Performance Improvement of the Robotic Arm using Fractional Order PID

Dr. Abdelelah K. M
Engineering College, University of Mosul/Iraq
Email: abdelelahkm@gmail.com
Rami Younus Fadhil
Engineering College, University of Mosul/Iraq
Email:rameyuens_algrere@yahoo.com

Received on:1/3/2016 & Accepted on:22/6/2016

ABSTRACT

This research is concerned with the study of Fractional order PID controller (FOPID). The fractional order controller (FOPID) is the generalization of the integer order PID controller. Which applied on robotic arm have 5Joints, practically and by simulation utilizing Matlab/Simulink. The Simulink by using tools fomcon version (1.0) has been added to the Matlab program. As well as the building and convert the robot arm of the type robotic arm edge. Practically the realization has been done using microcontroller Arduino which connection Matlab program by using tools box has been added to the Matlab program too. To control the arm joints of the positions that is the human arm simulator. Since the FOPID and PID controller has many parameters, which must be tuned to get the best performance for the robotic arm system so that the robotic arm system simulated in Matlab and interconnected with intelligent optimization method which called Bacterial Foraging Optimization to find the optimal parameter values that minimizing an objective function given as overshoot and Integral of time weighted absolute error (ITAE). The time domain and frequency domain performance for the closed loop the arm joints system compared for both FOPID with conventional PID controller. The obtained results show that the performance of the system with FOPID controller was better than the conventional PID controller.

Keywords: fractional order PID, Optimization Bacterial Foraging, Robot arm.

تحسين الاداء للذراع الالي باستخدام المسيطر التناسبي التكاملي التفاضلي ذي الرتبة الكسرية

الخلاصة

تناول هذا البحث دراسة المسيطر التناسبي التكاملي التفاضلي الكسري الرتبة (FOPID) وتم تطبيقه في السيطرة على ذراع الي من نوع (robotic arm edge) ذو خمسة مفاصل كنمذجة وبالتطبيق العملي . وقد تم النمذجة (المحاكاة) في برنامج Matlab باستخدام أدوات خاصة (fomcon) التي تمت إضافتها الى برنامج Matlab الاصلية للأصدار (1.0). نظرا لاحتواء المسيطران(FOPID) على خمسة معاملات والتقليدي على ثلاث معاملات يستوجب تنغيمها للحصول على أحسن أداء لمنظومة الذراع الالي فقد تم نمذجته وذلك باستعمال المحاكاة باستخدام الأفضلية بطريقة تقنية تغذية البكتريا (BF) لإيجاد القيم المثلى لهذه العوامل التي تحقق القيمة الصغرى لدالتي الهدف (OF) المتمثلة بالقيمتين الصغرى للتجاوز (O.S) ولتكامل الزمن للقيمة المطلقة لأشارة الخطأ(ITAE) في حيز الزمني. وتمت مقارنة الأداء الزمني لمنظومة مفاصل من الأذرع الالية ذات الحلقة المغلقة لكلا النوعين من المسيطرات التقليدي والكسري، وتبين تفوق المسيطر الكسري على التقليدي.

المقدمة

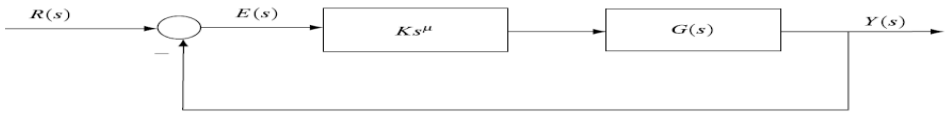
إنَّ تحسين أداء السيطرة على الذراع الالي لها أهمية كبيرة وهي مرتبطة ارتباطا مباشرا بالتطور الحاصل في التطبيقات الصناعية المختلفة والتي استخدمت مؤخراً في المصانع للقيام بالأعمال الروتينية التي تحتاج إلى قوة

https://doi.org/10.30684/etj.34.14A.2
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

عضلية حيث لا تتطلب عمليات أو أنشطة ذهنية معقدة مثل عمليات اللحام والدهان في مصانع السيارات. اتجهت الأنظار إلى الاستخدام الأمثل للذراع الالية؛ لن الذراع الالي هو عبارة عن معدة صناعية يحاكي عملها اليد البشرية التي تتكون من عدة مفاصل لها القابلية على الحركة ضمن مدى محدد. ان الأذرع الآلية التي تمثل أعقد وأهم أجزاء الروبوت، فكلما كان للروبوت عمليات أكثر كلما ازداد التطور التقني للذراع الآلي. حيث يكون الذراع الالي في المصانع جزء من منظومة سيطرة متكاملة مكونة من متحسسات ومتحكمات يمكن برمجتها مسبقا لأداء المهام المناطة بها؛ ولهذا وجب إيجاد منظومات سيطرة حديثة بديلة عن الطرق التقليدية المستخدمة للسيطرة على تلك الاذرع مما دعا خلال العقدين الماضيين إيجاد حلول بديلة عن الطرق التقليدية. إن استخدام التقنيات الذكية مكن الحاسوب من محاكاة بعض علميات الذكاء التي تتم داخل العقل البشري بحيث تصبح لدى الحاسوب المقدرة على حل المشكلات واتخاذ القرارات بأسلوب منطقي ومنظم بطريقه تماثل تفكير العقل البشري. إن استخدام مثل هذه التقنيات في منظومات السيطرة يمكن من خلالها الحصول على أنظمة سيطرة متينة والوصول إلى أفضل الحلول الممكنة. ان العديد من الباحثين قد تطرقوا الى موضوع المسيطر التناسبي التكاملي التفاضلي ذي المرتبة الكسرية ومقارنته من ناحية الأداء والمتانة مع المسيطر التناسبي التكاملي التفاضلي التقليدي وفيما يأتي مجموعة من الدارسات السابقة في عام 2003 درس كل من J. A. Tenreiro Machado& N. M. Fonseca Ferreira استخدام المسيطر. تفيد خوارزمية الأسس الكسرية لنظام السيطرة على (موقع \ القوة) في نظام الروبوت وتم تحليل استجابة النظام في الزمن والتردد لعدة حالات [1]. وفي عام 2006 درس GARY W. BOHANNAN استخدام المسيطر ذو الأسس الكسرية في كل من السيطرة على درجة الحرارة والسيطرة على المحركات حيث استخدم مكونات في الدائرة ذات ممانعة ذات أسس كسرية واظهرت النتائج تقليل الـ (over shoot) وتقليل زمن الاستقرار[2]. وفي عام2011 درس كل من Oguzhan Karahan و Zafer Bingul تنغيم (Tuning) المسيطر الكسري التناسبي والتكاملي والتفاضلي بواسطة الخوارزمية Particle swarm optimization (PSO) حيث تمت مقارنة ثلاثة اجهزة سيطرة (PID) و(FOPID) و(FLC) Fuzzy logic controller و تم التنغيم بواسطة (PSO) للسيطرة على الانسان الالي و بمستويين 2 DOF planar robot حيث كانت نتائج المحاكاة ان المسيطر من نوع (FOPID) ذو أداء جيد وأفضل من (FLC) و (PID)[3] . وفي عام 2012 درس كل من Vineet Shekher& Pankaj Rai & Om Prakash تنغيم وتحليل المسيطر الكسري التناسبي والتكاملي والتفاضلي حيث تم دراسة طريقة تنغيم جديدة للمسيطر الكسري بإيجاد المعاملات لجزء الكسب التناسبي والتكاملي والتفاضلي بواسطة طريقة (Zeigler) و (Nichols) وتصميم المسيطر الكسري FOPID حيث يتم ايجاد أهم معاملان (integrator order) و(derivative order) بحيث تكون استجابة المسيطر الكسري أحسن من المسيطر التناسبي والتكاملي والتفاضلي صحيح المرتبة (PID) على نفس النظام [4].

