائي الرادار.



الشكل (15) قيمة العزم الكهرومغناطيسي الناتجة عن تطبيق

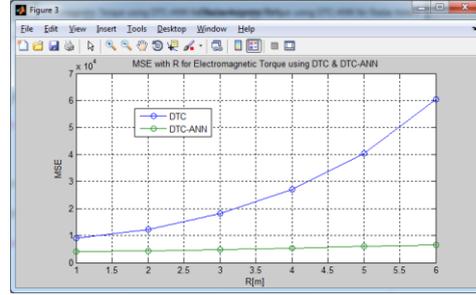
منهجية DTC-ANN وذلك لأحجام مختلفة لهوائي الرادار.

الرادار الروسية كأنواع الرادار p-16 و p-18 و p-35 وغيرها، حيث أنه عند ازدياد حجم الهوائي تزداد مقاومة الهواء الريحية ووزن الهوائي اللذان يزيدان من الحمولة المطبقة على محرك هوائي الرادار، مما يتسبب بوجود تأرجحات وتذبذبات أعلى. يبين الشكلان (14) و (15) قيم العزوم الكهرومغناطيسية لمختلف أحجام هوائي الرادار بدءاً من واحد متر حتى ستة متر، حيث يلحظ وجود تذبذبات وتأرجحات أعلى عند استخدام منهجية DTC في حين تكون هذه التذبذبات والتأرجحات أقل عند تطبيق منهجية DTC-ANN، مما يسهم في إجراء عملية الكشف القطاعي بشكل أنعم وسلس، وعدم فقدان الأهداف المكتشفة، أو التي يتم ملاحظتها من خلال المسح القطاعي، والتي قد يتم فقدانها أو عدم كشفها عند وجود تذبذبات وتأرجحات عالية وتحرك الهدف بسرعة يتمكن من خلالها تجاوز إشارات المسح القطاعي بسبب هذه التأرجحات والتذبذبات.

حتى يتم معرفة مقدار الفرق في التذبذبات والتأرجحات لكل من منهجيتي DTC و DTC-ANN ومدى تأثيرها في عملية المسح القطاعي تم حساب متوسط مربع الخطأ MSE (Mean Square Error) لكافة إشارات العزوم الكهرومغناطيسية التي حصلنا عليها لمختلف حجوم هوائي الرادار بدءاً من 1m حتى 6m المبينة في الشكلين (14) و (15) اللذان يمثلان العزوم الكهرومغناطيسية لكل من منهجية التحكم DTC و DTC-ANN على الترتيب، حيث تبين ازدياد قيمة متوسط مربع الخطأ MSE عند استخدام طريقة DTC مع ازدياد نصف قطر الهوائي R أي مع ازدياد حجمه، مما ينعكس سلباً على عملية الكشف القطاعي، الأمر الذي يؤدي بالنتيجة إلى عدم كشف الهدف أو فقدانه عند ملاحظته بواسطة المسح القطاعي، أما عند تطبيق منهجية التحكم المباشر بالعزم المطورة

## REFERENCES

- [1] S. Muggiasca, F. Ripamonti, D. Rocchi & A. Zasso, "Numerical and experimental investigation on a maritime radar scanner", WIT Transactions on The Built Environment, Vol 105, © 2009 WIT Press
- [2] Rohitha Weerasinghe, Thomas Bunn, " Wind Load Assessment of a Large Radar Antenna using Measurements and Simulation", IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 94 (2017) 012194
- [3] Cengiz Camci, Baris Gumusel," Vortex Shedding from a Ground Tracking Radar Antenna and 3D Tip Flow Characteristics", 2011 Inderscience Enterprises Ltd.
- [4] Xavier RICHARD, Hybrid magnetic-radar detector for space management, Circet, 2020.
- [5] Michael D. Valentine, Stephen R. Scholl, Richard L. Dickerson, Marwan E. Nusair, High probability of intercept radar detector, Valentine Research Inc, 2020
- [6] John Kuhn, Jeff Stevens, Roy Coburn, Timothy A. Coomer, Radar detector with multi-band directional display and enhanced detection of false alerts, ESCORT Manufacturing CORP Escort Inc , 2020
- [7] Huey-Ru Chuang, Chien-Chang Chou, Wen-Chian Lai, Doppler radar sensor with power detector, Sil Radar Technology Inc National Cheng Kung University NCKU Research and Development Foundation, 2020
- [8] ZHANG Linbao,ZHANG Xinghua,SUN Zhenxing, DSP Implementation for DSVN Direct Torque Control of Induction Motors, College of Automation and Electrical Engineering ,Nanjing University of Technology ,Nanjing 211816,China), 2020
- [9] James P. Liautaud, Police radar detector, United States, 2020
- [10] Michael D. Valentine, Clarence R. Groth, Stephen R. Scholl, Marwan E. Nusair, Police radar detector for detecting radar signals and determining the directional origin of the signal source, Valentine Research Inc, United States, 2020
- [11] Douglas N. Holmes, Method and apparatus for automatically dimming motor vehicle headlights using radar signal, Visteon Global Technologies Inc, 2020



