مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (18) العدد (4) 1996
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (18) No (4) 1996

البنى الأساسية للأنظمة المقطّعة زمنياً متعدّدة النسب في التنظيم الرقمي

الدكتور وائل سليم إسماعيل*

(قبل للنشر في 1996/8/27)

□ الملخّص □

أصبح من البديهي تفوق أنظمة التحكم متعددة الحلقات على الأنظمة ذات الحلقة الوحيدة نظراً لتعقيد المتطلبات الهندسية على الصعيد العملي، ولما حققته من نجاح في حل مشاكل التشويش وتحسين ديناميكي للجملة. إلاّ أنه مع ظهور هذا النوع من الأنظمة ظهرت مشاكل أخرى على الواقع العملي.

فالنظام المقطّع زمنياً متعدد الحلقات هو نظام مركب من حلقات تفرعية تختلف في ديناميكيتها عن بعضها البعض، وربط هذه الحلقات ضمن نظام عمل واحد أي بتردد تقطيع واحد لا يحقق الهدف المطلوب من هذه الأنظمة ولا يميزها كثيراً عن النظم التشابهية التي باتت تقنيتها مكلفة ولم تعد تلبي الاحتياجات الهندسية المطلوبة.

ولكي تتم الاستفادة بشكل جيد من هذا النوع من الأنظمة يجب أن يكون هناك اختلاف في نسب التقطيع الزمنية باختلاف ديناميكية الحلقات المربوطة ضمن النظام. ومع تطوير البنى الأساسية لهذه الأنظمة يمكننا تحقيق استخدامات مفيدة وحلول عملية لكثير من المشاكل الهندسية التي تعترضنا على الصعيد العملي نظراً لازدياد المتطلبات التقنية بشكل كبير جداً.

إن ما يجب أن نسحنه في النظم متعددة النسب هو مرونة التصميم، كما يجب أن تتركز النتائج والتوجهات على إمكانية توزع الأصفار والأقطاب وضمان الاستقرار وتحسين الجودة، بالإضافة إلى ذلك يجب أن يفهم السبب المؤدي إلى وجود الاختلاف في نسب التقطيع، والذي يتعلق كما ذكرنا بديناميكية العملية (النظام والإشارة) وكذلك مبدأ التأثير والتطبيق العملي وتقنيات الضبط والقياس ومحوّلات AD و DA والمنظمات المستخدمة.

نستنتج أنه يوجد عدد كبير من العوامل التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار وهناك لا نهاية من الاحتمالات الممكن دراستها والبحث فيها مثل تنوّع الجمل المتحكم بها والمنظمات الرقمية المناسبة، والبنية الأمثلية القابلة للتحقيق عملياً. كل ذلك يجعل من الدراسة بشكل عشوائي شبه مستحيلة إذا أضفنا إلى ما ذكرناه تخفيض التشويش بمختلف أنواع إشاراته المتوقعة وكلفة الحساب التقنية وعلاقتها بالزمن الحقيقي.

فتعدد جوانب المسألة المطروحة أدى إلى إنتاج عدد كبير من اقتراحات التصميم والمقالات والأبحاث الكثيرة، الأمر الذي أدى من جهة أخرى إلى شيء من عدم الوضوح أو يمكن القول إلى متاهة في أسلوب التصميم. لذلك فإنه من الضروري أن يكون هناك نوع من الانتقاء للأعمال المتعلقة بمشكلة التقطيع متعدد النسب ضمن إطار عمليات الأتمتة.

لهذا السبب فقد جعلت موضوع البحث العلمي في هذا المجال على مراحل متعددة والتي لابد من المرور بها لكي يتضح فيهم هذه المسألة وتعرف تشعباتها بشكل جيد ليتم اختيار المشكلة المتعلقة بالواقع العملي الذي نحتاجه في بلدنا وذلك ليكون دعماً للتطور الصناعي وحل المشكلات المتعلقة به وليشكل إرشاداً هندسياً مناسباً في مجال أتمتة العمليات الصناعة.

---

* مدرس في قسم الهندسة الإلكترونية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (18) العدد (4) 1996
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (18) No (4) 1996

THE BASIC STRUCTURE OF MULTIRATE SAMPLED-DATA SYSTEMS IN DIGITAL AUTOMATIC CONTROL

Dr. Wa'el Saleem ISMAIL*

(Accepted 27/8/1996)

❐ ABSTRACT ❐

It is a known fact today that the multriate-loop systems are more functional and effective than the single-loop control systems due to the complexities of technical, practicable requirements, and the success of the former in solving disturbance problems and the dynamic improvement of the process. But the application of these systems posed other practicable problems.

Multi-loop sampled-data system is composed of parallel loops dynamically different from each other, and the connection of these loops into a single system; that is, in a singlerate, fails to achieve the required goal and does not differentiate it from analog systems which have become quite costly and incapable of producing the desired technical needs.

In order to make the best use of this kind of system, there should be a difference in the rates of the time discrete-time systems on the basis of the difference of the connected loops within the system. With the development of the basic structure of these systems, we can make practicable uses and solutions of a lot of the technical problems that may face us on the practicable level due to the great increases of technical requirements.

What we should develop in the multi-rate systems is the flexibility of the design, and the results and aims should center on the possibility of the distributions of pole placement, guaranteeing stability, and improving the qualities. In addition to this, we have to understand the reasons behind our use of the multirate systems, which are related to the dynamic of the process (systems & signal), as well as the effect principle, the practicality, the technical aspects of control and measurement, the converters AD & DA, and the employed controllers.

We find out the there is a great number of factors that should be taken into consideration, and there is an infinite number of possibilities that could be studied and examined; such as the variety of plants, suitable digital controllers, and the optimal structure that could be realized. All this renders the disorganized research impossible, specially if we consider, too, the disturbance reduction in all expected kinds of signals and the technical computing costs and their relation to real time.

The diversity of the problem in question has produced a great number of design proposals, articles, and research, with has created a lot of confusion, or, it might be said, some kind of maze regarding the design styles. For this reason, it is absolutely necessary to have some kind of selection for the process related to the MultiMate sampled systems within the framework of the automation processes.

Due to this, this research had to be done gradually and step by step, which is crucial to the perfect understanding of this problem and its diversions in order to select the problem related to the practical reality we need in our country for industrial development, for solving the related problems, and to provide a technical guide in the field of the automation of the industrial processes.

---

* Lecturer at Electronic Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تختلف العمليات المقطعة زمنياً بنسب تقطيع متعددة Multirate Process (MR) عن العمليات الكلاسيكية المقطعة زمنياً ذات نسبة تقطيع وحيدة Singlerate Process (SR) كونها تحتوي على أقل فترتي تقطيع زمنيتين مختلفتين.

تعطي خلفية العملية الحقيقية في مجال معالجة الإشارة الرقمية -وبخاصة في تقنيات المرشحات وفي مجال أتمتة العمليات الرقيمة- بنى تنظيم متعددة الجوانب. ولقد تطورت طرق عديدة نسبياً للوصف والتحليل والتصميم على صعيد هذين المجالين.