لتأثيرات العامة للسيطرة ذو الرتبة الكسري والتقليدي

التأثيرات المترتبة بشكل عام على فعل السيطرة الأساسي من نوع Ks^{μ} عندما $\mu \ni [-1، 1]$ لمنظومة ذات دائرة مغلقة كما في الرسم التخطيطي الكتلي (block diagram) في الشكل (1)



الشكل(1) المخطط الكتلي لتأثير نظام السيطرة الكسري الرتبة ذو الحلقة المغلقة

اذ ان تأثير فعل السيطرة الأساسي التقليدي يعتبر حالة خاصة من هذه الحالة العامة، في حالة $\mu=0$ تأثير الفعل التناسبي فقط و$\mu=-1$ تأثير الفعل التكاملي $\mu=1$ تأثير الفعل التفاضلي. كما هو معروف فإن التأثيرات الرئيسية للفعل التكاملي هي تلك التي تجعل النظام أبطأ، تخفض من الاستقرار النسبي ويقلل على الخطأ في الحالة المستقرة للمدخلات التي كان النظام فيه ذو خطأ محدود. ويمكن ملاحظة هذه التأثيرات في حيز الزمن والتردد. في حيز الزمن يكون التأثير على الاستجابة العابرة تخفض من زمن الارتفاع (rise time) والزيادة من زمن الاستقرار (settling time) والتجاوز(overshoot) في المستوى (S-complex plane) يكون تأثير الفعل التكاملي هو تحريك في مواقع جذور النظام نحو نصف الأيمن من المستوى المركب عند رسم المحلل الهندسي (root locus). وأخيرا في حيز التردد تكون هذه التأثيرات هي زيادة في الميل قدره (20 dB/dec−) في منحني الكسب magnitude (curves) مع انخفاض في فرق الطور قدره ($rad\pi/2$). في حالة التكامل كسري الرتبة عندما $\mu \ni (-1، 0)$. في

حالة المسيطر الكسري عند اخذ القيم المتوسطة ل μ ما بين (0,-1) فأن فعل السيطرة يؤدي إلى القضاء على الخطأ في حالة الاستقرار وتنخفض الى ان تصبح إشارة الخطأ صفرا"، مما يؤدي إلى ان يكون النظام أكثر استقراراً. في المستوى المركب للمحلل الهندسي للمنظومة مع تأثير فعل السيطرة يعطى من خلال المعادلة المميزة التالية [1,2, 3,4] .

$$1 + KS^{\mu}G(s) = 0 \quad \ldots\ldots (1)$$

وعند التعبير المكافئ الى منحني المكسب والطور يصبح كما في التعبيرين التاليين

$$|K| = \frac{1}{|S^{\mu}||G(s)|} \quad \ldots\ldots (2)$$

$$\arg[S^{\mu}G(s)] = (2n + 1)\pi, l = 0, \pm1, \pm2, \quad \ldots\ldots (3)$$

مع الأخذ بعين الاعتبار أن

$$S = |S|e^{j\emptyset} \Longrightarrow S^{\mu} = |S|^{\mu}e^{j\mu\varphi} \quad \ldots\ldots (4)$$

بشرط السعة والطور يمكن التعبير عنه بواسطة المعادلتين التاليتين

$$|K| = \frac{1}{|S|^{\mu}|G(s)|} \quad \ldots\ldots (5)$$

$$\arg[S^{\mu}G(s)] = \arg[G(s)] + \mu\varphi = (2n + 1)\pi, l = 0, \pm1, \pm2, \quad \ldots\ldots (6)$$

ان اختيار قيمة μ ∋ (-1، 0) يؤثر على إزاحة المحلل الهندسي لمواقع جذور النظام نحو الجزء الأيمن من المستوى المركب اختيار قيم K لاستيفاء إلى شرط المكسب في حيز التردد حيث أن منحنى الكسب يعطى بواسطة المعادلة التالية[1, 3,4]

$$20\log|S^{\mu}G(s)|_{S=jw} = 20\log[G(s)] + 20\mu\log[w] \quad \ldots\ldots (7)$$

والطور بواسطة المعادلة التالية

$$\arg[S^{\mu}G(s)]_{S=jw} = \arg[G(s)] + \mu\frac{\pi}{2} \quad \ldots\ldots (8)$$

من خلال تغيير استمرار قيمة μ بين -1 و 0، فمن الممكن التحسين المستمر والزيادة في ميل منحنى السعة الذي يتراوح بين قيمتين (−20 dB/dec) و(0 dB/dec) و اضافة فرق طور متأخر وثابت بين قيمتين هما (−π/2 rad) و(0 rad). فيما يتعلق في تأثير فعل التفاضلي فمن المعروف أنه يزيد من استقرار النظام ويظهر تأثيرات الضوضاء في الترددات العالية. في حيز الزمن يعمل على تقليل من التجاوز (overshoot) ويقلل أيضا" من زمن الاخماد (settling time). في المستوى المركب تأثير الفعل التفاضلي يسبب إزاحة المحلل الهندسي لمواقع جذور النظام نحو النصف الايسر من المستوى المركب. في حيز التردد تأثير الفعل التفاضلي يسبب فرق طور ثابت ومتقدم قدره (π/2 rad) وبزيادة في ميل منحني الكسب قدره (20 dB/dec). باتباع إجراءات مماثله المتبعة في الفعل التكاملي من السهل إثبات أن جميع هذه التأثيرات يمكن ترجيحها باختيار الرتبة للفعل التفاضلي وذلك من خلال تحديد μ ∋ (0، 1). وفي المسيطر الكسري عند اخذ قيمة μ ما بين 0 و1. في حيز الزمني تجدر الإشارة إلى أن الفعل التفاضلي لم يكن صفراً للخطأ الثابت ونمو إشارة المسيطر يكون مخمداً بصورة أكبر عندما يحدث تغير في إشارة خطأ، مما يعني أفضل اضمحلال لإشارات الضوضاء عالية التردد. في حيز التردد منحنى السعة يعطى بواسطة المعادلة (7) وفرق الطور (8). كما يمكن ملاحظته من خلال تغيير قيمة μ بين 0 و1 فإنه من الممكن تقديم اضافة ثابتة في ميل منحنى الكسب التي تتراوح ما بين قيمتين (0 dB/dec) و (20 dB/dec) واضافة فرق طور متأخر وثابت والذي يتراوح ما بين (0 rad) و(π/2 rad) [9, 24, 25]

