

## تصميم نظام تحكم PID الضبابي الهجين للتحكم بحركة الرافعات المتحركة المؤتمتة للحد من تأرجح الحمل

عبد الرزاق دبور\*

(تاريخ الإيداع 7 / 7 / 2013. قُبل للنشر في 13 / 11 / 2013)

### ▽ ملخص ▽

يتضمن هذا البحث دراسة الرافعات المتحركة المؤتمتة للحد من حالات انقلابها والتي غالباً ما تحدث بسبب تأرجح الحمل مما يتطلب وجود نظام تحكم بموضع الرافعة لوصولها إلى الموضع المحدد وإلى نظام تحكم آخر للتقليل من تأرجح الحمل قدر الإمكان أثناء حركة الرافعة. وعلى الرغم من تطور أنظمة التحكم التي تضبط عمل وأداء هذه الرافعات إلا أن تكرار حوادث الانقلاب في هذه الرافعات قادنا للبحث عن نظام تحكم ضبابي هجين ومقارنته بنظام تحكم PID بحيث يقوم على تحسين أداء عمل هذه الرافعات من خلال الحد من تأرجح الحمل والتحكم بالموضع الدقيق للرافعة. تم نمذجة المتحكم التناسبي التكاملي التفاضلي (PID) والمتحكم التناسبي التكاملي التفاضلي الضبابي (Hybrid Fuzzy PID Controller) باستخدام برنامج MATLAB ومقارنة النتائج بهدف الحصول على أفضل نظام تحكم للرافعة.

الكلمات المفتاحية : نمذجة الرافعات , المتحكم الضبابي , المتحكم التناسبي التكاملي التفاضلي. تأرجح الأحمال  
Matlab ,

\* قائم بالأعمال معاون - قسم الميكاترونك - كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## Designing Hybrid Fuzzy PID Controller For Automated Mobile Cranes To Reduce Payload Swaying

Abd Alrazzak Dabbour \*

(Received 7 / 7 / 2013. Accepted 13 / 11 / 2013)

### ▽ ABSTRACT ▽

This search includes studying of automated mobile cranes to reduce incidence of inverting which often happens due to payload swaying that requires controlling system at the crane's site to reach Target position and another controlling system to reduce payload swaying as possible while the crane is in motion.

Despite the development of controlling systems that adjust the operation and functions of these cranes, the repetition of accidental tips in these cranes lead us to look for hybrid fuzzy controlling system comparing it with PID controlling system. So, it will improve the performance of these cranes through the reduction of payload swaying and precise control of crane's position.

The PID controller and Hybrid Fuzzy PID controller were simulated using Matlab Software and the results were compared to reach the best controlling system for the crane.

**Keywords:** Cranes Simulation, Fuzzy Logic Controller, PID Controller, Payload Swaying, Matlab.

---

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

**مقدمة :**

أصبح من الشائع جداً رؤية الرافعات في المعامل والمصانع والمنشآت الصناعية والتي تستخدم بشكل رئيسي لرفع ونقل الأحمال الكبيرة إلى الموقع المطلوب بأسرع وأدق شكل ممكن [1].

لقد صممت رافعات ضخمة بإمكانها نقل ورفع أحمال ضخمة مما أدى بشكل ملح إلى ضرورة وجود نظام تحكم فعال للحد من تأرجح الحمل مما يؤدي إلى ظروف تشغيل أكثر أمناً كما يجب أن يسهم هذا النظام بالتقليل من الحوادث الناتجة عن الأخطاء البشرية.

حيث من الضروري جداً إبقاء تأرجح الحمل أثناء حركة الرافعة ضمن الحدود الدنيا قدر الإمكان وإلا فإن تأرجح الأحمال الضخمة ممكن أن يؤدي إلى ضرر في الحمل نفسه عدا عن خطر انقلاب الرافعة بالإضافة إلى الخطر الأكبر وهو إمكان إلحاق الأذى بمشغل الرافعة أو الأشخاص المتواجدين بالقرب من الرافعة [2].

**اهمية البحث وأهدافه :**

تكمن أهمية البحث من خلال إيجاد نظام تحكم قادر على تحسين أداء الروافع الخاضعة لتأرجح الأحمال بما يضمن سلامة وأمان هذه الروافع والطواقم العاملة معها.

و بالتالي فإن الهدف من هذا البحث تطوير نظام التحكم التناسبي التكاملي التفاضلي الضبابي ( Hybrid Fuzzy PID Controller) للتحكم بموضع العربة والتحكم بتأرجح الحمل ومقارنة النتائج مع المتحكم التناسبي التكاملي التفاضلي التقليدي (PID), وذلك باستخدام برنامج MATLAB R2012a.

**طرائق البحث ومواده :**

وفي هذا البحث سوف يتم دراسة الحركة المستقيمة للرافعة وفق المراحل التالية :

**(1) الدراسة النظرية :**

وفي هذه المرحلة تتم نمذجة الرافعة وتحويلها إلى معادلات رياضية.

**(2) دراسة المتحكم التناسبي التكاملي التفاضلي (PID) :**

في هذه المرحلة سوف نقوم بتصميم متحكم (PID) للتحكم بموضع الرافعة ومن ثم إضافة متحكم (PID) للتحكم بزواياة التآرجح.

**(3) دراسة المتحكم التناسبي التكاملي التفاضلي الضبابي الهجين :**

في هذه المرحلة سوف نقوم بتصميم المتحكم الهجين (Hybrid Fuzzy PID Controller) للتحكم بموضع الرافعة ومن ثم إضافة متحكم (Hybrid Fuzzy PID Controller) للتحكم بزواياة التآرجح.

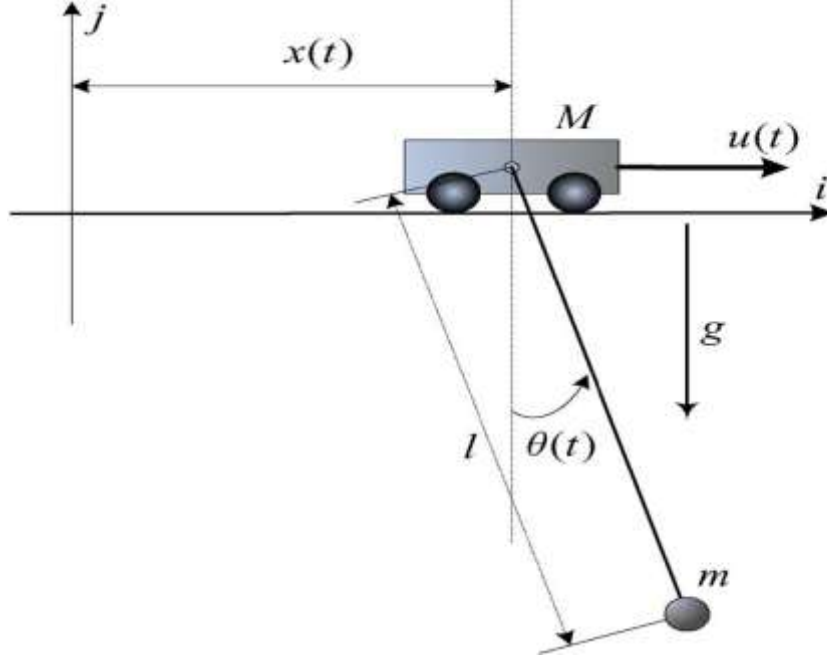
**(4) المقارنة :**

وفي هذه المرحلة سوف نقوم بمقارنة النتائج بين نظامي التحكم السابقين وذلك بهدف الحصول على أفضل نتائج ممكنة, حيث تم استخدام برنامج ال MATLAB R2012b لتنفيذ المرحلتين الثانية والثالثة.

