

عبد الله مختاري*

بو حنة عبد الرحمان**

بوحميدة محمد**

التحكم المكيف لحرارة فرن كهربائي

Abstract

Heating responses of a monovariate oven with oven with an open and loop closed loop transfert function have been presented to show that the type of adaptive predictive control is very well suited to control tracking systems.

In this paper some improvements of this method are presented and compared with results obtained by maching method.

مقدمة

إن المكانة التي تحتلها الأنظمة الحرارية في الميدان الصناعي تعتبر جد هامة (الصناعة الكيميائية، الحديدية الخرف.. الخ) وعند استعمال هذه الأنظمة فإن بعض الوسائط الأساسية كالحرارة والرطوبة والضغط وجب تثبيتها في حدود معينة.

تعديل هذه الوسائط عن طريق المنظمات يركز أساسيا على تدخل العامل عند ظهور انحرافات في خصائص الجودة للجملة التحكمية هذه الطريقة للتحكم تعتبر مرضية حول نقطة تشغيل معينة لكن عند وجود تغير في هذه الأخيرة فإن بعض المشاكل تظهر. مما يدفعنا إلى استخدام طرق التحكم العصرية حيث وسائط النظم تعدل أليا تغيرات وسائط النظام

من بين الطرق التحكمية المستعملة يوجد المنظمات المكيفة أليا المعتمدة على وضعية الأقطاب والأصفار للحلقة المغلقة والتحكم التنبئي العام G.P.C

سنطبق هذه الطرق على فرن كهربائي شكل 1 حيث نقدم نتائج المحاكاة من الشروط مختلفة وذلك بالإقتراب من الواقع إجابة إختبار الجملة التحكمية في الشروط صعبة

2 تمثيل الفرن الكهربائي

تتكون الجملة من :

- فرن كهربائي - (1000 c)

- درجة تضخيم (ثايرستور)

- مزدوجة حرارية مع مضخمات



شكل 1. تمثيل نموذج الفرن

من العلاقة (3) نستطيع كتابة جهد المخرج $V_o(t)$:

$$(4) \quad V_o(t) = \varphi^T(t) \cdot \theta(t)$$

$$\varphi^T(t-1) = [V_i(t-d), V_i(t-d-1), \dots, V_o(t-1)]$$

$$\theta(t) = [b_0(t), b_1(t), a_1(t)]^T$$

- نلاحظ أن إشارة المخرج للحلقة المفتوحة بطيئة عند تطبيق في المدخل إشارة قدرة أحادية (شكل 2) وبالتالي يجب تنظيم حراري.

- توجد طرق كثيرة للتنظيم الآلي لكن التجارب المستعملة حول نقاط أخرى مع استعمال نفس التنظيم تؤدي إلى إحطاط الجودة في الجملة بسبب آثار الازدواج وبالتالي فإن الوسائط الثابتة للمنظم لا تعطي تحكما مرضيا مما يبين أهمية استخدام المكيف حيث وسائط المنظم تعدل أليا (شكل 3)

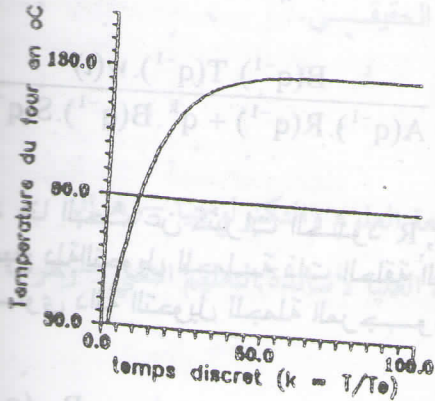


Fig 2: Réponse en boucle ouverte du four

نعتبر هنا أن الجملة غير خطية ، وتصرفتها الديناميكي يختلف من وضعية صعود أو نزول الحرارة توقفا على الحمل لأن تبريد الفرن يعتمد أساسا على درجة العزل ، إلا أن التسخين يعتمد على الطاقة و وضعية العنصر المسخن.

