

تعويض الزمن الميت في نظم التحكم باستخدام النموذج المرجعي التكيفي

الدكتور محسن داؤود *

الدكتور بلال شيحا **

نعى حسن ***

(تاريخ الإيداع 24 / 9 / 2007. قُبِلَ للنشر في 13/12/2007)

□ الملخص □

لقد تمّ في هذا البحث معالجة مشكلة الزمن الميت التي تعد من أخطر المشاكل في النظم الحقيقية، لما تسببه من اضطراب لحلقة التحكم في نظم التحكم بالعمليات.

تمت المعالجة بتعويض تأثير هذا الزمن بواسطة معوضات الزمن الميت (DTCs) Dead Time Compensators،

إذ تم اقتراح طريقة لتعويض التأخير الزمني تقوم على تكيف الريح مع زمن ميت (GADC) Gain Dead time Compensation Adaptive-Smith Dead time- (SDC) وطريقة سميث (G & B) Giles And Bartley وطريقة سميث (SDC) . Compensation

وقد أثبتت النماذج التمثيلية المقدمة فعالية هذه الطريقة وبينت نقاط القوة والضعف فيها وفقاً لتغير الشروط المحيطة، كما تضمن البحث تمثيلاً برمجياً simulation للطرق الثلاث مع عرض لمنحنيات استجابة الخرج وحساب قيمة الخطأ الزمني المطلق.

كلمات مفتاحية: الزمن الميت ، التحكم التكيفي، النموذج المرجعي، معوضات الزمن الميت.

* أستاذ مساعد - قسم الميكاترونك - كلية الهندسة الميكانيكية & الكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية-سورية.

** مدرس في قسم الحاسبات والتحكم كلية الهندسة الميكانيكية & الكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية-سورية.

*** طالبة ماجستير في قسم التحكم - كلية الهندسة الميكانيكية & الكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية-سورية.

Control Systems Based on Dead Time Compensation Using Model Reference Adaptive Control

Dr. Mohsen Dawood *
Dr. Bilal Chiha **
Nouma Hasan ***

(Received 24 / 9 / 2007. Accepted 13/12/2007)

□ ABSTRACT □

This research addresses the problem of dead time, which is considered one of the most dangerous problems in real systems, because of the disturbance it causes to the control loop in process control systems. Solving this problem was achieved by compensating the dead time effect by means of dead time compensators (DTCs).

A method for compensating dead time was suggested. It is based on compensating dead time by gain adaptive (GADC), then comparing it with previous methods that dealt with this problem, like Giles and Bartley method (G&B) and Smith method (SDC).

Representative models proved the viability of this method and displayed its strengths and weakness points according to the changes in actuation conditions.

The research consists of programming presentation (simulation) for these methods and presenting output response curves, calculating the integrated time absolute error (ITAE).

Key Words: Dead Time, Adaptive Control, Model Reference, Dead Time Compensators.

* Associate Professor, Department of Mechatronic, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Assistant Professor, Department of Computer and Control, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

*** Postgraduate Student, Department of Computer and Control, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

1- مقدمة:

غالباً ما يكون الزمن الميت مسؤولاً عن زيادة اضطراب حلقة التحكم في نظم التحكم بالعمليات، وكما نعلم أن الاستجابة الديناميكية في الأنظمة ذات التأخير الزمني تحدث بعد انقضاء مدة من الزمن T_L تعد مقياساً للتأخير الزمني. وفقاً لهذا التأخير فإن أنظمة التحكم تميل إلى الاهتزاز وبالتالي فهناك تشوه وعدم استقرار في الاستجابة، مما يدعونا للنظر في الأسباب كي نتمكن من إيجاد الحلول المناسبة.

إن أسباب حدوث الزمن الميت كثيرة وفي مقدمتها: التأخير الزمني في انتقال المواد بين العنصر المتحكم به (المحرك) والحساس، ومنها ما هو نتيجة التأخر في التوصيل أو التأخر في الحسابات وأحياناً تظهر عند تقريب النموذج الرياضي ذو المرتبة العالية إلى نموذج رياضي ذو مرتبة أقل. وقد تم حل معظم مشاكل التحكم في الصناعة باستخدام متحكمات من النوع PID القابلة للتوليف اليدوي باعتبار أن لها ثلاثة بارامترات قابلة للضبط.

ولكن عندما يكون هناك تأخير زمني كبير في العملية فإن التحكم بواسطة المتحكم PID يكون محدوداً، لذا كان لا بد من استخدام المتحكمات المعوضة للتأخير الزمني القادرة على تحسين الأداء. وتدعى البنية التحكمية المخصصة للتعامل مع الأزمنة الميتة الطويلة بمعوض الزمن الميت (DTC) (dead-time compensator) حيث تمت دراستها في مواضع عديدة كما في [1] .

أما من أجل التطبيقات العملية فقد تم اعتماد المبادل الحراري مزدوج الأنابيب (Heat exchanger) كنموذج لأنظمة التحكم بالعمليات (المنصة الموجودة في مخبر التحكم بالعمليات في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين). تتكون الدارة من مبادل وصمام متحكم به بواسطة المتحكم PI ، وقد تم الاستفادة من هذه التجربة في إيجاد الشكل العام للنموذج والذي سنعمده في جميع الدارات المدروسة للطرق السابقة وللطريقة المقترحة، وذلك بعد نمذجة هذه الدارات (محاكاتها) عن طريق simulink الموجود في لغة الماتلاب.

إن دالة الانتقال للصمام والمبادل هي من الدرجة الثانية مع تأخير زمني ناتج عن وجود المبادل، حيث إن دالة الانتقال للصمام هي من الشكل: $\frac{K_1}{T_1s + 1}$ بينما يكون للمبادل الحراري دالة انتقال من الشكل: $\frac{K_2}{T_2s + 1} e^{-sT_d}$ وتمثل e^{-sT_d} التأخير الزمني الحاصل في المبادل نتيجة التبادل الحراري. أي أن النموذج الرياضي من النمط Second Order Plus Dead Time (SODT) وبالتالي سنتمكن من تلافي المشاكل التي قد تظهر من جراء تقريب النموذج ذو المرتبة الأعلى بنموذج ذو مرتبة أقل،

وقد بينت المحاكاة فعالية الطريقة المقترحة والتي تقوم على بناء متحكم تكيفي يعمل على ضبط خرج المبادل، حيث تناولت مقالات عدة دراسة المبادل الحراري [2,3] وذلك لتوفير الخبرة في تطبيق طرق التحكم التكيفي الأمثل في تعويض أثر الزمن الميت.

تستخدم العناصر ذات الزمن الميت لتمثيل جملة التأثيرات الديناميكية للكتل المهملة وظاهرة انتقال الطاقة في أنظمة التحكم بالعمليات . إن تغير نسبة التدفق في الصمام تقابل تغير عوامل الريح ذات الصلة والثوابت الزمنية لنموذج الحساب، وبذلك وعند شروط تشغيل مختلفة فقد يحدث إبطاء في التحكم أو حتى الوصول إلى تحكم مهتز تسببه بارامترات متحكم التغذية العكسية المثالية من أجل جملة شروط التشغيل الأولية.

إن المتحكمات العادية عاجزة عن ضبط استجابة الخرج للأنظمة السابقة وإزالة التشوهات الحاصلة فيها. لذلك ومن أجل تحقيق تحكم جيد على مجال واسع من تغير في شروط التشغيل لا بد من الاستعانة بمتحكم ذو ضبط ذاتي.