1- النظم متعددة النسب في أتمتة العمليات Multrate Systems in Process Automatin:

إن بداية البحث في هذا المجال كانت في الخمسينيات وكانت مرتبطة بالتجارب حول سلوك الأنظمة المقطعة زمنياً في النقاط الواقعة بين فترات التقطيع الزمنية من خلال التحكم بقيادة مُقَطِّع فعَّال. ثم تبعه البحث في مجال التردد على صعيد كل من محوري تحليل التردد وتحليل التقطيع نتيجة ذلك، حيث بيّن ذلك لاحقاً العالم Jury[5]. وفي عام 1959 بحث كل من Kalman وBertram[1] وصف الأنظمة في مستوي الحالة مع سلوك تقطيع مختلف النسب. ومنذ ذلك الوقت وُضِعَ نموذج الحالة دائماً أساساً لنموذج الانتقال في حل المسائل المتعلقة بصفة التقطيع متعدد النسب. وازدادت أهمية هذا المجال في السنوات العشر الأخيرة نتيجة لتكامل الحاسب في عمليات الأتمتة[2].

ونظراً لتعدد جوانب المسألة المطروحة فقد نتج عدد كبير من اقتراحات التصميم وصدرت المقالات المتعددة في هذا المجال، الأمر الذي أدى من جهة أخرى إلى شيء من عدم الوضوح، أو إلى حد ما إلى متاهة في أسلوب التصميم. لذلك فإنه من الضروري أن يكون هناك نوع من الانتقاء للأعمال المعلقة بمشكلة التقطيع متعدد النسب ضمن إطار عمليات الأتمتة.

1-1: أنظمة SISO وMIMO مع تغذية عكسية للحالة أو للخرج في البنية الكلاسيكية
Single input- single output (SISO) & Multi input- Multi output (MIMO) with State variable- output Feedback in "classical" Structure:

نفهم ن هذا التعبير وجود بنى أساسية تتألف من منظّمات رقمية وتغذية عكسية للخرج أو للحالة، وكذلك جمل التحكم التي توضع بين محولات DA وAD، أي ضمن حلقة تشابهية "تجهيزات ضبط – عملية – تجهيزات قياس".

كما أنه يوجد تصنيف للبنى المقطعة زمنياً متعددة النسب (MR) الكثيرة يعتمد على العلاقة بين فترات تقطيع قيم الضبط (التحكم) T_u على الدخل وفترات التقطيع الزمنية T_y على خرج الجملة، وكذلك للحالة T_x وهو على الشكل التالي:

I- أنظمة ذات "منظّمات دخل متعدد النسب" Systems with "Multi-rate input controller" (MRIC):

يمثّل هذا النوع الصنف الأبسط والمُختَبر من المنظمات ذات المتحولات الزمنية الدورية. لقد أُجرِيَت أبحاث مهمة وأساسية لنوع الأنظمة المصنّفة من خلال (MRIC) من قبل العالمين Araki & Hagiwara[3]. ستبيّن هذه الدراسة بأنه يمكن تحقيق نظام تكون فيه أقطاب جملة (MIMO) موزعة بشكل عشوائي وقابلة للمراقبة والتحكم، خرجها مقطّع بفترات زمنية T_y ودخلا مُتَحكّم به بتقطيع T_{u1}-...-T_{um} حيث أن ($N_i;T_{ui}=T_y/N_i$ عدد صحيح) بواسطة منظّم تناسبي MIMO-P على خرج التغذية العكسية.

في حال العمل بنسبة تقطيع وحيدة (SR) فإنه من الضروري استخدام منظّم ديناميكي. إن مضمون البحث[3] هو في الواقع تطوير للبحث العلمي المقدم من قبل Chammas & Leondes حيث أنه من أجل $N_1=N_2=...=N_i$ يكون توزع الأقطار محدوداً.

اقترب العالم Echardt[4] كثيراً من البنية[3] في تجاربه وطبق مبدأ التصميم (MRIC) على المرشّحات. لقد كانت تقييماته حرجة في مجال تناسب (تلاؤم) التنظيم للجمل مع مواقع الأصفار في مستوي لابلاس، فكانت العلاقة المعطاة التي تربط بين مواقع الأقطاب وجودة التنظيم غير كافية في تجاربه.

في بحث مهم للعالم Zhang[6] فقد نتج تمثيل واضح لمسألة جمل (SISO) مع منظّم ذي دخل ثنائي النسبة Dual-rate-input controller (DRIC) حيث أخذ ذلك التمثيل في مستوي Z. بوساطة منظّمات دخل ثنائية النسبة يمكن معها لمواقع أصفار الأنظمة المقطّعة زمنياً بالعلاقة مع تقطيع التحكم أن نأخذ مواقع عشوائية.

إن إمكانية توزيع الأقطاب عند تقطيع غير متواقت لخرج الجمل قد بُحِثَ من قبل Colaneri وآخرين[7]. وهناك تقييم للأنظمة (MRIC) أجري من قبل الباحثين[8]. ومن الإيجابي أن تُخمّن بحيث نحقق بقاء المنظّم مستقراً في حال إزاحة متناظرة للأقطاب مع الحفاظ على كلفة حسابية بسيطة للتصميم.

ومن جهة أخرى تبيّن لنا أبحاث مماثلة أنه في الحالة العامة نحتاج إلى مطال نبضات تحكم كبيرة من أجل فترات تقطيع زمنية صغيرة. وتُظهِر بذلك قيم التنظيم سلوكاً غير هادئ نسبياً عندما تكون درجة الجملة كبيرة بالمقارنة مع عدد مداخل التحكم. إنّ هذه السمة هي

نتيجة لاستراتيجية (MRIC) الأساسية. إن هذه السلبيات المومى إليها مبيَّنة أيضاً من أجل أنظمة (SISO) في مثال للمنظمات Deal-Beat – (MRIC)[9].

II- الأنظمة ذات (منظّمات خرج متعدد النسب) Systems with Mulltirate-Output Controller:

إن منظّمات الخرج متعددة النسب (MROC) هي مشابهة لمنظّمات الدخل متعددة النسب (MRIC) أي المنظّمات ذات المتحولات الزمنية الدورية Periodic time-variant Controller (PTV). لقد استنتج العالمان Hagiwara & Araki بالأساس المنظّمات (MROC)[8]، حيث انطلقا من جملة تحكم (MIMO) دخلها مُتَحَكَّم به بفترة تقطيع زمنية موحَّدة T_u بينما تكون إشارات الخرج مختلفة عنها بتردد تقطيع أعلى يحدَّد من خلال فترات التقطيع الزمنية الصغيرة T_{yi}. كما بيّن العالمان المذكوران أنه من أجل نسبة تعديل تردد كافية N_i يمكن تحقيق جملة تحكم مكافئة قابلة للمراقبة من أجل أي تغذية عكسية للحالة. عند إضافة قابلية التحكم فإنه بالاعتماد على هذه الأسس يمكن استنتاج توزيع الأقطاب المتناظرة غير المحدَّد والتغذية الخلفية الأمثلية. وقد بُرهِن إضافة لذلك بأن مصفوفة عبور المنظِّم لا تتعلق باختيار التغذية العكسية للحالة والتي يمكن اختيارها نفسها بشكل مستقل وذلك عندما تشغل الجملة نفس عدد المداخل والمخارج وعندما تحقق شروط معينة متعلقة بمواقع الأصفار.