المسيطر التناسبي التفاضلي التكاملي PID الكسري الرتبة

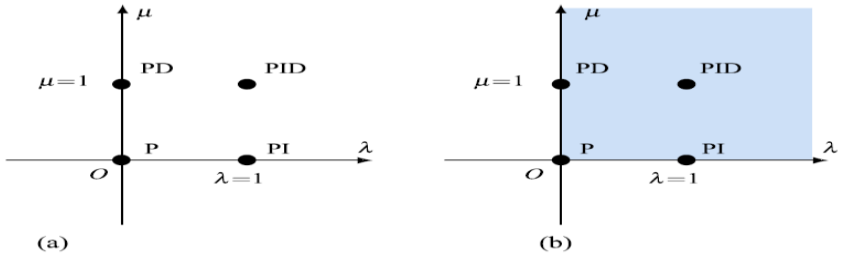
ان المسيطر التقليدي صحيح الرتبة PID دالة النقل يمكن التعبير عنها بواسطة المعادلة.

$$C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = Kp + \frac{Ki}{S} + Kds \quad \ldots\ldots (9)$$

وعند اخذ المسيطر FOPIDوالتي توصف بالمعادلة التكاملية التفاضلية لتحديد تأثيرات السيطرة تعطى من قبل المعادلة التالية

$$u(t) = Kpe(t) + KiD^{\lambda}e(t) + KdD^{\mu}e(t) \quad \ldots\ldots (10)$$

في الشكل(2)[1,4] يظهر مدى معاملات المسيطر كسري الرتبة هو توسيع نقاط السيطرة الأربعة للمسيطر التقليدي PID كما في نقاط السيطرة على مستوى المربع المحدد (كما يظهر في المنطقة المضللة في الشكل) من خلال تحدد قيم λ وμ أي عندما تكون قيم λ وμ تساوي 1 فالمسيطر الكسري يصبح مسيطر تقليدي.



الشكل(2) نقاط السيطرة للمسيطر(a) التقليدي و(b) الكسري الرتبة

نمذجه الأفضلية تغذية بكتريا

Bacterial Foraging Optimization Algorithm(BFOA)

عند النمذجه باستخدام تقنية تغذية بكتيريا القولونية، يجب تحديد السكان (مجموعة) من البكتيريا ومن ثم ينفذون عملية التحفيز الكيميائي وتحشيد وإعادة الإنتاج والاندثار والتفرق. لو أردنا على سبيل المثال إيجاد الحد الأدنى من $J(x), x \in \mathbb{R}^p$. أولا" لنفترض أن x هو موقع لبكتيريا و $J(x)$ تمثل مجتمعة آثار جاذبة وطارد من البيئة معا على سبيل المثال $J(x) < 0, J(x) = 0, J(x) > 0$ يمثل هذا البكتيريا في موقع x هو في البيئات الغذائية الضارة محايدة والغنية على التوالي. في الأساس عملية التحفيز الكيميائي هي سلوك البحث عن الطعام الذي يقوم بتنفيذ نوع من التحسين حيث البكتيريا تحاول تسلق تركيز المواد المغذيات؛ إيجاد قيم أقل وأقل من $J(x)$ وتجنب المواد الضارة، والبحث عن سبل للخروج من بيئة محايد تجنب السلوك في مواقع x حيث $J(x) \geq 0$. تعريف خطوة عملية التحفيز الكيميائي هو أن قفزا" يعقبه قفزا"، أو قفزا" يتبع سباحة. لنفرض ان j يكون مؤشرا" للخطوة الى عملية التحفيز الكيميائي(chemotactic)؛ لنفرض ان k يكون مؤشرا" خطوة الى أعادة الإنتاج (reproduction). لنفرض ان l يكون مؤشرا" لحدث الاندثار او التفرق (elimination-dispersal) حيث

$$P(j,k,l) = \{xi(j,k,l), i = 1,2,\ldots,S\} \quad \ldots(11)$$

نفرض ان Nc يكون طول العمر من البكتيريا كما يقاس بعدد من الخطوات عملية التحفيز الكيميائي يأخذون خلال حياتهم. نفرض

$$C(i) > 0, i = 1,2,\ldots,S, \quad \ldots(12)$$

دلالة لأساسي عملية التحفيز الكيميائي حجم الخطوة التي سوف نستخدم لتحديد أطوال خطوات خلال أشواط تمثيل القفز وحدة طول في اتجاه عشوائي $\varphi(j)$ يتم إنشاؤها وسوف تستخدم هذه لتحديد اتجاه الحركة بعد القفز. نفرض

