

## استخدام الأنظمة المدمجة في نظم التحكم

نور ججاج

قسم هندسة التحكم والأتمتة، كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية، جامعة حلب

### الملخص

تم في هذا البحث تصميم متحكم رقمي بلغة Matlab في الحالة العامة واختبار عمل هذا المتحكم بدراسة استقرار نظام الحلقة المغلقة وذلك ضمن بيئة Matlab.

بعد اختبار عمل المتحكم نظرياً في Matlab قمنا باختبار أدائه عملياً وذلك باستخدام أداتين رقميتين الأولى هي الشريحة القابلة للبرمجة (FPGA) حيث قمنا ببرمجتها بلغة خاصة بها وهي لغة وصف الكيان الصلب VHDL لكي تقوم بعمل المتحكم المصمم في بيئة Matlab، كما قمنا باختبار عمل المتحكم المطبق على شريحة FPGA في الزمن الحقيقي بوضع الشريحة ضمن حلقة مغلقة مع النظام المراد التحكم به باستخدام الوصلة التسلسلية RS232 وذلك ضمن بيئة Matlab.

أما الأداة الثانية فهي المتحكم المصغر (Microcontroller) الذي قمنا ببرمجته بلغة Basic ليعمل عمل المتحكم المصمم في Matlab واختبار عمله بوضع Microcontroller ضمن حلقة مغلقة مع النظام المراد التحكم به ضمن بيئة برنامج Proteus. وهو أفضل برنامج لمحاكاة الدارات الكهربائية والشرائح المدمجة.

ولتأكيد النتائج التي حصلنا عليها من خلال استخدام الأداةين سابقتي الذكر (FPGA, Microcontroller) قمنا بتطبيق الدراسة المتابعة على نظام الكرة والعارضة الموجود في مختبر التحكم الآلي في كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية.

ورد البحث للمجلة بتاريخ 2011//1

قبل للنشر بتاريخ 2011//1

وأخيراً قمنا بإجراء مقارنة بين الشرائح المنطقية القابلة للبرمجة (FPGA) والمتحكمات المصغرة (Microcontroller) وبيننا أهمية استخدام كل منهما في نظم التحكم.

الكلمات المفتاحية: الأنظمة المدمجة، المتحكمات الرقمية، المتحكمات المصغرة، التصميم الرقمي.

## 1 - مقدمة:

تستخدم المتحكمات بشكل عام (التشابهية والرقمية) لتغيير سلوك النظام المتحكم به بحيث يصبح قريباً من سلوك مرغوب محدد مسبقاً.

يعتبر برنامج Matlab (Matrix Laboratory) أداة مهمة مساعدة في عملية تصميم ومحاكاة عدد كبير من الأنظمة وبشكل خاص المتحكمات الرقمية (Ogata,2008) (Moore,2009) (Uzunovic et al.,2010). إن تحقيق المتحكمات الرقمية المصممة في Matlab يتطلب تحويل هذه المتحكمات إلى برامج قابلة للتنفيذ على أداة التحقيق.

من أهم أدوات التحقيق التي ظهرت مؤخراً هي الشرائح المنطقية القابلة للبرمجة. ونتيجة للتطور الكبير الذي شهده العالم في مجال الدارات المتكاملة تم اختصار أحجام الدارات المتكاملة من بوابات منطقية وقلابات وذواكر وغيرها من العناصر المنطقية ودمجها في شريحة واحدة قابلة للبرمجة وظهر ما يسمى بالشرائح المنطقية القابلة للبرمجة بأنواع عديدة أهمها شرائح FPGA (Field Programmable Gate Array) مصفوفة البوابات المنطقية القابلة للبرمجة.

مكّن استخدام FPGA من برمجة مجموعة كبيرة من التوابع المنطقية على شريحة واحدة بدلاً من استخدام عدد كبير من الدارات المتكاملة وأسلاك التوصيل لتحقيق مجموعة التوابع المنطقية. بالإضافة إلى إمكان إعادة برمجة شريحة FPGA لتحقيق مجموعة أخرى من التوابع المنطقية أو برمجة عدة مجموعات من التوابع المنطقية داخل شريحة FPGA واحدة وتشغيل مجموعة واحدة فقط من هذه المجموعات المنطقية.

تتم برمجة شرائح FPGA باستخدام لغة وصف الكيان الصلب للدارات المتكاملة VHDL (Pedroni,2004) (Short,2008).

عند استخدام شريحة FPGA لتحقيق متحكم رقمي لابد من تحويل المتحكم الرقمي إلى برنامج قابل للتنفيذ على شريحة FPGA أي إلى برنامج بلغة VHDL. وكذلك الأمر لتحقيق متحكم رقمي باستخدام متحكم صغيري Microcontroller يجب تحويل المتحكم الرقمي إلى برنامج باللغة الخاصة بهذا المتحكم الصغيري. حيث يعتبر Microcontroller على أنه مجموعة دارات إلكترونية رقمية مدمجة ومتوضعة على رقاقة صغيرة الحجم، وهو يقوم بحفظ مجموعة من التعليمات بداخله تسمى برنامج، ويكون من السهل التعديل فيها بدلاً من إعادة تغيير الأسلاك والتوصيلات كما كان متبعاً قديماً (Gridling and Weiss,2007).