وللحد من كلفة التصميم المرتفعة ومطالات إشارات التحكم العالية التي رأيناها في المنظّمات (MRIC) فإنه ينصح بشكل خاص وضع المنظّمات (MROC) في التطبيق العملي كونها مناسبة أكثر. طبعاً مع لفت النظر إلى أن قساوة الأنظمة مع منظّمات (MROC) لم تختبر بعد بشكل كافي.

لقد طُوِّرت حديثاً بنى التنظيم ذات المنظمات (MROC) من قبل العلماء ER & Anderson & Yan[10،11]. حيث أن هذه الأبحاث تتصف بمرونة التصميم العالمية، التي تتعلق بتحديد مواقع الأصفار والأقطاب، الاستقرار ومواصفات الجودة المحسَّنة. لكن هذا النوع من المنظّمات يُقيَّم بشكل حرج في مجال الأنظمة ذات التشويش العشوائي[10].

لكن هذه المنظمات قد بنيت على أساس نموذج جديد لعنصر التثبيت وعنصر التقطيع المعمَّمين وحققت نتائج إيجابية متعلقة بالتشويش، القساوة والجودة Yan & Kabamba[11].

وقد بحث كل من العلماء Hagewara & Fujimura & Araki, 1990[12] نوعاً معمّماً من المنظمات (MROC) حيث اعتمدوا بشكل مماثل للمنظمات (MRIC) على عملية تحويل التردد حسب Mita & Chida[13]، وسمي ذلك مؤخراً (منظِّم N تأخير للخرج) -N Delay-Output Controller].

III- أنظمة ذات منظمات عامة متعددة النسب Systems with general Multirate Controller:

يفهم هنا من منظّم عام متعدد النسب في كل من تنظيم الحالة وتنظيم الخرج على أنه يخصّص فيه قناة مستقلة لكل فترة من فترات التقطيع الزمنية التالية T_u, T_y, T_x التي يمكن تحديدها بشكل عام. بناءً على ذلك هناك أبحاث كثيرة عالية المستوى نظرياً قد عالجت كل من مشاكل الاستقرار، توزع الأقطاب، التنظيم الأمثلي والقساوة وذلك ضمن واقع التطبيق العملي مثل هندسة الروافع[14].

IV- أنظمة ذات منظمات N تأخير "N-Delay-Controller" Systems with:

منظمات N تأخير للخرج N-Delay-Output Controller (N-DOC) وكذلك منظمات N تأخير للدخل (N-DIC) هي التي تفرق فيها متتاليات إشارات دخلها وإشارات خرجها مركبات بحيث ينتج تخفيض في تردد التقطيع المطلوب أو بالتالي رفعه. وهذه الطريقة مألوفة في هندسة المرشّحات متعددة النسب MR-Filter[15]، حيث أنه يجب أن يُؤخذ بعين الاعتبار نموذج محدد لجمل التحكم (الفقرة 2).

لقد ذكر العالم Mita وآخرون هذا النوع من المنظمات وعلاقتها بمواصفات استقرار جيدة[16]. وبحث كل من Chida & Mita[13] بشكل خاص أنظمة فيها N=2 مع تأثير مواقع أصفار غير مستقرة بحيث توسعت المسألة إلى نطاق التنظيم المعوّض.

لقد بحث أيضاً Moore وآخرون[17] في أنظمة ذات N تأخير زمني "N-Delay" Systems شروط مواقع الأصفار والأقطاب في الأنظمة المغلقة من أجل كل من حالة الدخل وحالة الخرج. لكننا نجد أيضاً أنه في أنظمة N-DIC ما يتعلق بعدم هدوء سلوكها كما سبق ووجدنا في أنظمة (MRIC). لكننا باستثمار أفضل لمعلوماتنا في معالجة الإشارة الرقمية يمكننا أن نحد من هذا السلوك السلبي بواسطة مجموعة من المرشحات المناسبة.

2-1: أنظمة SISO وMIMO ذات بنى مُطَوّرة SISO & MIMO Systems with developed Structure:

مع تطور البنى الكلاسيكية الأساسية لأنظمة التنظيم يمكننا تحقيق استخدامات مفيدة أو متطلبات تقنية للأنظمة. تختلف العناصر التي تبنى عليها مثل هذه البنى المطروحة فيما بينها على الأغلب من خلال ديناميكيتها أو درجة كلفة الحساب التقني وبهذا يقترب تحقيق ذلك من الأنظمة المتعددة النسب (Multirate Systems).

هناك مثال نموذجي ومطروق كثيراً وهو التنظيم متعددة الحلقات بقيمة واحدة، وبخاصة التنظيم التتابعي "Cascade Control System"، حيث أن اختلاف ديناميكية الحلقة الداخلية عن الحلقة الخارجية فيها يتطلب على الأقل وجود فترتي تقطيع زمنيتين لكل تعمل في نظام التنظيم التتابعي الرقمي[5].

إن خوارزمية الأنظمة متعددة النسب (MR) لتخمين الحالة وقابلية المراقبة هي على الأغلب معقدة وحسابها مكلف. بُذلت الجهود لرفع إمكانية تحقيق ذلك عملياً، وقد سارت الأبحاث باتجاه تخفيض الكلفة الحسابية وما يتعلّق ببنى خاصة لتقدير الحالة[18]، هناك اقتراحات مفيدة ربطت بشكل جيد بهذه الاستخدامات لتحقيق التنظيم في النظام متعدد النسب[19].

لقد بُرهن على أن التنظيم السريع والتقدير البطيء للمتحولات هو مناسب جداً من أجل خوارزمية التوليف الذاتي والآلي ويخفّض من الكلفة، حيث يبيّن المرجع [28] إمكانيات وشروط ذلك.

1-3: أنظمة المجال الزمني المتعدد Multi-Time Scale Systems:

لقد بدأ البحث في التنظيم والتحكم بالأنظمة المعقّدة التي تتألف من أنظمة فرعية مختلفة السرعات في الستينات. نستطيع أن نلقي نظرة على هذا المجال من خلال المراجع العلمية أمثال Lunze[21]. حتى لدى المعالجة الرقمية للمسائل المطروحة نلاحظ بأن موضوع تعدد النسب بالكاد لا يلعب أي دور.

عولج لأول مرة عام 1986 نظام بمجالين زمنيين (Two-Time-Scale) كنظام متعدد النسب، والمؤلّف من أنظمة فرعية وحيدة النسبة منسّق معها تحكم مركّب وحيد النسبة، وطُوّر تصميم منظمات أمثلية لذلك[22].