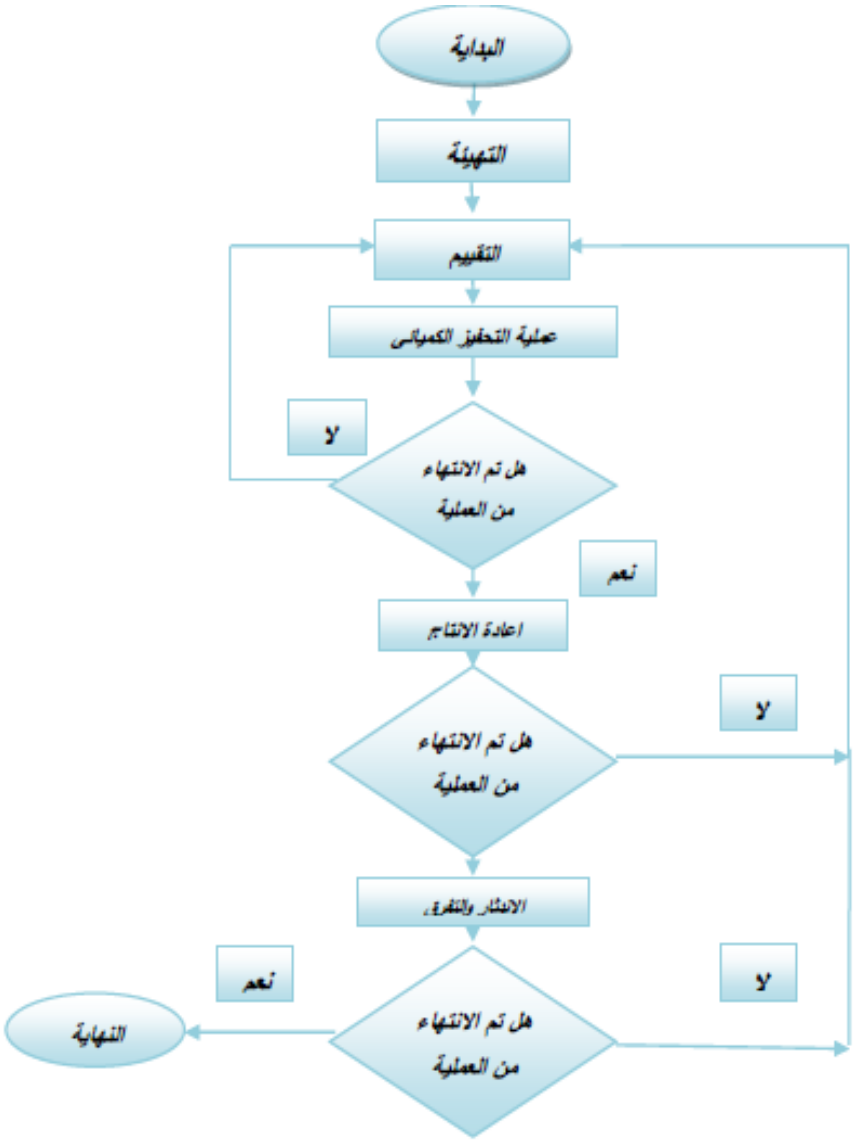
$$xi(j+1,k,l) = xi(j,k,l) + C(i)\varphi(j) \quad \ldots(13)$$

بحيث إن $C(i)$هو حجم الخطوة التي اتخذت في الاتجاه العشوائي المحددة من قبل القفز. إذا في $Xi\ (j+1,k,l)$ التكلفة $J(i,j+1,k,l)$ هو أفضل (أقل) مما كانت عليه في $xi(j,k,l)$ ثم خطوة أخرى من حجم $C(i)$ في هذا الاتجاه نفسه سيتم اتخاذها ومرة أخرى إذا كان ذلك نتج خطوة في موضع بقيمة التكلفة أفضل مما كانت عليه في الخطوة السابقة وآخر يتم أخذ خطوة. واستمرت هذه السباحة الطويلة كما أنها مستمرة في خفض التكاليف ولكن فقط ما يصل الى أكبر عدد ممكن من الخطوات Ns ويمثل هذا أن الخلية سوف تميل إلى الحفاظ على التحرك في حال سدد ضربة في اتجاه بيئات ملائمة على نحو متزايد. بعد N_Cالخطوات عملية التحفيز الكيميائي واتخذت خطوة الإعادة الإنتاج. نفرض ان N_{re} يكون عدد خطوات الإعادة الانتاج التي ينبغي اتخاذها للسهولة نفترض أن S هو عدد موجب وصحيح؛ ونفرض

$$S_r = \frac{S}{2} \quad \ldots(14)$$

يكون عدد السكان الذين لديهم ما يكفي من المواد المغذية بحيث سوف يتكاثرون حيث ينقسم كل واحد الى اثنين مع عدم وجود الطفرات. الاعادة الانتاج والسكان مفروز في ترتيب المتراكمة تصاعدي بالنسبة الى التكاليف حيث أعلى تمثل التكلفة المتراكمة هي التي لم تحصل على العديد من العناصر الغذائية خلال زمن حياتها في البحث عن

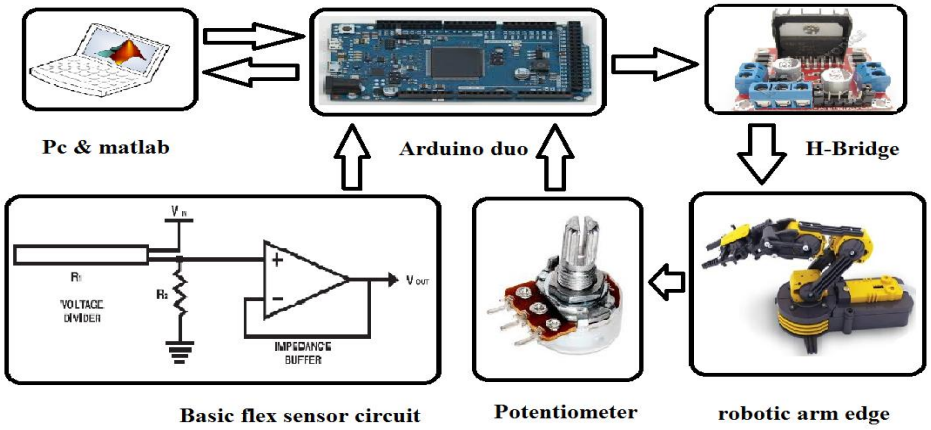
الطعام، وبالتالي ان S_r الاقل صحة تموت وغيرها من البكتيريا S_r أكثر صحة تنقسم الى اثنين من البكتيريا، التي يتم وضعها في نفس الموقع. وكما هو مبين في الشكل (3) المخطط الانسيابي العام لخوارزمية تقنية تغذية بكتريا.



الشكل (3) المخطط الانسيابي العام لخوارزمية تقنية تغذية بكتريا

تنفيذ المنظومة والتطبيق العملي

عند تنفيذ منظومة السيطرة على الذراع الالي باستخدام المسيطر التناسبي التفاضلي التكاملي الكسري الرتبة، وتحقيق السيطرة على الذراع الالي ذي خمسة مفاصل عمليا" من خلال برنامج Matlab بتعشيق مع Arduino الذي بدوره يتواصل بالمكونات الخارجية وكما في الشكل (4) . وأستخدم البيئة الافتراضية للذراع الالي لتمثيل الحركة كما في الذراع البشري.