## النتائج و المناقشة :

## 1) الدراسة النظرية :

بما أن الرافعات ذات تصميم معقد بالإضافة إلى تعقيد مكوناتها وتنوع أشكالها وأحجامها ومهامها فإننا سوف نعتمد على الدراسات السابقة لدراسة النموذج الميكانيكي للرافعة والموضح بالشكل (1) للحصول على المعادلات الرياضية التي تصف حركة الرافعة أثناء الحركة المستقيمة بحركة عربة ونواس معلق بها [3].



الشكل (1): التمثيل التخطيطي للرافعة في مستوي ثنائي البعد

وبالتالي تكون المعادلات التي تصف الرافعة هي المعادلات التالية (1)(2)(3)

$$F_x = (M + m)\ddot{x} + ml\ddot{\theta}$$

1)

$$l\ddot{\theta} + \ddot{x} + g\theta = 0$$

2)

$$F_l = m\ddot{x}\theta - mg$$

3)

بحيث :

$l$ : طول الحبل.

$F_x$ : القوة المؤثرة في العربة.

$g$ : تسارع الجاذبية الارضية.

$F_l$ : القوة المؤثرة في الحبل.

$\ddot{\theta}$ : تسارع زاوية تأرجح الحمل.

$M$ : كتلة العربة.

$\theta$ : زاوية تأرجح الحمل.

$m$ : كتلة الحمل.

## تمثيل المعادلات السابقة في المجال اللاپلاسي :

لتمثيل المعادلتين (1) و(3) في المجال  $s$  يتم استخدام تحويل لابلاس و باعتبار الحالة الابتدائية مساوية الصفر و بالتالي تصبح المعادلتان السابقتان على الشكل التالي

$$F_x(s) = (M + m)s^2X(s) + mls^2\theta(s) \quad (4)$$

$$ls^2\theta(s) + s^2X(s) + g\theta(s) = 0 \quad (5)$$

وبإعادة ترتيب المعادلتين السابقتين تكون النتيجة كالتالي :

$$\theta(s) = -\frac{s^2X(s)}{ls^2 + g} \quad (6)$$

$$X(s) = -\frac{ls^2\theta(s) + g\theta(s)}{s^2} \quad (7)$$

ويتقسيم المعادلتين (4) و(7) تكون النتيجة وفق التالي:

$$\frac{X(s)}{F_x(s)} = \frac{ls^2 + g}{mls^4 + s^2g(M + m)} \quad (8)$$

ويتقسيم المعادلتين (4) و(6) تكون النتيجة وفق التالي:

$$\frac{\theta(s)}{F_x(s)} = \frac{1}{mls^2 - g(M + m)} \quad (9)$$

وسوف نفرض أن الرافعة سوف تتم من خلال نظام Bang Coast Bang أي أن الحركة سوف تتم على ثلاث مراحل:

-مرحلة تسارع (قيمة تسارع موجبة)

-مرحلة سرعة ثابتة (تسارع معدوم)

-مرحلة تباطؤ (قيمة تسارع سالبة)

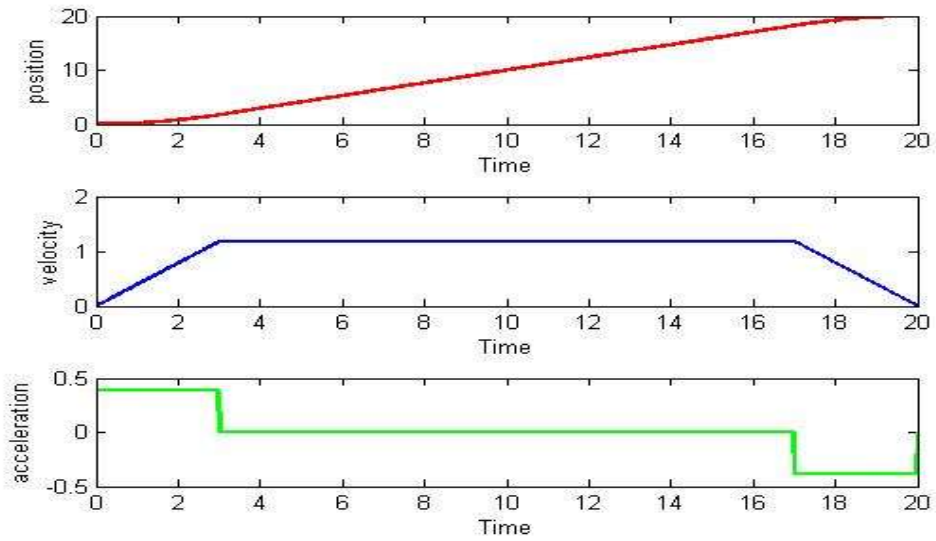
وبما أن العربة مؤتمتة أي أنها يجب أن تقطع مسافة محددة خلال زمن محدد وسوف نفرض في هذا البحث

أن:

-المسافة الواجب قطعها 20 M

-يجب قطع المسافة خلال 20 sec

و بالتالي تكون مخططات الموضع و السرعة و التسارع بدلالة الزمن وفق الشكل(2)



الشكل (2): منحنيات المسافة و السرعة و التسارع المطبقة في الدراسة بدلالة الزمن

## 2) دراسة المتحكم التناسبي التكاملي التفاضلي (PID):

إن تصميم نظام تحكم فعال هو الطريقة الأنسب للحد من تأرجح الحمل وبالتالي الحد من الاهتزازات التي تؤثر على استقرار الرافعة. توضح المعادلة (10) دالة التحويل للمتحكم التناسبي التكاملي التفاضلي (PID) والذي من يعتبر من أشهر أنظمة التحكم [2].

$$G_c(s) = K_P + K_I/s + K_D s$$

10)

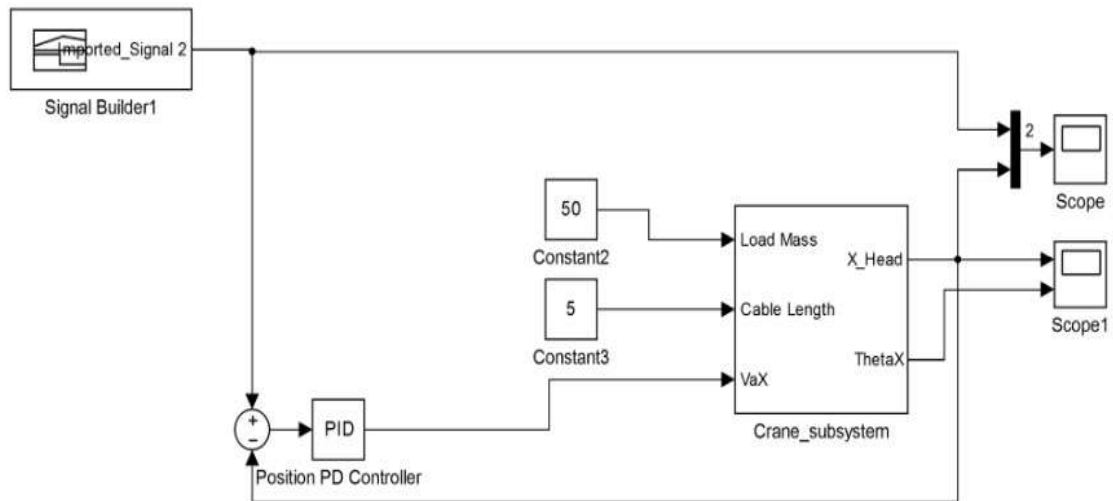
بحيث :

