

استخدام الحاسب للتحكم بنظم الميكاترونك. (دراسة حالة: نظام الكرة والعارضة)

الدكتور محسن داود*

(تاريخ الإيداع 4 / 1 / 2012. قُبل للنشر في 14 / 6 / 2012)

□ ملخص □

يصف هذا البحث تنفيذ عدد من المتحكمات المتقطعة باستخدام الكمبيوتر - متحكمات تقديم الطور، PID ، التغذية العكسية بالسرعة، التغذية العكسية بالحالة باستخدام المراقب، وأخيراً متحكم زمن التخاذم المحدود- للتحكم بنظام كهروميكانيكي مخبري (نظام الكرة والعارضة). تمت نمذجة ووصف النظام والحصول على خواص الحلقة المفتوحة باستخدام بيئة Matlab . إضافةً لذلك، تم عرض متحكمات التحكم الرقمي المباشر بنماذجها الرياضية المتقطعة المختلفة، من أجل تنفيذها بوصفها برامجاً تجعل الكمبيوتر يتصرف بصفته متحكماً رقمياً للنظام السابق. تم البحث في العوامل التي تحدد ملائمة الكمبيوتر للتحكم بالنظام، واختيار القيم الابتدائية لثوابت المتحكم عند سرعة تقطيع عالية بما فيه الكفاية مقارنةً بعرض النطاق الترددي للنظام، وتم عرض الاستجابة الزمنية للنظام عند استخدام المتحكمات المختلفة لدخول الخطوة الواحدة من أجل المقارنة.

الكلمات المفتاحية: التحكم باستخدام الحاسب- متحكمات التحكم الرقمي المباشر- نظام الكرة والعارضة.

* أستاذ- قسم هندسة الميكاترونك- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين- اللاذقية-سورية.

Pc- Based Control Of Mechatronic Systems (Case Study: Ball And Beam System)

Dr. Mohsen Daoud*

(Received 4 / 1 / 2012. Accepted 14 / 6 / 2012)

□ ABSTRACT □

This paper describes implementation of a number of discrete controllers by using the computer-phase advance, PID, velocity feedback, state feedback using observers and finite-time settling controller-to control an electromechanical system .

The system modeling, description, and open-loop specifications, which are determined by using MATLAB are presents in the paper. As well as, the mathematical models of discrete controllers are presents in order to realization them as a programs on the computer, which work as discrete system controller.

The factors which determine the suitability of computer to control applications are investigated. The selection of initial values of controller parameters was made with assumption that the sampling rate was sufficiently fast compared to the system bandwidth and the controllers step response for comparison were presented.

Keywords: PC Based Control, DDC Controllers, Ball and Beam System.

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

مقدمة :

أدى اختراع المعالج الصغري إلى تغيير حقل التحكم بالعمليات بشكل كامل، فالمهام التي كانت تنجز ببناء دارات معقدة وكبيرة، أصبحت الآن تبرمج ببساطة باستخدام الحاسب. في الماضي لم يكن الحاسب يربط بشكل مباشر بالعملية، ولكن كان يستخدم من أجل الإشراف على المتحكمات التشابهيّة.

لقد أدى تدني سعر الحواسيب وزيادة سرعتها إلى إنهاء استخدام المتحكمات التشابهيّة بشكل شبه كامل، لأن الوظائف نفسها يمكن أداؤها بطرق فعالة أكثر وبكلفة أقل.

سنعرض هنا استخدام عدد من المتحكمات المتقطعة- متحكمات تقديم الطور، PID، التغذية العكسية للسرعة Velocity feedback، التغذية العكسية للحالة باستخدام المراقب، ومتحكم زمن التخاذم المحدود- للتحكم بأنظمة الميكاترونك (الأنظمة الكهروميكانيكية) [1].

إن النظام المقترح (نظام الكرة والعارضة) معروف رياضياً، وهو غير مستقر في نظام الحلقة المفتوحة. يستخدم هذا النظام في البيئة التعليمية إذ كانت مهمة التحكم كانت تنفذ سابقاً باستخدام المتحكم التشابهي. لقد تم الاستعاضة عن المتحكم التشابهي بالكمبيوتر (متحكم رقمي) لتعليم نظام التحكم المتقطع زمنياً.

أهمية البحث وأهدافه :

تتبع أهمية البحث من إمكانية الاستعاضة عن المتحكم التشابهي في النظم الكهروميكانيكية بالكمبيوتر، الأمر الذي يوفر الدقة والمرونة والسرعة في إنجاز مهام التحكم. يهدف البحث لتعليم الطالب الأنظمة المتقطعة، وإعطائه فرصة تعلم التصميم والتنفيذ وتقييم الأداء الحدي لخوارزميات التحكم المتقطعة التي تشكل أجزاء العدّ للخوارزميات التشابهيّة التقليدية (PID...etc, phase advance) وأيضاً لتلك الخوارزميات الأحدث state variable feedback، وتسمح أيضاً بدراسة المتحكمات المتقطعة التي لا تملك عدادات تشابهيّة كمتحكمات dead-beat, finite time.

طرائق البحث ومواده :

تمّ إنجاز البحث بالاعتماد على وضع النماذج الرياضية لنظام العارضة والكرة وخوارزميات التحكم المختلفة، واستخدام نظام الكرة والعارضة المخبري لأخذ قراءات القياسات المختلفة ورسم المنحنيات، وتمّ استخدام بيئة Matlab للحصول على المحل الهندسي للجذور والبرمجة بلغة C لتنفيذ الخوارزميات المختلفة بواسطة الحاسب.

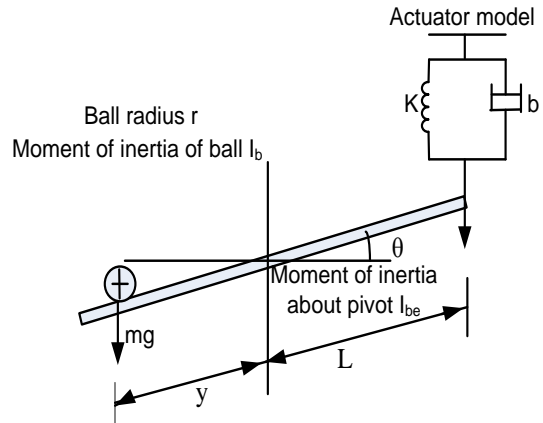
النتائج والمناقشة:**وصف النظام**

إن النظام الكهروميكانيكي موصوف بشكل مفصل في المرجع [2]. ويبين الشكل (1) النظام المكون من عارضة تدور بحرية في مستوي واحد حول مركز مسند، مع كرة حديدية صماء تتحرك بحرية على طول الجهة العلوية للعارضة مع سلكي دعم معزولين كهربائياً.