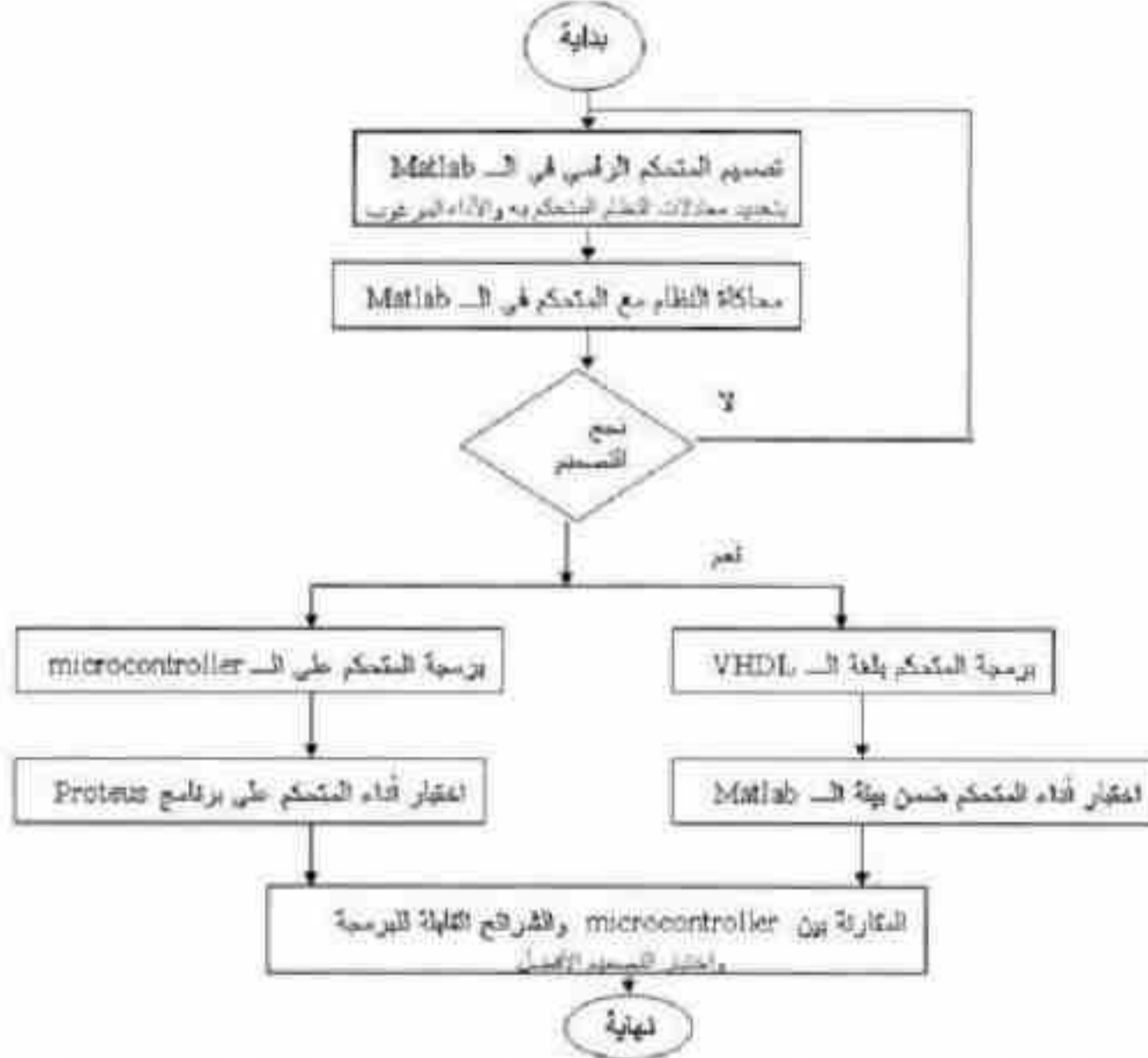
## 2- أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية هذا البحث بأنه يعرض طريقة لتصميم متحكم رقمي في الحالة العامة لأي نظام تحكم ثم تحقيق هذا المتحكم عملياً بطريقتين الأولى باستخدام شرائح FPGA، والثانية باستخدام Microcontroller وبعد ذلك يتم اختبار المتحكم على نظام حقيقي في كلا الطريقتين من خلال دراسة استقرار النظام في الحلقة المغلقة، ومن ثم إجراء المقارنة بين الطريقتين وعرض أهمية كل منهما وذلك بغية تحديد مجال استخدام كل طريقة.

## 3- طريقة البحث:

تتطلب عملية تصميم المتحكمات معرفة معادلات النظام المتحكم به ومعرفة الأداء المرغوب للنظام ومن ثم استخدام إحدى طرق التصميم لتصميم المتحكم المطلوب. بعد عملية التصميم يتم اختبار أداء النظام مع المتحكم على الحاسوب وفي حال نجاح التصميم (أي عندما يكون للنظام مع المتحكم أداء قريب من الأداء المرغوب) تتم برمجة المتحكم بلغة VHDL من أجل تطبيقه على إحدى الشرائح القابلة للبرمجة، وبرمجة المتحكم بلغة Basic على متحكم مصغر ومحاكاته في برنامج Proteus، ثم المقارنة بين الشرائح القابلة للبرمجة والمتحكمات المصغرة.

يبين الشكل (1) المراحل السابقة، وسنقدم في الفقرات التالية شرحاً لكيفية تحقيق هذه المراحل ومنطبق هذه المراحل على نظام فيزيائي حقيقي وهو نظام الكرة والعارضة.



الشكل(1): مراحل تصميم متحكم رقمي في Matlab وتحقيقه على FPGA و Microcontroller

#### 4- خطوات البحث:

##### 4-1- عملية تصميم المتحكم الرقمي واختبار أدائه في Matlab:

يتم تصميم المتحكم الرقمي عبر عدة مراحل يمكن إيجازها بما يلي:

##### 4-1-1- تحديد معادلات النظام المتحكم به والأداء المرغوب:

يتم تحديد معادلات النظام المتحكم به بتطبيق القوانين الفيزيائية على النظام بحسب طبيعته النظام وإيجاد معادلاته التفاضلية أو تابع انتقاله. فمثلاً لإيجاد معادلات نظام ميكانيكي يتم تطبيق قانون نيوتن للحركة وإيجاد معادلات نظام كهربائي يتم تطبيق قانون كيرشوف للجهود أو التيارات، عندما يكون من الصعب إيجاد معادلات

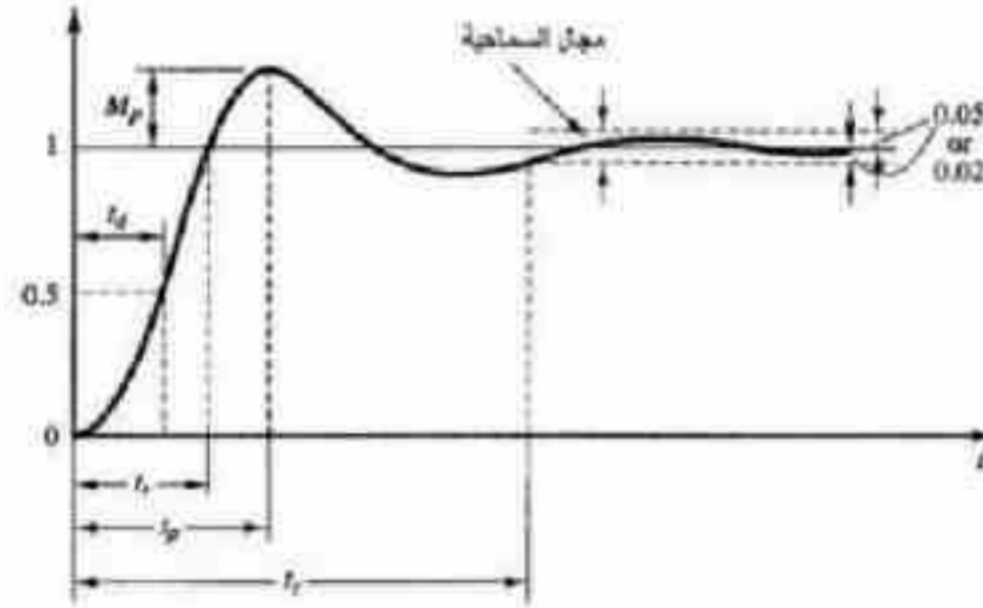
النظام بالطريقة السابقة يتم استخدام إحدى الطرق العددية للنمذجة لإيجاد معادلات فرقية أو تابع انتقال بالمتحول Z للنظام.