لذلك تم اقتراح معوض الزمن الميت للعملية ذو ربح متغير من أجل ملاحقة تغيرات ربح العملية، حيث تم الاستفادة من مزايا التحكم التكيفي. وتقوم آلية عمل المعوض على تغيير ربح المتحكم بما يتوافق مع التغيرات التي تطرأ على العملية والنموذج، من أجل أن يبقى الجداء $K_{CP}K_M = const$ حيث يمثل K_{CP} ثابت الربح للمتحكم PI بينما يمثل K_M ثابت ربح النموذج الستاتيكي. فإذا حصل أي تغير في ثابت ربح النموذج فإن ثابت ربح المتحكم سيعدل هذا التغيير والعكس بالعكس وذلك من أجل تأمين احتياطي استقرار ثابت تقريباً عند تغير العملية .

2- أهمية البحث وأهدافه:

تتجلى أهمية البحث في إمكانية تعويض المشكلات التي يخلقها وجود الزمن الميت في أنظمة التحكم بالعمليات، ومسايرة التغيرات التي تطرأ على بارامترات العملية أو النموذج وفقاً للظروف المحيطة. وبالتالي فإن الهدف من هذا البحث هو تأمين استقرار الحلقة المغلقة للتحكم بالعمليات في ظروف تشغيل مختلفة عن طريق متحكم تكيفي وتعويض أثر الزمن الميت فيها.

3- طريقة البحث ومواده:

- اعتمد في هذا البحث طريقة المحاكاة الحاسوبية لذا تم إتباع المنهجية الآتية:
- (1) دراسة وتحليل الدارات التي ستنتم مقارنتها للوصول إلى الشكل الأفضل باستخدام المحاكاة بلغة MATLAB.
 - (2) وضع الحالات العملية المختلفة قيد التجريب للدارات الثلاث.
 - (3) تنفيذ المحاكاة باستخدام الحاسوب.
 - (4) اعتماد طريقة الاستجابة الزمنية - النموذج المرجعي - المتحكم التكيفي.
 - (5) مناقشة نتائج الدراسة وصياغة الاستنتاجات.

4- طرق تعويض الزمن الميت:

إن معظم معوضات الزمن الميت (DTCS) هي معوضات مبنية على أساس معرفة النموذج الرياضي، وإن دور هذا النموذج في تعويض الزمن الميت يكون عبر التنبؤ بتأثير إشارة التحكم في الخرج. إن القسم الأكبر لمعوضات الزمن الميت يكون على شكل نماذج محددة خواصها الديناميكية من رتبة وشكل محدد، وإن أكثر النماذج الرياضية الشائعة هو النموذج الرياضي للدالة من الدرجة الأولى مع تأخير زمني $first\ Order\ Plus\ Dead\ Time$

$$P_n = \frac{K_n}{T_n s + 1} e^{-L_n s} \quad : \text{ وله الشكل (FOPDT)}$$

حيث تعامل سميث وبارتلي سابقاً مع نماذج درجة أولى، ولكننا في بحثنا هذا سنتحول إلى نماذج الدرجة الثانية؛ لأن العمليات الجارية في تجربة المبادل الحراري تمثل بمعادلات درجة ثانية. لذلك ولتلافي ظهور مشاكل شبيهة بتأثير الزمن الميت والتي تنجم من جراء تقريب النموذج الرياضي ذو المرتبة الأعلى بنموذج رياضي ذي مرتبة أقل، فقد تعاملنا مباشرة مع نماذج مرتبة ثانية (SOPDT) .

إن أحد أوجه الاختلاف الرئيسية لمعوضات الزمن الميت (DTCS) مع PID هو النموذج الرياضي لهذه المعوضات والذي غالباً ما يزيد في تعقيد البنية. وكمثال : إذا كان النموذج الرياضي لمعوض الزمن الميت هو دالة

انتقال من المرتبة الأولى مضافاً إليها زمن ميت والمتحكم من النوع PI فإن بارامترات معوض الزمن الميت ستكون خمسة وسيزداد التعقيد عند استخدام متحكم من النوع PID والذي يمتلك ثلاث بارامترات .
ولتبسيط بنية التحكم فقد تم عرض معوضات زمن ميت ذات بارامترات مخفضة من خمسة إلى ثلاثة وذلك
بنتيبت قيم بعض البارامترات للنموذج والمتحكم [4]. وإن أهم الطرق التي حاولت تعويض الزمن الميت :

1-4 طريقة سميث في التعويض Smith compensation method :

يعتبر معوض سميث [5] من أقدم المعوضات التي عالجت الزمن الميت، حيث استطاع أن يطور النظرية الأساسية لمشكلة التأخير الزمني. كما استطاع أن يتحكم بالأنظمة ذات الزمن الميت. وقد تناولت العديد من المقالات دراسة متحكمات سميث النشطة [5,6,7,8] لكن هذه الطريقة حساسة جداً لانحراف بارامتر النموذج عن بارامترات العملية، بالإضافة لأنها تعتمد على طرح تأثيرات التأخير الزمني للنموذج والعملية، وبالتالي فإن زيادة ربح العملية يؤدي إلى عدم الاستقرار في الحالة العادية وقد يكون من الأفضل هنا استخدام متحكمات أقل حساسية.
يبين الشكل (1) بنية هذا المتحكم حيث يشار للعملية الحقيقية الخطية بالشكل:

$$P(s) = G(s)e^{-Ls}$$

أما النموذج فيشار له بالشكل:

$$P_n(s) = G_n(s)e^{-L_n s}$$

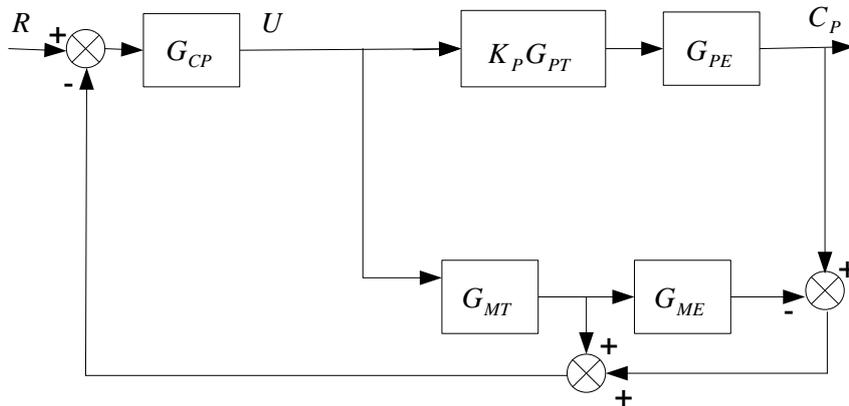
$$G_n(s) = G_{MT} \quad , \quad G(s) = K_P G_{PT}$$

وضمن المخطط الصندوقي :

$$e^{-Ls} = G_{PE} \quad , \quad e^{-L_n s} = G_{PM}$$

حيث:

$$\begin{array}{ll} G(s) - \text{تابع النقل للعملية بدون تأخير زمني} & , \\ G_{PE} - \text{التأخير الزمني للعملية} & , \\ G_{PT} - \text{تابع النقل للعملية} & , \\ G_n(s) - \text{تابع النقل للنموذج بدون تأخير زمني} & , \\ G_{ME} - \text{التأخير الزمني للنموذج} & , \\ G_{MT} - \text{تابع النقل للنموذج} & , \end{array}$$



