تصميم وتنفيذ لوحة تعليمية تفاعلية مفتوحة المصدر مزودة بنظام تعليمي متكامل لتعليم برمجة المتحكمات المصغرة

أنس فتوح، عماد الروح، وليد بليد*

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

*طالب دراسات عليا (ماجستير)

الملخص

في هذه الورقة البحثية نقدم دراسةً عن تصميم لوحة إلكترونية تفاعلية شاملة، متعددة الأغراض، مفتوحة المصدر، لأغراض التعليم المخبري لبرمجة المتحكمات الرقمية المصغرة، تغطي مجموعة شاملة من التجارب بحيث يمكن تدريسها في جميع اختصاصات كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية، إضافة إلى تقديم الدليل العملي لهذه التجارب. يعتبر هذا البحث خطوةً أولية لإعداد منهج عملي تفاعلي لبرمجة مصفوفات البوابات الحقلية القابلة للبرمجة (FPGAs) واستخدامها لأغراض تدريسية مخبرية.

يستطيع هذا النظام التعامل مع المتحكمات المصغرة من العائلة AVR وهو متوافق مع معظم المترجمات أو اللغات البرمجية الشائعة في برمجة المتحكمات. يتضمن النظام العديد من المحيطيات، وتم تصميم دليل التجارب العملية بالاعتماد على مركزية الطالب في التعلم والمنهجيات العملية التفاعلية، كما تم إعداد شرح مفصل يحوي المخططات النظرية التصميمية والعملية التنفيذية وطريقة إعداد نظام مشابه بهدف جعل هذا النظام مفتوح المصدر. ولتقييم جودة هذا النظام ومدى ملاءمته، تم تدريسه مخبرياً في كلية الهندسة الإلكترونية، وتم إجراء استطلاع رأي عام للطلاب والذي أظهر بدوره انطباعاً جيداً لهذا النظام على مستوى المنهجية والفائدة العلمية والعملية المحصلة.

الكلمات المفتاحية: النظم المضمنة، مفتوح المصدر، التعليم الهندسي، المنهجيات التفاعلية.

ورد البحث للمجلة بتاريخ 2009/8/24م

قبل للنشر بتاريخ 2009/11/5م

1- المقدمة:

إن للتعليم المخبري دوراً هاماً في المجالات والعلوم الهندسية، كما أنه يشكل النواة الأساسية للربط بين الأسس النظرية والتطبيقات العملية [1].

في الوقت الحاضر أصبحت المتحكمات الرقمية المصغرة القلب النابض في أنظمة التحكم الإلكترونية وفي التجهيزات الكهربائية الصناعية، كما أنها تستخدم في العديد من مجالات الهندسة الكهربائية والإلكترونية، مثل: الاتصالات، معالجة الإشارة الرقمية، التحكم والأتمتة، وإلكترونيات القدرة [2].

إن التسارع الكبير في التطور التكنولوجي يحتاج إلى نظم إلكترونية متطورة تتميز بأدائها وسرعتها وتنوع وظائفها مما أدى إلى تعقيد النظم الإلكترونية بسب تعقيد الوظائف والميزات المطلوبة من هذه النظم. كما أن تصميم أي نظام تحكم رقمي يحتاج إلى أدوات برمجية وكيان صلب، وبقدر ما تزداد الوظائف المطلوبة من النظام يزداد تعقيد النظام وبالتالي تعقيد الكود البرمجي للمتحكم الذي يقود هذا النظام، لذا بات من الصعب جداً برمجة نظم التحكم الرقمي المتقدمة بلغات التجميع، أضف إلى ذلك تسارع الوقت وحاجة السوق وعامل الزمن كانت سبباً أساسياً لابتكار لغات برمجية عالية المستوى لبرمجة المتحكمات الرقمية. على الجانب الآخر فإنه لابد من توفر كيان صلب يرتبط مباشرة مع تلك الحلول البرمجية المتوفرة، إحدى أشكال هذا الكيان الصلب هي لوحات التطوير (Development Kits) التي تصنف بحسب ميزاتها وتختلف بحسب حاجة النظام. إن هذه اللوحات توفر عاملاً هاماً في التصميم ألا وهو الوقت والجهد الضائع في تصميم الكيان الصلب للنظام على مراحل عدة وصولاً إلى النموذج النهائي، وبالتالي فإن كل ما يحتاجه المبرمج هو كتابة الكود البرمجي وتطبيقه على لوحة التطوير مباشرة دون الخوض في اعتبارات تصميم الكيان الصلب وتعقيداته، وهو ما تتجه إليه جميع مراكز الأبحاث ومختبرات التطوير والجامعات من خلال برمجة وتطوير النظم الرقمية باستخدام لوحات تطوير مصممة مسبقاً ومصنعة خصيصاً لهذه الأغراض.

2- أهمية البحث وأهدافه:

يرتكز هذا البحث على تطوير الجانب العملي في العملية التدريسية، فهو يربط بين العلم الأكاديمي النظري وبين التطبيق العملي، كما أنه يعالج تطوير العملية التعليمية من خلال استراتيجيات التعليم الحديث الذي يهدف إلى إعطاء الطالب دوراً تفاعلياً أكبر في العملية التعليمية [3].

إن الهدف الرئيسي لهذا البحث هو استثمار الأبحاث التطبيقية المطروحة بهدف تطوير مختبراتنا الجامعية وفقاً للتقنيات التكنولوجية الحديثة، وذلك من خلال توفير موارد عملية تطبيقية ترافق وتعزز الأسس النظرية. السؤال الذي أود طرحه هنا: "هل نستطيع أن نحقق اكتفاءً ذاتياً على صعيد تطوير المخابر العملية ومختبرات الأبحاث في جامعاتنا؟" في الحقيقة إن هذا ممكنٌ تحقيقه من خلال توظيف الأبحاث في تطوير العملية التعليمية وهو الذي تتجه إليه معظم الجامعات الغربية، على سبيل المثال لا الحصر جامعة واشنطون الأمريكية [4]، حيث إن التطوير على مستوى الجامعة ينعكس إيجاباً على تطوير المجتمع.

3- طريقة البحث:

استند هذا البحث في مرحلة الدراسة والتصميم على الموضوعات التالية:

- إجراء دراسة واستطلاع عام للوحات التطوير التجارية المتوفرة في الأسواق العالمية، حيث تم تصنيف الميزات الأساسية لكل واحدة منها، وبناءً على هذه الدراسة تم تحديد المتطلبات العامة للنظام المطلوب تصميمه.
- دراسة الحاجة إلى تجارب وتطبيقات عملية تغطي معظم الاختصاصات في كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية بمختلف أقسامها.
- جمع هذه الدراسة الأكاديمية ودراسة إمكانية تنفيذها على شكل لوحة تطوير عملية تراعي في تصميمها جميع الاعتبارات التصميمية الاختصاصية المتبعة في تصميم لوحات الأنظمة المضمنة (Embedded Systems).
- دراسة توزع المحيطيات على اللوحة بحيث تؤمن مرونة في التعامل معها.
- تصميم وتنفيذ لوحة التطوير التفاعلية لبرمجة المتحكمات المصغرة انطلاقاً من الدراسة السابقة، ومصممة خصيصاً لأغراض تعليمية مخبرية.