وكتطوير لـ[22] فقد بحث Lennartson[23] سلوك تشويش متنوعة وذلك بوضع خوارزمية سرعة خاصة لمنظّم مركّب Composite-Regler. كما عرض مؤخراً كل من Sen/Datta[24] خوارزمية زمنية أمثلية للبنية المتعددة النسب بشكل نظام بمقياسين زمنيين.

1-4: اعتبارات موجزة:

تعتمد الأنظمة متعددة النسب في أتمتة العمليات بالدرجة الأولى على المعطيات التقنية لاستخدام وعلى المعلومات المتوفرة لدينا. ومن جهة أخرى فإنه يمكن وصف مثل هذه الأنظمة من خلال مواصفات تقنية خاصة ومحدّدة.

أ- حقائق هندسة الاستخدام:

يشترط وجود اختلاف تردد التقطيع الزمني بديناميكية العمليات أي بديناميكية النظـــام الإشارة. كما يندرج ضمن هذا الإطار مبدأ التأثير، التطبيق العملي، تقنيات الضـــبط والقيـــاس وكذلك محولات AD وDA، كما تلعب كلفة تقنية الحساب وعلاقته مع سلوك الزمن الحقيقـــي دوراً مهماً أيضاً.

ب- حقائق هندسة النظام:

إن ما يجب أن نُحسّنه بشكل خاص في النظم متعددة النسب هو مرونة التصميم. يجب أن تتركز النتائج والتوجهات قبل كل شيء على إمكانية وحـــدود تحقيـــق تـــوزّع الأصـــفار والأقطار، ضمان الاستقرار وتحسين الجودة.

المشكلات المعلّقة أو المفتوحة:

من خلال هذا التقييم العام للأعمال والأبحاث الحديثة نستنتج وجود المشكلات التالية:

- معظم الأبحاث في هذا المجال هي أبحاث نظرية، وإن الأبحاث التي تحوي تطبيقاً عملياً تعتبر قليلة[25]، طبعاً هناك مصادر مهمّة من الصعب الوصول إليها مثـــل مراكز الأبحاث الفضائية.
- من النادر أن يتم الوصف الرياضي في مستوي التـــردد التقليـــدي. إن الأبحـــاث المقدمة من قبل Kalman & Bertram[1] "قوانين الانتقال في مجال الحالة" لـــم تحظَ حتى الآن بقبول هندسي كافٍ. تمثّل نماذج الانتقال المســـتنتجة مـــن نمـــاذج الحالة ضمن نوع من التسوية (التوفيق) من خلالها يجب أن يكون هنـــاك حـــدود لدرجة تعقيد النظام ونظام الزمن.
- التأثير السلبي لعدم وجود الفصل المناسب بين عناصـــر النقـــل المقطعـــة زمنيـــاً والعناصر التمثيلية بواسطة عناصر الربط المقطّعة زمنياً.
- تعالج التحويلات الهامة بين النماذج السريعة والبطيئة لدى معالجة الأنظمة متعددة النسب حتى وقت قريب بأسلوب التقريب شبه التشابهي، على سبيل المثال إســـقاط الأصفار والأقطاب عبر مستوي لابلاس، حيث تكون بذلك معطيات التصميم مـــن أجل النظام البطيء أيضاً محدودة بالحالة شبه التمثيلية مع أنه -على الأغلـــب- لا تناقش دقة التقريب.

- لقد ثبت إلى حد ما في معظم الأبحاث عدم هدوء سلوك إشارات الضبط والحالة والخرج. رغم ذلك فإن التحليل الطيفي للأنظمة متعددة النسب (MR-Systems) بالكاد يلعب أي دور في أتمتة العمليات.

انطلاقاً من الملاحظات التي هي بالتأكيد غير ثابتة بشكل مطلق نرى أنه من الممكن أن يكون هناك درجة وضوح عالية من خلال تنظيم مناسب للفرضيات الأساسية حول تحليل وتصميم متعددة النسب في أتمتة العمليات مع قبول هندسي لذلك. وينصح تشجيع وإدخال أبحاث مبنيّة بشكل جيد في مجال هندسة المرشحات متعددة النسب[15]، كما يتضمن ذلك طرقاً تطبيقية لمعالجة الإشارة الرقمية من خلال البنى متعددة النسب وحيث يمكن صياغتها بشكل واضح (معالجة صندوقية)[26].

2- البنى الأساسية للأنظمة متعددة النسب Basic Structure of MR-Systems:

عند الطلب لإيجاد تنظيم مناسب لنظام متعدد النسب فإنه يفرض على أساس تجهيزات نظام وحيد النسبة. عند ذلك نستطيع في الحالة العامة إدخال نموذجين لعنصرين أساسيين عند الربط مختلف النسبة[27]. يمّل على سبيل المثال نموذج عنصر أساسي مقطّع زمنياً A خوارزمية منظّم أو مرشّح أو عنصر مراقبة..الخ.

من أجل حالة متعددة القيم ذات متحولات خطية متغيرة زمنياً يُمثّل العنصر الأساسي من النموذج A من خلال معادلات النظام (1) و(2) التاليين:

$$x(k+1) = A^* x(k) + B^* u(k) \qquad (1)$$

$$y(k) = C^* x(k) + D^* u(k) \qquad (2)$$

ونموذج العنصر الأساسي B يصف الحالة التسلسلية (عنصر تثبيت HG -عملية تشابهية- محوّل AD مُقطّع) حسب المعادلات التالية:

$$x(k+1) = \Phi(T)x(k) + H(T)u(k) \quad (3)$$

مع العلم أنّ:

$$\Phi(T) = e^{AT},$$

$$H(T) = \int_0^T \Phi(\tau)Bd\tau = A^{-1}[\Phi(T) - I]B$$

$$y(k) = Cx(k) + Du(k) \qquad (4)$$

2-1: العناصر الأساسية متعددة النسب للنوع A:

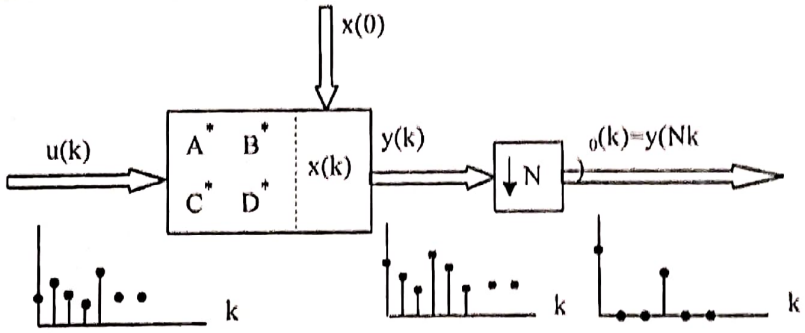
سنعتبر عناصر أساسية مقطعة زمنياً يكون عندها من الواجب رفع أو تخفيض تـردد التقطيع من الدخل إلى الخرج نتيجة لمتطلبات هندسة الاستخدام أو/و هندسة النظام.

2-1-1: تخفيض تردد تقطيع الخرج (النوع A↓):

لتبسيط التمثيل فإننا ستعتبر إشارة الدخل واحدة ومتواقتة مع فترة التقطيع الزمنيـة T، وإشارة الخرج مع فترة التقطيع الزمنية NT (حيث N عدد صحيح).