النموذج الخطي للفرن حول نقطة تشغيل يعطى بالعلاقة:

$$(1) \quad G(s) = \frac{G_0 e^{-\tau \cdot s}}{1 + T_0 s}$$

مع

$$G_0 = 1.64$$

$$\tau = 270 \text{ sec}$$

$$T_0 = 3480 \text{ sec}$$

والنموذج المنجزأ استخدام دائرة التوقيف ذات درجة صفر يعطي بالعلاقة التالية :

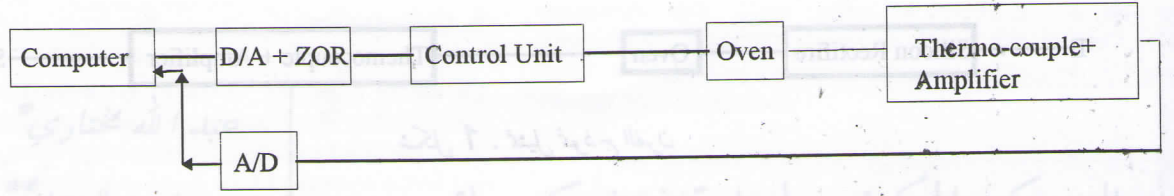
$$(2) \quad G'(s) = \frac{G_0 \cdot e^{-\tau \cdot s}}{1 + T_0 \cdot s} \cdot \frac{1 - e^{-s \cdot T_e}}{s}$$

باستعمال تحويلة Z للدالة $G'(s)$ نحصل على العلاقة

$$(3) \quad G'(Z^{-1}) = Z^{-d} \cdot \frac{b_0 + b_1 \cdot Z^{-1}}{1 + a}$$

$$b_0 = G_0 \cdot (1 - e^{-\frac{L-T_e}{T_0}}); b_1 = G_0 \cdot e^{-\frac{T_e}{T_0}} / (e^{\frac{L}{T_0}} - 1)$$

$$a_1 = e^{-\frac{T_e}{T_0}}; \tau = d \cdot T_e + 1; 1 < T_e$$



شكل 3 التحكم الكهربائي للفرن

3 نتائج التحكم في الفرن

1.3 المنظم المكيف لوضعية الأقطاب والأصفار

يرتكز هذا المنظم أساسا على وضعية الأقطاب والأصفار لاجملة ذات حلقة مغلقة [4, 3, 2, 1] ميزة هذه الطريقة بالنسبة للطرق الأخرى هي ضمان ديناميكية مختارة لجملة ذات حلقة مغلقة. المعادلة العامة للمنظم الخطي تعطي بالعلاقة الآتية :

$$(5) \quad R(q^{-1}) \cdot U(t) = T(q^{-1}) \cdot w(t) - s(q^{-1}) \cdot y(t)$$

حيث $U(t)$, $y(t)$, $w(t)$ تمثل إشارات التحكم ، المخرج والمرجع الزمن على التوالي عند الزمن t .
 T , S , R عبارة عن كثيرات الحدود بدلالة q^{-1} حيث q^{-1} تعبر عن التأخير. الجملة ذات الحلقة المغلقة تكون معرفة إذن بالعلاقة التالية :

$$(6) \quad Y(t) = q^{-d} \frac{B(q^{-1}) \cdot T(q^{-1}) \cdot w(t)}{A(q^{-1}) \cdot R(q^{-1}) + q^k \cdot B(q^{-1}) \cdot S(q^{-1})}$$

نود هنا البحث عن كثيرات الحدود T , S , R بحيث تصبح دالة التحويل للجملة ذات الحلقة المغلقة G تساوي دالة التحويل للجملة المرجوة G_m مع :

$$(7) \quad G_m = q^{-d} \frac{B_m(q^{-1})}{A_m(q^{-1})}$$

$$(8) \quad G = \frac{Y(q^{-1})}{W(q^{-1})} = q^{-d} \cdot \frac{B \cdot T}{A \cdot R + q^{-d} \cdot B \cdot S}$$

أخيرا ، فإن مشكلة التحكم هنا أرجعت الى حل المتشابهة المسماة بزوت (Besout) أو معادلة ديوفانتيني (Diophantine)

$$(9) \quad A(q^{-1}) \cdot R(q^{-1}) + q^{-d} \cdot B(q^{-1}) \cdot S(q^{-1}) = T_1(q^{-1}) \cdot A_m(q^{-1})$$

حيث T_1 يمثل معوض مستقر.