الشكل (4) مخطط الكتلي للمنظومة العملية للذراع الالي

تعريف هوية دالة الانتقال للمحرك التيار المستمر وتعريف دالة الانتقال للمتحسسات

تم تعرف هوية المحرك والذي دالة النقل له كما في المعادلة التالية[5].

$$G2(S) = \frac{136.9166}{0.012S + 1} \quad \ldots\ldots (15)$$

لإيجاد دالة النقل الى كلا المتحسسين الموقع (potentiometer) (Flex sensor) يستوجب إيجاد علاقة بين تغير بزاوية الدوان وقراءة مقياس الجهد وكما هو مبين بالمعادلة التالية[5].

$$Gs = \frac{\Delta V}{\Delta\theta}\frac{1}{s} \quad \ldots\ldots (16)$$

$$G\mathrm{p} = \frac{(5 - 1.63)}{(270 - 70)}\frac{1}{s} = \frac{0.0182}{s} \quad \ldots\ldots (17)$$

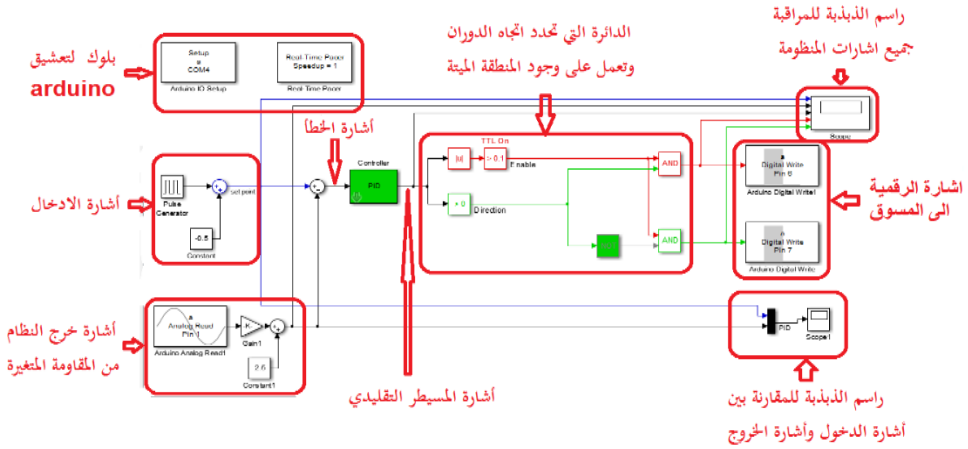
$$G\mathrm{f} = \frac{(2.42 - 1.55)}{(150 - 0)}\frac{1}{s} = \frac{0.0058}{s} \quad \ldots (18)$$

مسوق محرك التيار المستمر

للسيطرة على المحركات التيار المستمر الكهربائية يستخدم دائرة متكاملة H-Bridge للتحكم في اتجاه وحجم الجهد المطبق على الحمل. في هذا البحث نستخدم دائرة متكاملة (IC) نوع L298 .

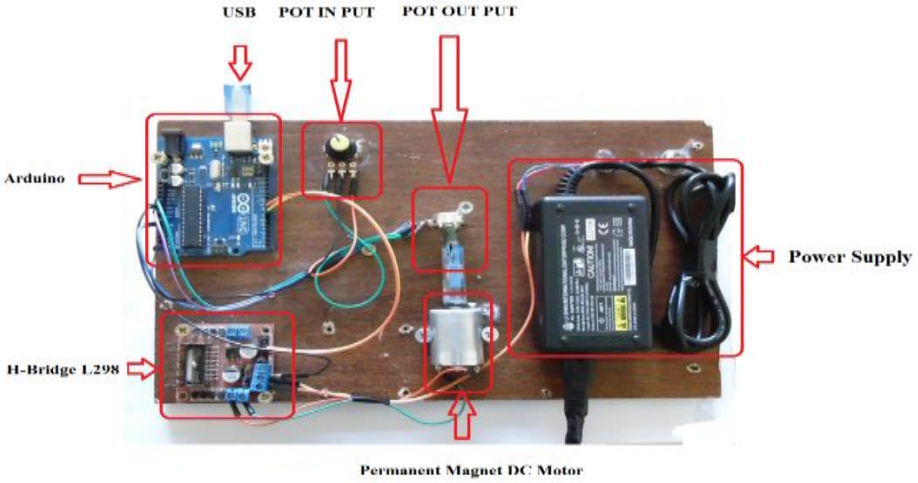
منظومة السيطرة على الذراع الالي عملياً في حالة المسيطر التناسبي التفاضلي التكاملي كسري الرتبة

في الدائرة العملية يتم استخدام اليد البشرية كمدخلات الى الذراع الالي؛ وذلك من خلال المتحسس المرن الذي يوضع على كل مفصل من مفاصل اليد البشرية وفيما يلي عمل الدائرة لمفصل واحد. إن تقنية نموذجية للسيطرة على الطاقة المحولة من مسوق الى المحرك هو عن طريق توليد إشارة PWM (تضمين العرض نبضة). لحصول على الدوران باتجاهين يمكن توليد إشارتين PWM من لوحة Arduino الىH-Bridge [6,7,8] كما هو مبين في الشكل (5).



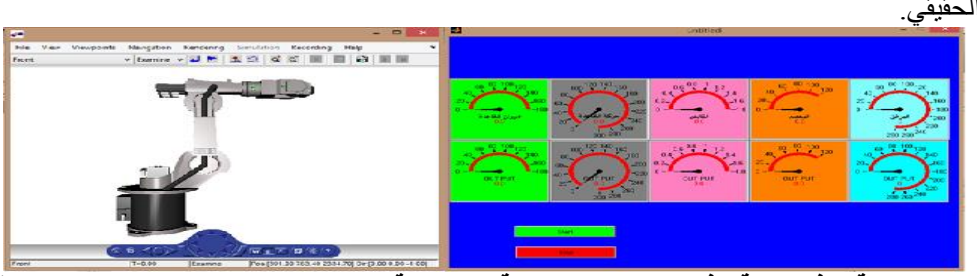
الشكل(5) منظومة السيطرة في بيئة Simulink للبرنامج ماتلاب للسيطرة على مفصل واحد

وقد استخدم المنطقة ميتة (Dead Zone) لتجنب حدوث دوائر قصر على H-Bridge مع الأحمال الحثية أثناء تبديل الاتجاه. تكون الدائرة العملية مغلقة للسيطرة على مفصل واحد بدون صندوق تعشيق التي سميت في البحث بمنظومة الاختبار كما مبينة في الشكل (6).

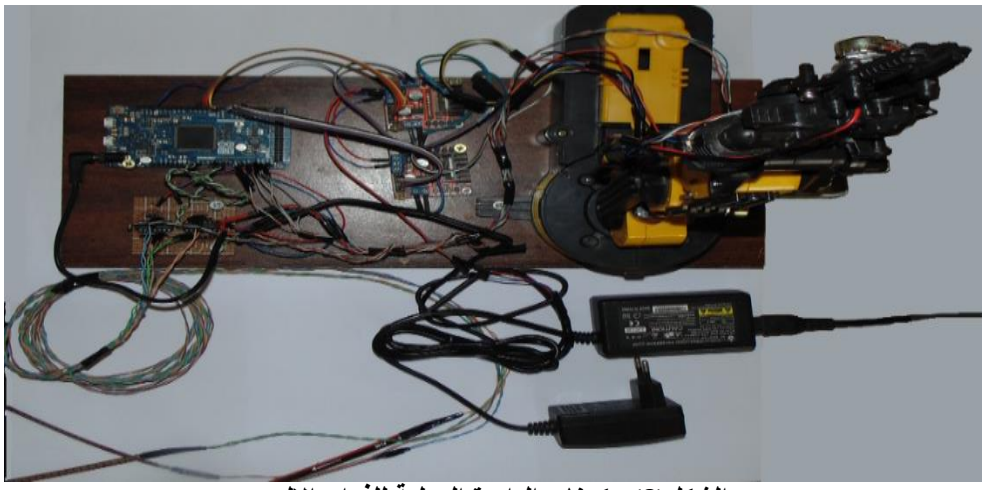


الشكل (6) مكونات الدائرة العملية لمنظومة الاختبار.