الشكل (16) قيمة متوسط مربع الخطأ لإشارة العزم الكهرومغناطيسية لمختلف أحجام هوائي الرادار الناتجة عن تطبيق منهجية DTC و DTC-ANN.

## 10-الخاتمة:

تم في هذا البحث تطوير منهجية التحكم المباشر بالعزم لجعلها قادرة على تخمين العزم مع وجود تغيرات في قيمة مقاومة الثابت من خلال تدعيمها بشبكة ذكاء صناعي تقوم بتقدير قيمة هذه المقاومة بالاعتماد على التيارات المسحوبة لمحرك هوائي الرادار لإجراء عملية المسح القطاعي، مما يسهم في تخمين قيمة الفيض وتحسين عملية التخمين التي بدورها تنعكس إيجاباً على عملية التحكم المباشر بالعزم من خلال تحسين العزم الكهرومغناطيسي وتقليل الخطأ الستاتيكي والديناميكي لعزم محرك هوائي الرادار أثناء إجراء عملية المسح القطاعي وإنقاص التآرجح فيه، مما يؤمن إجراء عملية الكشف القطاعي بشكل أكثر نعومة وسلاسة، وتحقيق انسيابية أعلى على الرغم من وجود ممانعة ريحية وهوائية كبيرتين، بالإضافة لحجم الهوائي الكبير نسبياً. وقد أثبتت منهجية التحكم المباشر المطورة بالشبكات العصبونية تفوقها على التقليدية، لأنها تبدي ممانعة أعلى لتغير حجم الهوائي، وتعطي قيمة متوسط مربع خطأ ثابت تقريباً مما ينعكس إيجاباً على عملية الكشف والمسح القطاعي.

- [12] Hiroyuki Andou, Shigeki Katou, Radar module for radar system on motor vehicle, Honda Motor Co Ltd, 2020
- [13] Tore Toennesen, Frank Gottwald, Thomas Binzer, Radar system for motor vehicles, Robert Bosch GmbH, 2020
- [14] Krause, P.C., O. Wasynczuk, and S.D. Sudhoff, Analysis of Electric Machinery, IEEE Press, 2002.
- [15] Farhan A. Salem, MODELING AND CONTROL SOLUTIONS FOR ELECTRIC VEHICLES, European Scientific Journal May 2013 edition vol.9, No.15 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431
- [16] MUHAMMAD H. RASHID, POWER ELECTRONICS HANDBOOK, University of West Florida, 2016
- [17] Schaltz, Erik, Electrical Vehicle Design and Modeling, Aalborg University Denmark, 2011
- [18] G. Venkata RamaKrishna, TORQUE RIPPLE REDUCTION IN DIRECT TORQUE CONTROLLED INDUCTION MOTOR DRIVE BY USING FUZZY CONTROLLER, National Institute of Technology Rourkela, 2007
- [19] A. Tashakori, M. Ektesabi, Direct Torque Controlled Drive Train for Electric Vehicle, Proceedings of the World Congress on Engineering 2012 Vol II WCE 2012, July 4 - 6, 2012, London, U.K.

Received	2020/06/30	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2020/09/16	قبول البحث للنشر