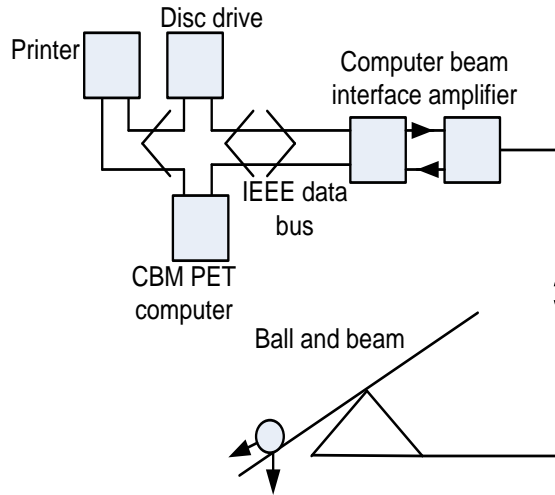
إن مهمة التحكم هنا تتلخص بتوضيح الكرة في نقطة مرغوبة على العارضة باستخدام العزم أو القوة المطبقة على العارضة بوصفه دخل تحكم. تضبط زاوية العارضة عن طريق مفصل عام مرتبط مع ملف مشغل يتحرك عمودياً. تقاس زاوية العارضة بواسطة مقسم جهد دقيق على محور المسند. يقاس موضع الكرة على العارضة بطريقة تقسيم الجهد والتي يتولد فيها جهد صغير عبر السلكين، يتناسب طردياً مع موضع الكرة. يستخدم الكمبيوتر لمعالجة معطيات مواضع الكرة، التي تخزن على قرص CD، ويؤمن وسيلة رسم معطيات الموضع من أجل التحليل اللاحق. يتم تنفيذ ربط CBM PET إلى صندوق التحكم بالعارضة عبر دائرة ربط interface كمبيوتر متعدد الأغراض (الشكل 2). تنتقل المعطيات بين الكمبيوتر ودائرة الربط باتجاهين عبر ممر الاتصال IEEE-488 (GPIB) بتردد يتحدد عبر برمجيات التحكم.



$r=15 \text{ mm}$	نصف قطر الكرة
$g=9.81 \text{ m/s}^2$	تسارع الجاذبية
$m=0.11 \text{ kg}$	كتلة الكرة
$R=1.0 \text{ m}$	طول العارضة



الشكل 1 نظام العارضة والكرة.



الشكل 2 نظام التحكم الرقمي المباشر بالعارضة والكرة.

النموذج الرياضي للعارضة والكرة

يتطلب تطوير وتنفيذ خوارزميات التحكم بشكل رئيس تحديد ديناميكية النظام. وبمعرفة مميزات هذه الديناميكا يصبح من الممكن ابتكار استراتيجيات تحكم مناسبة. لقد تمَّ تطوير نموذج رياضي كامل للعارضة والكرة [2,3]، وتبين أن النظام يمكن أن يوصف بالمعادلات

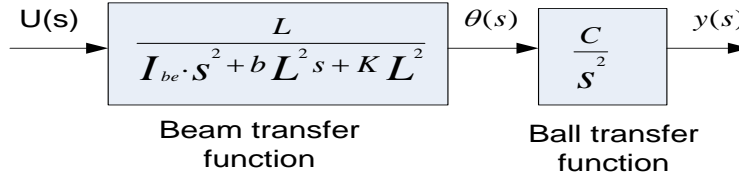
$$\text{Ball} \quad \left[m + \frac{I_b}{r^2} \right] \ddot{y} = mg\theta \quad (1)$$

$$\text{Beam} \quad I_{be} \ddot{\theta} + b L^2 \dot{\theta} + K L^2 \theta = -u(t) \cdot L \quad (2)$$

إن الثوابت في المعادلات السابقة محددة على الشكل (1).

يمكن تمثيل النموذج الرياضي للنظام بدالة تحويل كما هو مبين في الشكل (3)، إذ إن

$$C = \frac{mg}{m + I_b/r^2} \quad (3)$$



الشكل 3 دالة تحويل العارضة والكرة.

إذا أهملنا ديناميكا العارضة مقارنةً بديناميكية الكرة، فإن ذلك يخفض دالة تحويل النظام إلى عنصري تكامل من

الشكل

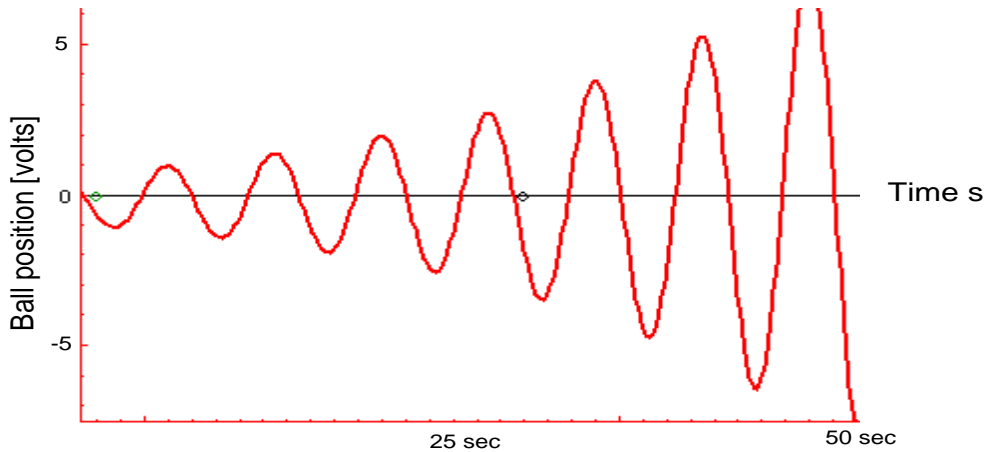
$$G(s) = \frac{b^1}{s^2} \quad (4)$$

إذ إن b^1 هو ثابت الربح وقيمته تساوي $\frac{C}{KL}$ ، وقيمة C تتحدد تجريبياً كما يلي:

إذا نفذنا حلقة التحكم المغلقة باستخدام حلقة التغذية العكسية من موضع الكرة y إلى دخل مشغل العارضة، وعرضنا الكرة بعد ذلك إلى حركة توافقية بسيطة C ، نلاحظ عملياً أن هناك تزايد بطيء لمطال الاهتزاز بسبب

ديناميكية العارضة كما في الشكل (4)، إذ يعطى دور الاهتزاز بـ $T = \frac{2\pi}{\sqrt{b^1}}$ ، والذي يأخذ قيمة تجريبية مقدارها 6.5

.sec

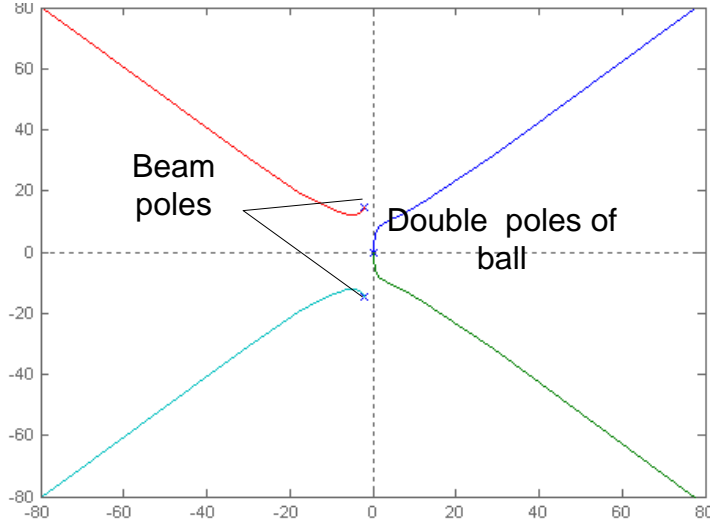


الشكل 4 موضع الكرة عند التغذية العكسية الواحدة.

لقد تمت دراسة ديناميكا العارضة عن طريق الاستجابة الترددية بين دخل المشغل وزاوية العارضة التي تمثل خرج مقسم الكمون، وقد أعطى مخطط الاستجابة الترددية القيم التالية للبارامترات $\zeta = 0.15, \omega_n = 14.59 \text{ rad/s}$, $M_p = 11.5 \text{ db}$, وبذلك فإن دالة تحويل العارضة تعطى بالعلاقة:

$$G(s) = \frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{212.8 K_1}{s^2 + 4.38s + 212.8} \quad (5)$$

إذ إن K_1 هو ثابت ربح علاقة خرج زاوية العارضة بقوة الدخل. من المحل الهندسي للجذور للنظام غير المعوض يمكن أن نرى أن ديناميكية العارضة تتناقص بسرعة أكبر من ديناميكا الكرة كما في الشكل (5).



الشكل 5 المحل الهندسي لجذور العارضة والكرة.

خوارزميات التحكم الرقمي

تعويض تقديم الطور Phase advance compensation

تعطى دالة معوض التقديم بالعلاقة:

$$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K(s - z_1)}{(s - p_1)} \quad (6)$$

إذ إن z_1, p_1 هما قطب وصفر المعوض و $|z_1| < |p_1|$.

يمكن الحصول على الصيغة الرقمية للمعادلة (6) باستخدام تحويل الفرق العكسي من الدرجة الأولى (يمكن

استخدام طرق أخرى كتحويل Z المعدل والتحويل الخطي الثنائي... الخ [4]) وهكذا فإن:

$$\frac{de}{dt} = \frac{e(n) - e(n-1)}{T}, \quad \frac{du}{dt} = \frac{u(n) - u(n-1)}{T} \quad (7)$$

إذ إن T هو دور التقطيع.

إن تحويل Z لعملية الفرق العكسي هو

$$z(s) = \frac{1 - z^{-1}}{T} \quad (8)$$

وبالتعويض نحصل على دالة التحويل النبضية

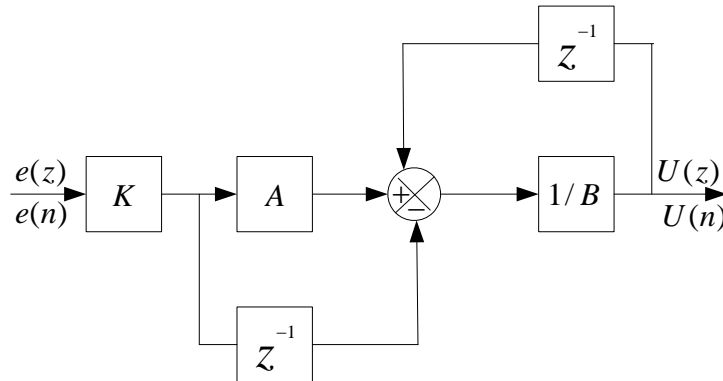
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K \frac{(A - z^{-1})}{(B - z^{-1})} \quad (9)$$

إذ إن $A=1-z_1T$, $B=1-p_1T$

إن معادلة الفرق لتردد تقطيع محدد

$$U(n) = \frac{[Ae(n) - e(n-1)]K + u(n-1)}{B} \quad (10)$$

ويمكن تمثيلها بالمخطط الصندوقي الوارد في الشكل (6).



الشكل 6 معوض تقديم الطور.