$K_P$ : ثابت الربح التناسبي

$K_I$ : ثابت الربح التكاملي

$K_D$ : ثابت الربح التفاضلي

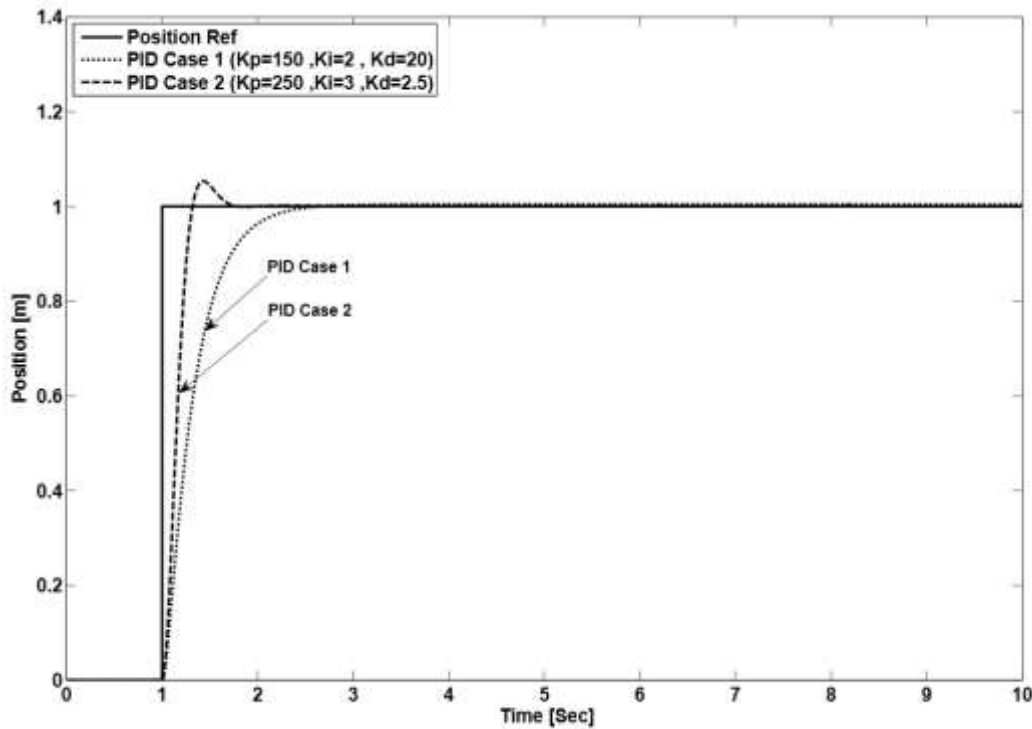
بإضافة متحكم PID للتحكم بموضع الرافعة يكون مخطط النظام وفق الشكل (3)



الشك

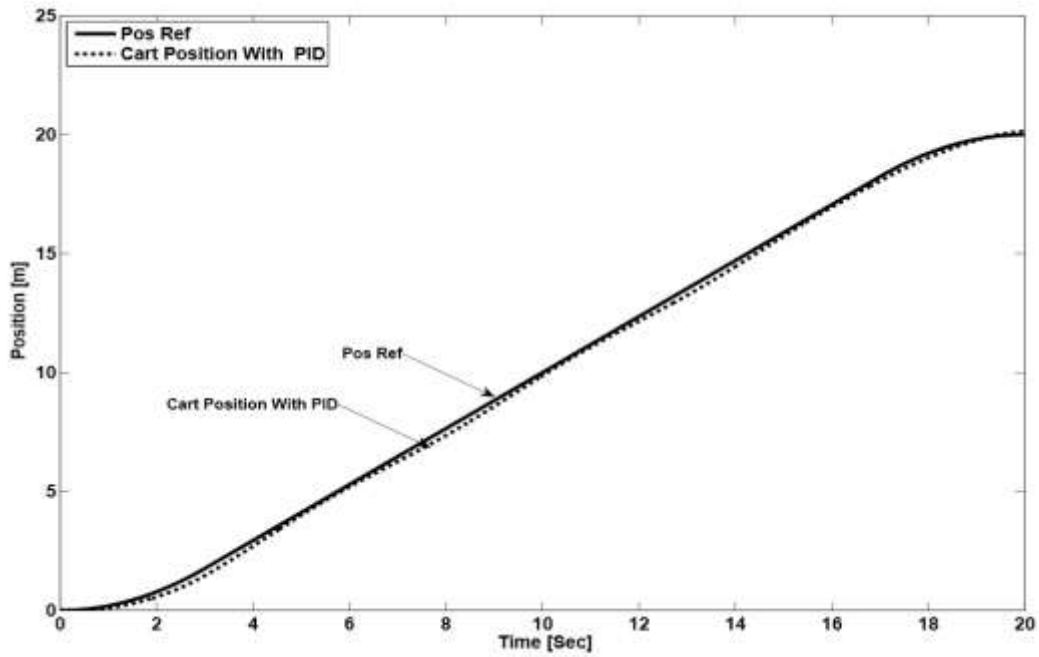
ل (3): مخطط النظام مع متحكم PD للتحكم بوضع العربة

بمعايرة المتحكم PID وباستخدام طريقة "Ziegler-Nichols" تنتج لدينا القيم التالية  
 $K_P = 20$  و  $K_D = 2$  و  $K_I = 150$  و تكون استجابة النظام في حالة القيم السابقة لدالة الخطوة  
 الواحدة موضحة بالشكل (4)



الشكل (4): استجابة النظام لدالة الخطوة الواحدة

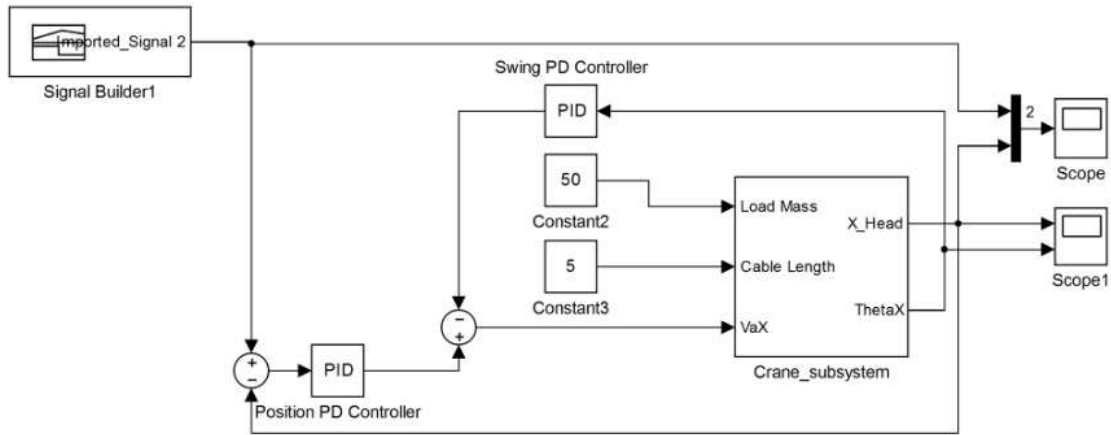
والآن نقوم بتطبيق منحنى المسافة بدلالة الزمن والموضح بالشكل (2) ونوجد استجابة النظام من حيث موضع  
 الرافعة و زاوية التآرجح وتكون النتائج وفق الشكل التالي:



الشك

ل (5): استجابة النظام وفق المسار المحدد وفق الشكل (2)

والآن بإضافة متحكم PID للتحكم بزاوية تأرجح الحمل يكون المخطط العام للنظام موضح في الشكل (6)