ونفس الاسلوب في السيطرة مطبقة في منظومة لاختبار على كل مفاصل الذراع الالي واضيفت اليها واجهة رسومية (gui) تحتوي على عدد من مقايس تبين إشارة القادمة من مقاومات المتغيرة ولمتحسس المرن وتحول القيم الى زوايا من ثمة عبر استخدام في برنامج ماتلاب s-function لعمل تعشيق بين بيئة simlink و m-file حيث ان كلا من المقايس المبينة في الشكل (7) مع الذراع الالي لافتراضي يكونا معشقين مع الذراع الالي الحقيقي بالزمن الحقيقي.



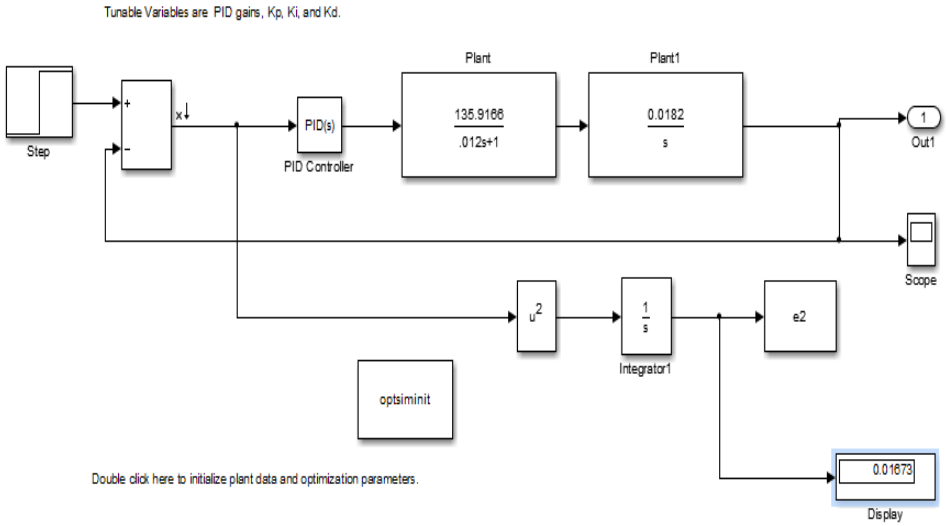
الشكل(7) البيئة الافتراضية للذراع الالي و الواجهة الرسومية مقايس لإدخال والإخراج إشارات التماثلية.



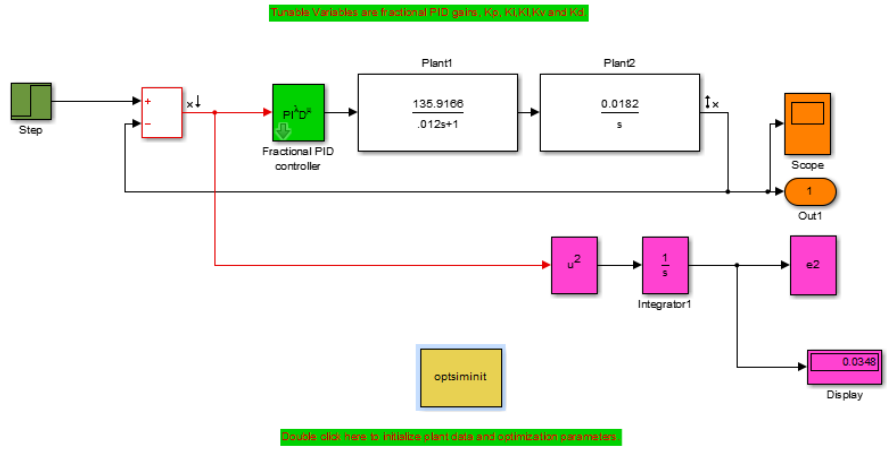
الشكل(8) مكونات الدائرة العملية للذراع الالي.

تصميم المسيطر التناسبي التكاملي التفاضلي التقليدي والكسري باستخدام تقنية تغذية بكتريا .

تم تصميم بواسطة النمذجة (المحاكاة) في برنامج Matlab للسيطرة على منظومة مفصل واحد من الذراع الالي وتم إيجاد قيم العوامل للمسيطر بالاستناد على دالة الانتقال النظام الى كل من المحرك والتروس وداله تحويل المقاومة المتغير معا" التي ممثله في مجال s ودخالها ضمن حلقة السيطرة مغلقة. هي مبنية في الشكل (9) للمسيطر التقليدي والشكل (10) للمسيطر الكسري الرتبة واخذ من إشارة الخطاء عينة من ثم اخذ لها القيمة المطلقة وذلك بتربيعها واخذ تكامل بعدها لحسابة حجم الخطاء الموجود خلال فترة من الزمن وكذلك أخذ أعلى قيمة في إشارة الخرج من ثمة طرحها من إشارة الدخل التي هي واحد إيجاد نسبة التجاوز (O.S) وجمهما في الدالة F التي تكون اقل قيمة فيها هي قيمة الأفضلية.

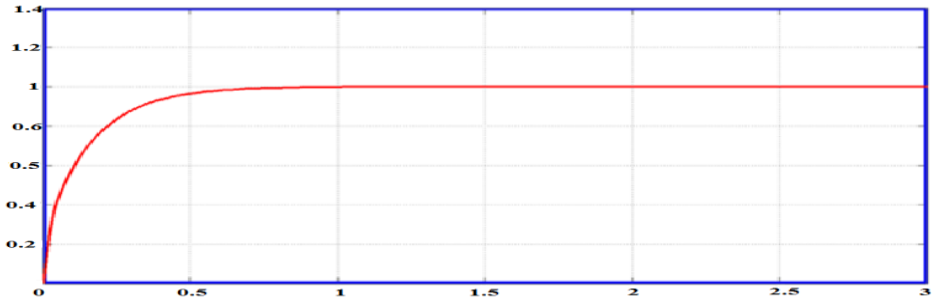


الشكل (9) منظومة السيطرة للمفصل واحد بواسطة المسيطرPID التقليدي باستعمال النمذجة بواسطة برامج Matlabالذي يعتمد عليه برنامج تغذية البكتريا.