المتحكم التناسبي التكاملي التفاضلي PID

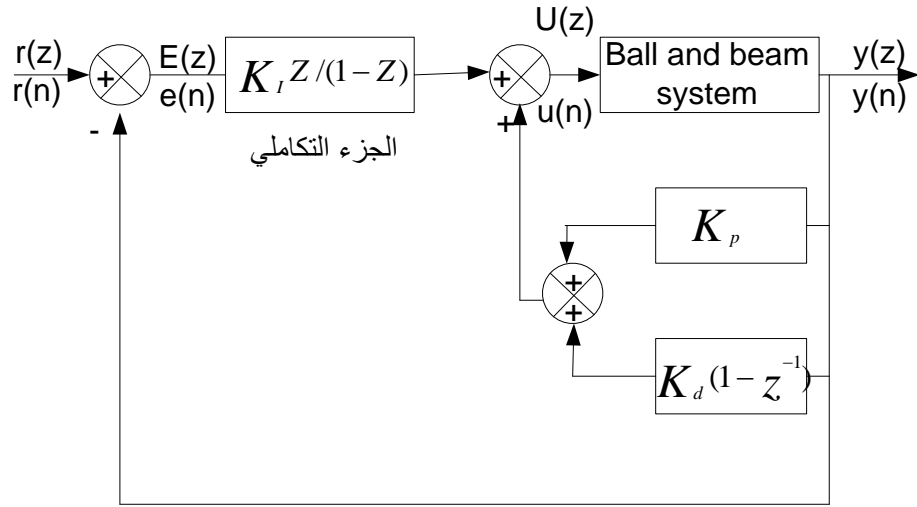
يمكن التعبير عن المتحكم PID الرقمي في صيغة السرعة بالشكل

$$\Delta u(n) = K_p [y(n-1) - y(n)] + K_I [r(n) - y(n)] + K_d [2y(n-1) - y(n-2) - y(n)] \quad (11)$$

أو بصيغة الموضع

$$u(n) = K_p y(n) + K_I \sum_{i=0}^n [r(n) - y(n)] + K_d [y(n) - y(n-1)] \quad (12)$$

إذ إن $r(n)$ ، $y(n)$ هي البيانات العينية لخرج النظام والنقطة المرجعية، وإن $\Delta u(n) = u(n) - u(n-1)$ هو التغير التزايدى لمتغير التحكم $u(n)$ و K_p, K_I, K_d هي قيم ثوابت الربح التناسبي والتكاملي والتفاضلي. من أجل تجنب ما يسمى (بالصدمة التفاضلية للنقطة المرجعية) توجد إشارة النقطة المرجعية فقط في الحد التكاملي للمعادلات (11,12). يؤدي ذلك إلى توضع القسامين التفاضلي والتناسبي في حلقة داخلية فرعية في مخطط التحكم الشكل (7) وبقاء القسم التكاملي وحيداً في الحلقة الرئيسية.



الشكل 7 المتحكم PID الرقمي.

متحكم التغذية العكسية بالسرعة Velocity feedback controller

يتم تقديم الاستقرار لنظام الميكاترونك عبر التغذية العكسية بالسرعة عن طريق أخذ تفاضل موضع الكرة وتوفير التغذية العكسية السالبة بكل من السرعة والموضع، فيكون خرج المتحكم في شكله المستمر هو:

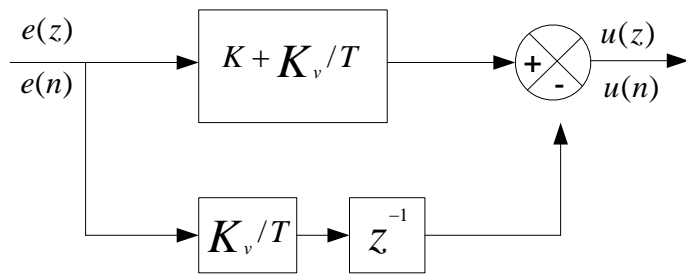
$$u(t) = Ke - K_v \dot{y} \quad (13)$$

باستخدام تحويل الفرق العكسي للمعادلة (2) ووضع $\dot{r}(n) = r(n-1)$ فإننا نحصل على الشكل المتقطع

للمتحكم

$$u(n) = (K + K_v/T).e(n) - (K_v/T)e(n-1) \quad (14)$$

يبين الشكل (8) المخطط الصندوقي للمتحكم السابق.



الشكل 8 المتحكم الرقمي للتغذية العكسية بالسرعة.

مراقب التغذية العكسية بالحالة State feedback observer

تستخدم التغذية العكسية بالحالة في نظم التحكم [5] غالباً لمواجهة مشكلة عدم توفر إمكانية القياس لكل متغيرات الحالة، وحتى في حال توفر ذلك فقد يكون من غير الاقتصادي عملياً توصيل كل الحساسات الضرورية لقياس الحالات.

يمكن التغلب على تلك المشاكل باستخدام نموذج رياضي قادر على توليد قيمة مخمنة لشعاع الحالة \hat{X} لموضوع التحكم. تستخدم إعادة بناء شعاع الحالة لتنفيذ قانون التحكم للتغذية العكسية بالحالة $u = K\hat{X}$. تعطى المعادلة التفاضلية لشعاع الحالة الخطي ومعادلة الخرج كما يلي:

$$\dot{X} = AX + Bu, \quad Y = CX \quad (15)$$

إذ إنه بالنسبة لنظام العارضة والكرة

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -\omega_n^2 & -2\xi\omega_n \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \omega^2 \cdot b^1 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

يمكن كتابة معادلات الحالة والخرج المنقطعة بالشكل التالي:

$$X(n+1) = (TA + I)X(n) + TBU(n), \quad Y(n) = CX(n) \quad (17)$$

حيث إنه بالنسبة لنظام العارضة والكرة

$$(TA + I) = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & bT & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & -\omega_n^2 T & (-2\xi\omega_n T + 1) \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ T\omega^2 \cdot b^1 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (18)$$

وهنا افترضنا أن تزايد الزمن T صغير بالمقارنة مع ديناميكا النظام.

تمت محاكاة المعادلات بالكمبيوتر مع دخل u بقيمة مساوية للدخل الفعلي المطبق على النظام الفيزيائي. باعتبار أن النظام الفيزيائي قد يتعرض إلى اضطرابات غير ممكنة القياس، والنموذج الرياضي هو في أحسن الأحوال التقريب الخطي الأفضل للنظام غير الخطي، يستخدم الفرق بين الخرج الفعلي للنظام y والخرج المقدر \hat{y} كدخل آخر إلى المعادلة المقدرة. يجب أن يعطى نموذج المراقب وقيم الشروط الابتدائية للحالة إذ إن:

$$\hat{X}(n+1) = (TA + I)\hat{X}(n) + TBU(n) + L(y(n) - \hat{y}(n)) \quad (19)$$

وإن L هي مصفوفة المراقب، والتي هي مصفوفة شعاع لنظام الكرة والعارضة، بما أن $\hat{Y}(n) = C\hat{X}(n)$