الشكل (6): مخطط النظام مع نظامي التحكم PID بالموضع و بزاوية التأرجح

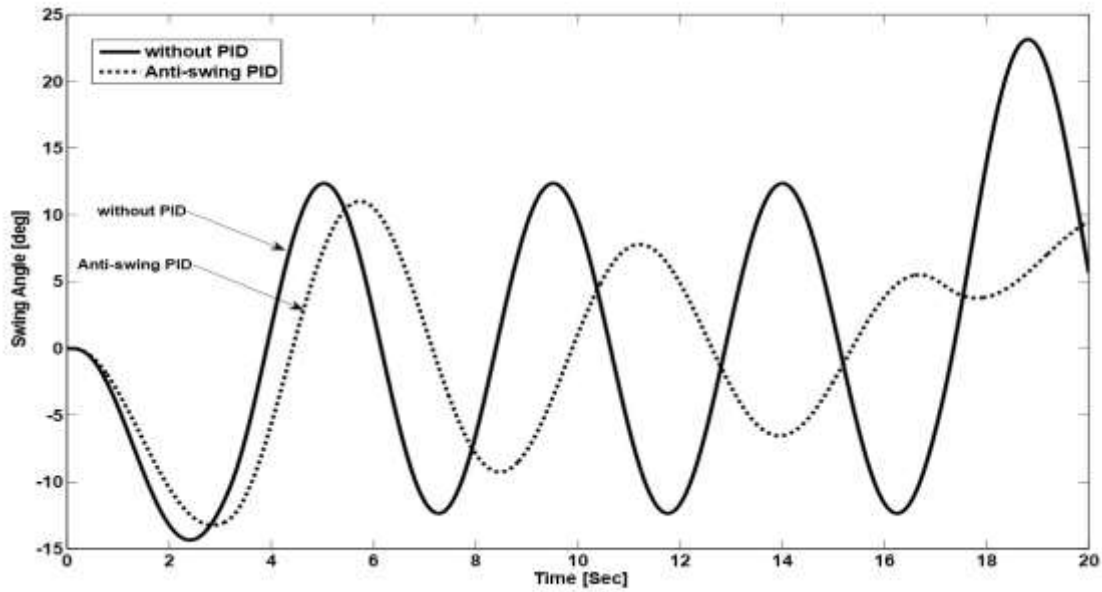
وبشكل مشابه وباستخدام طريقة "Ziegler-Nichols" لمعايرة متحمل PID الخاص بزاوية التأرجح نتجت لدينا

$$K_D = -20 \text{ و } K_P = -500$$

والقيم التالية  $K_I = -100$  وبالتالي تكون استجابة النظام لإشارة الدخل المحددة سابقاً مقارنة مع الاستجابة بدون نظام

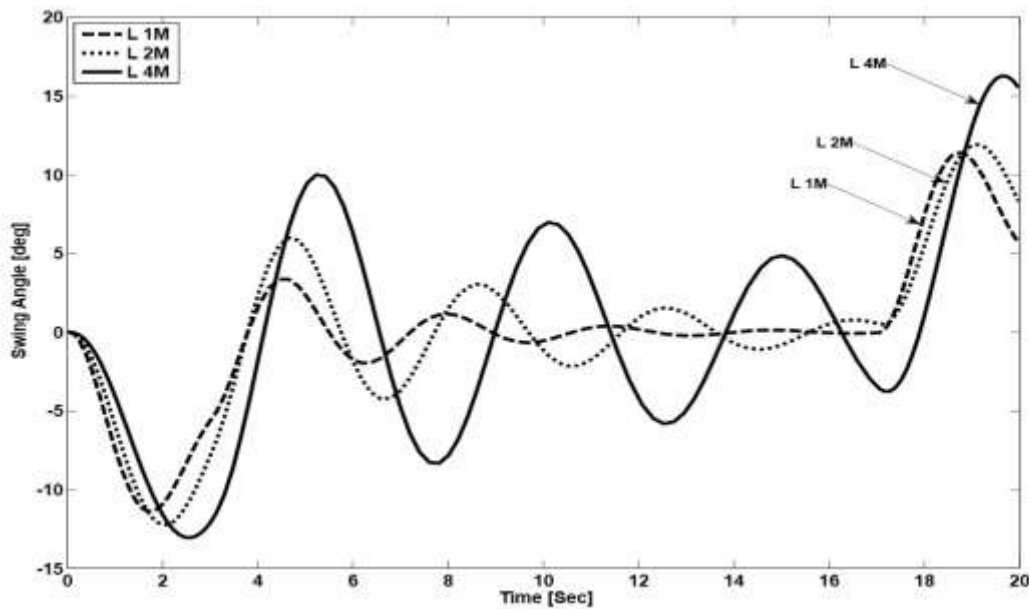
تحكم بزاوية التأرجح موضحة بالشكل (7)





الشكل (7): تأثير إضافة متحكم PID على زاوية تأرجح الحمل

وبما أن طول الحبل من أهم العوامل المؤثرة على زاوية تأرجح الحمل [4] سوف يتم اختبار النظام الموضح في الشكل (6) عند قيم مختلفة لطول الحبل في الرافعة وإيجاد تأثير ذلك على زاوية تأرجح الحمل وموضع العربة وبالتالي تكون النتائج موضحة بالشكل (8)