-حساب قانون التحكم يتطلب معرفة وسائط الجملة ، لكن هذه الأخيرة تكون عادة غير معروفة ، مما يؤدي الى تقديرها عبر عملية مطابقة ، تركز على طريقة الأدنى المربع التكرارية RLS باستخدام التحليل UD ، و عامل النسيان وخوارزم المسار الثابت.
 المحاكات المطبقة على نموذج الحرارة قد وضحت أن مجال التجزئة بزمن قدره $T_e = 300 \text{ sec}$ يعتبر ملائما.

2.3 التحكم التنبئي العام: GPC

هذه الطريقة تركز على خطوتين أساسيتين :
 - التنبؤ بإشارة خارج الجملة في مجال أفق معرف عن طريق نموذج معين .
 - إيجاد المداخل المستقبلية قصد الوصول الى أهداف التحكم
 ليكن نموذج لدينا Carima المعروف بالعلاقة [6, 5]

4. نتائج المحاكات

لقد استخدمنا كدخل للنموذج إشارة متتالية شبه عشوائية عشوائية PRBS بمتتالية $N = 63$ ديناميكية جملة التسخين للحلقة المغلقة بطريقة وضعية الأقطاب موضحة في الأشكال 14 ، 4ب أما بالنسبة لإشارة مرجع متغيرة فإن النتائج المحصلة قد وضحت في الأشكال 15 ، 5ب ونتائج التحكم بطريقة GPC قد وضحت في الأشكال 5 ، 7.

5. الخلاصة

في هذا البحث قمنا بدراسة التحكم المكيف المرتكز على وضعية الأقطاب والأصفار والتحكم التنبئي العام وقد وضحت على النتائج الطريقة الأولى تمتاز بضمانها بقرار الجملة المحكمة ، كما تقرر التصرف الديناميكي المرجو للحلقة المعرفة في المقابل هذه الطريقة تستخدم الخوارزميات الضمنية والخوارزميات الواضحة.

-أما طريقة GPC فهي طريقة قوية ذات جودة عالية نظرا للنتائج المحصل عليها ، كما أنها سهلة البرمجة على الحاسوب لأنها لا تعتمد إلا على عامل التقليل -إن نتائج المحاكات بينت أهمية هذا الخوارزم لتطبيقه في الزمن الحقيقي.

*جامعة العلوم والتكنولوجيا -وهران

**المدرسة العليا لأساتذة التعليم التقني -وهران

$$(10) \quad A(q^{-1}) \cdot Y(q^{-1}) = B(q^{-1}) \cdot U(t-d) + \frac{e(t)}{\Delta}$$

مع

$$\Delta = 1 - q^{-1}$$

خطه هذه الطريقة مبنية على تقليص المعيار التربيعي

$$(11) \quad J = \sum_{j=d}^{d+N_p-1} [e^2(t+j) + \lambda \cdot \Delta U^2(t+j-d)]$$

مع λ تمثل عامل الثقل $\Delta \mu$ تغيرات التحكم المستقبلي و e خطأ التنبؤ بين خرج الجملة المنبئة وخرج النموذج المرجعي.

$$(12) \quad e(t+j) = Y_m(t+j) + \hat{Y}(t + \frac{j}{t})$$

إن تقليص المعيار التربيعي يؤدي بنا الى الحل التالي:

$$(13) \quad \Delta U(t+d) = (G^T \cdot G + \lambda \cdot I)^{-1} \cdot G^T [Y_m(t+d) - \hat{Y}(t+d)]$$

وحل هذه المعادلة مبني على العلاقة الأواى لديوفانتين

$$(14) \quad 1 = \Delta \cdot E(q^{-1}) \cdot A(q^{-1}) + q^{-j} \cdot F(q^{-1})$$

و العلاقة الثانية لديوفانتين :

$$(15) \quad G = E \cdot B = R(q^{-1})q^{-j} \cdot S(q^{-1})$$

ولحساب تغيرات التحكم ، فإن عكس المصفوفة السابقة تعتبر جد مكلفة ولهذا استخدمنا خوارزم فافيي Favier الذي يمكننا من حساب $G(t)$ بطريقة تكرارية [7]

Fig 4a: Reponse du four electrique avec methode PP ($\omega_0=0.003$ rd/s ; $k_{st}=0.7$)