سنفترض أن للنظام المراد التحكم به تابع الانتقال التالي:

$$H_{ol}(z^{-1}) = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})} \quad (1)$$

حيث  $z$  هو متحول عقدي،  $B(z^{-1})$ ،  $A(z^{-1})$  هي كثيرات حدود بـ  $z^{-1}$ .

يتم عادة تحديد الأداء المرغوب للنظام في الحلقة المغلقة باستجابة محددة للنظام لتابع القفزة الواحدية. يبين الشكل (2) الاستجابة القياسية لنظام من الدرجة الثانية لتابع القفزة الواحدية.



الشكل(2): الاستجابة القياسية لنظام من الدرجة الثانية لتابع القفزة الواحدية

تحدد ثوابت الاستجابة في الشكل (2) بالعناصر التالية:

- 1- زمن التأخير  $t_d$  delay time: وهو الزمن الموافق لوصول استجابة النظام إلى 50% من القيمة النهائية.
- 2- زمن الصعود  $t_r$  rise time: يمثل الزمن اللازم لانتقال الاستجابة من 5% إلى 95% من القيمة النهائية.
- 3- زمن الذروة  $t_p$  peak time: يمثل الزمن اللازم لوصول الاستجابة إلى القيمة الأعظمية الأولى (القيمة الأولى للاستجابة).

4- تجاوز الهدف الأعظم  $M_p$  maximum overshoot: يمثل هذا الثابت نسبة القيمة الأعظمية الأولى للاستجابة للقيمة النهائية للاستجابة.

5- زمن الاستقرار  $t_s$  settling time: وهو الزمن الموافق لدخول الاستجابة في مجال عرضه يساوي من  $\pm 2\%$  إلى  $\pm 5\%$  من القيمة النهائية دون أن تخرج منه ثانية.

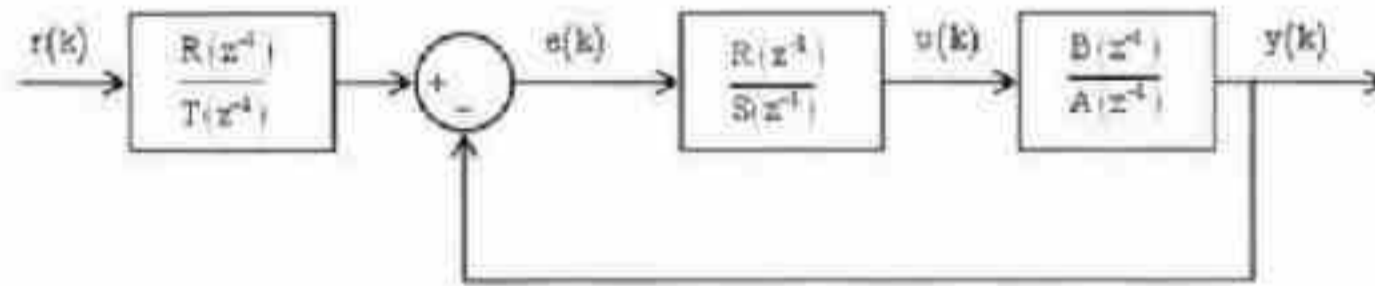
لتحديد أداء النظام المرغوب في الحلقة المغلقة يكفي تحديد قيمة عنصرين فقط من العناصر السابقة. باعتبار أن استجابة النظام تتعلق بأقطابه ويتابع انتقاله فمن الممكن أيضاً تحديد الأداء المرغوب للنظام في الحلقة المغلقة بتحديد الأقطاب المرغوبة أو تابع انتقاله المرغوب في الحلقة المغلقة.

4-1-2- تصميم متحكم رقمي:

ليكن لدينا نظام الحلقة المغلقة المبين في الشكل (3) حيث  $H_{cl}(z^{-1}) = B(z^{-1})/A(z^{-1})$  هو تابع انتقال النظام في الحلقة المفتوحة المعطى بالعلاقة (1) و  $T(z^{-1})$ ,  $S(z^{-1})$ ,  $R(z^{-1})$  هي كثيرات حدود بـ  $z^{-1}$  تمثل ثوابت قانون التحكم المعطى بالعلاقة التالية:

$$u(k) = \frac{1}{S(z^{-1})} (T(z^{-1})r(k) - R(z^{-1})y(k)) \quad (2)$$

$u(k)$  إشارة دخل النظام في الحلقة المفتوحة،  $r(k)$  إشارة دخل النظام في الحلقة المغلقة،  $y(k)$  إشارة خرج النظام في الحلقين المفتوحة والمغلقة و  $e(k)$  إشارة الخطأ.



الشكل(3): النظام المتحكم به في الحلقة المغلقة

إن عملية تصميم المتحكم الرقمي (2) تتطلب إيجاد كثيرات الحدود  $R(z^{-1}), S(z^{-1}), T(z^{-1})$  بحيث يكون للنظام في الحلقة المغلقة الأداء المرغوب المحدد بكثير الحدود التالي:

$$P(z^{-1}) = (1 - \alpha_1 z^{-1}) \times (1 - \alpha_2 z^{-1}) \times \dots \times (1 - \alpha_n z^{-1}) \quad (3)$$

حيث  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  هي ثوابت حقيقية تمثل الأقطاب المرغوبة للنظام في الحلقة المغلقة.