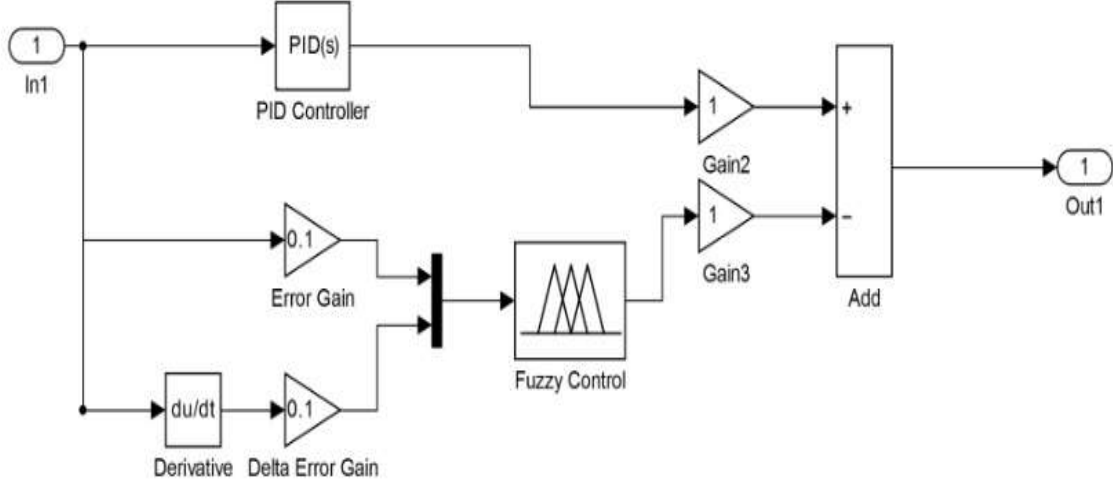


الشكل (8): زاوية تأرجح الحمل بدلالة الزمن عند قيم (1M,2M,4M) لطول الحبل

### 3) دراسة المتحكم التناسبي التكاملي التفاضلي الضبابي الهجين:

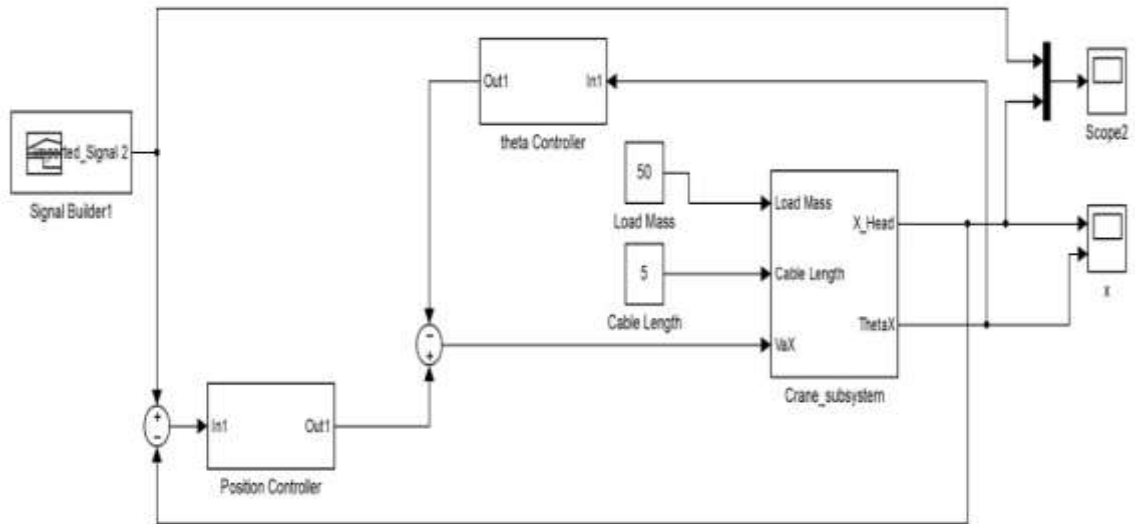
لمحاولة تحسين النتائج قدر الإمكان تم دمج المتحكم الضبابي على التفرع مع المتحكم التناسبي التكامل التفاضلي (PID) مع المحافظة على قيمه السابقة.

حيث يكون دخل نظام الضبابي هو الخطأ (الفرق بين القيمة المقاسة والقيمة المرغوبة) ومعدل تغيير الخطأ (مشتق الخطأ) والخرج هو أمر التحكم وبالتالي يكون المخطط العام لهذا المتحكم موضحاً بالشكل (9)



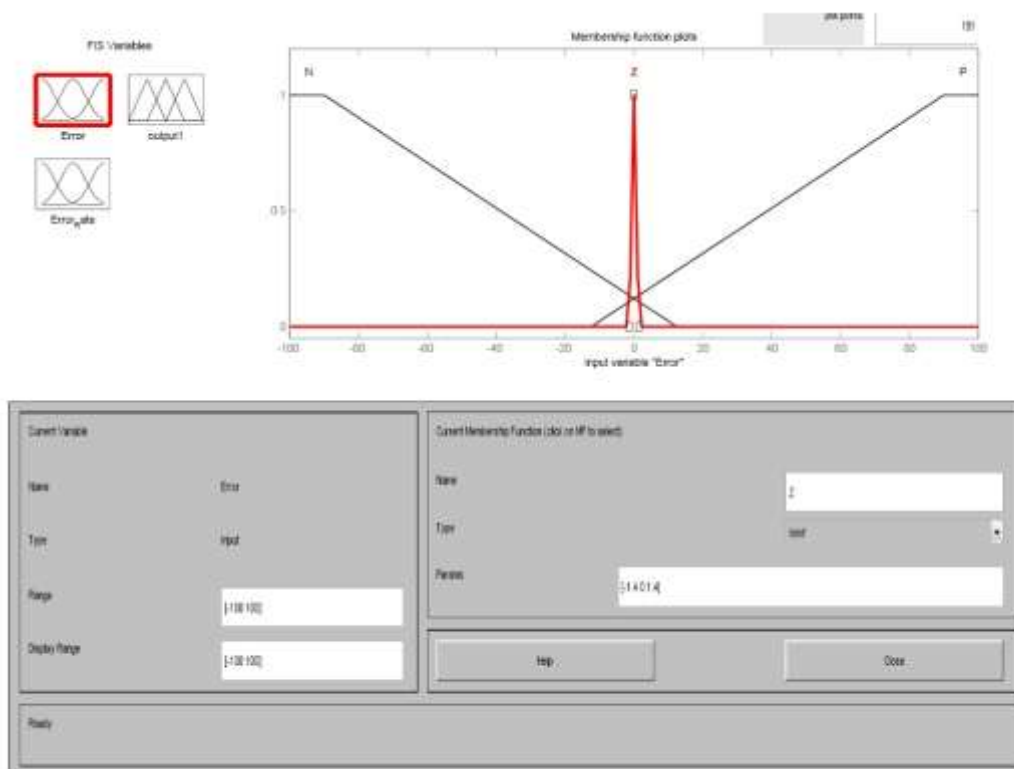
الشكل (9): مخطط نظام التحكم الضبابي الهجين مع المتحكم التناسبي التكامل التفاضلي

بالتالي يصبح المخطط العام للنظام وفق الشكل (10)

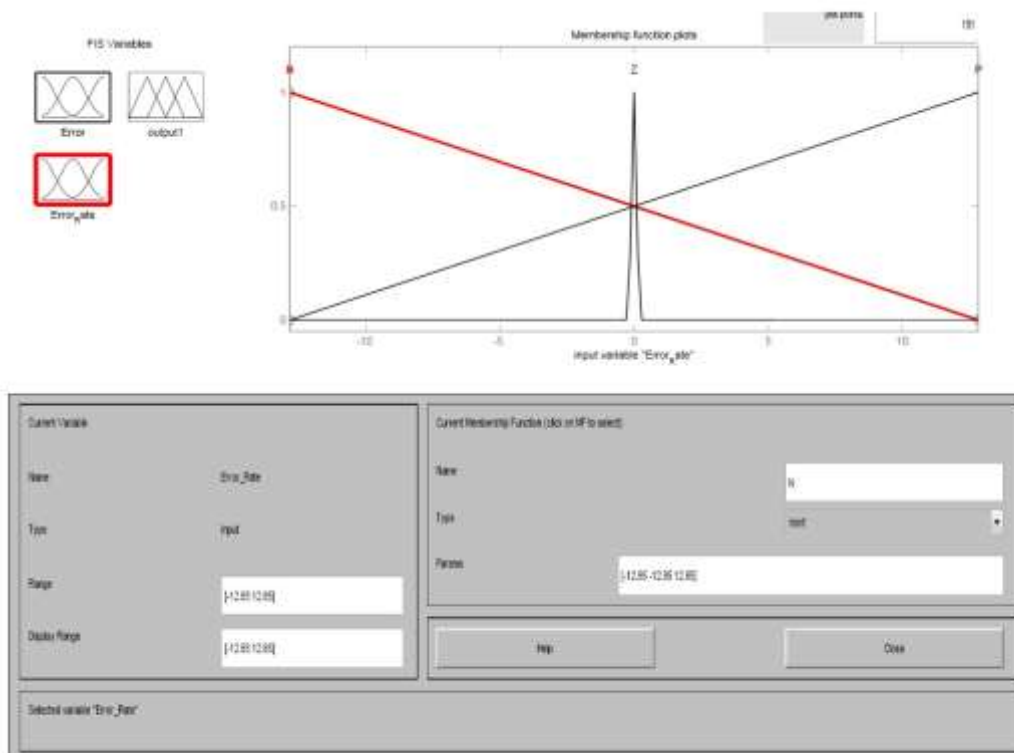


الشكل (10): مخطط النظام مع نظامي التحكم PID الضبابي الهجين بالموضع و بزاوية التأرجح

وتكون توابع الانتماء لكل من الدخل والخرج للمتحكم الضبابي بالموضع وفق الأشكال (11)(12)(13)