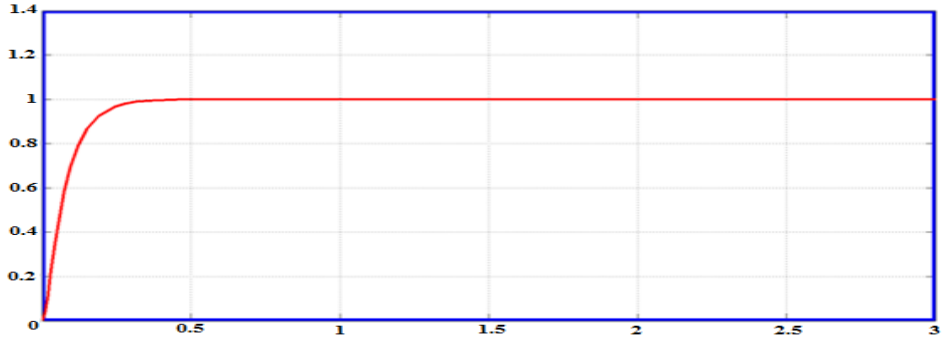


الشكل (10) منظومة السيطرة للمفصل واحد بواسطة المسيطرFOPID باستعمال النمذجة بواسطة برامج matlab الذي يعتمد عليه برنامج تغذية البكتريا.

عند تنفيذ البرنامج يتم اختيار اقل دالة من ثم كتابة معاملات التي حققت هذه الدالة الهدف في common window كما هي في الجدول (1). ان استجابة دالة الخطوة للمنظومة بعد ما تم إيجاد قيم المعاملات كما في الشكلين التاليين.



الشكل (11) محاكاه استجابة في حيز الزمن للدالة الخطوة للمنظومة عند استخدام المعاملات المثلى للمسيطر التناسبي التفاضلي التكاملي التقليدي.



الشكل (12) الاستجابة في حيز الزمن لدالة الخطوة لمحاكات المنظومة عند استخدام المعاملات المثلى للمسيطر التناسبي التفاضلي التكاملي كسري الرتبة.

الجدول(1) ناتج برنامج تغذية البكتريا للقيم المثلى للمسيطر التقليدي والكسري الرتبة للمحرك منظومة الاختبار (G2).

	Kp	Kd	Ki	lambda	mu
PID (G2)	13.3210	0.1476	0.4046	/	/
FOPID(G2)	7.0188	0.0384	0.0302	0.397	0.6708

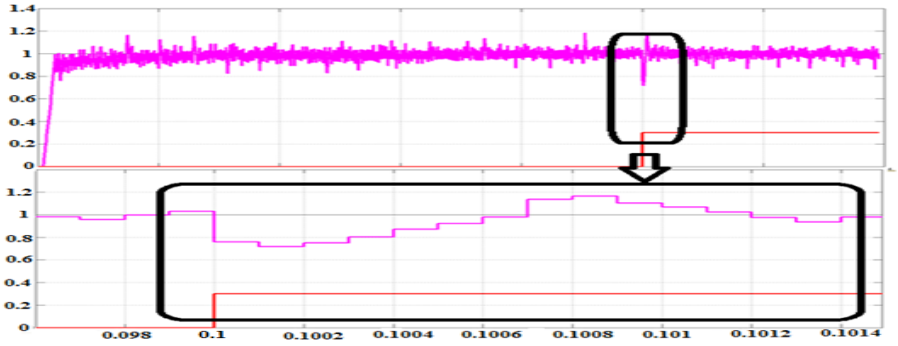
فقد تم الحصول على المواصفات الزمنية للقيم المثلى للمسيطر وكما في الجدول (2) لمنظومة الاختبار.

الجدول (2) ناتج المحاكاة لخصائص أداء المنظومة بتطبيق القيم المثلى للمسيطر التقليدي والكسري

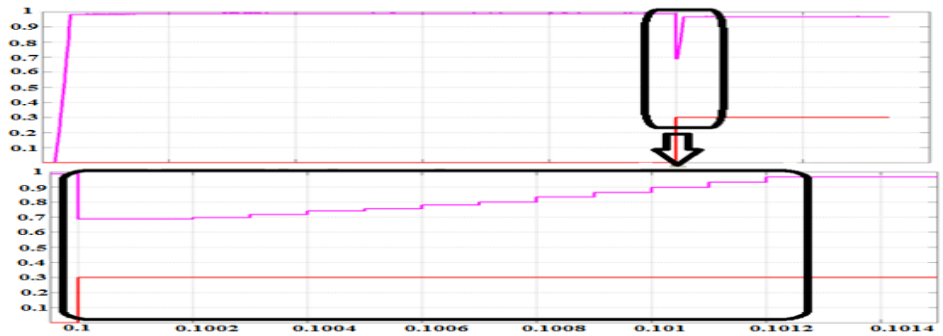
	Rise Time Sec	Settling Time Sec	Overshoot%	ITAE
PID(G2)	0.03	0.14	0%	0.01673
FOPID (G2)	0.07	0.17	0%	0.0348

فحص منظومة الاختبار عملياً في حالة المسيطرالتقليدي و الكسري الرتبة باستخدام المعاملات ناتجة من برنامج تغذية بكتريا.

تم فحص عملياً بواسطة برنامج ماتلاب معشق مع اردنيو في الزمن الحقيقي مع منظومة الاختبار وكما هو مبينة في الشكل (6) وتم رسم الاستجابة الزمنية لإشارة التغذية الخلفية (FB) كما هو مبين في الشكلين (13) للمسيطر التقليدي و (14) للمسيطر الكسري عندما تكون دالة الخطوة هي إشارة الادخال مع وجود اضطراب عند الزمن (0.1Sec).



الشكل (13) استجابة العملية في حيز الزمن للدالة الخطوة للمنظومة مع وجود اضطراب عند الزمن (0.1Sec) و استخدام المعاملات المثلى للمسيطر التناسبي التفاضلي التكاملي التقليدي.



الشكل (14) استجابة العملية في حيز الزمن للدالة الخطوة للمنظومة عند استخدام المعاملات المثلى للمسيطر التناسبي التفاضلي التكاملي كسري الرتبة مع موجود اضطراب.

كانت نتائج الفحص العملي الى كلا المسيطرين كما في الجدول (3).

الجدول (3) ناتج العملي لخصائص أداء المنظومة بتطبيق القيم المثلى للمسيطر التقليدي والكسري الرتبة .