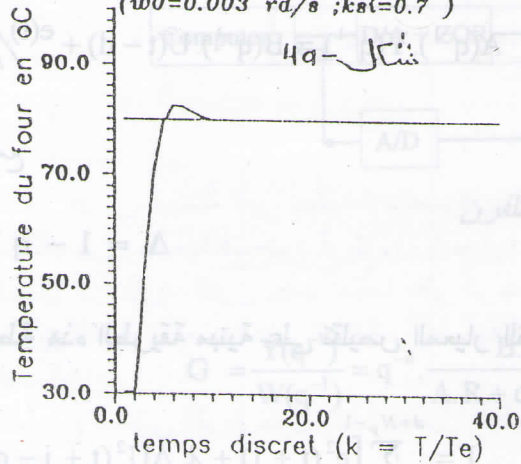


Fig 4b: Signal de commande correspondant a la fig 4a

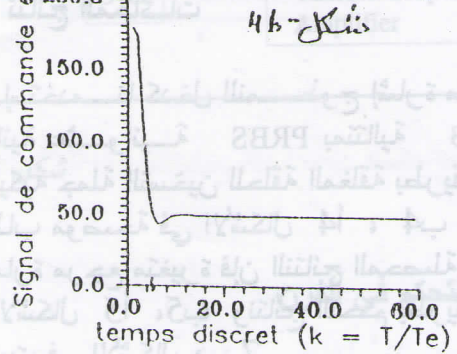


Fig 5a: Reponse du Four electrique par methode PP avec reference variable ($\omega_0=0.003$ rd/s , $k_{st}=0.7$)

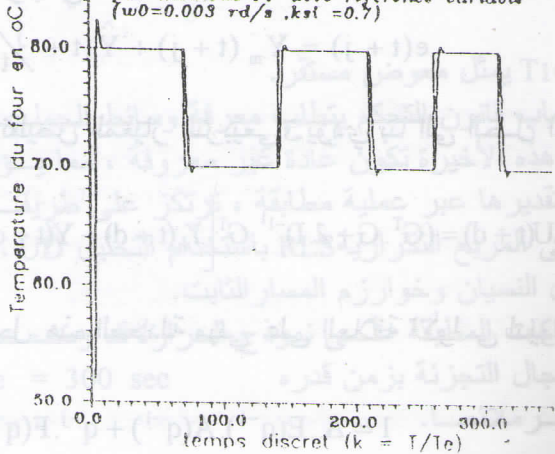


Fig 5b: signal de commande correspondant a la fig 5a

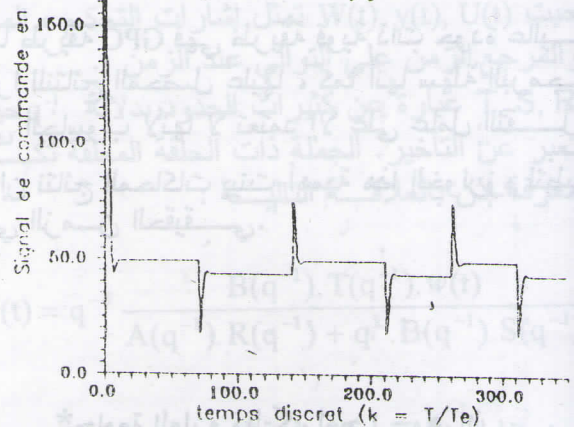


Fig 6a: Reponse du Four electrique methode GPC ($HP=3$; $Lamda=0.15$)

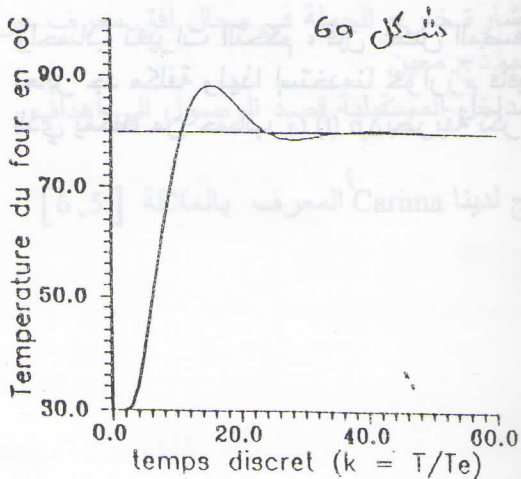


Fig 6b: Reponse du four electrique methode GPC ($HP= 0$, $Lamda=0.8$)