فإن:

$$\hat{X}(n+1) = (TA + I - LC)\hat{X}(n) + TBU(n) + Ly(n) \quad (20)$$

تولد هذه المعادلة الحالات \hat{x} والتي هي تقدير لحالات موضوع التحكم x. والخطأ بين حالات موضوع التحكم والحالات المقدرة للمراقب تحقق المعادلة:

$$e(n+1) = (TA + I - LC)e(n) \quad (21)$$

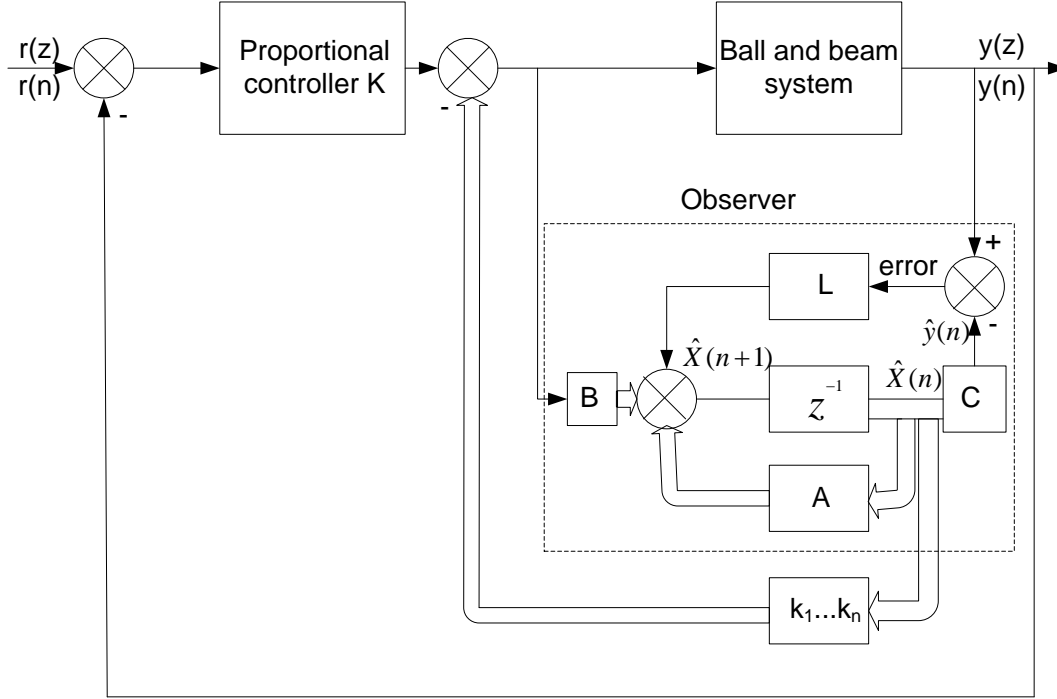
يختار قانون التحكم إذ إن:

$$u(n) = r(n) - K\hat{X} = r(n) - K(x(n) - e(n)) \quad (22)$$

وبالتالي:

$$X(n+1) = (TA + I - TKB)X(n) + TBKe(n) + TBr(n) \quad (23)$$

هناك ميزة مهمة للمعادلات (23,21) وهي أن القيم المميزة للحلقة المغلقة ومعادلات الخطأ يمكن أن تعرف بشكل منفصل باختيار المصفوفات المناسبة لـ K, L . إن القيم المميزة للمصفوفة $(TA+I-TKB)$ عندئذ تؤكد أن حالات المراقب تقترب بسرعة من حالات موضوع التحكم. يبين الشكل (9) المخطط الصندوقي لتلك الخوارزمية.



الشكل 9 المتحكم الرقمي للتغذية العكسية بالحالة باستخدام المراقب.

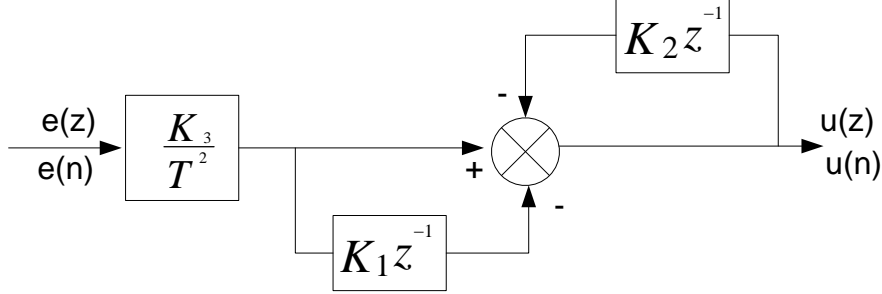
متحكم زمن التخامد المحدود Finite-time settling controller

تنتمي طريقة تصميم هذا المتحكم إلى طرق التركيب المباشر، إذ يصمم المتحكم من أجل استجابة نبضية محددة للحلقة المغلقة. الهدف الرئيس للمتحكم الرقمي هو حذف أية أقطاب أو أصفار غير مرغوبة للنظام غير المعوض، واستبدالها بأخرى تعطي استجابة مرغوبة. في الحالة المثالية، يمكن إتمام ذلك بتصميم المتحكم، فتكون أصفاره الموافقة لأقطاب دالة التحويل النبضية $G(z)$ والتي تتوضع على أو خارج الدائرة الواحدة للمستوي z . إن استخدام التعويض هنا غير عملي، باعتبار أن أقل تغيير في بارامترات موضوع التحكم أو المتحكم ينتج حذف غير تام لأصفار وأقطاب $G(z)$ التي تتوضع خارج الدائرة الواحدة.

لقد وصف [6] Shinnors طريقة للتغلب على هذه المشاكل، والتي تضع متحكماً قابلاً للتنفيذ يلغي أية أصفار ليست ذات طور أدنى في دالة تحويل موضوع التحكم $G(s)$ باستخدام نموذج مبسط للكرة والعارضة بوصفها عنصر تكامل مضاعف، وبالتالي فإن متحكم زمن التخامد المحدود لهذا النظام يكون من الشكل:

$$\frac{u(z)}{e(z)} = \frac{(1 - K_1 \cdot z^{-1}) \cdot K_3}{(1 + K_2 \cdot z^{-1}) \cdot T^2} \quad (24)$$

تحدد بارامترات متحكم زمن التخاذم المحدود مباشرةً من طريقة التصميم بالتركيب المباشر Direct synthesis design method [6]، إذ إنه وفقاً لهذه الطريقة فإن $K_1=0.6, K_2=0.75, \text{ and } K_3=0.4$ بالنسبة لنظام العارضة والكرة المدروس.