النوع A↓ - النموذج I (تخفيض تردد التقطيع على الخرج):

إن حساب إشارة الخرج y(k) ينتج وفق الشكل (1) بشكل مماثل للعناصر ذات نسـبة التقطيع الوحيدة. يتبع ذلك تخفيض سرعة التقطيع "المحي المقطّع زمنياً" أي سحب أو إهمـال القيم الواقعة بين فترات التقطيع الزمنية (kNT). بذلك تخفّض كثافة الطيـف الـدوري مـن $\Omega=wT=2\pi$ إلى $\Omega=2\pi/N$.

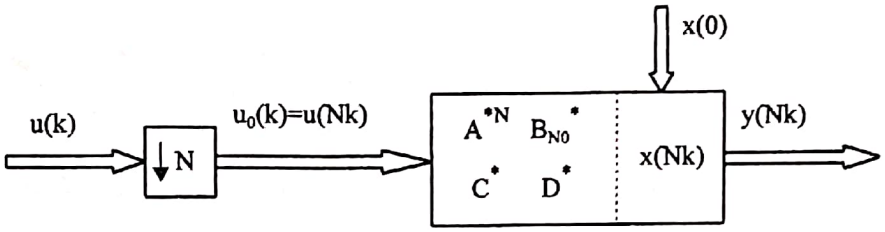


الشكل (1): عنصر أساسي متعدد النسب من النوع A↓ النموذج I.

علينا اختبار فيما إذا كان من الواجب الأخذ بالحسبان تحديد عـرض الحزمـة قبـل تخفيض التردد وفيما إذا كان من الواجب تصحيح مطال الطيف المخفّض وفق العامـل I/N. تطرح إزاحة الطور كبديل لتخفيض التقطيع. نرى ذلك في هندسة المرشحات المتعددة النسب، حيث وضع تعدد الأطوار على الواقع العملي من خلال أخذ القيم الواقعة بين فترات التقطيـع الزمنية بواسطة المعالجة التفرعية على التوازي.

النوع $\downarrow$A – النموذج II تخفيض تردد التقطيع على الدخل:

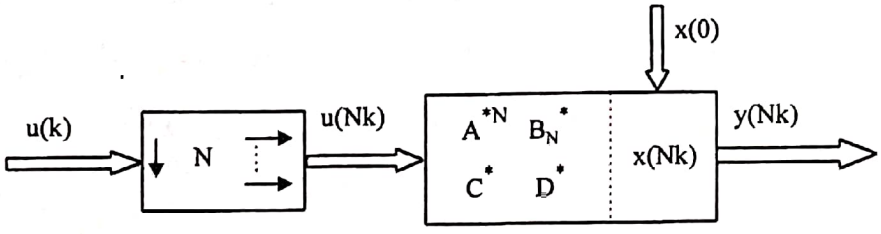
في نموذج الحالة المبيّن في الشكل (2) من أجل فترات التقطيع الزمنية NT يجب أن نأخذ تحكماً محدداً (خاصاً) بالدخل من خلال A^{*N} و $B_{NO}^{*} = A^{*N-1}.B^{B*}$. وبالنسبة لمناقشة الطيف فإن هذه الحالة تنطبق على الحالة I.



الشكل (2): عنصر أساسي متعدد النسب من النوع $\downarrow$A النموذج II.

النوع $\downarrow$A – النموذج III تخفيض تردد التقطيع من خلال البنية الصندوقية:

تلعب البنية التخطيطية في معالجة الإشارة الرقمية عند تطبيق الخوارزميات دوراً مهماً ولها تأثير واضح على كفة الحساب. يتم سحب كل قيم متتاليات إشارة الدخل u(k) بعد تخزينها في صناديق من الطول N إلى تردد التقطيع البطيء وذلك لحساب قيم متتاليات الخرج والحالة. يسمح بزيادة كلفة الحساب التقنية من خلال رفع تخزين معلومات قيم الدخل لتحين جودة التنظيم المعوَّضة مثلاً.



الشكل (3): عنصر أساسي متعدد النسب من النوع $\downarrow$A (النموذج III).

ومن أجل البنية الممثَّلة في الشكل (3) يمكن أن نكتب معادلات النظام التالية:

$$x[N(k+1)] = A^{*N}x(Nk) + B_N^{*}u_N(Nk) \qquad (5)$$

$$y(Nk) = C^* x(Nk) + D^* u(Nk) \qquad (6)$$

حيث أن:

$$B_N^* = \left[A^{*N-1}B^*, \ldots, A^*B^*, B^*\right]$$

وكذلك:

$$u_N(Nk) = \left[u'(Nk+1), \ldots, u'(Nk+|N-1)\right]$$

2-1-2: رفع تردد تقطيع الخرج (النوع A↑):

يجب أن يكون تردد تقطيع متتاليات قيم الخرج موحَّداً ومتواقتاً بحث يرفع بالنسبة لتردد الدخل بدلالة عامل صحيح N. يحقّق ذلك في هندسة المرشّحات متعدّدة النسب بواسطة عنصر يدعى "المقطِّع الرافع للتردد"[15].

النوع A↑ – النموذج I استكمال جهة الدخل "التثبيت المقطَّع":

يرفع تردد التقطيع الزمني نظرياً من خلال عنصر يدعى "مقطِّع رافع"، وذلك بإضافة قيم صفرية لمتتالية قيم الدخل في نقطة التقطيع الزمنية المضافة. نلفت النظر إلى أنه لا يتغير الطيف نتيجة لذلك. ولتحقيق كامل العملية بشكل عملي من خلال عنصر "التثبيت المقطَّع زمنياً" والذي يقوم بتكرار أحدث قيمة لمتتالية قيم الدخل. يمكن وصف البنية الممثَّلة في الشكل (4) بنموذج الحالة المعطى بالمعادلات التالية:

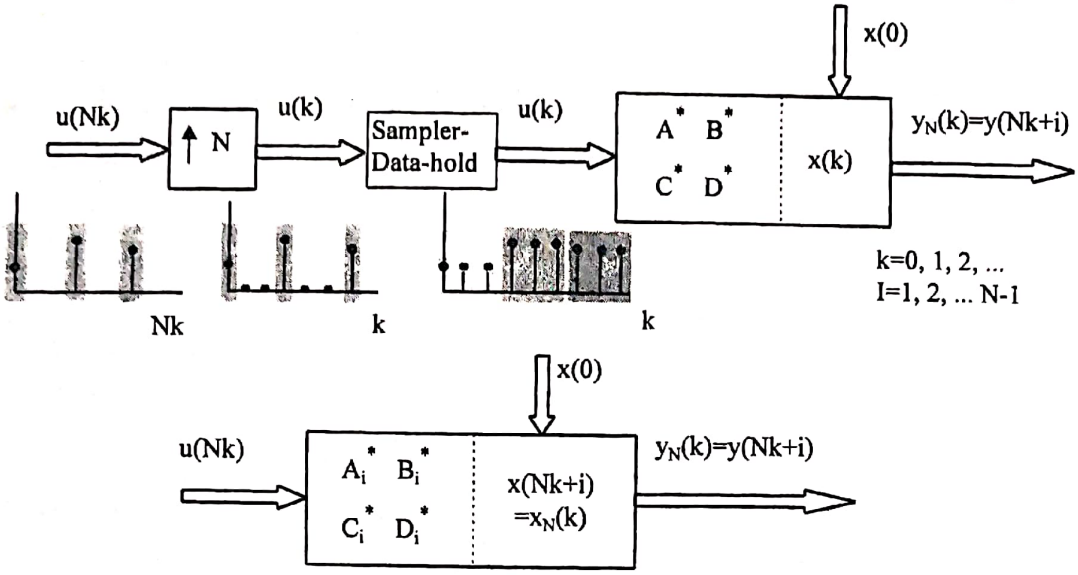
$$x(Nk+i) = A^{*i}x(Nk) + \sum_{j=0}^{i-1} A^{*i-1-j}B^*u(Nk) \qquad (7)$$

$$x(Nk+i) = C^*A^{*i}x(Nk) + \left[\left(\sum_{j=0}^{i-1} C^*A^{*i-1-j}B^*\right) + D^*\right]u(Nk) \qquad (8)$$

بواسطة الخرج $y_N(k)$ عند نهاية مرحلة طولها N يمكن أن ننهي عملية تخفيض للتردد. نستنتج من المعادلات (7) و(8) من أجل i=N المعادلات التالية:

$$x[N(k+1)] = A^{*N}x(Nk) + \sum_{j=0}^{N-1} A^{*N-1-j}B^*u(Nk) \qquad (9)$$

$$y[N(k+1)] = C^*A^{*N}x(Nk) + \left[\left(\sum_{j=0}^{N-1} C^*A^{*N-1-j}B^*\right) + D^*\right]u(Nk) \qquad (10)$$



الشكل (4): عنصر أساسي متعدد النسب من النوع ↑A - (النموذج I).

من خلال المعادلات (9) و(10) يكون قد تم وصف ربط عنصر نقل سريع تمن النموذج A إلى مجال بطيء وفي الوقت نفسه يعتبر الأساس لنموذج نقل ممثَّل في المجال Z^N.[5]

النوع ↑A – النموذج II استكمال جهة الخرج من خلال "التثبيت المقطَّع":

في هذه الحالة يمكن أن ينتج خوارزمية معالج بطيئة وخرج سريع من خلال (N-1) قيمة معادة (مكررة).

2-2: العناصر الأساسية متعددة النسب من النوع B:

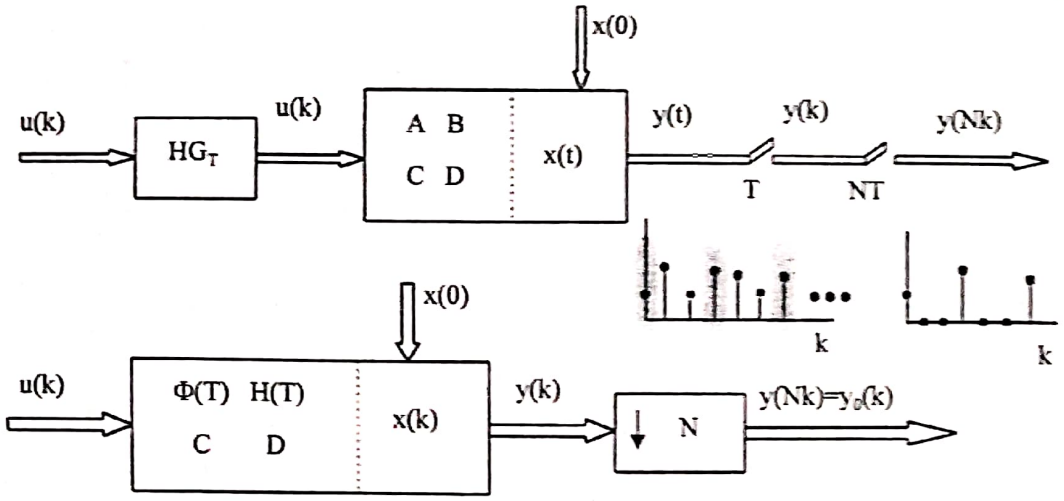
سنعتمد في هذه الفقرة على الأفكار المطبقة في الفقرة (2-1) لتحويل التردد، حيث أن للنموذج B خلفية هندسية للنظام وللاستخدام مختلفة يجب أن نأخذها بعين الاعتبار. يفترض تقطيع مثالي للإشارات على المخارج بحيث يجب أن يكون هناك على سبيل المثال تفسير آخر لتحليل الطيف.

2-2-1: تخفيض تردد تقطيع الخرج (النوع ↓B):

النوع ↓B النموذج I تخفيض التقطيع على الخرج:

يمكن التعويض عن البنية المبيّنة في الشكل (5) التي تحوي على عنصر تثبيت HG_T وفترة تقطيع زمنية T، وعنصر نقل تشابهي متعدد الدخول ومتعدد الخروج (MIMO)

وكذلك فترة تقطيع زمنية NT ضمن مجال المحول AD بالنموذج (A↓) المعطى في الشكل (1) كدارة مكافئة لها.



الشكل (5): عنصر أساسي متعدد النسب من النوع B↓ – (النموذج I).

النوع B↓ النموذج II تخفيض التقطيع على الدخل:

في هذه الحالة ينتج التوافق على تردد خرج منخفض من خلال تحويل تقطيع التحكم (الضبط)، أي أن عنصر التثبيت HG_{NT} التشابهي يثبت الإشارة فترة زمنية أطول مقدارها NT.

النوع B↓ النموذج III تخفيض التقطيع الزمني بطريقة (التأخير – N):

يعتمد مبدأ هذه الصيغة لتخفيض التقطيع على تفريق أجزاء كثير الحدود لمتتالية القيم $[u_k]$ وبالتالي U(z)، مع فترة تقطيع زمنية NT[20،21]. أي أنه يعبر عن جملة وحيدة الدخل–وحيدة الخرج (SISO) بشكل جملة متعددة الدخل–وحيدة الخرج (MISO) وتطبق في مجال الحالة أو توصف من خلال مصفوفة الانتقال.

2-2-2: رفع تردد تقطيع الخرج (النوع B↑):

يمكن أن تعطى بنى مكافئة لكل من نموذجي النوع (A↑)، حيث يمكن تحيق ذلك بواسطة النوع (B↑)، مع عناصر تثبيت تشابهية HG_T وHG_{NT}. ولرفع تردد التقطيع الزمني باستخدام أسلوب (التأخير – N) نضع وصف كثير الحدود على متتاليات قيم الخرج عوضاً عن وضعه على متتاليات قيم الضبط $[u_k]$ كما في النوع (B↓).