الشكل (1) المخطط الصندوقي لبنية دارة سميث في تعويض الزمن الميت

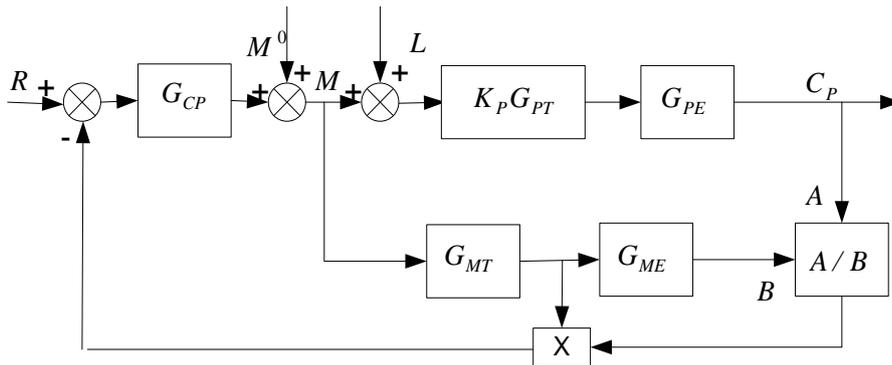
ولقد بين بالمور [9] أنه باستخدام هذه الطريقة في التعويض قد تضيق مناطق الاستقرار عند تغير التأخير الزمني نتيجة زيادة ربح حلقة التحكم وبالتالي فإنه لاينصح بمتحكمات ذات ربح عالي. وبما أن تأثيرات الزمن الميت

وفق هذه الطريقة تلغي بعضها بعضاً في الحالة المثالية، فإن استخدام متحكمات ذات ربح عالي ممكن نظرياً إنما ليس عملياً. لذا كان لا بد من إيجاد طرق أخرى للتعامل مع مشاكل وجود الزمن الميت في الأنظمة ومع تغير البارامترات نتيجة اختلاف شروط التشغيل.

2-4 طريقة تكيف الريح والمقترحة من قبل جيلز وبارتلي Giles And Bartley method :

تعتمد هذه الطريقة على تكيف الريح بزمن ميت (تأخير زمني) عبر متحكم ذو توليف ذاتي. إن طريقة تكيف الريح التي درست من قبل جيلز وبارتلي [10] مبينة على الشكل (2). وإن المخطط الصندوقي يتضمن صناديق عملياتية تماثل التشغيل الحقيقي للعملية.

يعمل معوض جيلز وبارتلي على تقسيم الاستجابة الكلية للعملية A على الاستجابة الكلية للنموذج مع التأخير الزمني B لينتج إشارة تعدل استجابة النموذج بدون تأخير زمني لتشكل إشارة التغذية العكسية لمتحكم العملية الرئيسي. وضعت هذه الطريقة لتكون الأفضل مقارنة بطريقة سميث بالتعويض بوجود زمن ميت في حال انحراف أحد بارامترات نظام الدرجة الثانية التالية : ربح النموذج ، الثابتين الزمنيين للتأخير أو الزمن الميت. غير أنها أعطت نتائج غير مرضية عندما يكون الانحراف في أكثر من بارامتر واحد، لذلك كان لا بد من البحث عن طريقة أكثر فعالية. والشكل الآتي يبين المخطط الصندوقي لطريقة جيلز وبارتلي في تعويض الزمن الميت .



الشكل (2) طريقة تكيف الريح من قبل جيلز و بارتلي

3-4 الطريقة المقترحة لتعويض الريح مع زمن ميت باستخدام متحكم تكيفي للنموذج المرجعي Gain:

Adaptive Dead time Compensation

نستخدم في هذه الطريقة الخطأ بين استجابة العملية والنموذج بوصفه دخلاً للمتحكم وذلك من أجل ضبط الدخل الإضافي للنموذج المعوض، وبالنظر للشكل (3) والذي هو المخطط الصندوقي لهذه الطريقة نجد أنه بالإمكان تصميم وتعيين معوض سميث ذو الزمن الميت عند $G_{CA} = 0$ مما يوضح الآلية التي تمت بها الاستفادة من طريقة سميث. وقد اعتمدنا هنا على استبدال ربح النموذج بمعوض ذو زمن ميت يعمل على ملاحقة تغير ربح العملية.

5- النتائج والمناقشة:

لقد أنجزت المحاكاة الديناميكية للدارات الثلاث وذلك بالاعتماد على طريقة المحاكاة (Simulation) الموجودة في simulink في لغة الماتلاب كما هو مبين في الأشكال (5-a,b,c)، وفيها تم استخدام نموذج تأخير من المرتبة الثانية مع زمن ميت (نموذج المبادل الحراري) لكل من العملية والنموذج مبتدئين بالشروط المثالية المحددة في الجدول (1) والذي سيظهر فيما بعد. وقد اعتمد فتحة الصمام الابتدائي $M^0 = 2$ وذلك للمطابقة مع النموذج المقدم من قبل جيلز وبارتلي مع اعتبار التغيرات الخطوية لأحد بارامترات النموذج أو العملية. وقد تم تدوين نتائج دورات الحساب في الجدول (2) من أجل التغير على شكل قفزة على القيمة المرجعية من (0 ← 1) حيث تم حساب قيمة التكامل الزمني للخطأ المطلق (ITAE) للحالات المذكورة باعتباره مؤشراً للخطأ والذي يقيس درجة الخطأ أو انحراف استجابة العملية C_p عن القيمة المرجعية المحددة R . وتوضح الأشكال التي ستظهر لاحقاً منحنيات الاستجابة للأنظمة التي تمت محاكاتها وفقاً لمجموعة من الحالات التي تتغير فيها شروط التشغيل.

عند مقارنة دورتي حساب (استجابتين) متخامدتين فإن القيمة الأدنى لتكامل الخطأ المطلق (ITAE) تعني العودة الأسرع إلى القيمة المرجعية حيث إن هذا السلوك لم تتم ملاحظته من أجل أنواع أخرى لمؤشر الخطأ تم حسابها. وإن الطرق التحكمية التي سيتم تمثيل استجاباتها وفقاً لتغير الحالة هي :

- (SDC) طريقة سميث في التعويض مع زمن ميت.

- (G & B) طريقة جيلز وبارتلي .

- (GADC) طريقة تعويض تكييف الريح مع زمن ميت .

يبين الجدول (1) الشروط المثالية لكل من العملية والنموذج

الجدول (1) محددات نظام التحكم

من أجل النموذج	من أجل العملية
C_M استجابة النموذج	C_P استجابة العملية
	M الفعل التحكمي (الصمام)
	L الحمل أو التشويش
عصر تأخير من المرتبة الثانية لنموذج	عصر تأخير من المرتبة الثانية للعملية
$G_{MT} = \frac{1}{(T_{m1}s+1)(T_{m2}s+1)}$	$G_{PT} = \frac{1}{(T_{p1}s+1)(T_{p2}s+1)}$
التأخير الزمني للنموذج	التأخير الزمني للعملية
$G_{ME} = e^{-T_{dM}s}$	$G_{PE} = e^{-T_{dP}s}$
الشروط المثالية لبارامترات النموذج	الشروط المثالية لبارامترات العملية
$K_M = 1$ ربح النموذج الستاتيكي.	$K_P = 1$ ربح العملية الستاتيكي.
$T_{1M} = 5$ الثابت الزمني الأول للنموذج.	$T_{1P} = 5$ الثابت الزمني الأول للعملية.
$T_{2M} = 10$ الثابت الزمني الثاني للنموذج.	$T_{2P} = 10$ الثابت الزمني الثاني للعملية.
$T_{dM} = 15$ التأخير الزمني للنموذج.	$T_{dP} = 15$ التأخير الزمني للعملية.