من المعادلتين (1) و (2) نحصل على تابع انتقال النظام في الحلقة المغلقة والمبين في الشكل (3):

$$H_{cl}(z^{-1}) = \frac{B(z^{-1})T(z^{-1})}{A(z^{-1})S(z^{-1}) + B(z^{-1})R(z^{-1})} \quad (4)$$

وبالتالي حتى يحقق النظام في الحلقة المغلقة الأداء المحدد بالمعادلة (3) يجب إيجاد كثيرات الحدود  $R(z^{-1}), S(z^{-1}), T(z^{-1})$  التي تحقق المعادلات التالية:

$$A(z^{-1})S(z^{-1}) + B(z^{-1})R(z^{-1}) = P(z^{-1})$$

$$\left. \frac{B(z^{-1})T(z^{-1})}{A(z^{-1})S(z^{-1}) + B(z^{-1})R(z^{-1})} \right|_{z^{-1}=1} = 1 \quad (5)$$

سنبين فيما يلي كيفية حل المعادلات (5) من أجل نظام في الحلقة المفتوحة من الدرجة الثانية له تابع الانتقال التالي:

$$H_{ol}(z^{-1}) = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} \quad (6)$$

ومتحكم رقمي من نوع PID له الثوابت التالية:

$$R(z^{-1}) = T(z^{-1}) = r_0 + r_1 z^{-1} + r_2 z^{-2}$$

$$S(z^{-1}) = (1 - z^{-1})(1 + s_0 z^{-1}) \quad (7)$$

حيث  $b_1, b_2, a_1, a_2, r_0, r_1, r_2, s_0$  هي ثوابت حقيقية.

بفرض أن الأقطاب المرغوبة للنظام في الحلقة المغلقة هي  $\alpha_1, \alpha_2$  وبالتالي يكون كثير الحدود المميز للنظام في الحلقة المغلقة المعطى بالعلاقة (3) هو:

$$P(z^{-1}) = (1 - \alpha_1 z^{-1})(1 - \alpha_2 z^{-1}) = 1 + p_1 z^{-1} + p_2 z^{-2} \quad (8)$$

من المعادلة رقم (5) نجد أنه لتصميم المتحكم (7) يجب حل المعادلة التالية:

$$(1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2})(1 - z^{-1})(1 + s_0 z^{-1}) + (b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2})(r_0 + r_1 z^{-1} + r_2 z^{-2}) = 1 + p_1 z^{-1} + p_2 z^{-2} \quad (9)$$

إن الطرف الأيسر من المعادلة رقم (9) هو كثير حدود من الدرجة الرابعة بينما الطرف الأيمن للمعادلة هو كثير حدود من الدرجة الثانية وبالتالي لحل المعادلة يجب إضافة قطبين مساعدين داخل الدائرة الواحدة على المحور الحقيقي  $\beta_1, \beta_2 \in [-0.05, -0.5]$  وتصبح المعادلة (9) بالشكل التالي:

$$(1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2})(1 - z^{-1})(1 + s_0 z^{-1}) + (b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}) \times (r_0 + r_1 z^{-1} + r_2 z^{-2}) = (1 + p_1 z^{-1} + p_2 z^{-2})(1 + \beta_1 z^{-1})(1 + \beta_2 z^{-1}) \quad (10)$$

يمكن كتابة المعادلة السابقة بالشكل المصفوفي التالي:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 1 & b_1 & 0 & 0 \\ a_1 - 1 & b_2 & b_1 & 0 \\ a_2 - a_1 & 0 & b_2 & b_1 \\ -a_2 & 0 & 0 & b_2 \end{bmatrix}}_M \underbrace{\begin{bmatrix} s_0 \\ r_0 \\ r_1 \\ r_2 \end{bmatrix}}_X = \underbrace{\begin{bmatrix} p_1 + \beta_1 + \beta_2 - a_1 + 1 \\ p_1 \beta_1 + p_2 + (p_1 + \beta_1) \beta_2 + a_1 - a_2 \\ p_2 \beta_1 + (p_2 + p_1 \beta_1) \beta_2 + a_2 \\ p_2 \beta_1 \beta_2 \end{bmatrix}}_N \quad (11)$$

ونحصل على ثوابت المتحكم (7) بحل المعادلة (11) بالشكل التالي

(بافتراض أن المصفوفة M قابلة للقلب):

$$X = M^{-1}N \quad (12)$$

فمنا بأتمتة عملية تصميم المتحكم الرقمي عن طريق كتابة برنامج بلغة

Matlab يقوم بحل المعادلة السابقة (function[R,S]=pid(A,B,P)) للحصول على

ثوابت متحكم رقمي في الحالة العامة.

4-1-3- محاكاة النظام مع المتحكم:

بعد تصميم المتحكم يتم اختبار أدائه بتطبيق تابع القفزة الواحدة على النظام



في الحلقة المغلقة المبين في الشكل (3) باستخدام بيئة Simulink.

#### 4-2- تنفيذ المتحكم الرقمي عملياً:

بعد التأكد من أداء النظام في الحلقة المغلقة بالشكل المرغوب في بيئة Matlab سيتم التطبيق العملي للمتحكم الرقمي باستخدام أداتين للتنفيذ هما شريحة FPGA و Microcontroller.

#### 4-2-1- تنفيذ المتحكم على شريحة FPGA:

قمنا في هذه المرحلة بكتابة كود بلغة VHDL يمثل المتحكم الرقمي ذي تابع الانتقال  $R(z^{-1})/S(z^{-1})$  الذي قمنا بتصميمه في Matlab ونرجمته ومحاكاته وذلك باستخدام برنامج Maxplus (وهو برنامج لكتابة ومحاكاة البرامج المكتوبة بلغة VHDL). وبعد التأكد من دقة تصميم المتحكم بلغة VHDL حاسوبياً قمنا بتطبيقه عملياً على شريحة FPGA لإجراء المحاكاة بالزمن الحقيقي. من أجل ذلك استخدمنا لوحة DE2 وهي من إنتاج شركة Altera تحتوي هذه اللوحة على شريحة FPGA من نوع Cyclone II (Lusco et al., 2011) وعلى عناصر إلكترونية أخرى.

لتحقيق التطبيق العملي قمنا بتحميل برنامج VHDL الممثل للمتحكم الرقمي على شريحة FPGA الموجودة على لوحة DE2 ثم تشغيلها بوضعها في حلقة مغلقة مع النظام المراد التحكم به ضمن بيئة Matlab وذلك باستخدام الوصلة التسلسلية RS232 بين الحاسب ولوحة DE2.

#### 4-2-2- تنفيذ المتحكم على Microcontroller:

تم في هذه المرحلة برمجة Microcontroller باستخدام لغة Basic ضمن برنامج Proteus بحيث يؤدي عمل المتحكم الرقمي ذي تابع الانتقال  $R(z^{-1})/S(z^{-1})$  الذي قمنا بتصميمه سابقاً في Matlab، ثم تشغيل microcontroller بوضعه في حلقة مغلقة مع النظام المراد التحكم به.

#### 6- النتائج والمناقشة:

سنعرض في هذه الفقرة بتطبيق مراحل تصميم المتحكم الرقمي وتطبيقه على

شريحة FPGA وعلى microcontroller والمبينة في الشكل (1) على نظام الكرة والعارضة ball and beam المبين في الشكل (4).