الشكل 10 المتحكم زمن التخاذم المحدود الرقمي.

ملاءمة الكمبيوتر Computer suitability

إن العاملين الحاسمين لكون الكمبيوتر مناسباً لأحد تطبيقات التحكم هما دور التقطيع والزمن المطلوب لحساب خوارزميات التحكم.

إن اختيار دور التقطيع T يتم بمراعاة شرطين أساسيين، وهما شرط استقرار الحلقة المغلقة، ومقاومة تلك الحلقة للضجيج. عند سرعة تقطيع عالية بما فيه الكفاية، يكون الأثر المبدئي للمتحكم sample-and-hold في حلقة التحكم الرقمية هو تقديم تأخير زمني بمقدار $T/2$ ثانية (عند استخدام مقطع مع ماسك من المرتبة الصفرية). هذا يعني أنه عند تردد $2/T$ يقدم الماسك من المرتبة الصفرية تأخير طور مقداره 360 درجة. من أجل أن لا ينخفض أداء الحلقة المغلقة عند إدخال عنصر التقطيع والمسك فإن القاعدة هنا أن لا يتم تقديم زاوية تأخير طور أكبر من $10-20$ درجة عند التردد الطبيعي للحلقة.

الاعتبار الآخر هو أن يكون دور التقطيع طويل قدر الإمكان لتخفيض تأثير الضجيج في الحلقة. لقد أنجز [7]LEE تحليل للاختيار الدقيق لدور التقطيع T والذي استنتج أن T يجب أن يختار في المجال $f/8 > T > f/16$ إذ إن f هو التردد الطبيعي للحلقة بالهرتز.

إن استخدام المتراجحة السابقة لدور التقطيع من أجل نظام الكرة والعارضة يحتم تحقق العلاقة $0.8 > T > 0.4$ ثانية. لقد تبين أنه من الضروري عملياً إنقاص قيمة T إلى 0.1 sec للحصول على تحكم مناسب.

لقد كانت المهمة التالية هي تحديد إمكانية إتمام إنجاز عمليات الدخل/الخرج والحساب في الوقت المتاح. لقد تقرر منذ البداية استخدام لغات برمجة ذات مستوى عالٍ، لأن ذلك يخفض بشكل ملحوظ الزمن المطلوب لتطوير النظام ويلغي ضرورة تطوير برامج رياضية فرعية خاصةً باعتبار ذلك يشكل القسم التكامل للغة. وبذلك تم استخدام لغة C، نورد فيما يلي القسم الرئيسي لبرنامج يعبر عن المتحكم PID الرقمي المعبر عنه في الفقرة (2.3.4).

```
rn = 10.0; y = u = 0.0; en_1 = en_2 = 0.0; DT = 0.1;
while (true) { // Processing loop of the ideal PID controller of velocity type
    e = rn - y; // e(t) = rn - y(t),
    du = Kp * (yn_1 - yn) + Ki*[rn-yn] + Kd * [ 2*yn_1-yn_2-yn]; // Equation (11)
    u = u + du; // u_n = u_{n-1} + Δu_n,
    y = inport(y, u); // PV_n = inport(y_{n-1}, u_{n-1}), from measurement
```

```

en_2 = en_1;           //e_{n-2} = e_{n-1}, update previous value to current value
en_1 = e;             //e_{n-1} = e_n, update previous value to current value
}

```

لقد لوحظ عند العمل مع اللغات عالية المستوى أن زمن التشغيل للدخل/الخرج استغرق تقريباً 74 ms. إن ذلك جيد مقارنةً بالحد الأعلى الذي اقترحه LEE [7]. لقد تم تنفيذ كل من استراتيجيات التحكم بشكل منفصل. من أجل تنفيذ خوارزميات التحكم المختلفة بالنظام. تبنى سلسلة من البرامج المستقلة بشكل يسمح للمستخدم أن يدخل يارامترات المتحكم بواسطة لوحة المفاتيح قبل تشغيل البرنامج مع أخذ دور التقطيع بقيمة 0.1 sec.

اختيار بارامترات المتحكم

لقد تم افتراض أن سرعة التقطيع سريعة بما فيه الكفاية في طريقة التصميم المباشر لخوارزمية زمن التخادم المحدود عند تقدير القيم الابتدائية لبارامترات المتحكم، مقارنة بعرض النطاق الترددي للنظام، وهذا ما يسمح باستخدام الطرق التقليدية في تحليل النظام.

لقد تم تكييف طريقتين لتحليل وتصميم المتحكم PID، الأولى هي طريقة زيغلر-نيكولز [8]، والتي استخدمت لتحديد بارامترات المتحكم على أساس تقدير K_u (الريح الذي يهتز عنده النظام بشكل مستمر) و T_u (دور الاهتزاز) من خلال مخطط بود للحلقة المفتوحة للنظام. من الواضح أن هذه الطريقة كانت تبسيطاً إضافياً عندما يكون نموذج الحلقة المفتوحة لموضوع التحكم المستخدم في طريقة زيغلر-نيكولز مستقراً. بالرغم من ذلك لا زالت هذه الطريقة تستخدم عند التقدير الابتدائي لبارامترات المتحكم. والطريقة الثانية كانت باستخدام قيم تعتمد على مؤشر أداء خاص، ومؤشر الأداء الخاص كان الخطأ المطلق الزمني التكاملي (Integral of time multiplied absolute error) ITAE واستخدام نموذج ثنائي المكامل لنظام الكرة والعارضة. لقد تم تحديد المعاملات الأمثلية للمعادلة المميزة للنظام اعتماداً على ITAE من أجل دخل الانحدار [9]. وبذلك يمكن الوصول إلى تخمين القيم الابتدائية لبارامترات المتحكم.

لقد تم تصميم معوض تقديم الطور في المجال الترددي بمساعدة حزمة تصميم نظم التحكم المتوفرة على نظام الكمبيوتر VAX11/780. وتم تصميم مواقع الصفر والقطب للمعوض لتلائم مواصفات النظام، وهي أن زمن التخادم يجب أن يكون أقل من 6 sec والتجاوز الأعظمي للهدف أقل من 15%.