M^0 - الفعل التحكمي الابتدائي (للصمام)

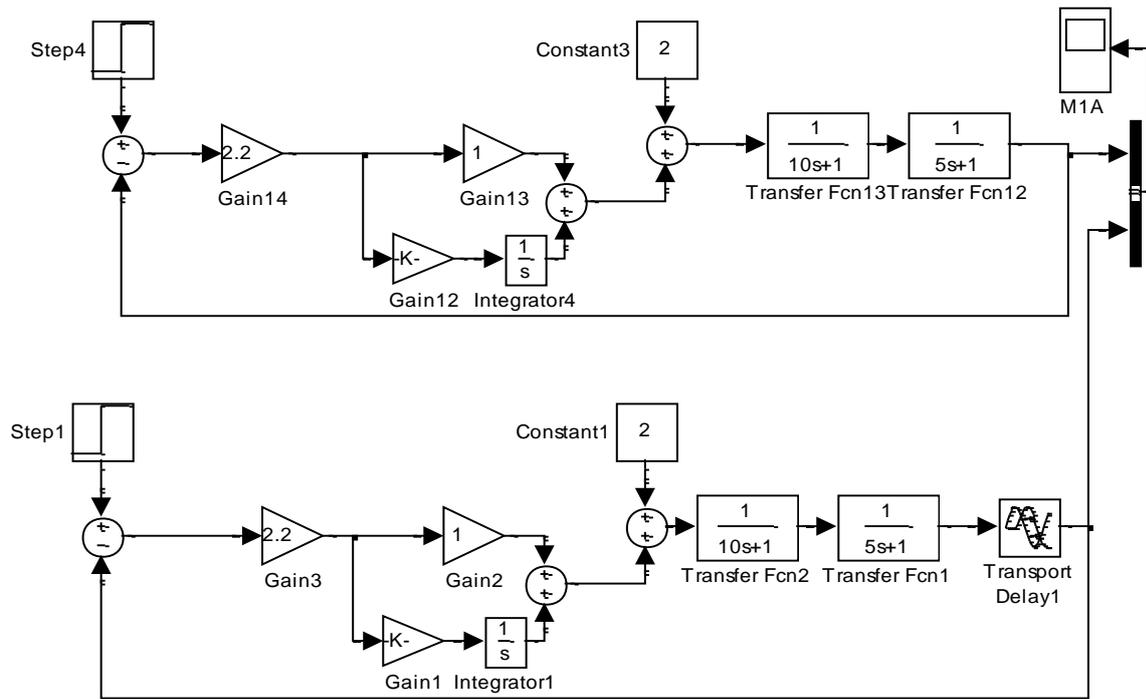
$$G_{CP} = K_{CP} \left[1 + \frac{1}{T_{IP}s} \right]$$

أما المتحكم الرئيسي للعملية فهو من النوع PI

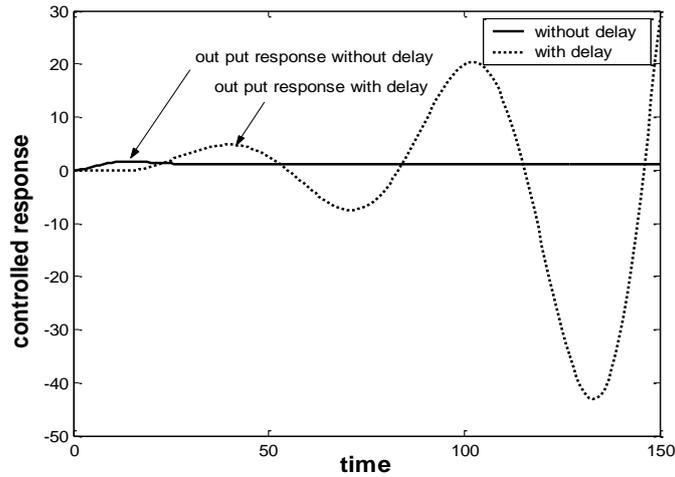
$$G_{CA} = K_{CA} \left[1 + \frac{1}{T_{IA}s} \right]$$

ويكون متحكم تكيف الريح من النوع PI بالشكل

بدايةً لنبين ما كنا قد تحدثنا عنه من تأثير الزمن الميت في أنظمة التحكم حيث يبين الشكل (4-a) مخطط صندوقي لمحاكاة دارة مغلقة قبل وبعد التأخير، هذه الدارة مؤلفة من نظام للعملية مع متحكم من النوع PI ودخل خطوة واحدة. في حال تعرضت هذه التجهيزة لتأخير زمني وليكن مقداره (15) ثانية مثلاً فإنه سيؤدي إلى تشوه وعدم استقرار في استجابة الخرج وهذا واضح في الشكل (4-b).



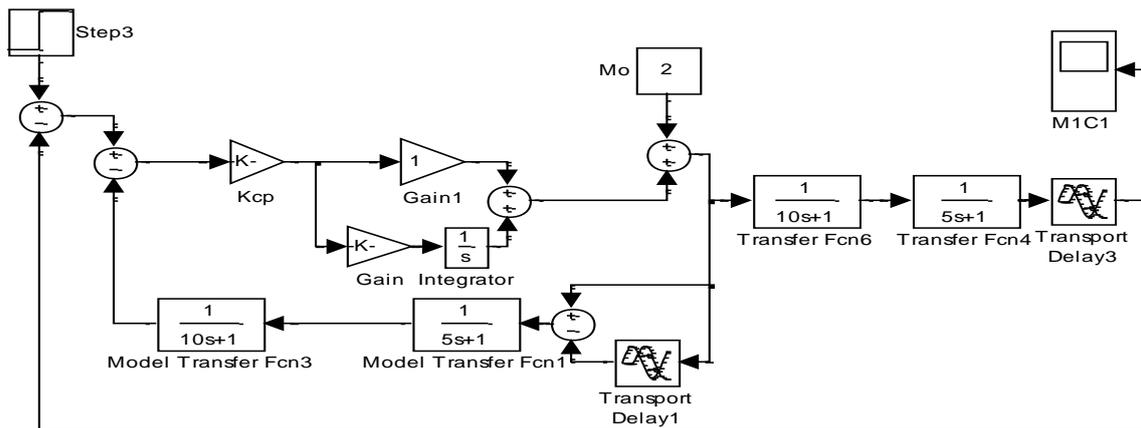
الشكل (4-a) يبين المخطط الصندوقي لمحاكاة الدارة قبل وبعد التأخير



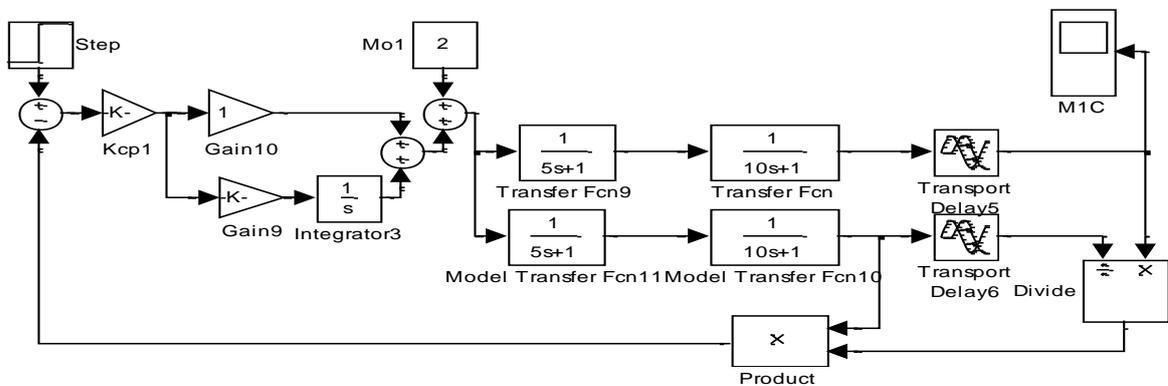
الشكل (4-b) يبين استجابة الخرج قبل وبعد التأخير ومدى التشوه الذي يحدثه هذا التأخير