الشكل(4): نظام الكرة والعارضة

يتكون هذا النظام من الأجزاء التالية:

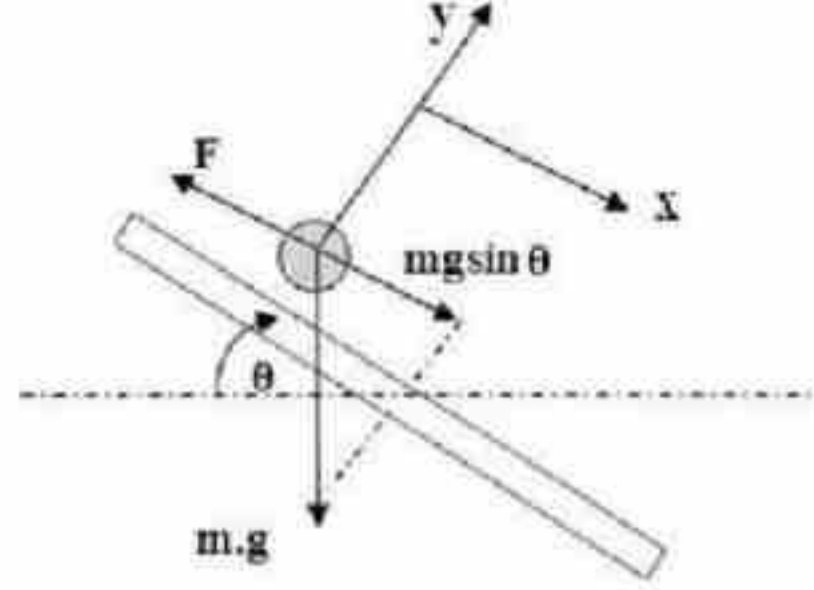
- 1- كرة متوضعة على عارضة يمكنها التدرج بدرجة حرية واحدة على طول العارضة.
- 2- محرك سيرفو موصول مع العارضة يقوم بتغيير زاوية العارضة بحسب الجهد المطبق على دخله.

عندما تتغير زاوية العارضة عن الوضع الأفقي تتسبب الجاذبية في تدرج الكرة على طول العارضة مما يؤدي إلى تغير موضع الكرة. إن الهدف من التحكم بهذا النظام هو تحريك الكرة على العارضة بحيث تتوضع (تستقر) في المكان المرغوب بأداء محدد. من أجل ذلك سنقوم بتطبيق المراحل المبينة في الشكل (1).

#### 1-5- عملية تصميم المتحكم الرقمي واختبار أداؤه في Matlab:

1-1-5- تحديد معادلات النظام المتحكم به والأداء المرغوب:

يبين الشكل (5) القوى المؤثرة على الكرة عندما تكون العارضة في وضع غير أفقي حيث  $X$  يمثل موضع الكرة،  $mg$  يمثل قوة الجاذبية المؤثرة على الكرة ذات الكتلة  $m$ ،  $F$  هي قوة الاحتكاك،  $\gamma$  قوة رد فعل العارضة و  $\theta$  زاوية العارضة.



الشكل(5): القوى المؤثرة على الكرة

بتطبيق قانون نيوتن على النظام في الشكل (5) نحصل على تابع الانتقال التالي:

$$\frac{X(s)}{\Theta(s)} = \frac{g/(1+2R^2/5r^2)}{s^2 + fs} \quad (13)$$

حيث:

$R = 9 \text{ mm}$	نصف قطر الكرة
$r = 6.9 \text{ mm}$	الارتفاع عن السلك
$g = 9.8 \text{ m/s}^2$	تسارع الجاذبية
$f = 1.5 \text{ Ns/m}$	ثابت الاحتكاك

بتعويض القيم السابقة في تابع الانتقال (13) نحصل على تابع الانتقال التالي:

$$\frac{X(s)}{\Theta(s)} = \frac{5.8}{s^2 + 1.5s} \quad (14)$$

المرحلة التالية هي تصميم متحكم رقمي للنظام الموصوف بتابع الانتقال

(14) بحيث يكون للنظام في الحلقة المغلقة قطب مضاعف في  $z = 0.1$ .

5-1-2- تصميم المتحكم الرقمي:

الآن نقوم بتصميم المتحكم الرقمي باستخدام التابع الذي قمنا بتصميمه في

Matlab فنجد أن تابع الانتقال للمتحكم وحسب العلاقة (7) هو:

$$H_c(z) = \frac{R(z)}{S(z)} = \frac{0.9093z^2 - 0.6524z + 0.1036}{(z-1)(z+0.5281)} \quad (15)$$

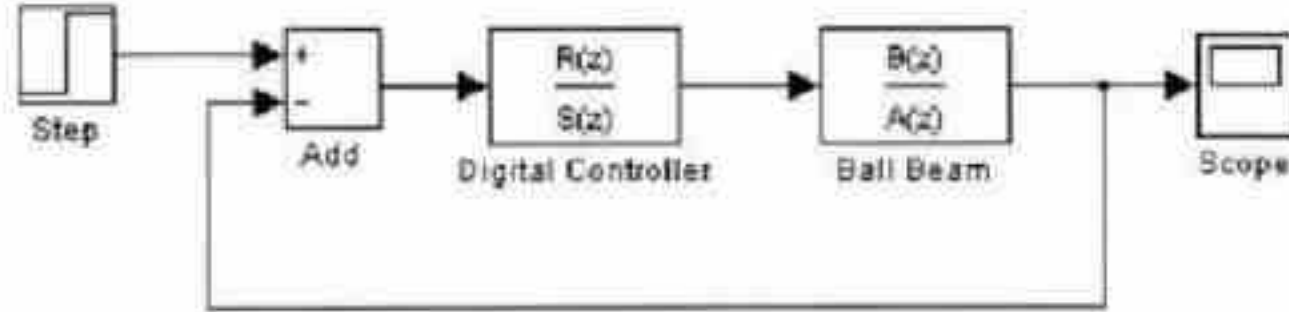
حيث:

$$R = 0.9093 \quad -0.6524 \quad 0.1036$$

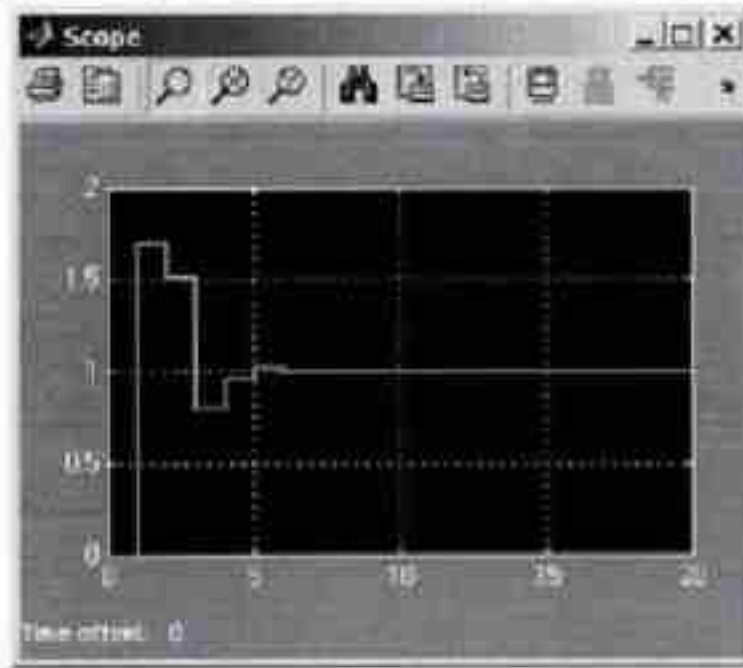
$$S = 0.5281$$

5-1-3- محاكاة النظام مع المتحكم:

لاختبار أداء النظام في الحلقة المغلقة قمنا بمحاكاة النظام في بيئة Matlab وذلك بتحقيق النظام المبين في الشكل (3) وذلك باستخدام Simulink كما هو موضح على الشكل (7).



الشكل(7): نظام الكرة والعارضة في الحلقة المغلقة في بيئة Simulink  
 يتنفيذ المحاكاة في بيئة Simulink نحصل على الاستجابة التالية:



الشكل(8): استجابة نظام الكرة والعارضة في الحلقة المغلقة في بيئة Simulink

5-2- تنفيذ المتحكم الرقمي عملياً:

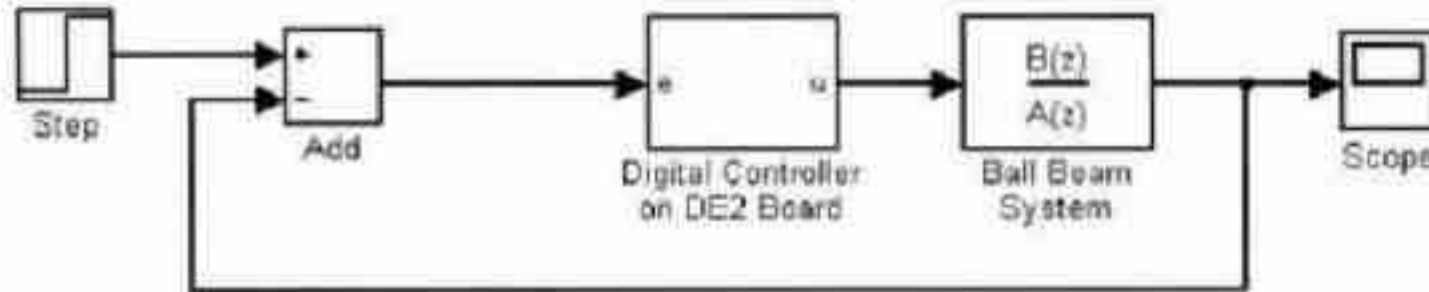
بعد أن تأكدنا من أداء النظام نظرياً في Matlab قمنا بتنفيذ المتحكم الرقمي باستخدام شريحة FPGA و Microcontroller كما يلي:

5-2-1- تنفيذ المتحكم على شريحة FPGA:

قمنا بهذه المرحلة بتصميم المتحكم بلغة VHDL وبعدها قمنا بتحميله على

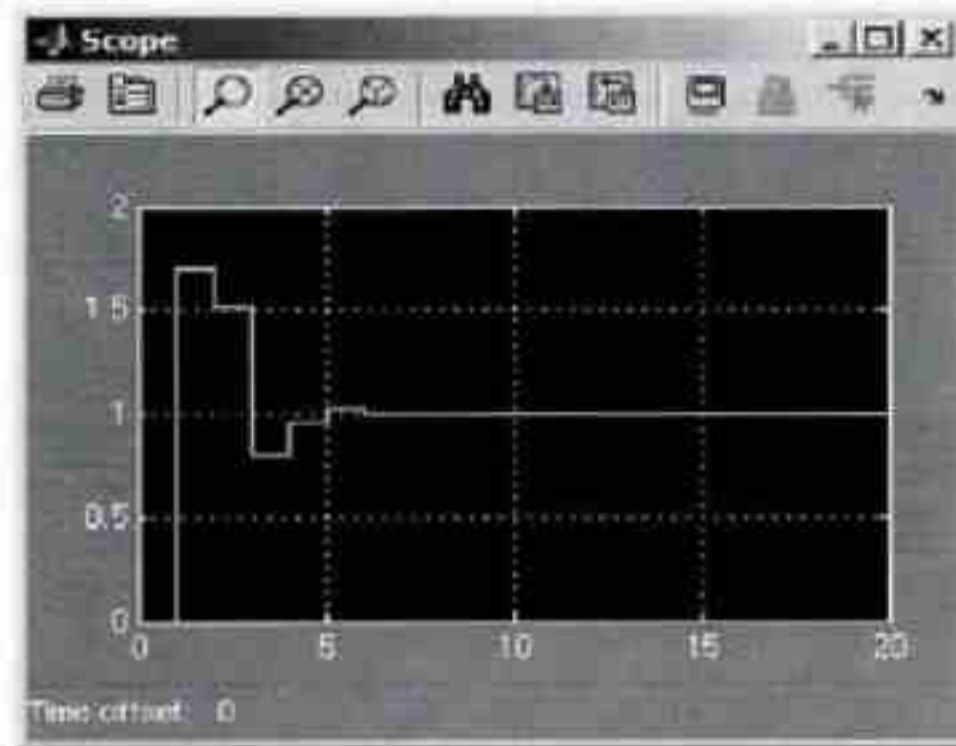
شريحة FPGA الموجودة على اللوحة DE2 المتوفرة لدينا واختبار عمله في الزمن الحقيقي.

بعد ذلك تم وضع المتحكم الموجود على اللوحة DE2 في حلقة مغلقة مع النظام المتحكم به باستخدام Matlab حيث يتم تبادل المعطيات بين Matlab واللوحة DE2 باستخدام المنفذ التسلسلي للحاسب، كما هو مبين في الشكل (9).



الشكل(9): المتحكم الموجود على لوحة DE2 في حلقة مغلقة مع النظام باستخدام Matlab بتشغيل النظام المبين في الشكل (9) نحصل على الاستجابة المبينة في

الشكل (10).