الشكل (11): توابع الانتماء لدخل الخطأ للمتحكم الضبابي بالموضع

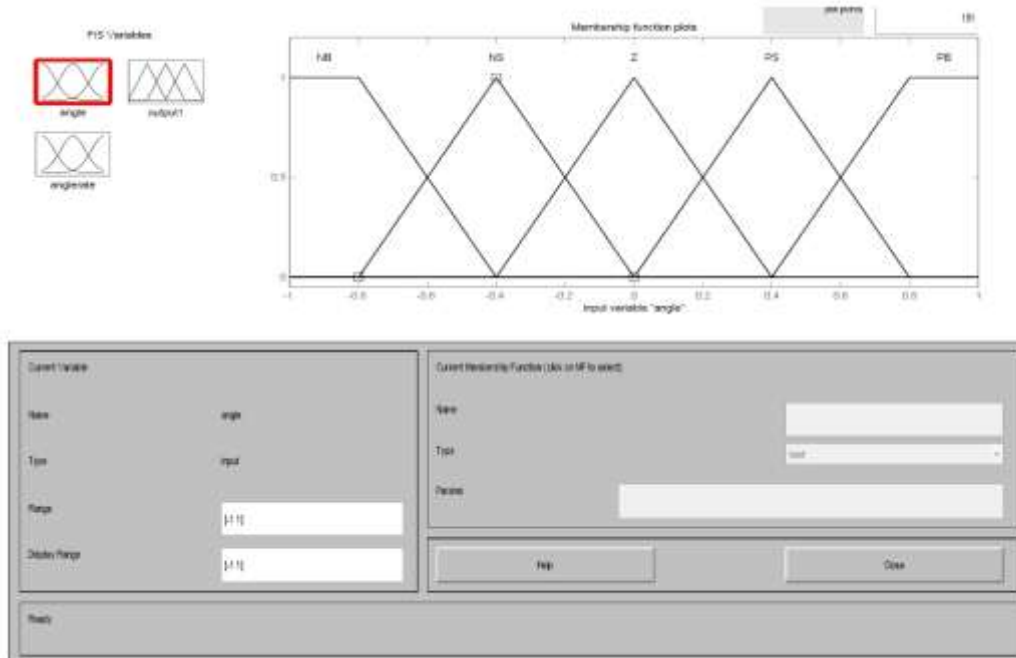


الشكل (12): توابع الانتماء لدخل معدل الخطأ للمتحكم الضبابي بالموضع

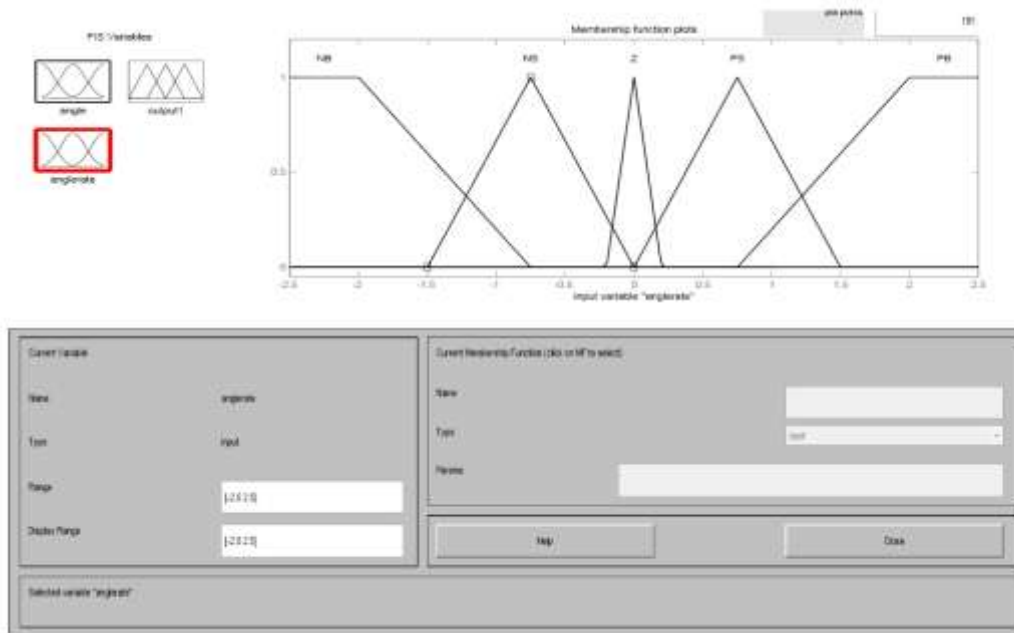


الشكل (13): توابع الانتماء لخرج المتحكم الضبابي بالموضع

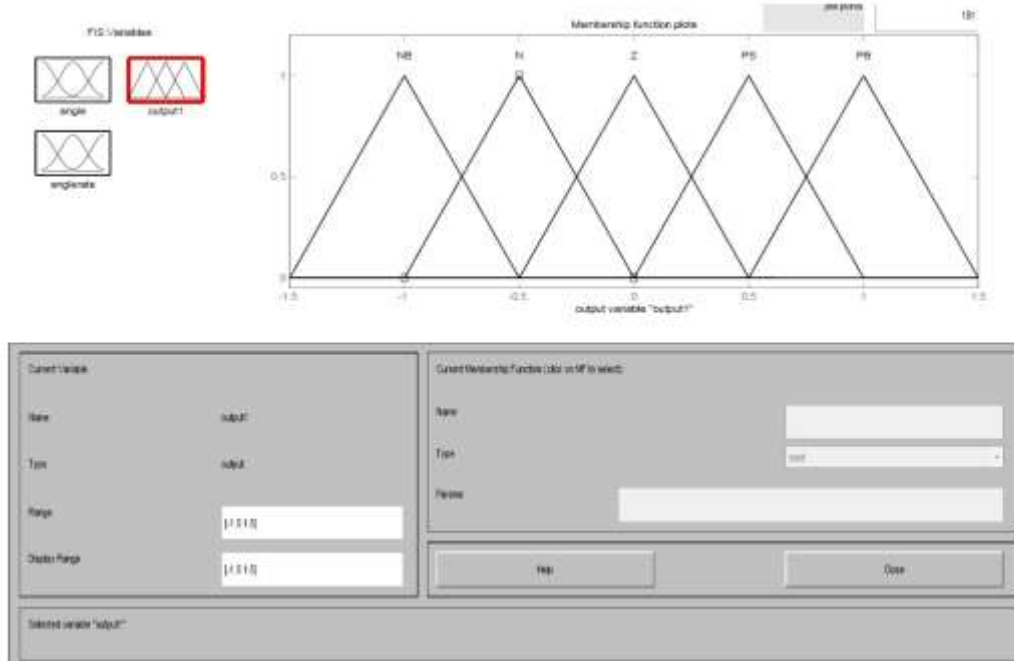
وتكون توابع الانتماء لكل من الدخل والخرج للمتحكم الضبابي بزواوية التأرجح وفق الأشكال(14)(15)(16)