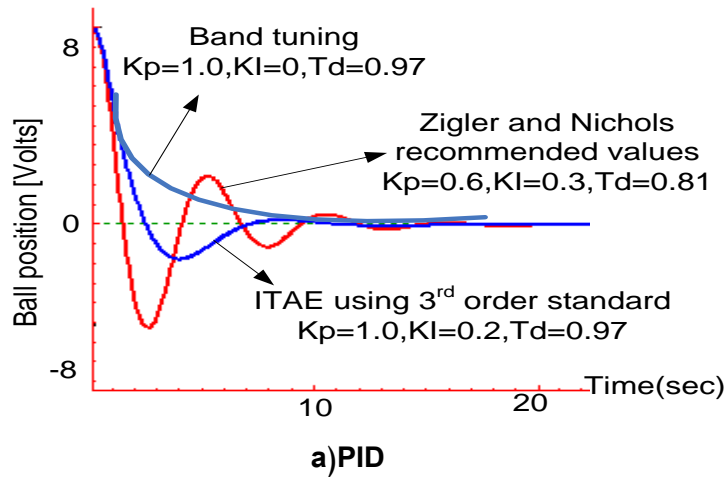
لقد تم تحديد بارامترات متحكم التغذية العكسية بالحالة باختيار القيم التي تجعل مؤشر أداء الخطأ التربيعي التكاملي (Integral square error) ISE أصغرياً لقيم ابتدائية محددة لشعاع الحالة [10] وتم استخدامها مع نموذج حالة من المرتبة الثانية، لكن تحليل النظام مع نموذج من المرتبة الرابعة للحالة يصبح أصعب بكثير.

لقد تم تحديد بارامترات متحكم زمن التخادم المحدود مباشرة من إجراءات التصميم المباشر لطريقة التركيب المباشر [6].

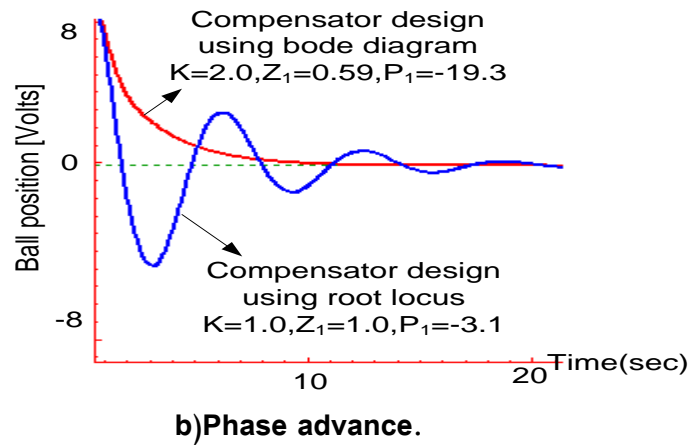
استجابة النظام

لقد تم إنجاز اختبار استجابة خطوة الوحدة لتقييم الاستحقاقات النسبية لكل من خوارزميات التحكم باستخدام النموذج المخبري فقط، وهذا ما هو وارد في الشكل (11) للمتحكمات المختلفة، إذ تم ذلك بوضع الكرة على يمين العارضة وإدخال الموضع المطلوب بواسطة لوحة المفاتيح، وهو الواقع في مركز العارضة وكان دخل الخطوة للنظام بمطال 10 Volts. لقد تم أخذ بيانات موضع الكرة وتخزينها للتحليل التالي. إن استجابة النظام عند استخدام المتحكم PID، الذي تم تحديد بارامتراته وفقاً لطريقة زيغلر-نيكولز غير مناسبة، إذ إنه عند أول قبة يسعى التجاوز الأعظمي

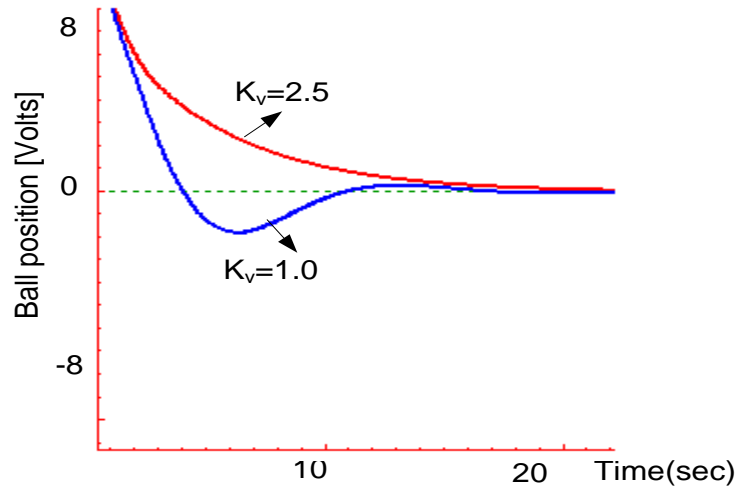
للهدف لتجاوز طول العارضة وهناك حاجة لبعض التوليف اليدوي. إن الاستجابة عند استخدام تقدير بارامترات المتحكم وفقا لمعيار ITAE(Integral of time multiplied absolute error) محسنة بشكل كبير عن تلك التي تمت باستخدام طريقة زيغلر-نيكولز للتوليف، لكن يبقى التوليف الدقيق هنا ضرورياً لتخفيض التجاوز الأعظمي للهدف وزمن التخامد.



يفشل متحكم تقديم الطور الذي يستخدم البارامترات السابقة بالوصول إلى تحكم جيد يوافق معطيات مرغوبة محددة لزمن التخامد، إلا أن التوليف الدقيق لمواضع الصفر والقطب يحسن الاستجابة.