- بهدف إغناء شمولية هذا النظام تم تضمين العديد من المحيطيات الملحقة على نفس لوحة النظام لتغطي أكثر من 60 تجربة شاملة تراعي جميع المستويات (مبتدئ، متوسط، متقدم) وترتقي بالطالب من مستوى مبتدئ إلى مستوىً متقدم.
- تم الاستناد في مرحلة تصميم النظام إلى المقاييس العالمية في الهندسة الكهربائية والإلكترونية (IEEE) وبالتالي فإن هذا النظام يستطيع استخدام أي متحكم مصغر من العائلة AVR، كما أن برمجة هذا النظام يمكن أن تتم باستخدام أي مترجم أو لغة برمجية مخصصة لتطبيقات المتحكمات الرقمية (Basic, C, C++).
- كتابة التجارب التطبيقية للنظام المصمم لتتم البرمجة باستخدام لغة عالية المستوى تقارب لغة QBasic من حيث تكوينها وشكل تعليماتها، والتي تتم في البيئة البرمجية Bascom-AVR.
- تطبيق معظم التجارب عملياً على لوحة التطوير.
- محاكاة جميع الأمثلة والتطبيقات في بيئة البرنامج Proteus الذي يعد من أقوى البرامج التي تحاكي عمل المتحكمات والمعالجات المصغرة.
- تصميم دليل التجارب العملية بالاعتماد على مركزية الطالب في التعلم (Student-based learning)[5] والمنهجيات التفاعلية بين المتعلم والحاسب (Interaction Methodologies)[6] بحيث يستطيع الطالب تنفيذ التجارب المطلوبة واكتساب المهارات بدون الحاجة لإشراف مباشر من المدرس.
- إعداد شرح مفصل يحوي المخططات النظرية التصميمية والعملية التنفيذية وطريقة إعداد نظام مشابه بهدف جعل هذا النظام مفتوح المصدر في متناول الطلاب لتمكينهم من بناء لوحات التطوير الخاصة بهم ومن أجل إعطاء دور مركزي أعمق للقسم العملي الهندسي.
- تصميم واجهة ربط برمجية تفاعلية بين النظام والحاسب في بيئة VB.net [7].
- تم تدريس التجارب التي تم إعدادها في المقرر العملي لبعض المواد التي تدرس في كلية الهندسة الإلكترونية بجامعة حلب وهي: مادة المعالجات في نظم التحكم

ومادة تصميم نظم التحكم باستخدام الحاسب في السنة الرابعة.

- تم إجراء استطلاع رأي عام للطلاب يهدف إلى تقييم النظام على مستوى الفائدة العلمية والعملية المحصلة.

4- دراسة مقارنة لأكثر لوحات التطوير انتشاراً:

إن دراسة حاجة السوق الاقتصادية لصنف تجاري ما، هي الخطوة الأولى التي تسبق الشروع في تصميم أي منتج عملي.

تنتج العديد من الشركات العالمية لوحات تطوير تتفاوت بحسب الميزات الأساسية ونوع المتحكمات المصغرة التي تضمها. تم إجراء مقارنة بين لوحات التطوير الأكثر شموليةً وانتشاراً وتصنيف ميزاتها على أربعة محاور أساسية:

- السعر متضمناً الضريبة التجارية إن وجدت.
- شمولية عدد التجارب والمحيطيات التي تمتلكها.
- قابلية التوسع وربط وحدات محيطية خارجية.
- التوافقية مع المترجمات والنافذة البرمجية.

قمنا بتقييم كل لوحة استناداً إلى الدراسة المقارنة التي أجريناها مقارنةً مع لوحة التطوير التي قمنا بتصميمها. الجدول (1) في الملحق يوضح هذه الدراسة.

من خلال الدراسة المقارنة فإن لوحة التطوير التفاعلية التي قمنا بتصميمها (Open-Source Interactive AVR MCU Training Kit) تملك ضعفي حجم المحيطيات الموجودة في لوحات التطوير الأخرى، كذلك فإن سعرها أقل، وتم دراسة توزع المحيطيات عليها بحيث يتم التعامل معها بشكل مريح.

5- تصنيف التجارب والتطبيقات:

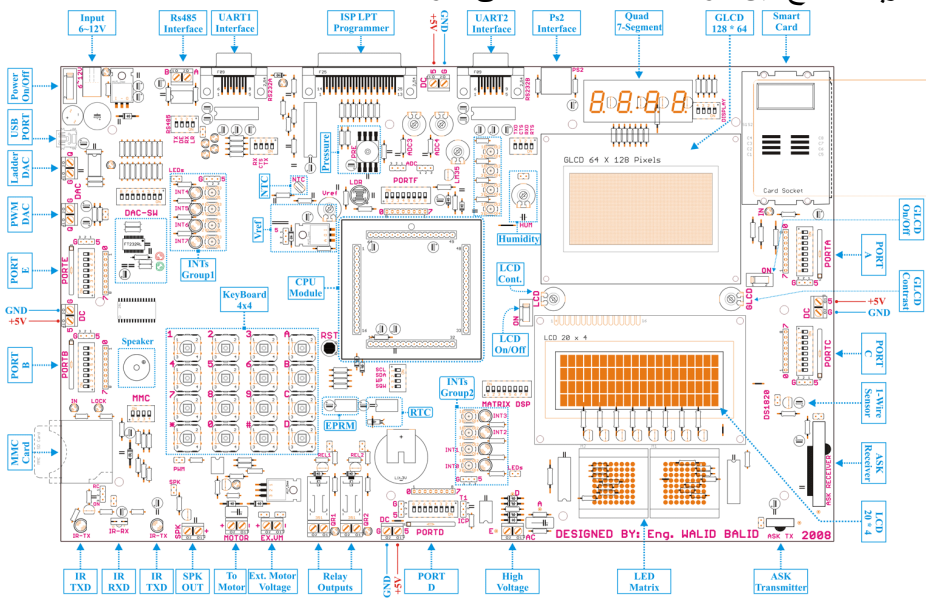
من المراحل المبكرة لمرحلة التصميم، مرحلة تصنيف المحيطيات المضمنة على اللوحة بحيث تشمل التجارب المخصصة لتعليم برمجة المتحكمات لمعظم الأقسام في الكليات الهندسية (التحكم، الإلكترون، الاتصالات، الحاسبات)، حيث إن الهدف الأساسي من هذه الشمولية في التجارب على لوحة تعليمية واحدة ليس فقط وجود نظام تعليمي عام وشامل، وإنما ربط الأطر الهندسية لهذه الاختصاصات على

منصة عمل واحدة بهدف الحصول على إطار عملي جامع. الجدول(2) في الملحق يوضح التجارب الأساسية للوحة التطوير وتصنيفها حسب الاختصاصات المذكورة.