تبين الأشكال التالية المخططات الصندوقية لمحاكاة الطرق الثلاث في تعويض الزمن الميت وذلك في الحالة

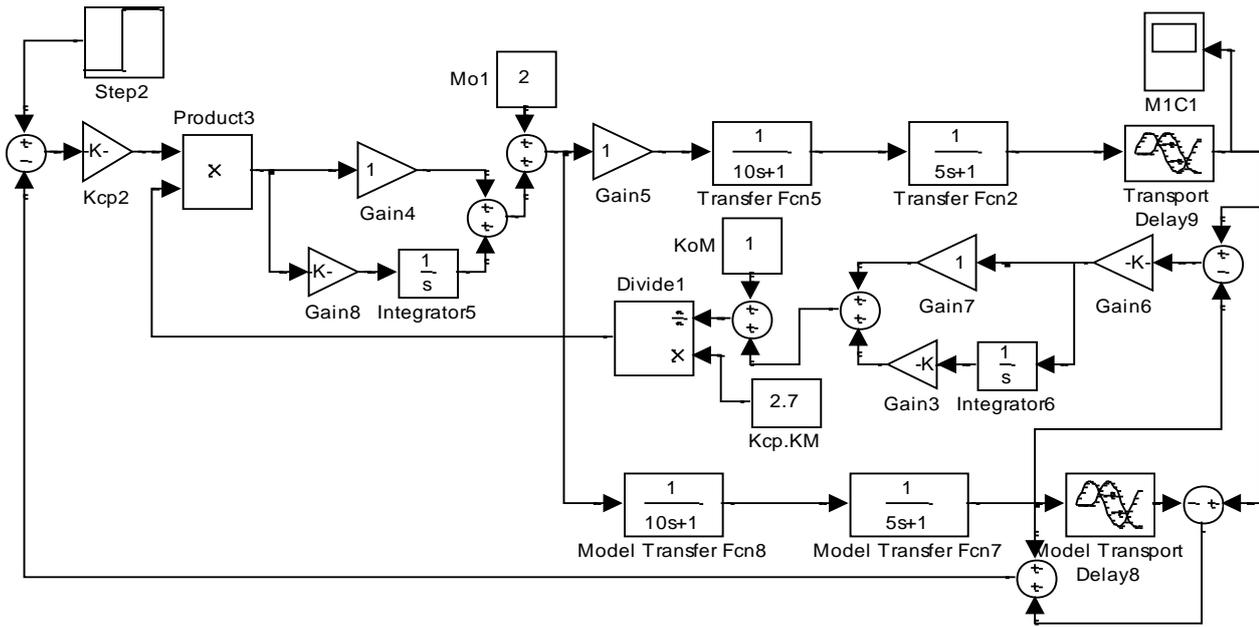
المثالية:



الشكل (5-a) يبين المخطط الصندوقي لمحاكاة طريقة سميث في تعويض الزمن الميت



الشكل (5-b) يبين المخطط الصندوقي لمحاكاة طريقة جيلز وبارتلي في تعويض الزمن الميت



الشكل (5-c) يبين المخطط الصندوقي لمحاكاة الطريقة المقترحة في تعويض الزمن الميت باستخدام المتحكم التكيفي

ويوضح الشكل (5-c) الآلية التي يعمل بها المتحكم التكيفي، ففي هذه الحالة (الشروط مثالية والمتحكم في الوضعية C) تكون القيمة الثابتة للجداء $K_{CP}K_M$ مساوية إلى (2.7) لتعمل على تعديل التغير في K_M وذلك للحفاظ على استقرار استجابة الخرج قدر الإمكان.

إن الطريقة (SDC) والتي لاتحوي على تكيف للريح تستخدم كمعيار لمقارنة الطريقتين الباقيتين، ومن أجل دورات الحساب الأولى أنجزت المحاكاة مع استخدام ($T_{IP} = 6.8$ ، $K_{cp} = 2.2$) كثابت زمنية لمتحكم العملية الرئيسي كذلك ($T_{IA} = 10$ ، $K_{CA} = 0.02$) كثابت زمنية للمتحكم التكيفي ورمز لها بالحالة من النوع "A" ، أما الحالة "B" فقد تم حسابها باعتبار ($T_{IP} = 13.5$ و $K_{cp} = 2.2$ ، $T_{IA} = 10$ ، $K_{CA} = 0.03$) والحالة "C" باعتبار ($T_{IP} = 13.5$ ، $K_{cp} = 1.1$ و $T_{IA} = 10$ ، $K_{CA} = 0.04$).

سنبين نتائج عمل الطرق الثلاث في تعويض الزمن الميت من أجل حالات ومراحل مختلفة لتغير البارامترات من خلال الجدول (2).

الجدول (2) يبين (الخطأ المطلق/100) لاستجابة الخرج من أجل حالات ومراحل مختلفة لتغير البارامترات من أجل دخل واحد للقيمة المرجعية

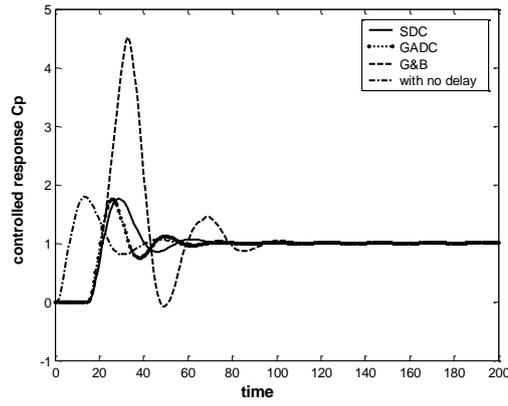
M2	M1	المرحلة			المرحلة	
		بارامترات النموذج	P3	P2	P1	بارامترات العملية
1.0	1.0	K_M	2.0	1.5	1.0	K_P
5.5	5.0	T_{1M}	5.0	5.0	5.0	T_{1P}
11.0	10.0	T_{2M}	10.0	10.0	10.0	T_{2P}
16.0	15.0	T_{dM}	15.0	16.0	15.0	T_{dP}