الشكل (14): توابع الانتماء لدخل الخطأ للمتحكم الضبابي بزواوية التأرجح

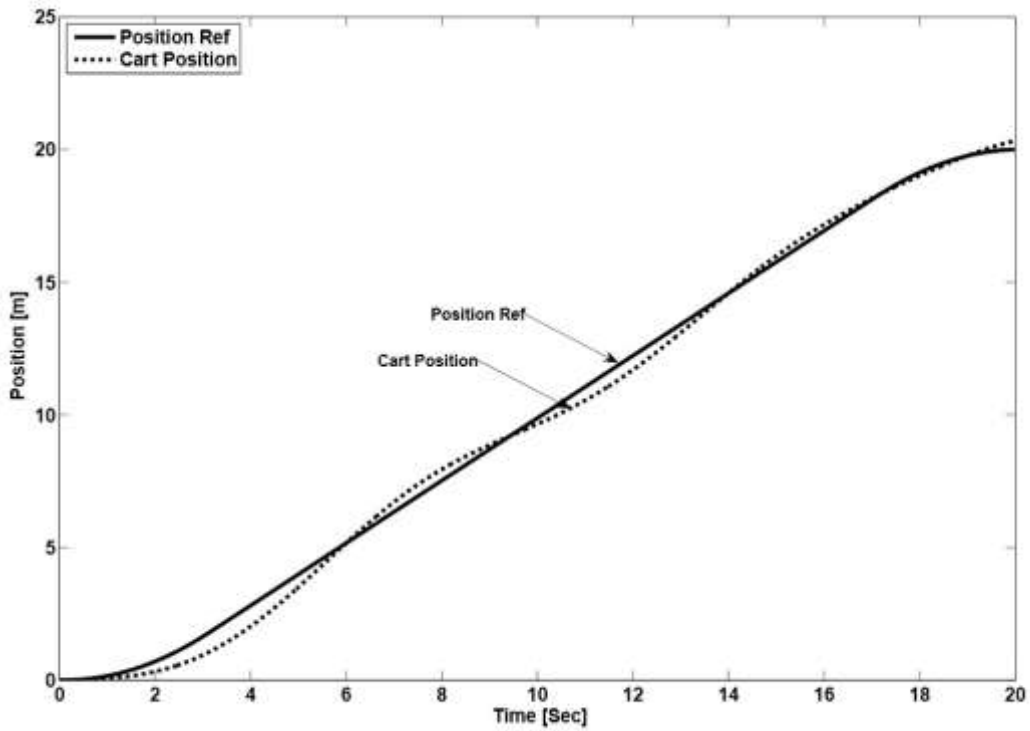


الشكل (15): توابع الانتماء لدخل معدل الخطأ للمتحكم الضبابي بزواوية التآرجح

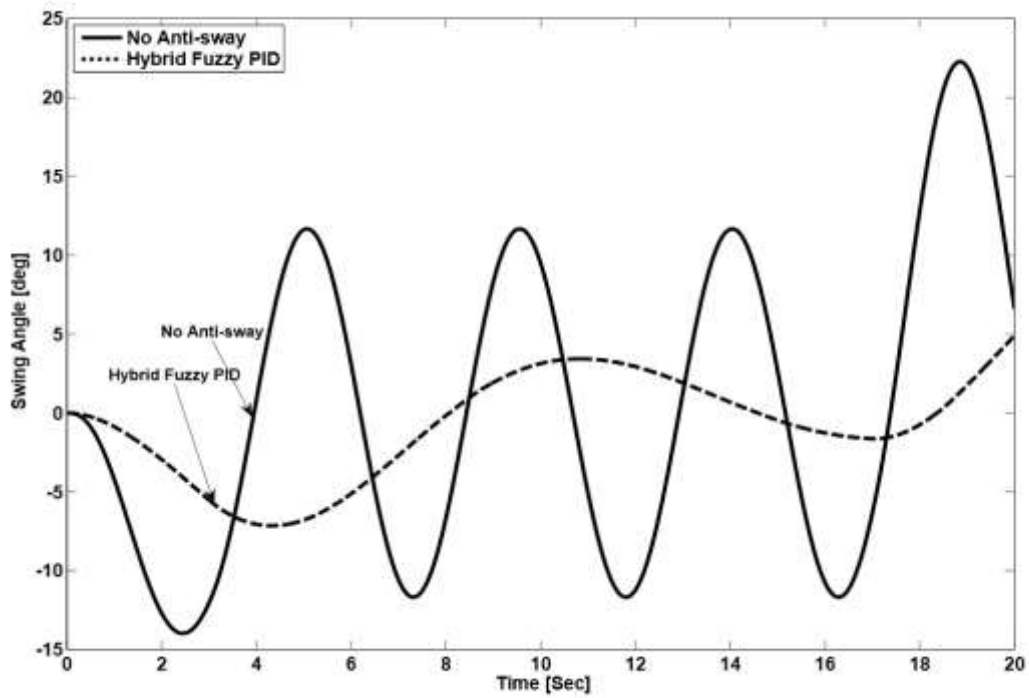


الشكل (16): توابع الانتماء لخرج المتحكم الضبابي بزواوية التآرجح

وبالتالي تكون استجابة النظام بدلالة الزمن موضحة في الشكل (17) و (18)

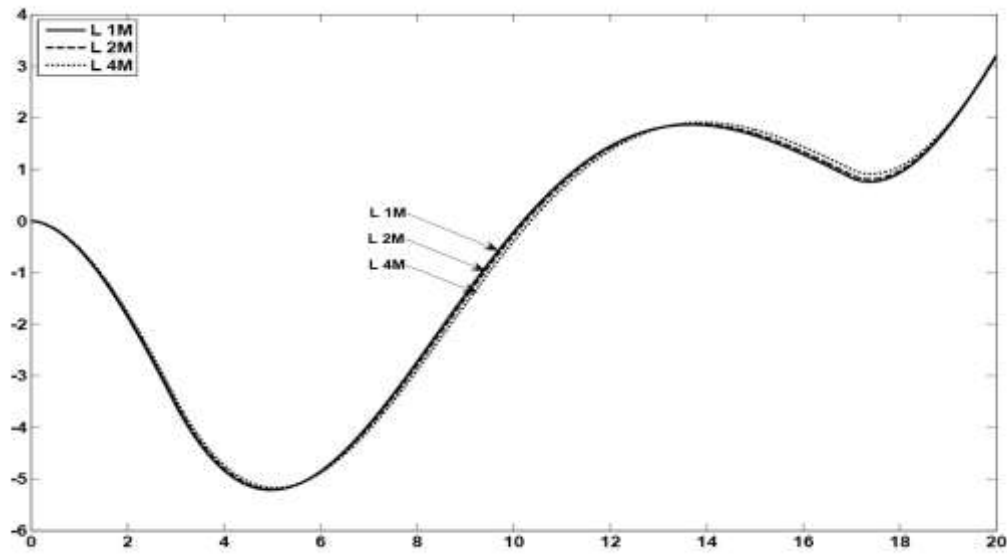


الشكل (17): تأثير إضافة متحكم Hybrid Fuzzy PID على موضع العربة



الشكل (18): تأثير إضافة متحكم Hybrid Fuzzy PID على زاوية تأرجح الحمل

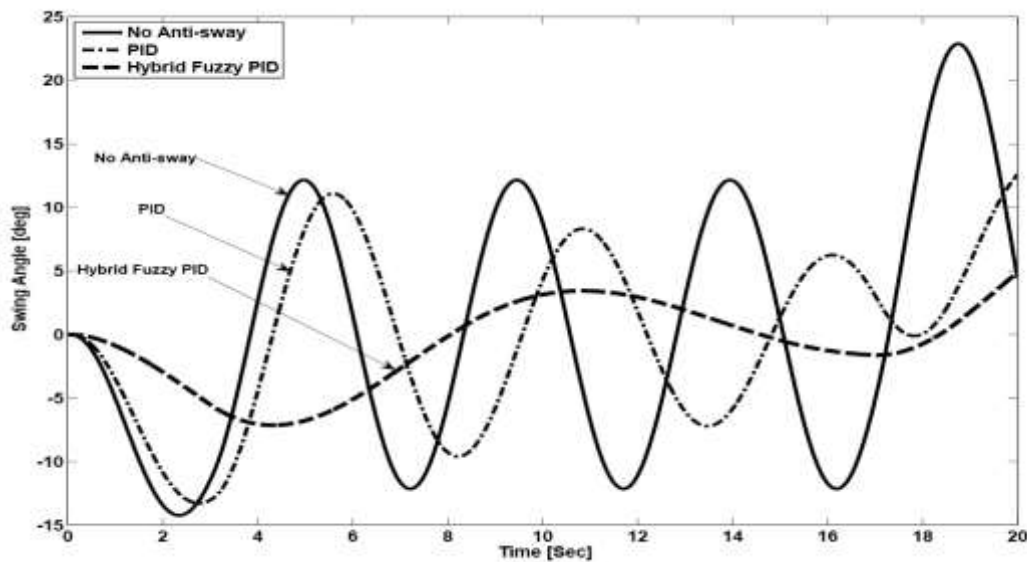
وبإجراء اختبار للنظام عند قيم مختلفة لطول الحبل تكون النتائج وفق الشكل (19)