3- ربط البنى الأساسية بعضها مع بعض:

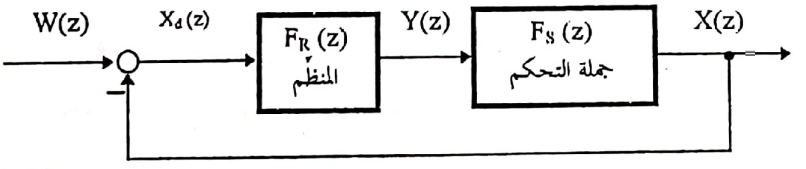
باستخدام نظام متعدد نسب التقطيع الزمنية لتنظيم البنى الأساسية يتبين لنا يمكن أن ينتج لدينا أنواع كثيرة جداً من سلوك الحالة والنقل حسب نوع العنصر الأساسي ونموذجه المستخدم. إن أنظمة أتمتة العمليات متعددة النسب المذكورة في الفقرة (1) تربط هذه العناصر الأساسية بعضها مع بعض بطرائق عديدة ومختلفة.

يمكن صياغة المسائل التصميمية والتحليلية بشكل يكون قابلاً للتحويل بحيث يمكن معرفة إمكانيات وحدود معالجة نماذج النقل في مستوي Z العقدي. ومن خلال هذا الربط الواضح والمنظَّم للعناصر الأساسية يصبح لدينا إرشادات وتعليمات تصميمية واضحة لطيف واسع من المرشحات.

من المؤكد طبعاً أن هذه البنى التي ناقشناها هي ليست الافتراض النهائي لتطوير النماذج وتصميم وتمثيل الأنظمة وإنما هي أيضاً قابلة للتطوير والبحث بشكل دائم مع تطور المعطيات والمتطلبات التي تحاكي التطور والازدهار الحضاري السريع الذي نشهده اليوم.

النتائج:

لقد أجريت بعض الاختبارات بوساطة البرنامج التمثيلي المصمَّم لتحليل ودراسة النظم الرقمية المتعددة النسب على حلقة تنظيم رقمية وحيدة مؤلفة من جملة تحكم ومنظِّم رقمي يصمَّم وفق متطلبات جملة التحكم المفروضة بحيث يعطي عوامل الجودة المطلوبة للتنظيم كما هو مبيَّن بالشكل:



الشكل (6): المخطط الصندوقي لحلقة تنظيم وحيدة مع إشارات مقطّعة زمنياً.

ونبيِّن فيما يلي بعض المنظِّمات الرقمية المناسبة لمجموعة شائعة من جمل التحكم في الجدول التالي:

$F_S(z)=F_H F_S(z)$ مع عنصر تثبيت صفري	$F_R(z)$	$K_R K_S$
$\frac{K_S\left(1-e^{-T/T_1}\right)}{z-e^{-T/T_1}}$	$\frac{k_R\left(z-e^{-T/T_1}\right)}{z-1}$	$\frac{1}{1-e^{-T/T_1}}$
$\frac{K_S\left(1-e^{-T/T_1}\right)}{z\left(z-e^{-T/T_1}\right)}$	$\frac{k_R\left(z-e^{-T/T_1}\right)}{z-1}$	$\frac{1}{3\left(1-e^{-T/T_1}\right)}$
$\frac{K_S(\alpha z+\beta)}{\left(z-e^{-T/T_1}\right)\left(z-e^{-T/T_1}\right)}$ ❶	$\frac{k_R\left(z-e^{-T/T_1}\right)\left(z-e^{-T/T_1}\right)}{z(z-1)}$	$\frac{1}{\alpha+3\beta}$ ❶
$\frac{K_S(\alpha z+\beta)}{z\left(z-e^{-T/T_1}\right)\left(z-e^{-T/T_1}\right)}$ ❶	$\frac{k_R\left(z-e^{-T/T_1}\right)\left(z-e^{-T/T_1}\right)}{z(z-1)}$	$\frac{1}{3\alpha+5\beta}$ ❶

الجدول (1): توابع انتقال المنظّمات المعوضة الرقمية لبعض جمل التنظيم الشهيرة مع عنصر تثبيت صفري.

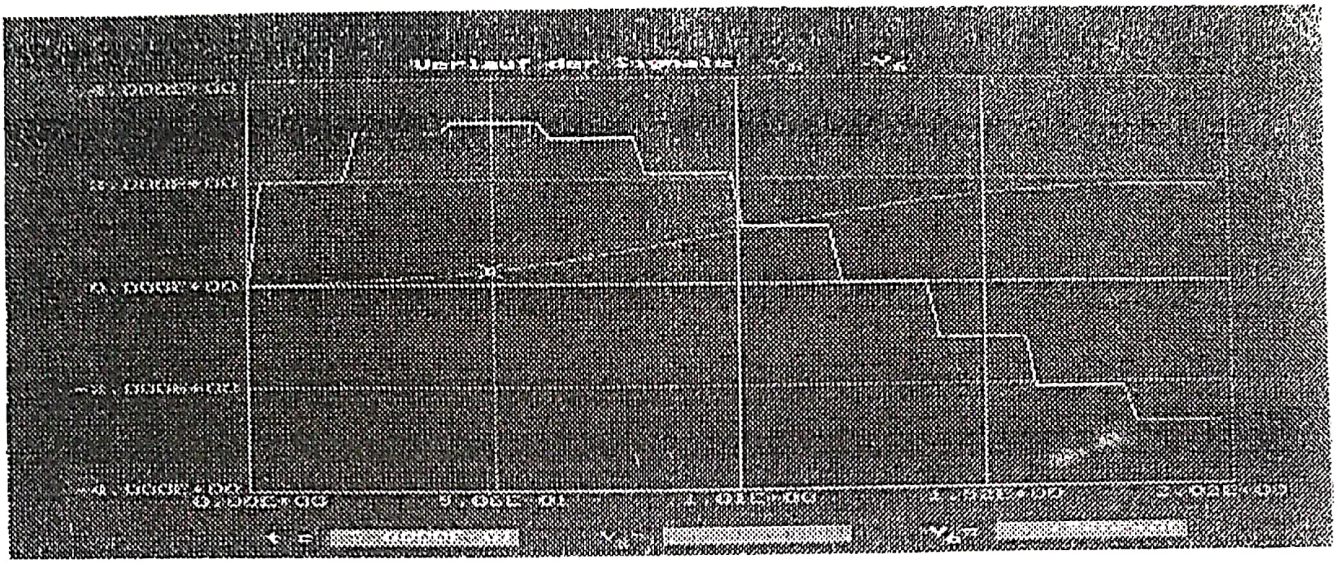
$$\alpha = 1+\frac{T_1}{T_2-T_1}e^{-T/T_1}-\frac{T_2}{T_2-T_1}e^{-T/T_2}$$
$$\beta = e^{-T/T_1}.e^{-T/T2}+\frac{T_1}{T_2-T_1}.e^{-T/T_2}-\frac{T_2}{T_2-T_1}.e^{-T/T_1}$$ ❶