ملاحظة: إن التصنيف المذكور في الجدول قائم على توزيع التجارب وفقاً للوظيفة الأساسية للتجربة المتعلقة بكل اختصاص، ولا يعني ذلك أن التجربة لا يجب أن يعمل بها غير ذوي الاختصاص المذكور، وإنما تستفيد منها جميع الاختصاصات.

6- توزع الطرفيات والمحيطيات على لوحة التطوير:

تم تضمين أكثر من 47 وحدة محيطية على نفس اللوحة لتغطي 70 تجربة أساسية شاملة تم إيرادها مجملةً في الفقرة السابقة، ويمكن أن تصل إلى أكثر من 100 تجربة بالدمج بين الوظائف المحيطية على اللوحة.

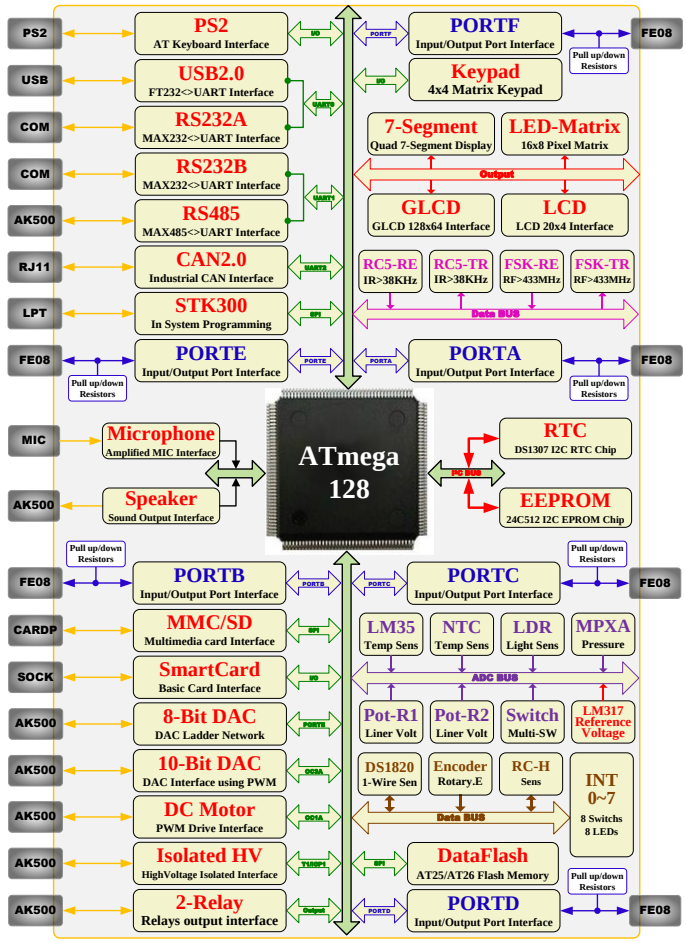


الشكل (1) توزع المحيطيات على الوجه العلوي للوحة التطوير.

إن طريقة توزيع المحيطيات والعناصر لكل تجربة (الشكل1)، على لوحة التطوير يعتبر أمراً أساسياً وعنصراً هاماً، وذلك بهدف توفير مساحة عمل مريحة على اللوحة وفصل عناصر كل وحدة محيطية عن الأخرى، كما أن أقطاب التوسعات يجب أن توضع على أطراف اللوحة لتسهيل توصيل الوحدات الإضافية.

7- المخطط الصندوقي للوحة التطوير:

الشكل (2) يبين المخطط الصندوقي للنظام الذي يوضح الوحدات المحيطية الأساسية وارتباطها مع المتحكم المصغر على لوحة التطوير.



الشكل(2) المخطط الصندوقي للنظام

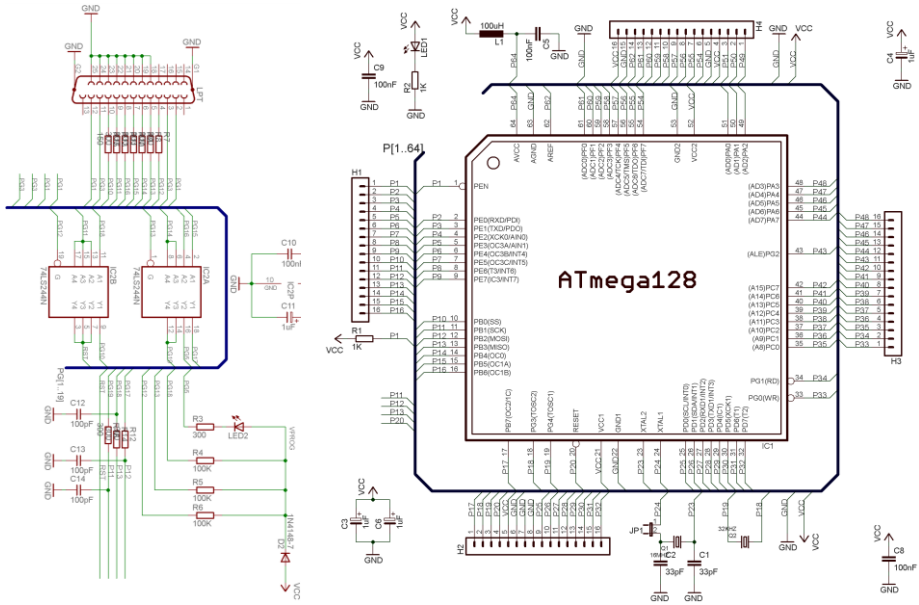
يمثل المتحكم المصغر ATmega128 قلب النظام ومحركه ويرتبط مع باقي المحيطيات الموزعة إما عن طريق بوابات الدخل والخرج (I/O PORTs) كارتباطه مع شاشات الإظهار الكريستالية المحرفية والرسومية ووحدات التوسعة الخارجية، أو عن طريق نوافذ الاتصال التسلسلي (Serial Interfaces) كارتباطه مع وحدات الاتصال التسلسلي (RS232, USB, RS485, CAN, PS2, I2C)، أو عن طريق

أقطاب المبدلات التشابهية الرقمية (ADCs) كارتباطه مع حساسات الحرارة والرطوبة والضغط والضوء وتوليد الجهد الخطي، أو عن طريق أقطاب المقاطعات الخارجية كارتباطه مع المفاتيح اللحظية وحساس الدوران، أو عن طريق أقطاب توليد إشارة تعديل عرض النبضة (PWM) من أجل التحكم بالتطبيقات التي تحتاج إلى جهد خرج مستمر ذي قيمة وسطية متغيرة. إن جميع المحيطيات التي لها اتصال مع العالم الخارجي ترتبط مع الصناديق المظللة باللون الرمادي.