الشكل (19): زاوية تأرجح الحمل بدلالة الزمن عند قيم (1M,2M,4M) لطول الحبل

#### 4) المقارنة :

بالمقارنة بين النتائج السابقة ينتج لدينا الشكل (20) والذي يوضح تأرجح الحمل بدلالة الزمن وذلك في حالتنا استخدام متحكم PID و Hybrid Fuzzy PID لكل من موضع العربة وزاوية تأرجح الحمل.



الشكل (20): زاوية تأرجح الحمل في حالة المتحكم PID و المتحكم Hybrid Fuzzy PID بدلالة الزمن

و يمكن تلخيص كل مما سبق بالجدول التالي

متحكم Hybrid Fuzzy PID	متحكم PID	
24 Sec	21 Sec	زمن الوصول إلى الهدف
5.3 درجة	13.2 درجة	أقصى زاوية لتأرجح الحمل
0.2 M	0.1 M	أقصى تجاوز للموضع المحدد عند اللحظة 20 Sec من الشكلين (5) و(17)
1.22 M	0.39 M	أقصى تجاوز عن المسار المحدد من الشكلين (5) و(17)
3 Sec	8 Sec	الزمن اللازم لاستقرار الحمل بعد الوصول لنقطة الهدف
بدون تأثير يذكر	تأثير كبير	تأثير تغيير طول الحبل

جدول(1): المقارنة بين متحكم PID و متحكم Hybrid Fuzzy PID

### الاستنتاجات والتوصيات :

من الجدول(1) والذي يبين المقارنة بين النظامين يمكننا استنتاج إيجابيات وسلبيات المتحكم التناسبي التكامل التفاضلي الضبابي (Hybrid Fuzzy PID) بالمقارنة مع المتحكم التناسبي التكامل التفاضلي التقليدي (PID) على الشكل التالي:

- الإيجابيات:

- ✓ أدى إلى تخفيض أقصى زاوية لتأرجح الحمل إلى 13.2 درجة أي بنسبة تخميد(43%) بمقابل أقصى زاوية لتأرجح الحمل إلى 5.3 درجة أي بنسبة تخميد(77%) في المتحكم التناسبي التكامل التفاضلي التقليدي (PID).
- ✓ أسهم المتحكم المقترح بالتقليل من تأثير تغيير طول الحبل الحامل للنقل.

- السلبيات:

- ✓ يحتاج المتحكم المقترح إلى زمن أكبر للوصول إلى الهدف المحدد مقارنة بالمتحكم التناسبي التكامل التفاضلي التقليدي (PID).
- ✓ تصميم النظام المقترح أكثر تعقيداً ويتطلب خبرة أكبر من المصمم مقارنة مع المتحكم التناسبي التكامل التفاضلي التقليدي (PID).

يمكن اعتبار النتائج التي تم الحصول عليها من هذه الدراسة الخطوة الأولى لتصميم نظام تحكم متكامل لمنع حدوث حالات الانقلاب في الرافعات علماً أن دراسة تأرجح الأحمال أثناء حركة الرافعات ليس بالأمر السهل والذي يمكن شمله في بحث وحيد.



## المراجع :

- [1] Omar, H.M, Control of Gantry and Tower Cranes.Ph.D. Thesis, M.S. Virginia Tech, 2003, Pages(63 – 67).
- [2] Wahyudi and Jalani, J, Design and implementation of classical PID controller for an automatic gantry crane system, Proceedings of The International Conference on Recent Advances in Mechanical & Materials Engineering, Kuala Lumpur, 2005, Pages(10 – 13).
- [3] Yoon,J.S.,el, Various Control Schemes for Implementation of the Anti-Swing Crane.In ANS 6<sup>th</sup> Topical Meeting on Robotics and Remote systems,1994 , Pages(20 – 22).
- [4] Rahman, E.M.A., Nayfeh, A.H. & Masoud, Z.N. ,Dynamic and Control of Crane: a Review, Journal of Vibration and Control, 2003, Pages(30 – 35).
- [5] Lee,H.H., Modeling and control of a Three-Dimensional Overhead Crane, Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, 1998, Pages(20 – 25).
- [6] Chi-Cheng Cheng and Cheng-Yi-Chen, Controller Design for an Overhead Crane system with Uncertainty, Control Eng. Practice, 1996, Pages(46 – 48).
- [7] Wahyudi, Sato K. and Shimokohbe A., Robustness Evaluation of Three Friction Compensation Methods for Point-to-point (PTP) Positioning Systems, Robotics and Autonomous System, Elsevier, 2005, Pages(2 – 4).
- [8] Wahyudi and Jalani J., Robust Fuzzy Logic Controller for an Intelligent Gantry Crane Systems, Proceedings of The First International Conference on Industrial and Information Systems, Kandy, Sri Lanka, 2001, Pages(50 – 52).
- [9] Soheilrad, M., Ali, M., Ghasab, J., & Sefidgar, S., Tuning of PID Controller for Multi Area Load Frequency Control by Using Imperialist Competitive Algorithm. J. Basic. Appl. Sci. Res., 2012, Pages(5 – 7).
- [10] Y.-T. Juang, Y.-T. Chang, and C.-P. Huang, Design of fuzzy PID controllers using modified triangular membership functions. Information Sciences, 2008 , Pages(80 – 89).
- [11] Akbiyik, B., Eksin I.,Guzelkaya M., Yesil, E., Evaluation of ThePerformance of Various Fuzzy PID Controller Structures on Benchmark Systems, ELECO '2005, 4rd International Conf. on Electrical and Electronics Engineering, Bursa, Turkey, 2005, Pages(55 – 62).
- [12] Er, M. J., Sun, Y.L., Hybrid fuzzy proportionalintegralplus conventional derivative control of linear and nonlinear systems, IEEE Trans. On Industrial Electronics, 2001, Pages(60 – 69).
- [13] Alam, M.S. and M.O. Tokhi, Hybrid fuzzy logic control with genetic optimisation for a singlelinkflexible manipulator. Eng. Appl. Artif. Intell., 2008, Pages(90 – 97).
- [14] D. Misir, H. A. Malki, and G. Chen, Design and analysis of fuzzy proportional-integral-derivative controller, Fuzzy Sets Syst., 1996, Pages(20 – 33).
- [15] W. Li, Design of a hybrid fuzzy logic proportional plus conventional integral-derivative controller, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2008, Pages(100 – 120).
- [16] H. R. Berenji, Fuzzy logic controllers, in An Introduction to Fuzzy Logic Application in Intelligent Systems, R. R Yager and L. A. Zadeh, Eds. Boston, MA: Kluwer, 1992, Pages(102 – 105).
- [17] S. Tzafestas and N. Papanikolopoulos, Incremental fuzzy expert PID control, IEEE Trans. Ind. Electron., 1990, Pages(40 – 47).