	Rise Time Sec	Settling Time Sec	Overshoot%	Steady state error	Time of refused disturbance Sec
PID(G2)	0.015	0.06	0.1%	2%	0.0013
FOPID(G2)	0.03	0.04	0%	0%	0.001

مقارنة النتائج العملية مع نتائج المحاكاة

يتبين من الإشكال السابقة بان النتائج العملية مع نتائج المحاكاة متطابقة مع بعضها والى حد كبير .وهذا يشير إلى أن النموذج المبني باستخدام الحاسوب للمنظومة قريبة جدا الى الواقع العملي الحقيقي .وان الاختلاف في بعض النتائج كان لبعض الأسباب مثل التأخير الزمني الحاصل في بطاقة Arduino حيث قمنا بأرسال موجة مربع من pin digital واستلامها مباشرpin analog تبين وجود زمن تأخير عملياً قليل جداً من الممكن اهماله وكذلك ارتفاع الحرارة في المسوق وفي المقاومة والمحاثة الملف محرك التيار المستمر وحالة التشبع للمحرك الغير محسوب تأثيرها في المحاكاة وهذه الأمور أعطت بالنتيجة نسبة من الخطأ في القراءات التي تم الحصول عملياً. إن دالة الهدف الى برنامج تغذية البكتريا هو تقليل الى اقل حد من نسبة التجاوز وتقليل نسبة الخطاء المحدود في حالة الاستقرار هذا ما حقق بالمحاكاة الى كلا المسيطرين. لكن في حالة العملية فإن المسيطر الكسري اثبت كفاءة على عكس المسيطر التقليدي في تقليل الخطاء المحدود في حالة الاستقرار وكذلك اقل زمن الى رجوع الى حالة الاستقرار في حالة وجود اضطراب وانه أكثر متانة.

الاستنتاجات

في هذا البحث تم دراسة خصائص التأثيرات المترتبة على فعل السيطرة الأساسي المسيطر التناسبي التكاملي التفاضلي ذي الرتبة الكسرية FOPID و المسيطر التناسبي التكاملي التفاضلي التقليديPID في الحيز الزمني . وسخر برامج الماتلاب لتحقيق المسيطر الكسري بحيث يتم التنغيم بصورة مباشرة لمنظومة الذراع الالي ، ومن خلال استخدام طريقة متطورة لتنغيم معاملات كلا المسيطرين FOPID وPID وتدعى تقنية تغذية البكتريا(BF) لتحقيق الامثلية، وقد تم بناء برنامجها بحيث يحاكي ويحقق خورازمية (BF) في برامج ماتلاب m-file والمحققة لاقل قيمة لدالة الهدف O.F. وان القيم المثلى التي تم الحصول عليها التي تمثل معاملات كلا المسيطرين والتي حققت اقل قيمة لدالة الهدف من خلال تنفيذ برنامج تقنية تغذية البكتريا والتي أعطت احسن استجابة للنظام. وقد تم مقارنة استجابة الخطوة لكلا المسيطرين ونلاحظ ان المسيطر الكسري الرتبة FOPID و المسيطر التقليدي PID يحققان استجابة جيدة . وقد تم بناء منظومة عملية للسيطرة على الموقع لمحرك تيار مستمر المستخدم في الذراع الالي وتم بناء المسيطر الكسري من خلال استخدام بطاقة اردينو Arduino والتي تعمل كبطاقة بيانات بين برنامج MATLAB في بيئة المحاكاة Simulink في الحاسوب والذراع الالي .وتم اختبار كلا المسيطرين الكسري الرتبة FOPID ووالتقليدي PID عملياً واثبت ان المسيطر التناسبي التكاملي التفاضلي ذي الرتبة الكسرية أفضل من حيث الاستقرارية والمتانة واكفاء في رفض الاضطراب بالمقارنة مع المسيطر التقليدي.

REFERENCE

[1] N. M. Fonseca Ferreira, J. A. Tenreiro Machado," Fractional-Order Position/Force Control of Two Cooperating Manipulators", IEEE, International Conference on Computational, Cybernetics, Hungary,2003.

[2] GARY W. Bohannan ,"Analog Fractional Order Controller in Temperature and Motor Control Applications" , Journal Of Vibration and Control, 2008.

[3] Zafer Bingul, Oguzhan Karahan," Tuning of Fractional PID Controllers Using PSO Algorithm for Robot Trajectory Control",IEEE, International Conference on Turky,p.p.955-960,2011.

[4] Vineet Shekher, Pankaj Rai, Om Prakash" Tuning and Analysis of Fractional Order PID Controller", International Journal of Electronic and Electrical Engineering, ISSN 0974-2174, Volume 5, pp. 11-21 , 2012
[5] Blas M. Vinagre , Concepción A. Monje,"Advances in Industrial Control " , springer ,London,2012.
[6] Veysel Gazi , Kevin M. Passino "Swarm Stability and Optimization", springer , USA ,2011
[7] Hadi Ramezanian , Saeed Balochian ," Optimal Design a Fractional-Order PID Controller using Particle Swarm Optimization Algorithm",wiley,Canda, 2013
[8] Dr. Alauldin Noori Ahmed ," Solutions of Dynamic Fractional Order Differential Algebraic Equations System", Eng. & Tech. Journal, Science College, University of Al-Nahrain/ Baghdad , Vol.29, No.3, 2011.
[9] زيدان رشيد مجيد ,"A study of the Performance of Steady State for Permanent Magnet D.C Motors", Diala Journal,Iraq , Volume - 36 , 2009
[10] Mohammed A. Qassem, Iyad Abuhadrous , Hatem Elaydi ,"Modeling and Simulation of 5 DOF Educational Robot Arm",IEEE,2015
[11] Concepción A. Monje , YangQuan Chen, Blas M. Vinagre , Dingyü Xue , Vicente Feliu," Fractional-order Systems and Controls", Springer, ,London Limited ,2010
[12] Ivo Petras ,"Fractional-Order Nonlinear Systems", Springer, Berlin, 2011.
[13] Teodor M. Atanacković, Stevan Pilipović, Bogoljub Stanković, Dušan Zorica," Fractional Calculus with Applications in Mechanics", Wiley, USA, 2014.
[14] Fabrizio Padula, Antonio Visioli,"Advances in Robust Fractional Control", Springer, NewYork, USA, 2015.
[15] Duarte Vale´ rio & Jose´ Sa´ da Costa,"An Introduction to Fractional Control", The Institution of Engineering and Technology, London United Kingdom,2013.
[16] Ying Luo, YangQuan Chen ,"Fractional Order Motion Controls", Wiley, India, 2013.
[17] Shantanu Das "Functional Fractional Calculus", Springer, Berlin, 2011
[18] Bijnan Bandyopadhyay, Shyam Kamal ,"Stabilization and Control
of Fractional Order Systems: A Sliding Mode Approach", Springer, London, 2015
[19] Dan Simon"EVOLUTIONARY OPTIMIZATION ALGORITHMS",wiley, Canda,2013
[20] www. fomcon.net.