8- المخططات التصميمية للوحة التطوير:

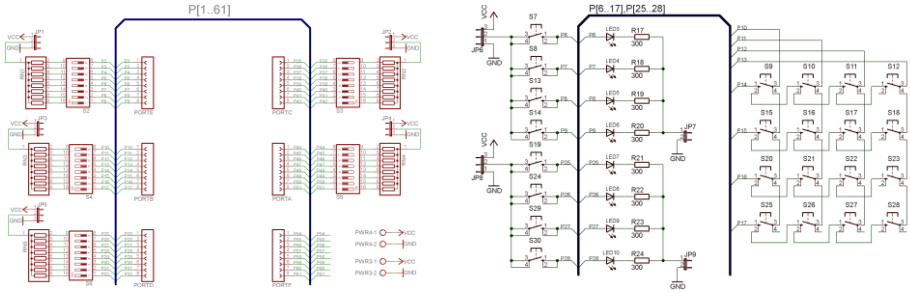
قبل الشروع في المخططات التصميمية النظرية (Schematic) تم شراء جميع العناصر المطلوبة واستناداً إلى الوثائق الفنية (Datasheet) المزودة من قبل الشركات المصنعة لهذه العناصر وأسس واعتبارات تصميم الدارات الإلكترونية، تم تصميم جميع دارات الملائمة للوحدات المحيطية ولا يوجد دارات مجمعة مسبقاً.

8-1 موديول المتحكم المصغر الرئيس ووحدة البرمجة للوحة التطوير:



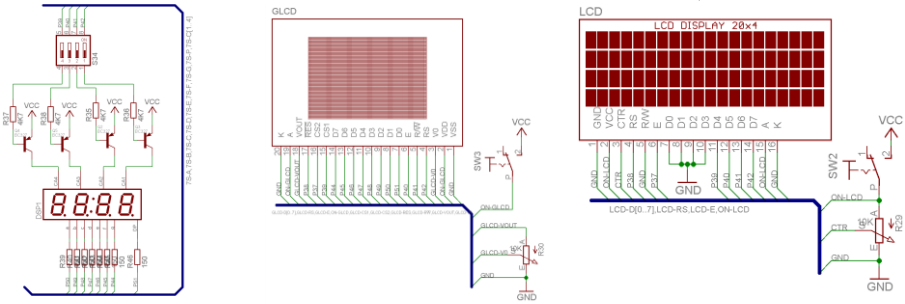
الشكل (3) المخطط التصميمي لموديول المعالج ودارة المبرمجة STK300

2-8 وحدة لوحة المفاتيح والثنائيات الضوئية والتوسعات الرئيسية للأقطاب:



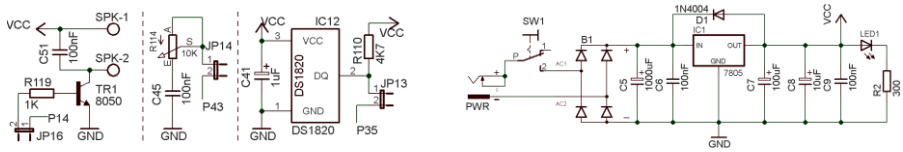
الشكل (4) المفاتيح اللحظية، الثنائيات الضوئية، التوسعات الرئيسية للأقطاب

3-8 وحدة شاشتي الإظهار الرسومية والمحرفية وشاشة الإظهار الرقمية:



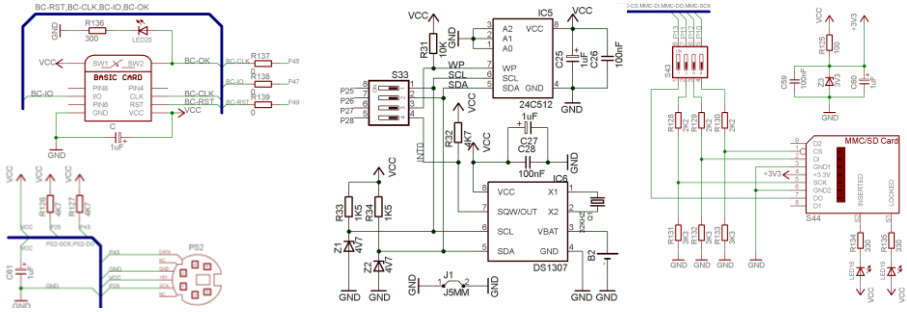
الشكل (5) المخطط التصميمي لشاشتي الإظهار الرسومية والمحرفية وشاشة الإظهار الرقمية

4-8 وحدة التغذية وحساس الحرارة الرقمي وحساس الرطوبة ومخرج الصوت:



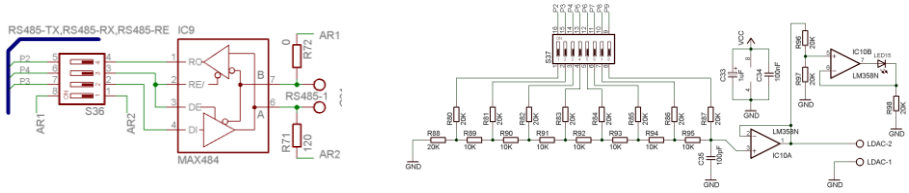
الشكل (6) المخطط التصميمي لوحدة التغذية، حساس حرارة رقمي والرطوبة، المخرج الصوتي

5-8 وحدة تخزينMMC، توليد الزمن، ذاكرة معطيات، البطاقة الذكية، نافذةPS2:



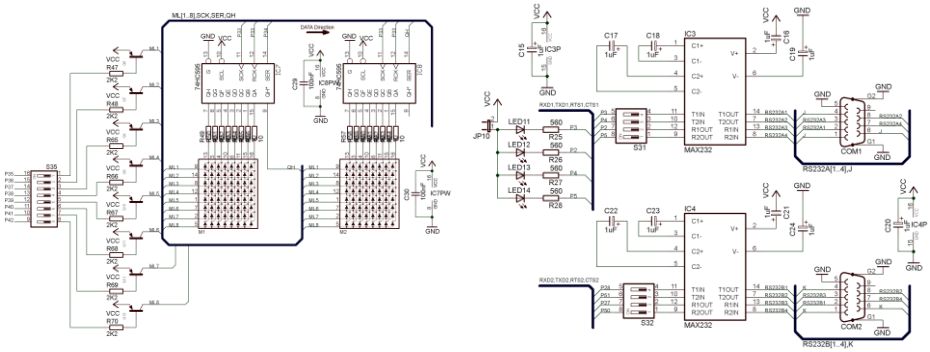
الشكل (7) المخطط التصميمي للوحدات MMC/SD، RTC، EEPROM، Smart Card، PS2

6-8 وحدة شبكة Ladder ووحدة الاتصال RS485 في لوحة التطوير:



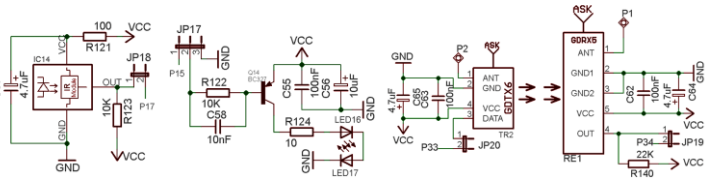
الشكل (8) المخطط التصميمي لشبكة لادر ووحدة الاتصال RS485