الحالة A (بارامترات المتحكم الرئيسي والمتحكم التكيفي) $T_{IA} = 10, K_{CA} = 0.02, T_{IP} = 6.8, K_{cp} = 2.2$						
M2	M1	للحالة A	P3	P2	P1	للحالة A
28.89	5.622	(SDC)	207.465	102.25	5.622	(SDC)
50.9	15.55	(G & B)	25.15	33.89	15.55	(G & B)
8.53	1.832	(GADC)	46.95	32.76	1.832	(GADC)
الحالة B (بارامترات المتحكم الرئيسي والمتحكم التكيفي) $T_{IA} = 10, K_{CA} = 0.03, T_{IP} = 13.5, K_{cp} = 2.2$						
M2	M1	للحالة B	P3	P2	P1	للحالة B
8.568	5.592	(SDC)	306.03	31.22	5.592	(SDC)
25.52	7.465	(G & B)	11.98	10.73	7.465	(G & B)
4.424	1.204	(GADC)	25.41	6.828	1.204	(GADC)
الحالة C (بارامترات المتحكم الرئيسي والمتحكم التكيفي) $T_{IA} = 10, K_{CA} = 0.04, T_{IP} = 13.5, K_{cp} = 1.1$						
M2	M1	للحالة C	P3	P2	P1	للحالة C
9.061	10.42	(SDC)	161.42	25.07	10.42	(SDC)
9.115	9.717	(G & B)	10.3	10.61	9.717	(G & B)
4.425	1.495	(GADC)	22.94	6.717	1.495	(GADC)

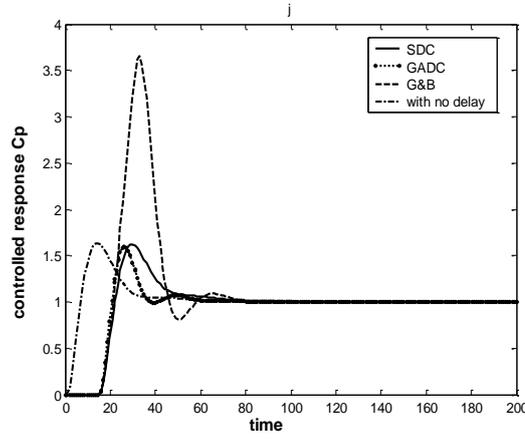
لقد تم تمثيل استجابات القيمة المرجعية الواحدة عند الشروط الأساسية السابقة في الأشكال (8,7,6) ودونت قيم (ITAE) الموافقة لدورات الحساب M1، P1 في الجدول (2). وإن هذه الحالة المثالية التي تتطابق فيها بارامترات النموذج مع بارامترات العملية (من أجل الحالات الثلاث A,B,C) وتتغير فيها ثوابت المتحكم للعملية الرئيسية تبين أن طريقة (GADC) في التحكم من أجل الحالة A هي الأفضل من حيث زمن الاستقرار السريع وقيمة الخطأ المطلق البسيطة وذلك مقارنة بطريقة سميث (SDC) ذات الاستجابة الأبطأ والتي يظهر فيها أن قيمة الخطأ المطلق أكبر بقليل بينما تبدي طريقة جيلز وبارتلي (G & B) ارتفاعاً واضحاً في قيمة الخطأ المطلق.

أما من أجل الحالة B فإن زيادة الزمن التكاملي للمتحكم (6.8 ← 13.5) تزيد من فعالية المتحكم ونقل الاهتزاز بشكل عام حيث يتناقص الخطأ المطلق قليلاً في استجابة سميث وتستقر أسرع من ذي قبل ويطراً تحسين واضح على دارة جيلز وبارتلي إذ يتناقص المطال وبالتالي يقل الخطأ المطلق ولكنها تبقى الأسوأ، حيث إن طريقة المتحكم التكيفي من أجل ثابت مناسب ($K_{CP}K_M = 1.7$) تنقص الخطأ المطلق قليلاً ليكون هو الأصغر مع استقرار سريع في الاستجابة وبالتالي فإن هذه الطريقة تحقق الاستجابة الأفضل، ومن أجل الحالة C ومع تناقص ثابت الريح للمتحكم 2.2 ← 1.1 () فإنه من أجل (GADC) تكون السرعة في بلوغ القيمة المرجعية أقل والانسايبية عالية وهو الأفضل بين الطريقتين الباقيتين حيث إن جيلز وبارتلي هي الأسوأ كون الخطأ المطلق فيها كبيراً.

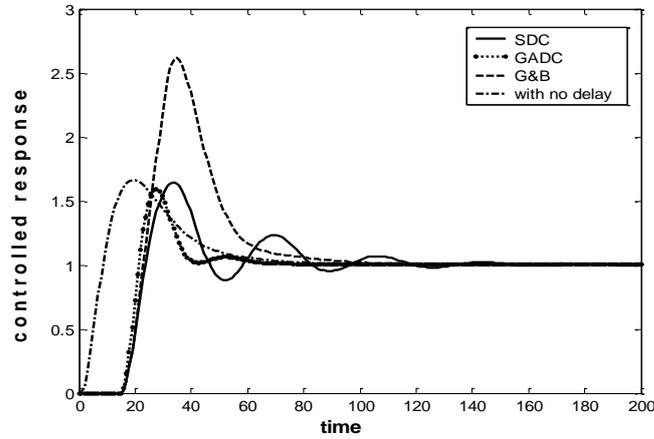
ويشكل عام نجد أن الحالة B الممثلة بالشكل (7) هي الحل الأوسط والأمثل بين الحالتين A، C لكل من (SDC) و (G & B) و (GADC) حيث يكون التحكم أبطأ في الحالة C و يكون أكثر اهتزازاً في الحالة A . وهكذا نجد أنه في الحالة المثالية كانت طريقة سميث جيدة نوعاً ما وسنستعرض فيما يلي تأثير تغيير بارامترات النموذج والعملية نتيجة للظروف المحيطة والشروط لمجاورة.



الشكل (6) يبين استجابة الخطوة الواحدية للطرق الثلاث المطروحة في تعويض الزمن الميت وذلك عند الشروط الابتدائية للحالة A من أجل المرحلة M1 أو P1

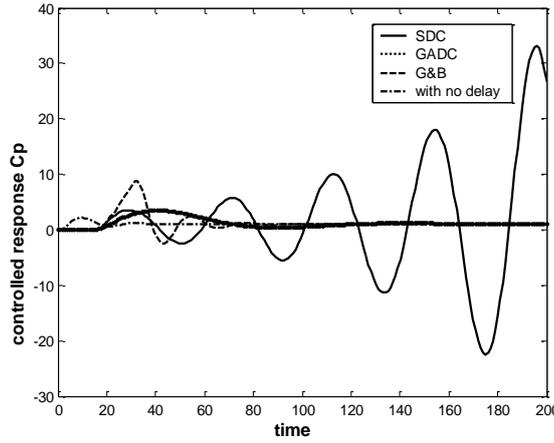


الشكل (7) يبين استجابة الخطوة الواحدية للطرق الثلاث المطروحة في تعويض الزمن الميت وذلك عند الشروط الابتدائية للحالة B من أجل المرحلة M1 أو P1

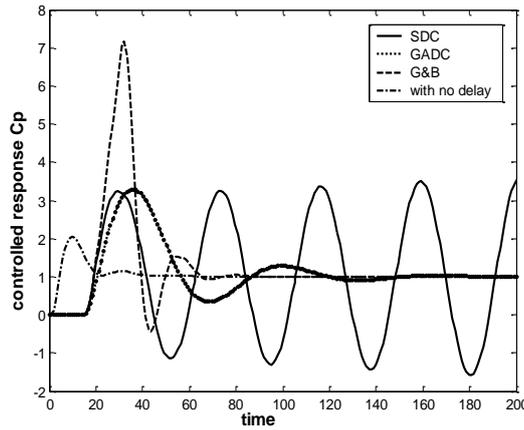


الشكل (8) يبين استجابة الخطوة الواحدية للطرق الثلاث المطروحة في تعويض الزمن الميت وذلك عند الشروط الابتدائية للحالة C من أجل المرحلة M1 أو P1