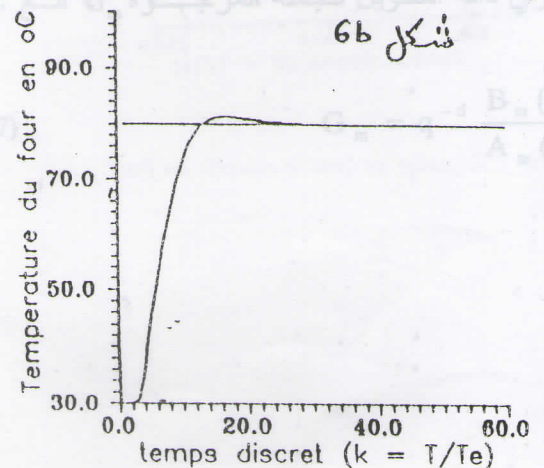


Fig 7a: Réponse du Four électrique
méthode CPC (HP=3; $\lambda=0.15$)

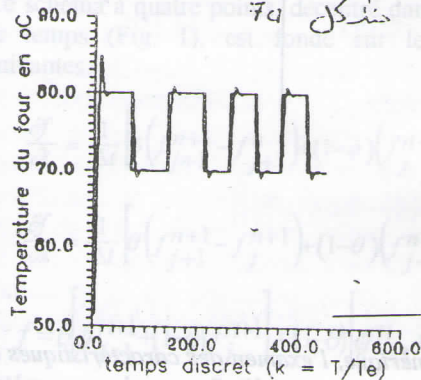
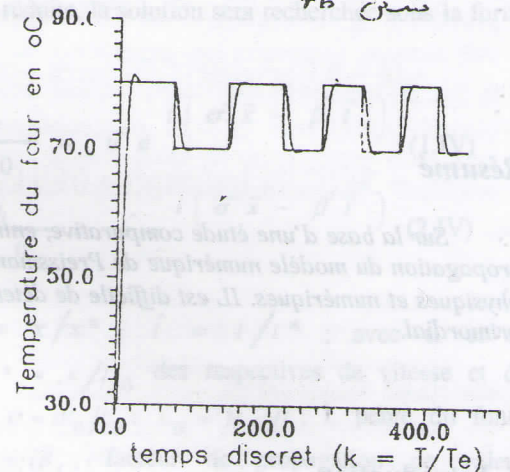


Fig 7b: Réponse du four électrique
méthode CPC (HP=6; $\lambda=0.8$)



BIBLIOGRAPHIE

- [1] ASTROM K.J, WITTENMARK B (1973)
On self-tuning regulators Automatic, vol 9, p 185-199.
- [2] ASTROM K.J, WITTENMARK B (1980)
« self-tuning controlleurs based on pole-zero placement IEE Proc, part D, vol 127, N°3, P 120-131
- [3] ASTROM K.J, (1980)
« theory and application of adaptive control -A survey » Automatica, vol 9, N°5, p471-486.
- [4] BOUHAMIDA M, NGYENE T.T, DENAI M (1990). « Commande adaptative avec optimisation des paramètres du modèle de référence. Colloque E.N.S.E.T Novembre 1990
- [5] CLARKE D.W, MOHTADI C, TUFFS P.S (1987)
« Generalized predictive control -part I the basic algorithm » Automatica, Vol 23, N°2, p137-148.
- [6] CLARKE D.W, MOHTADI C, TUFFS P.S (1987)
« Generalized predictive control -part II » Extensions and interpretations » Automatica, vol 23, n° 2, p 149-160
- [7] FAVIER G (1987)
« Self tuning long-range predictive controllers » GRECO « Système adaptatifs »
- [8] HUGES F.M (1986)
« Self tuning and adaptive control -A review of some basic techniques » Transit inst Mc vol 8, N°2 Avril - Juin 1986.
- [9] LEIGH J. R (1985)
« Applied digital control Theory, Design and Implementation » Prentice/Hall PHI International.