7-8 نافذتي الاتصال USART ومصفوفة الجريدة الإلكترونية في لوحة التطوير:



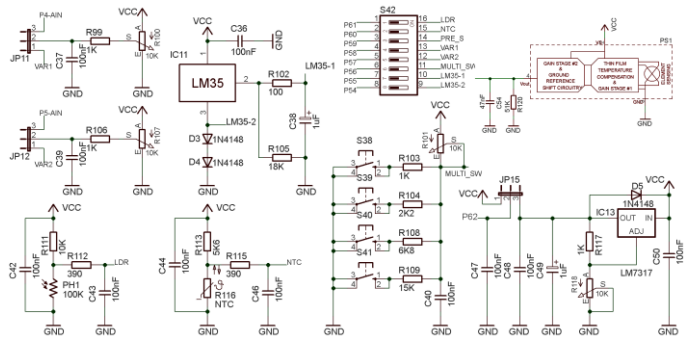
الشكل (9) المخطط التصميمي لدارة نافذتي الاتصال USART ومصفوفة الجريدة الضوئية

8-8 وحدات الإرسال والاستقبال بالأشعة تحت الحمراء والأمواج الراديوية:



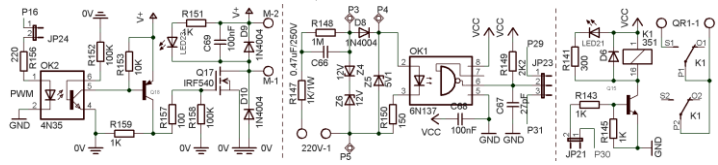
الشكل(10) دارتي الإرسال والاستقبال بالأشعة تحت الحمراء والأمواج الراديوية

9-8 وحدة الجهد المرجعي والحساسات التشابهية في لوحة التطوير:



الشكل (11) المخطط التصميمي لدارات الحساسات التشابهية ودارة توليد الجهد المرجعي

8-10 وحدات الدارات الاستطاعية التحكمية في لوحة التطوير:



الشكل (12) المخطط التصميمي لدارات التحكم الاستطاعية (ريليه، محرك، جهد عالي)

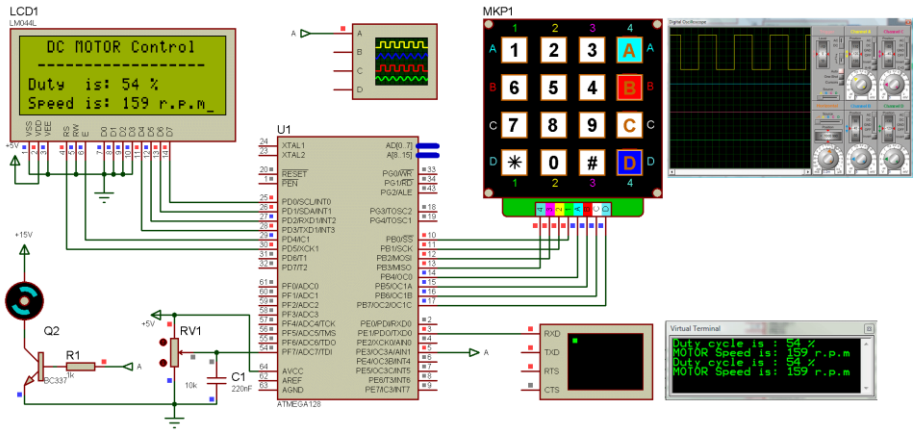
كما هو ملاحظ فإنه تم تقسيم المخططات التصميمية النظرية للوحة التطوير إلى أقسام متعددة تبعاً للوظيفة المخصصة لكل وحدة على حدة، ومن ثم تم ربط جميع هذه الوحدات مع الموديول الرئيس لوحدة المتحكم المصغر وذلك بهدف تسهيل عملية فهم وتطوير الوحدات المحيطية للنظام. تتيح هذه العملية إمكانية استثمار أجزاء وظيفية من هذا التصميم من أجل تصاميم أخرى تملك نفس الوظيفة، وبالتالي يمكن اختصار وقت التصميم أو التطوير في المستقبل بشكل كبير جداً.

9- المحاكاة في بيئة البرنامج PROTEUS:

إضافةً إلى التطبيق العملي للأمثلة والتمارين على لوحة التطوير، فإنه تم تزويد المنهج التعليمي بملفات للمحاكاة في بيئة البرنامج PROTEUS الذي هو عبارة عن بيئة مخصصة لأغراض محاكاة الأنظمة الرقمية والمعالجات المصغرة. إن الهدف الأساسي من هذه العملية هو إتاحة الفرصة للطلاب الذين لا تتوفر لديهم إمكانية شراء لوحة التطوير، حيث يمكن للطالب اختبار التصميم النظري للنظام.

9-1 مثال تطبيقي عن استخدام بيئة المحاكاة PROTEUS:

إحدى المشاريع التي قمنا بدراستها في بيئة المحاكاة ومن ثم تطبيقها على لوحة التطوير هي التحكم بسرعة محرك تيار مستمر باستخدام تقنية تعديل عرض النبضة (PWM)، حيث يتم تحديد السرعة المرجعية المطلوبة عن طريق إدخالها من خلال لوحة مفاتيح ست عشرية أو عن طريق مقاومة متغيرة خطية، ويتم حساب السرعة وعرضها على شاشة إظهار كريستالية وإرسالها إلى الحاسب (RS232) عبر نافذة الاتصال التسلسلية (UART)، كما أن النظام مزود بكلمة مرور لأغراض الحماية.



الشكل (13) المحاكاة لأحد التجارب في بيئة البرنامج PROTEUS

ملاحظة: إن التوصيل في بيئة المحاكاة متوافق مع المخططات التصميمية.

10- منهجية وأسلوب إعداد دليل التجارب العملية:

تم إعداد دليل التجارب العملية اعتماداً على منهجيات واستراتيجيات التعليم الهندسي الحديث بحيث يستطيع الطالب تنفيذ جميع التجارب واكتساب المعرفة والمهارات بدون الحاجة لتدخل مباشر من المعلم، حيث إن كل ما يحتاجه الطالب هو اتباع الخطوات المشروحة في دليل التجارب، وفي حال وجود تساؤل يقوم المعلم بتوجيه الطالب بشكل غير مباشر[8]. كذلك تم إعداد شرح مفصل يحوي المخططات التصميمية النظرية والعملية وطريقة إعداد نظام مشابه، وذلك بهدف جعل هذا النظام مفتوح المصدر بين يدي الطلاب لتمكينهم من بناء لوحات التطوير الخاصة بهم، وبالتالي إعطاء دور مركزي أعمق للجانب العملي الهندسي.