وقد سبق وأشرنا إلى أنه يوجد هناك عدد كبير من العوامل والاحتمالات التي يجب أن تؤخـذ بعين الاعتبار، لذلك فإنه يتعذر إجراء عملية بحثية غير منظّمة أو غير محدّدة ومتابعة البحث يجب أن تكون على أساس تقسيم المشاكل العملية أو جمل التحكم إلى نماذج معيّنه كما بيّنا ذلك في الدراسة الرياضية التحليلية، ثم توضع الخوارزمية المناسبة لكل مجموعة نماذج وبالتـالي أسلوب التقطيع المناسب والمنظّم الرقمي الذي يحقق جودة التنظيم المطلوبة. ونبيّن فيما يلـي حل مسألة بسيطة بواسطة البرنامج التمثيلي المصمّم:

المسألة:

لدينا جملة تحكم IT1 تابع انتقالها $F_S(P)=\frac{K_S}{p(p.T_1+1)}$ و $K_S=1Sec^{-1}$ ، $T_1=1Sec$ وفتـرة التقطيع الزمنية $T=0.2Sec$ ، والمطلوب قيادتها بواسطة منظّم تناسبي رقمي من خلال حلقـة تنظيم وحيدة، واستنتاج تجاوز الاهتزاز العظمي $h_{max}\%$ وزمن الهدوء 5%.

نجد كما هو مبيّن بالشكل أن: $h_{max}\% = 0.04$، وزمن الهدوء $T_{5\%} = 0.35$



وبالنسبة لهذه النتائج فإنه يمكن استخدامها مباشرة في التطبيقات العملية الهندسية وذلك بإيجاد الوصف الرياضي المناسب للمشكلة العملية المطلوب حلها وبالتالي يجري اختيار المنظّم المناسب لها ونسب التقطيع الملائمة لكي تقاد عملية التنظيم هذه بشكل أمثلي. يمثّل هذا المثال بالنسبة للنموذج الذي جرى تحليله نظرياً الحالة العامة وجرى عرضه لإيضاح عملية تمثيلها بواسطة البرنامج المصمّم، وذلك لإيجاد الحل الأمثلي للنظام المعطى. ومن هذه التطبيقات نذكر على سبيل المثال الروافع العمودية والقيادة الألية للمصانع، حيث يساعد هذا البحث أيضاً في حل المشاكل العملية المتعلقة بها ووضع الحل الأمثلي لأتمتة أية عملية صناعية.

Reference المراجع

[1]- Kalman, R.E.; Bertran, J.E.: A unified Approach to the theory of sampling System. Journ. Of Franclin Institute 267 (1959) 5, pp. 405-436.

[2]- Anderson, B.D.O.: Controller Design: Moving from theory to Practice. IEEE Control Systems Magnzine 13 (1993) 4, pp. 16-25.

[3]- Araki, M.; Hgiqara, T.: Pole assignment by multirate sampled-data output feedback. Int. J. Control 44(1986) 6, pp. 1661-1673.

[4]- Eckardt, D.: Design of finite Impulse response controllers by pole assignment in multirate sampled-data Systems. Int. J. Control 49(1989) 4, pp. 1185-1195.

[5]- Gunther, M.: Digitale Reglungen mit mehreren Abtastfrequenzen (multirate systems). 33. Int. Wiss. Koll. d. TH Ilmenau 1988, Heft A1, s. 115-118.

[6]- Zhang, C.: Adual rate digital commentator for Zero Assignment. Systems & Control Letters 19(1992) pp. 225-232.

[7]- Colnaeri, P.; Scattolini, R.; Schiavoni, N.: Stabilization of multirate sampled-data Systems. Automatica 26(1990), pp. 377-380.

[8]- Hagiwara, T.; Araki, M.: Design of a stable State feedback controller based on the mulirate sampling of plant output IEEE control Systems Magazine 33(1988), pp. 812-819.

[9]- Feliu, V.; cerrada, J.A.; cerrada, C.: A Method to design multirate controllers for plants Sampled at a low Rate. IEEE Trans-AC35(1990) 1, pp. 57-60.

[10]- ER, M.J.; Anderson, B.D.O.: Performance study of multirate output controllers under noise disturbances. Int. J. Control 56(1992) 3, pp. 531-545.

[11]- ER, M.J.; Anderson, B.D.O.; Yan, W.Y.: Gain Margin Improvement Using Generalized sampled-data Hold Function Based Multirate Output compersator. Automatica 30(1994) 3, pp. 461-470.

[12]- Hagiwara, T.; Fujimura, T.; Araki, M.: Generalized multirate output controllers. Int. J. Control 52(1990) 3, pp. 597-612.

[13]- Mita, T.; Chida, Y.; and others: Tow-DelayRobust Digital control and its Applications-Avoiding the problem on unstable Limiting Zeros. IEEE Trans. AC 35(1990) 8, pp. 962-970.

[14]- Dahleh, M.A.; Voulgaris, P.G.; Valavani, L.S.: Optimal and Robust Controllers for Periodic and Multirate Systems. IEEE Trans. AC27 (1992) 1, pp. 90-99.

[15]- Vaidyanathan, P.P.: Multirate Systems and Filter Banks. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1993.

[16]- Mita, T.; Pang, B.C.; Liu, K.Z.: Design of Optimal Strongly stable digital control systems and application to output feedback control of mechanical systems. Int. J. control 45(1987) pp. 2071-2082.
[17]- Moore, K.L.; Bhattacharyya, S.P.; Dahleh, M.: Capabilitiesand limitations of multirate Control Schemes. Automatica 29(1993) 4, pp. 941-951.
[18]- Lu, W.; Fisher, D.G.: Multirate adaptive inferential estimation. IEE proc. D139 (1992) 2, pp. 181-189.
[19]- Lee, J.H.; Gelormins, M.S.; Morari, M.: Model predictive control of multirate sampled of data systems: a state-space approach. Int. J. Control 55(1992) 1, pp. 153-191.
[20]- Zheng, C.; Middleton, R.H.; Evans, R.J.: An algorithm for multirate adaptive control. IEEE Trans. AC34(1989) 7, pp. 792-795.
[21]- Lunze, J.: Feedback control of larg-scale Systems. Prentice Hall, New York, 1992.
[22]- Kando, H.; Iwazumi, T.: Multirate digital control design of an optimal regulator via singular perturbation theory. Int. J. control 44 (1986) 6, pp. 1555-1578.
[23]- Lennartson, B.: Multirate sampled-data Control of two-time-scal systems. IEEE Trans. AC34 (1989) 6, pp. 642-644.
[24]- Sen, S.; Datta, K.B.: Time-Optimal control Algorithm for two-Time-Scale Discrete Systems – A Multirate Approach. Control-Theory and Advanced Technology 9 (1993) 3, pp. 733-743.
[25]- Berg. M.C.; Amit, N.; Powell, J.D.: Multirate digital Control System design. IEEE Trans. AC33(1988) 12, pp. 1139-1150.
[26]- Williamson, D.: Digital control and Implementation. Prentice Hall int., 1991.
[27]- Gunther, M.: Zeitdiskrete Steuerungssysteme. Verlag Technik Berlin, 1988.