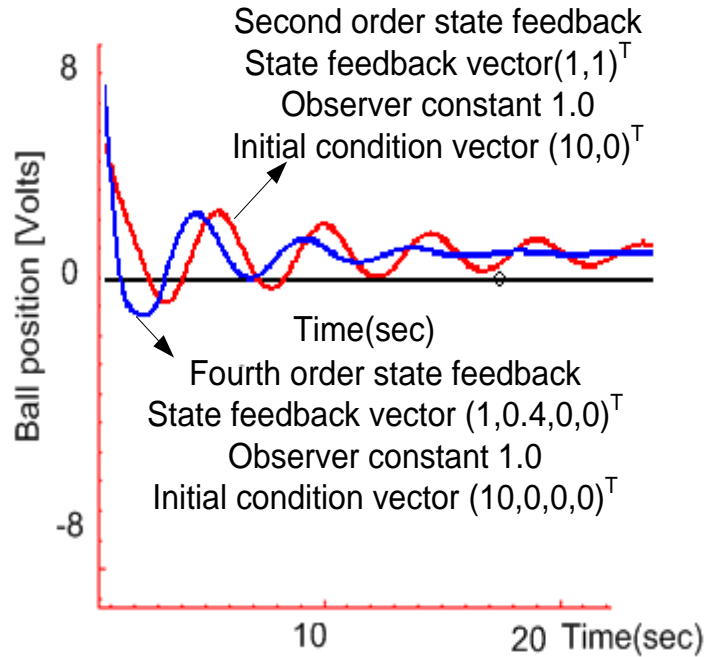


عند استخدام متحكم التغذية العكسية بالسرعة، فإن النظام يستقر بسرعة، ولقد وفر توليف ثابت السرعة بعناية الحصول على استجابة مقبولة.



c) velocity feedback.

لقد كان استخدام التغذية العكسية بالحالة عبر استخدام نموذج المراقب ناجحاً، لأنه تمّ التغلب على مشكلة الحساب لثوابت المراقب. وتمّ اختيار مصفوفة المراقب (L) لجعل الفرق بين الموضع الفعلي والموضع المقدر أصغرياً، مع اهتزاز مخفف قدر الإمكان.

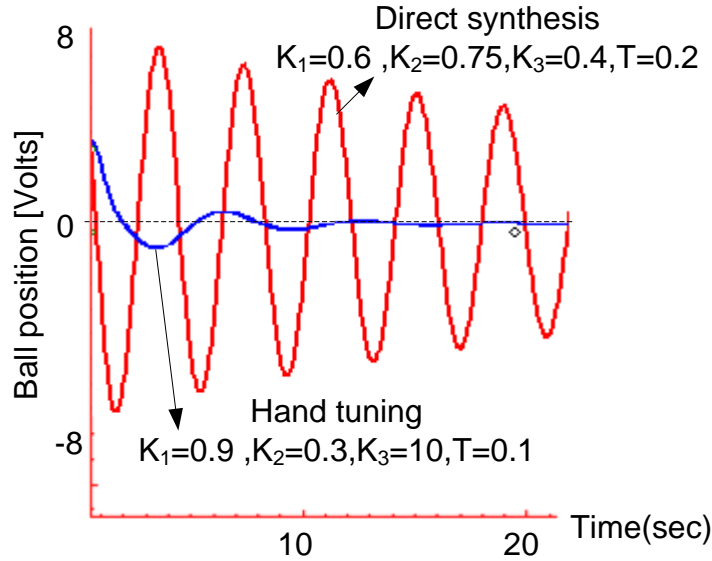


d) State feedback using observer.

إن الاستجابة الزمنية عند استخدام متحكم زمن التخميد المحدود ذي البارامترات التي تمّ تحديدها وفقاً لنموذج من المرتبة الثانية غير مناسبة، وكان من الضروري تغيير ذلك. إن أداء هذه الخوارزمية أعطى فعل تحكم قفزي. من الواضح من منحنى الاستجابة أن وجود الاحتكاك غير الخطي في العارضة يعني أنه إذا بلغنا الانزياح الصفري، فإن الخطأ يجب أن يكامل بواسطة المتحكم. وهذا يعني أن استخدام المتحكم PID هو فقط الذي يناسب هذا الشرط. يمكن

تعديل النظام الذي يستخدم متحكم التغذية العكسية بالحالة بسرعة للاتحاد مع المكامل في المسار الأمامي، والذي يناسب عندئذ خاصية انزياح الصفر.

إن أداء دارات الخوارزميات بشكل عام يتحدد بالقيود الميكانيكية للعارضة وللمدى الأقل باختيار بارامترات المتحكم. يدور مشغل العارضة بـ $+1.8$ degrees و -4.2 degrees. إذا كان عمل التحكم يقتضي ميل أكبر للعارضة فإن النظام يدخل في مرحلة الإشباع.



e) finite-time settling controller.

الشكل 11 استجابة نظام التحكم بالكرة والعارضة عند استخدام متحكمات متقطعة

الاستنتاجات والتوصيات:

مما سبق وبنتيجه التحليل نصل إلى النتائج التالية:

1. لقد أظهر البحث كيفية تنفيذ التحكم بنظام كهروميكانيكي بواسطة الخوارزميات المتقطعة بنجاح باستخدام الكمبيوتر.
2. وتم البحث في تنفيذ عدد من خوارزميات التحكم الرقمي المباشر.
3. تم إظهار إن جميع متحكمات التحكم الرقمي المباشر قادرة على تحقيق استقرار نظام غير مستقر، عبر الاختيار الدقيق لبارامترات المتحكم.
4. تمت المقارنة بين استخدام متحكمات التحكم الرقمي المباشر من خلال استجابة الوحدة للنظام الكهروميكانيكي.

المراجع:

1. discrete algorithms using a micro-computer", I.E.R.E. conference proceeding No.58. 1984.
2. WELLSTEAD, P. E. et.al "The ball and beam control experiment", Int. journal of Electrical engineering education, vol.15 pp.21-38, 1977.
3. WELLSTEAD, P. E.. "Introduction to physical system modelling", Academic Press,1979.
4. BEN-ZW, A.; PREIZLER, M. "Comparison of discretization methods", MOD1979.
5. KUO, B.C. " Digital control systems", Holt, Rinehart and Winston 1980,730.
6. SHINNERS, S. M. "Control system design ", John Willy & Sons, 1964,523.
7. LEE, W.T. et.al "Discrete control systems" ,Society of instrument technology symposium, 1985.
8. ZIGLER, j.G.; NICHOLS, N.B. "Tuning of digital PID controllers", Trans.A.S.M.E., vol.64 pp759-68., 1942
9. D'AZZO, J.J.; HOUPIES, C.H. "Linear control system analysis&design", McCraw Hill,1981,439
10. DROF, R.C. "Modern control systems", Adisson-Wesely, 1980,433.