إن الهدف الذي تتجه إليه منهجيات وطرائق التعليم الحديث هو إعطاء الطالب دوراً أكبر في العملية التعليمية، وذلك من خلال استراتيجيات تستند إلى علم أصول التدريس (Pedagogy) الذي هو أحد فروع علم النفس التربوي، وتختلف هذه الأساليب والوسائل باختلاف المرحلة التعليمية التي تستخدم فيها [9]. تعتبر النظرية البنائية (Constructivism) في علم التدريس الحديث من أهم النظريات المطبقة في الفروع الهندسية، حيث تفسح المجال للطالب لبناء معرفته من خلال البحث والتوسع والتجربة والمحاكاة [10]، وتجعل الطالب العنصر الأساسي الفعال في عملية بناء

المعرفة وذلك من خلال المحاور التالية:

- SCL: مركزية الطالب كأساس في عملية التعلم (Student-Centric Learning)
- P_rBL: حل المشكلات كأساس في عملية التعلم (Problem-Based Learning)
- P_jBL: تنفيذ المشاريع كأساس في عملية التعلم (Project-Based Learning)
- HCIM: المنهجيات التفاعلية بين المتعلم والحاسب

10-1 مركزية الطالب كأساس في عملية التعلم (SCL) [11]:

إن الطريقة التقليدية في التعليم تركز على دور الأستاذ كأساس ومحور للعملية التعليمة (Teacher Based Learning) وفيها يتعلم الطالب من الاستماع ويعالج المعلومة بحفظها، وبالتالي فإن المعرفة الناتجة عند الطالب تقتصر على ما حصله من المعلم (معرفة المعلم فقط)، وتعود بفائدة على الطالب في عملية التعلم بنسبة 30% فقط مقارنةً مع المنهجيات الحديثة التي تعود بنسبة فائدة 90% [12].

تعتمد مركزية الطالب كأساس في عملية التعلم على جعل الطالب محور العملية التعليمية، حيث يؤدي المعلم دور المراقب والمرشد الموجه من خلال الاستراتيجيات التوجيهية، وبالتالي على المعلم تحجيم دوره في العملية التدريسية حتى يتيح للطالب مجالاً يبني فيه معرفته اعتماداً على النظرية البنائية (Constructivism) المذكورة، ويكتفي المعلم بتقديم الأُسس الضروري شرحها ليفسح المجال أمام الطالب للبحث والتوسع، وبذلك يصبح العنصر الفعال في بناء معرفته بنسبة لا تقل عن 70% من العملية التعليمية، بإشراف المعلم وتوجيهه بنسبة 30%، ويصبح لدينا بيئة تعاونية تفاعلية معرفية بين المعلم والطالب تنتج ما يلي: الطلاب يتعلمون من المعلم, الطلاب يتعلمون من بعضهم، المعلم يتعلم من الطلاب.

10-2 حل المشكلات كأساس في عملية التعليم (PrPL) [13]:

وفيها يشكل الطلاب مجموعات تعاونية مصغرة يعملون فيها على حل مشكلة مطروحة من قبل المعلم في إطار تنافسي تفاعلي، وبالتالي تنعكس خبرة كل واحد من هم على الآخر وعلى المعلم، وتتعمق تجربتهم المعرفية العملية.

10-3 الاعتماد على المشاريع العملية كأساس في عملية التعليم (PjPL) [14]:

وفيها يقوم المعلم بطرح مشاريع عملية تنافسية بهدف إعطاء الطلاب خبرة وتجربة أكثر عمقاً وأقرب إلى الواقع العملي، ويقوم الطلاب على الاستفادة من الأدوات التكنولوجية والبحث بهدف الوصول إلى نتيجة عملية تنتج معرفة مكتسبة.

11- استطلاع رأي ونتائج وخطط مستقبلية:

بهدف تقييم جودة هذا النظام ومدى ملاءمته، تم تدريسه لطلاب السنة الرابعة (64 طالب) في قسم التحكم الآلي والأتمتة، كلية الهندسة الإلكترونية، الفصل الثاني، مادة تصميم نظم التحكم باستخدام الحاسب. تم إجراء استطلاع رأي مدروس للطلاب حول النظام والمنهجية، وأظهرت النتائج انطباعاً جيداً لهذا النظام على مستوى المنهجية والفائدة العلمية والعملية المحصلة، كما ظهر أثره واضحاً على مستوى المشاريع الفصلية التي عمل عليها الطلاب، وكانت أهم نتائج الاستطلاع:

- تم إجراء امتحان أولي لتحديد مستوى معرفة الطلاب في برمجة المتحكمات المصغرة قبل البدء بتطبيق هذا النظام، وكان المعدل الوسطي للنتائج: 5%.
- تم إجراء امتحان نهائي الذي أظهر أن الزيادة في المعدل الوسطي لمستوى معرفة الطلاب ببرمجة المتحكمات بعد انتهاء التجارب كان: 85%.
- كان تقييم الطلاب للدرجة التي ساهم فيها هذا النظام في إغناء معرفتهم ببرمجة المتحكمات المصغرة بنسبة: 90%.
- كان تقييم الطلاب لدرجة استفادتهم من المحاضرات والتجارب بنسبة: 96%.
- كان تقييم الطلاب لمرونة التعامل مع لوحة الاختبار والتجارب بنسبة: 98%.
- كان نسبة الطلاب الذين رغبوا في الحصول على لوحة التجارب الخاصة بهم من خلال الاستفادة من ملفات التصميم 55%.

12- الصعوبات التي اعترضت البحث وطريقة التغلب عليها:

عند العمل على أي بحث له جانب تطبيقي عملي، فإن من أكثر الصعوبات التي نواجهها: الدعم المادي للبحث، وتأمين العناصر والمواد الأولية الإلكترونية، إذ نفتقر إلى شركات تعنى بالحلول التكنولوجية للكيان الصلب الإلكتروني. للتغلب على

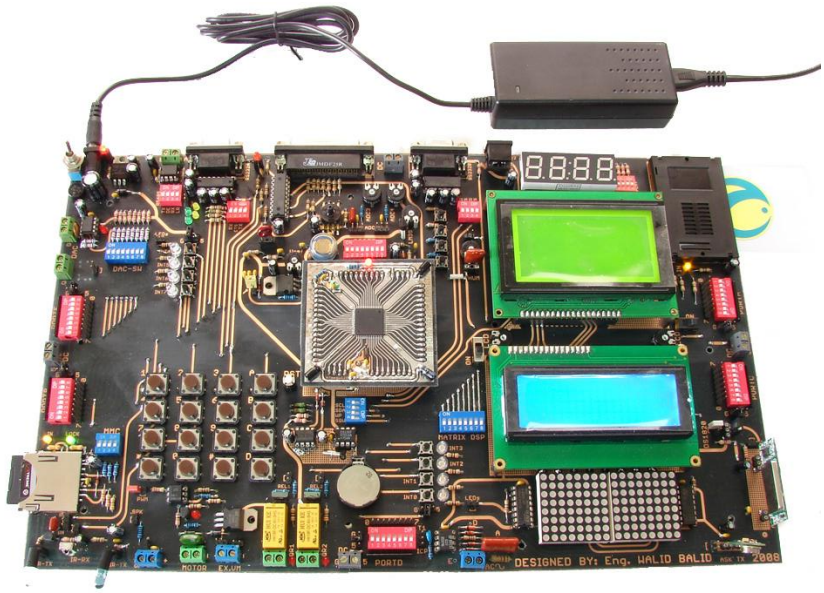
هذه المشكلة تم بذل مبالغ إضافية كبيرة لتأمين المواد والعناصر الإلكترونية من شركات خارجية.