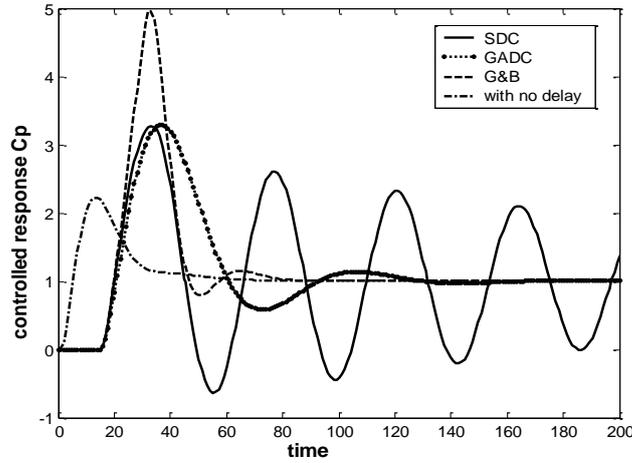
لإجراء الحسابات الخاصة بالتغير في بارامترات العملية والنموذج نبدأ أولاً بالتغيير في بارامتر واحد وليكن بزيادة ثابت الريح للعملية K_{CP} ($1 \leftarrow 2$). هنا سنلاحظ تخامداً أسرع في الاستجابة عند ($G \& B$) مقارنةً مع ($GADC$) بينما يبدي سميث تذبذباً وعدم استقرار واضحين في الحالتين A,B الشكل (10,9) واستجابة أقل جودة من الطريقتين الباقيتين في الحالة C الشكل (11)، وبذلك نجد أن طريقة جيلز وبارتلي هي الأفضل في حال كان التغير في بارامتر واحد فقط سواء للعملية أم للنموذج بينما سميث هي الأسوأ (كون التغير الأكبر كان في ثابت ربح المتحكم الرئيسي) ولكن وباستخدام المتحكم التكيفي في طريقة ($GADC$) يمكن الوصول إلى تحكم جيد.



الشكل (9) يبين استجابة الخطوة الواحدية للطرق الثلاث المطروحة في تعويض الزمن الميت وذلك للحالة A من أجل المرحلة P3

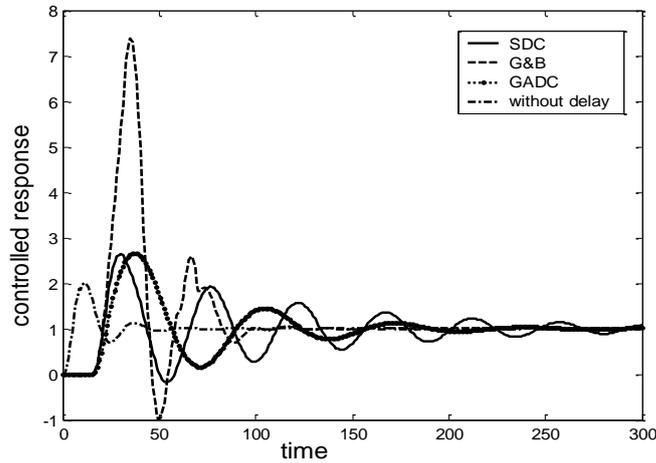


الشكل (10) يبين استجابة الخطوة الواحدية للطرق الثلاث المطروحة في تعويض الزمن الميت وذلك للحالة B من أجل المرحلة P3



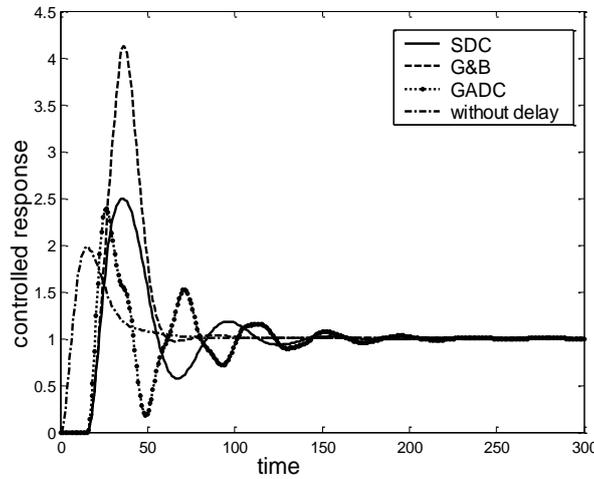
الشكل (11) يبين استجابة الخطوة الواحدة للطرق الثلاث المطروحة في تعويض الزمن الميت وذلك للحالة C من أجل المرحلة P3

أما إذا كان التغيير في أكثر من بارامتر واحد بدلالة الزمن للعملية أو النموذج عندها يصبح التحكم مهتزاً في جيلز وبارتلي وتجاوز الخطأ كبير كما هو واضح في حالة تغيير $(K_{CP} = 1 \rightarrow 1.5)$ ، $(T_{dp} = 15 \rightarrow 16)$ حيث يظهر ذلك في الحالة A من أجل دورة الحساب P2 بشكل واضح كون المتحكم الرئيسي للعملية عالي الحساسية $(K_{cp} = 2.2, T_{ip} = 6.8)$ كما هو مبين في الشكل (12).

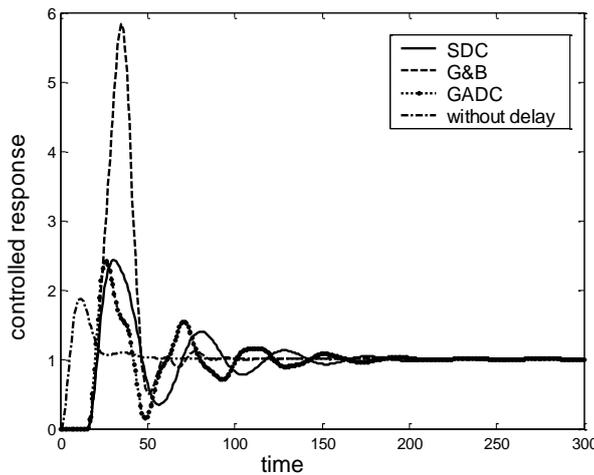


الشكل (12) يبين استجابة الخطوة الواحدة للطرق الثلاث المطروحة في تعويض الزمن الميت وذلك للحالة A من أجل المرحلة P2

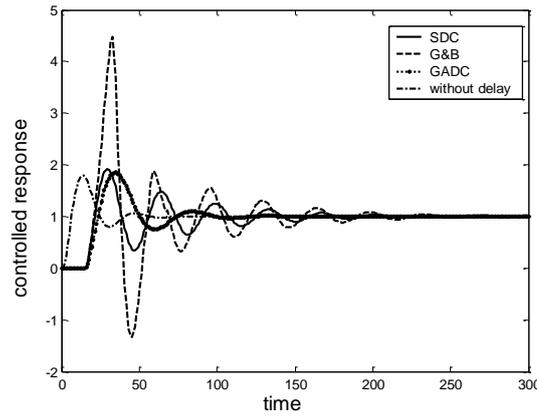
إذ أنه بتخفيض الحساسية لمتحكم العملية الرئيسي (وذلك بزيادة T_{IP} (6.8 ← 13.5) أو بإنقاص K_{CP} (2.2 ← 1.1) كما في الحالة B، C، للشكلين (13-14) فإن الطرق (SDC) و (G & B) تصبح أكثر استقراراً - قياساً بما كانت عليه في الحالة A- ومن الممكن الحصول على استجابة جيدة للقيمة المرجعية في بعض الحالات ولكن تبقى طريقة المتحكم التكيفي غير حساسة نسبياً للتغيرات المذكورة سابقاً حيث إن ميزة تكيف الريح والتي تجعل ربح المتحكم يتغير بما يتوافق مع العلاقة $K_{CP}K_M = const$ وبالتالي فإنه يجعل هذا الثابت يساوي إلى 4.1 في الحالة C فإن الخطأ الزمني المطلق لاستجابة الخرج من أجل طريقة (GADC) يكون هو الأصغر مقارنة ببقية الطرق، مما يدل على أن طريقة تكيف الريح هي الأفضل في حال طرأ التغير على بارامترين أو أكثر .