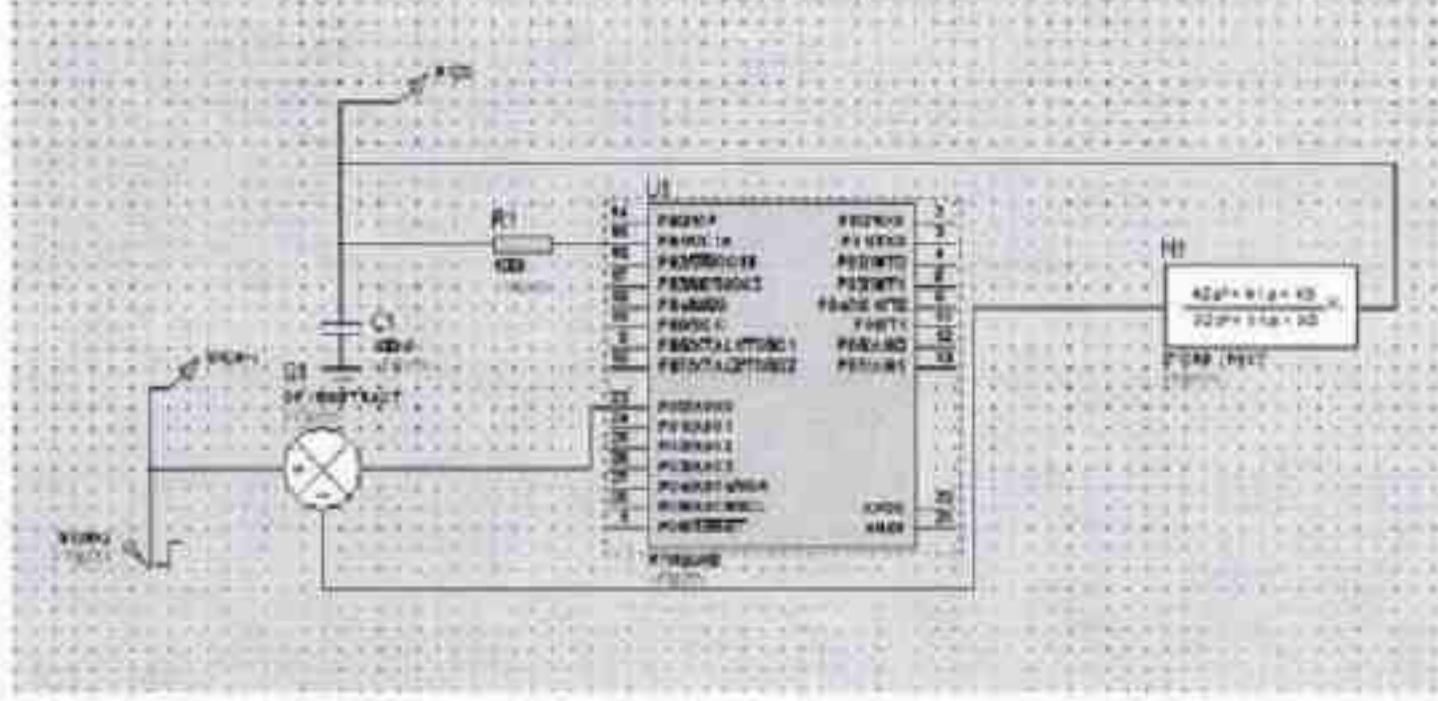


الشكل(10): استجابة النظام في الحلقة المغلقة مع المتحكم الموجود على لوحة DE2 نلاحظ من هذه الاستجابة أن النظام مستقر في الحلقة المغلقة وأنها حققتنا أداء مقبول للنظام، وهو الهدف من تصميم المتحكم وتنفيذه على شريحة FPGA.

5-2-2- برمجة المتحكم على متحكم مصغر:

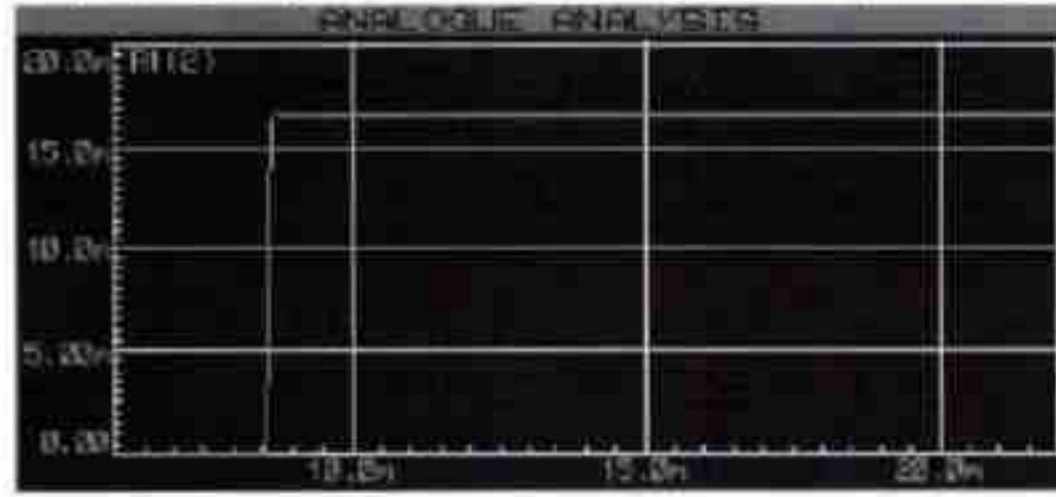
قمنا في هذه المرحلة بتصميم المتحكم بلغة Basic وتطبيقه على

Microcontroller من إنتاج شركة ATMEL وهو AVRATMEGA8 وذلك باستخدام برنامج Proteus ومن ثم التأكد من أداء المتحكم بوضعه في حلقة مغلقة مع النظام المتحكم به. كما هو مبين في الشكل (11).



الشكل (11) microcontroller في حلقة مغلقة مع النظام باستخدام Proteus

ويتشغيل النظام حصلنا على الاستجابة المبينة في الشكل (12).



الشكل (12) استجابة النظام في الحلقة المغلقة مع microcontroller

نلاحظ من الاستجابة الموضحة في الشكل (12) أن النظام مستقر في

الحلقة المغلقة وذو أداء مقبول.