13- نتائج البحث والاقتراحات:

إن نتائج البحث ظهرت واضحة من خلال التقييم المذكور في الفقرة (11) حيث إن هذا النظام ساهم في تعزيز معرفة الطلاب في برمجة المتحكمات المصغرة بنسبة 80%، وعليه نقترح إنشاء مختبرات تطوير ذاتي تفاعلية مزودة بمناهج تعليمية متطورة ومستندة إلى أسس التعليم الحديث.

14- الخلاصة:

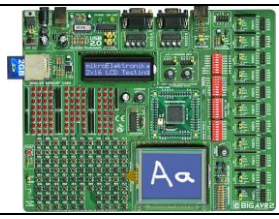
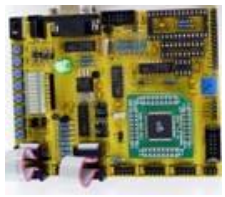
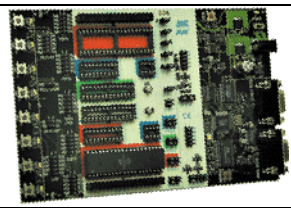
أثبتت الدراسة أن تأسيس المخابر العملية الهندسية المتطورة يجب أن يولى دوراً هاماً ويدرس بعناية فائقة وأننا نستطيع أن نحقق اكتفاءً ذاتياً على صعيد تطوير المخابر، وأن إعطاء الطالب دوراً في العملية التعليمية يعزز معرفته وخبرته العملية من خلال تفاعله المباشر مع مادة التعلم وأطرها، والذي ينشأ عنه معرفة متجددة مدعومة بحوارات علمية هادفة مع المعلمين والزملاء.

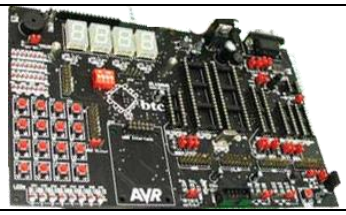
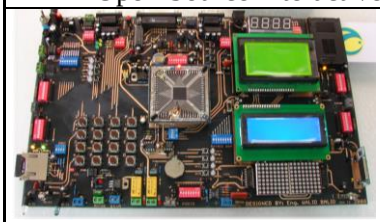


الشكل (17) صورة نظام لوحة التطوير المنفذ عملياً والذي تم إجراؤه في جامعة حلب – كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية – قسم هندسة التحكم الآلي

الملحق

الجدول (1) دراسة مقارنة لأكثر لوحات التطوير انتشاراً:

AVR Advanced Development Board [www.pantechsolutions.net]		
السعر	200 دولار	
الشمولية	20 وحدة محيطية مضمنة	
التوسعات	32 قطب I/O للأغراض العامة	
التوافقية	عامة – المبرمجة ICSP	
التقييم	60/100، تفتقر إلى العديد من الميزات، سعرها مرتفع جداً، التوسعات وسط البورد تشكل عائق كبير، متوافقة فقط مع ATmega16_32.	
BIGAVR2 [www.mikroe.com]		
السعر	210 دولار	
الشمولية	17 وحدة محيطية مضمنة	
التوسعات	50 قطب I/O للأغراض العامة	
التوافقية	محدودة – لها بيئة برمجية خاصة	
التقييم	65/100، عدد المحيطيات على البورد قليلة ولكن يمكن إضافة وحدات خارجية مكلفة جداً، سعرها مرتفع، مرونة التعامل معها صعبة نسبياً.	
STK300ICE Kit [www.microcontrollershop.com]		
السعر	145 دولار	
الشمولية	8 وحدات محيطية مضمنة	
التوسعات	48 قطب I/O للأغراض العامة	
التوافقية	عامة – متوافقة جزيئاً	
التقييم	45/100، عدد المحيطيات على البورد قليل جداً، سعرها مرتفع، تغطي مجال محدود جداً من المهام والتطبيقات، جيدة لأغراض تعليمية للمبتدئين.	
Atmel STK500 [www.microcontrollershop.com]		
السعر	150 دولار	
الشمولية	8 وحدات محيطية مضمنة	
التوسعات	48 قطب I/O للأغراض العامة	
التوافقية	عامة – شاملة – متوافقة جزيئاً	
التقييم	55/100، عدد المحيطيات على البورد قليل جداً، سعرها مرتفع، عامة.	

ZL10AVR [www.equinox-tech.com]	
	السعر: 120 دولار الشمولية: 11 وحدات محيطية مضمنة التوسعات: 32 قطب I/O للأغراض العامة التوافقية: عامة – متوافقة جزئياً
التقييم: 50/100، المحيطيات قليلة جداً، سعرها مرتفع، تحتاج إلى مبرمجة خارجية	
E-LAB EvaBoard-USB [www.shop.e-lab.de]	
	السعر: 208 دولار الشمولية: 7 وحدات محيطية مضمنة التوسعات: 50 قطب I/O للأغراض العامة التوافقية: عامة
التقييم: 40/100، المحيطيات قليلة جداً، سعرها مرتفع جداً، تحتاج إلى مبرمجة.	
Open-Source Interactive AVR MCU Training Kit (Our Board)	
	السعر: 110 دولار الشمولية: 47 وحدة محيطية مضمنة على البورد التوسعات: 50 قطب I/O تملك مقاومات طرفية التوافقية: عامة – شاملة – متوافقة كلياً.
التقييم: 100/100، تشمل العديد من المحيطيات، سعرها تشجيعي للطلاب، لا تحتاج إلى أي مبرمجة خارجية، توزع المحيطيات ملائم ومريح، قابلة للتوسع.	