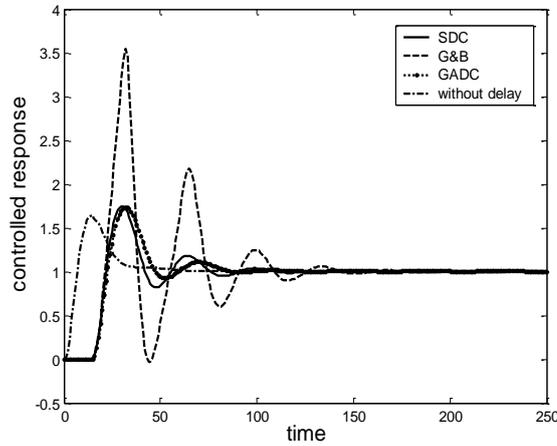
الشكل (13) يبين استجابة الخطوة الواحدية للطرق الثلاث المطروحة في تعويض الزمن الميت وذلك للحالة C من أجل المرحلة P2



الشكل (14) يبين استجابة الخطوة الواحدية للطرق الثلاث المطروحة في تعويض الزمن الميت وذلك للحالة B من أجل المرحلة P2

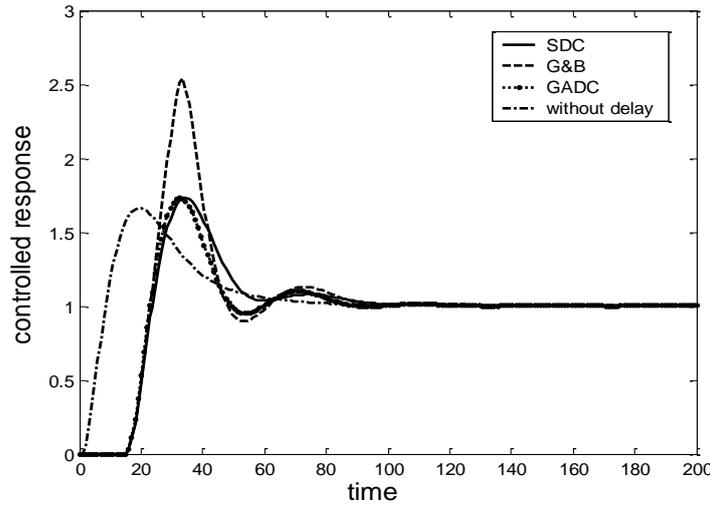


الشكل (15) يبين استجابة الخطوة الواحدة للطرق الثلاث وذلك للحالة A من أجل المرحلة M2



الشكل (16) يبين استجابة الخطوة الواحدة للطرق الثلاث وذلك للحالة B من أجل المرحلة M2

من الجدير ذكره أن جيلز وبارتلي افترضوا ثبات بارامترات العملية والتغيير ببارامترات النموذج فقط كما في حالة تغيير ثلاث بارامترات للنموذج ($T_{1M} = 5.5, T_{2M} = 11, T_{dM} = 16$) عندها فإن تكامل الخطأ المطلق الزمني للاستجابة ($G \& B$) يكون كبيراً كون التغيير في أكثر من بارامتر واحد وهذا واضح في الحالتين A, B وحتى في الحالة C الأشكال (15-16-17) فعلى الرغم من تحسن الاستجابة لجيلز وبارتلي غير أن استجابة ($GADC$) تبقى أفضل منها بينما طريقة سميث (SDC) تبدي الاستجابة الأفضل كون التغيير الأكبر لم يطرأ على ربح العملية .



الشكل (17) يبين استجابة الخطوة الواحدة للطرق الثلاث وذلك للحالة C من أجل المرحلة M2

6- الاستنتاجات والتوصيات:

- نتيجة محاكاة الطرق التي تناولت تعويض الزمن الميت توصلنا إلى مجموعة من الاستنتاجات والتوصيات:
- باقتراح طريقة معدلة لتعويض أثر الزمن الميت في نظم التحكم بالعمليات؛ تمكنا من التعامل مع الحالات الأكثر شمولية والتي يكون فيها التغيير في أكثر من بارامتر واحد.
 - بمقارنة هذه الطريقة المقترحة مع معوض سميث وطريقة جيلز وبارتلي أثبتت بأنها الأفضل من أجل التغيرات الكبيرة في ربح العملية والتي تحدث باستمرار عند التغيرات الطفيفة في التأخير الزمني والزمن الميت. كما أنها مكنتنا من الحصول على مناطق استقرار أوسع.
 - تعتمد هذه الطريقة على استخدام متحكم تكيفي للنموذج المرجعي حيث إن إجراءات التعيير تبدأ بتعيير المتحكم الرئيسي تبعاً للشروط المثالية عندئذٍ يمكن استخدام طرق الاستجابة الترددية للحصول على التقريبات الابتدائية للمتحكم PI لحلقة مكيف الربح.

المراجع:

- [1] - NORMEY-RICO, J. ; CAMACHO, E. *Robust tuning of dead time compensators for processes with an integrator and long dead time*. IEEE Transaction on Automatic Control, Vol. 44,1999,1597–1603.
- [2] - KARE, J.T. *Near-term laser launch capability: the heat exchanger thruster*. AIP Conference Proceedings, No.664,2003, 442-53.
- [3] - FRAUSTO-HERNANDEZ, S.; RICO- RAMIREZ, V.; JIMENEZ-GUTIERREZ,A; HERNANDEZ- CASTRO , S. *MINLP synthesis of heat exchanger networks Considering pressure drop effects*. Computers & Chemical Engineering UK, Vol.27, No.8-9, 15 Sept. 2003, 1143-52
- [4] - HAGGLUND, T. *An industrial dead time compensating PI controller*. Control Engineering Practice, 1996.
- [5] - PALMOR, Z; M. BLAU. *An autotuner for smith dead time compensator*. Int. J. Control, Vol .60, 1994, 117–135 .
- [6] - MATAUSEK, M.; MICIC. A. *A modified smith predictor for controlling a process with an integrator and long dead time*. IEEE Transaction on Automatic Control, Vol. 41, 1996,1199–1203.
- [7] - LEE, T.; WANG, Q.; TAN, K. *Robust Smith predictor controller for uncertain delay systems*. AIChE Journal,Vol. 42, 1996.
- [8] - LEE, T.; WANG, Q.; TAN, K. *Automatic tuning of the smith predictor controller*. Journal of Systems Engineering ,Vol. 5, 1995.
- [9] - PALMOR, Z. J. *Time-delay compensation – Smith predictor and its modifications*, Control Handbook W. S. Levine, Eds, 1996, 224-237.
- [10] -GILES, R. F. ; BARTLEY,T.M. *Gain- Adaptive Dead Time Compensation's* Transactions, Vol.16,No.1, 1977,59-64.