#### 6- المقارنة بين الشرائح القابلة للبرمجة والـ Microcontroller:

بعد أن صممنا المتحكم الرقمي في Matlab وقمنا بتنفيذه باستخدام أداتين

هما الشرائح القابلة للبرمجة والمتحكم المصغر وتأكدنا بأن أداء المتحكم مقبول

بالطريقتين، نقدم فيما يلي مقارنة بين الطريقتين (Ha et al., 2006) :

- 1- برمجة FPGA تتم عن طريق وصل بوابات منطقية مع بعضها لتشكيل تابع منطقي محدد وذلك بلغة VHDL وهي لغة وصف الكيان الصلب والتي تعتبر لغة صعبة نسبياً، بينما برمجة microcontroller تتم عن طريقة كتابة تعليمات (برنامج) بإحدى لغات البرمجة العالية المستوى مثل (Basic, C++,...) وبالتالي فإن FPGA يستهلك وقتاً أطول لإعداد التطبيق من Microcontroller .
  - 2- طريقة العمل في شريحة FPGA تتم بتقييم دخل الشريحة على التوازي وإيجاد الخرج بينما في microcontroller يتم تنفيذ التعليمات تسلسلياً حيث يتم جلب التعليمات الأولى وتنفيذها ثم جلب الثانية وتنفيذها وهكذا.
  - 3- تؤمن FPGA مرونة كبيرة في التصميم من حيث تحديد عدد مداخل النظام وعدد مخرجه وحجم الذاكرة والمسجلات وغيرها من العناصر الرقمية فكلها يمكن تصميمها داخل شريحة FPGA أي يمكن تحديد عناصر النظام كما نريد بينما microcontroller لا تسمح سعته الذاكرة بحرية كبيرة في العمل وخصوصاً في الأنظمة المعقدة.
  - 4- إن سرعة المعالجة في FPGA لحظية في الزمن الحقيقي أما في microcontroller فتعتمد على سرعة المعالج.
  - 5- سرعة الاستجابة (التنفيذ) في FPGA لحظية، بينما سرعة الاستجابة في microcontroller تعتمد على سرعة تحويل (ADC).
  - 6- FPGA أكثر دقة فهي قريبة جداً من النظام الحقيقي (التشابهي) أما microcontroller فهو محاكاة وتقريب للنظام الحقيقي.
  - 7- microcontroller يستهلك طاقة أقل من FPGA.
  - 8- الأجهزة التي تصمم بواسطة FPGA تكون أكثر تكلفة من microcontroller في الأنظمة البسيطة أما في الأنظمة المعقدة فالعكس صحيح.
- 7- الاستنتاجات:**

تم في هذا البحث تصميم متحكم رقمي في الحالة العامة لنظام تحكم باستخدام Matlab ومحاكاته، بعد ذلك تم تحقيق هذا المتحكم عملياً بطريقتين الأولى

باستخدام شرائح FPGA حيث قمنا ببناء المتحكم باستخدام لغة وصف الكيان الصلب VHDL من أجل تطبيقه على الشريحة وبحيث تكون متوافقة مع معيار IEEE أما الثانية فكانت باستخدام microcontroller حيث قمنا ببناء المتحكم باستخدام لغة Basic، وقمنا بعد ذلك باختبار عمل المتحكم المصمم بكل الطريقتين من خلال دراسة استقرار النظام مع المتحكم في الحلقة المغلقة بما يسمح بأتمتة عملية التحكم بشكل كامل. وفي نهاية البحث قمنا بإجراء مقارنة بين كلا الطريقتين المستخدمتين في التنفيذ (المتحكم المصغر Microcontroller والشرائح القابلة للبرمجة FPGA)، واستنتجنا أن FPGA هي أكثر تعقيداً وأكثر كلفة وتتطلب طاقة أكثر من Microcontroller ولكن في الوقت نفسه هي أكثر دقة وأكثر سرعة وأكثر مرونة وسهلة التعديل أثناء التشغيل وبالتالي يتم عادة استخدام شرائح FPGA عند الحاجة للحصول على استجابة عالية السرعة وفي الزمن الحقيقي وفي التطبيقات الكبيرة والمعقدة، أما من أجل التطبيقات الأيسر والأقل تعقيداً فيكون Microcontroller هو الاختيار الأنسب حيث تكون الكلفة واستهلاك الطاقة أقل.

#### References

- GRIDLING G.;WEISS B.2007- **Introduction to Microcontrollers** University of Technology, 1<sup>st</sup> Ed, Vienna, 175.
- HA S.; LEE C.; KOWN S., 2006- **Hardware- Software design of multimedia embedded systems**. *The 12<sup>th</sup> IEEE International conference on embedded system and real time computing systems and applications*, PP 207-214.
- Lusco M.A.; Dailey J.L.; Stroud C.E., 2011- **Built-In Self-Test for multipliers in Altera Cyclone II Field Programmable Gate Arrays**. *System Theory (SSST), 2011- IEEE 43rd Southeastern Symposium*, PP 214-220.
- MOORE H., 2009- **MATLAB for Engineers**. Prentice Hall, 2<sup>nd</sup> ed, New York, 624 P.
- OGATA K., 2008 - **Matlab for control engineers**. Prentice Hall, 1<sup>st</sup> ed, New York, 448 P.
- PEDRONI V., 2004- **Circuit Design with VHDL**. MIT Press, 1<sup>st</sup> ed, London, 363 P.



- SHORT K., 2008- **VHDL for Engineers** Prentice Hall, 1<sup>st</sup> ed, New York, 720 P.
- Uzunovic T.; Zunic E.; Badnjevic A.; Miokovic I.; Konjicija S., 2010- **Implementation of digital PID controller**. *MIPRO, 2010 Proceedings of the 33rd International Convention*, PP 1357-1363.

## Using Embedded Systems in Control Applications

**Noor Jahjah**

Dept. of Automatic Control, Faculty of Electrical Engineering,  
University of Aleppo

### Abstract

In this paper a digital controller was designed with Matlab language in the overall situation and the work of this controller was tested by studying the stability of the closed loop system within the environment of Matlab.

After testing the work of the controller with Matlab, we tested its performance in practice by using two tools, the first tool is a programmable logic device (FPGA), where we programmed it with a language of its own, a hardware description language (VHDL) so the (FPGA) will do the work of the controller that was designed in an environment of Matlab, we also tested the action of controller in real-time by putting the chip in a closed loop with the system by using the serial RS232 interface and within the environment of Matlab.

The second tool is a Microcontroller which we programmed by (Basic) language for doing the action of the controller that was designed in Matlab then we made a test by putting the microcontroller in a closed loop with the system within an environment of Proteus which is the best program to simulate the circuit and embedded chips.

To confirm the results we have obtained by using the precedents mentioned tools (FPGA, microcontroller), we applied the previous study on system (ball and beam) that is located at the laboratory of automatic control at the faculty of electrical and electronic engineering.

Finally, a comparison between the programmable logic devices and microcontroller is achieved to demonstrate the importance of using both of them.

**Keywords:** Embedded systems, Digital controllers, Microcontroller, Digital design.

Received //2011

Accepted //2011