الجدول (2) التجارب الأساسية للوحة التطوير وتصنيفها حسب الاختصاصات:

التجربة العملية	ح	ت	ل	ك
1. استثمار بوابة المتحكم كبوابة خرج من أجل التحكم بعمل ثنائي ضوئي	●	●	●	●
2. التحكم بمجموعة من الثنائيات الضوئية لتشكيل حركة ضوئية	●	●	●	●
3. ربط المفاتيح اللحظية والتخلص من تشويش العطالة الميكانيكية للمفاتيح	●	●	●	●
4. تشغيل زمني لمخارج تحكم استطاعية نوع ريليه		●		●
5. توصيل لوحة مفاتيح بطريقة مصفوفية وتوسيع لوحة المفاتيح المصفوفية	●	●	●	●
6. تعليمات الإزاحة والدوران على أقطاب الخرج وحركة ثنائيات ضوئية	●	●	●	●
7. برمجة شاشة إظهار كريستالية محرفية LCD 20x4	●	●	●	●
8. برمجة شاشة إظهار كريستالية رسومية GLCD 128x64 Pixel	●	●		●
9. توليد نغمات صوتية		●	●	●

10. توليد نغمات DTMF		●	●	●
11. برمجة أنماط توفير الطاقة ومؤقت المراقبة للمتحكم	●	●	●	●
12. أنماط عمل المقاطعات الخارجية وتوصيلها عبر مفاتيح تحكم	●	●	●	●
13. برمجة أنماط العمل المتقدمة للمؤقتات والعدادات	●	●	●	●
14. مقياس وعداد ترددي رقمي		●	●	●
15. مقياس مقاومات خطية وغير خطية		●		●
16. مقياس مكثفات سعوية		●		●
17. مقياس سعات ومحارضات بالاعتماد على المؤقتات		●		●
18. استثمار وحدة المقارنة التشابهية للمتحكم	●	●	●	●
19. تحويل قطب رقمي إلى قطب تشابهي لأغراض قياس السعات والمقاومات		●		●
20. تشغيل لوحة إظهار سباعية فردية كعداد عشري 0 – 9	●	●	●	●
21. تشغيل أربع لوحات إظهار سباعية كعداد عشري 0 – 9999	●	●	●	●
22. دارة إرسال أشعة تحت الحمراء (IR-38KHz) وفق المعيار RC5		●	●	
23. دارة إرسال أشعة تحت الحمراء (IR-38KHz) وفق المعيار RC6		●	●	
24. دارة استقبال أشعة تحت الحمراء (IR-38KHz) وفق المعيار RC5		●	●	
25. دارة استقبال أشعة تحت الحمراء (IR-38KHz) وفق المعيار RC6		●	●	
26. كاشف العوائق باستخدام الأشعة تحت الحمراء	●	●	●	●
27. نقل البيانات لاسلكياً باستخدام الأشعة تحت الحمراء		●	●	●
28. نقل البيانات لاسلكياً باستخدام الأمواج الراديوية والتعديل الترددي FSK		●	●	
29. التحويل التشابهي الرقمي والجهد المرجعي للمبدل		●	●	●
30. توليد جهد خطي تشابهي		●	●	●
31. طريقة ربط عدة مفاتيح لحظية إلى قطب وحيد		●	●	●
32. قياس درجة الحرارة باستخدام حساس حرارة تشابهي LM35DZ		●		●
33. قياس درجات الحرارة العالية بمقاومة ذات عامل حراري سالب NTC		●		●
34. قياس شدة الإضاءة باستخدام مقاومة ضوئية LDR		●		●
35. قياس الضغط الجوي والارتفاع عن سطح البحر باستخدام Barometer		●		●
36. استثمار المبدل ADC كمبدل إشارة تفاضلي		●	●	●
37. برمجة ذاكرة المعطيات الداخلية للمعالج EEPROM	●	●		●
38. برمجة المؤقتات (T0, T1, T2) Overflow, Compare, Capture modes	●	●	●	●
39. برمجة المعادلات الرياضية المعقدة	●	●	●	
40. استثمار المقارن التشابهي		●	●	●
41. توليد قطار نبضات ترددي على قطب المتحكم		●	●	●

42. قراءة قطار نبضات ترددي		●	●	●
43. تحويل الإشارة الرقمية إلى إشارة تشابهية (DAC) باستخدام شبكة Ladder		●	●	●
44. برمجة أنماط عمل النافذة التسلسلية UART0	●	●	●	●
45. برمجة أنماط عمل النافذة التسلسلية UART1	●	●	●	●
46. تشكيل نوافذ تسلسلية UART برمجية	●	●	●	●
47. النمط المطور للنافذة USART باستخدام خطوط المصافحة	●	●		
48. نقل المعطيات باستخدام بروتوكول الاتصال التسلسلي التفاضلي RS485		●		
49. نقل المعطيات باستخدام بروتوكول الاتصال التسلسلي التفاضلي CAN		●		
50. مقياس وعداد ترددي رقمي		●	●	●
51. قياس تردد إشارة منبع كهربائي عالي		●		●
52. التحكم بسرعة محرك DC باستخدام تقنيات تعديل عرض النبضة (PWM)		●		●
53. استخدام PWM مع مرشح LPF كمحول إشارة DAC		●	●	●
54. التحكم بالمحركات الخطوية وتقنياته		●		●
55. ساعة رقمية بالاعتماد على وحدة توليد الزمن الحقيقي الداخلية للمعالج	●	●	●	●
56. برمجة حساس حرارة رقمي DS1820 يعتمد على البروتوكول 1-Wire		●		●
57. برمجة شريحة توليد الزمن الحقيقي (DS1307) باستخدام البروتوكول I2C		●	●	
58. تخزين وقراءة المعطيات على ذاكرة خارجية (24C512) نوع EEPROM	●	●	●	●
59. تخزين وقراءة المعطيات على ذاكرة خارجية DataFlash مع النافذة SPI	●	●		●
60. ربط لوحة مفاتيح حاسوبية (PS2) والطباعة على شاشة الإظهار LCD	●	●		
61. ربط فأرة حاسوبية (PS2) وإظهار الحركة على شاشة الإظهار الرسومية	●	●		
62. تخزين البيانات على شريحة وسائط رقمية (MMC)	●	●		●
63. استخدام البطاقة الذكية (Smart Card) لأغراض التشفير والسرية	●	●	●	●
64. جريدة إلكترونية متحركة (LED-Matrix Displays) 32x8pixel	●	●		●
65. تمييز الصوت وقياس شدته	●	●	●	●
66. برمجة وتشغيل شريحة تسجيل صوتي عن طريق النافذة SPI		●	●	●
67. برمجة Rotary Encoder		●		●
68. استخدام الوصلة JTAG لتتبع حالة المسجلات الداخلية للمعالج	●	●	●	●
69. استثمار توسعات بوابات المتحكم لأغراض ربط موديولات خارجية إضافية		●		●
70. البرمجة في أنظمة الزمن الحقيقي وتنظيم الوظائف Multitasking	●	●	●	●
71. الربط مع منفذ الاتصالات التسلسلي USB وإنشاء واجهة GUI	●	●	●	

*ح: حاسبات، ت: تحكم وقيادة، ل: اتصالات، ك: إلكترون.

References

1- VINCE R., 1998– Behind and Beyond Kolb's Learning Cycle, *Journal of Management Education*, **22(3)**, 304-319.
2- NOERGAARD T., 2005– Embedded Systems Architecture, Newnes, USA, 657.
3- SLAVIN R.E., 2008– Educational Psychology: Theory and Practice, Johns Hopkins University, Pearson, 9th Ed, 640.
4- Washington State University, USA, http://www.eerc.wsu.edu
5- BEARD C., 2006– Experiential Learning A Best Practice Handbook for Educators and Trainers, 2nd Ed, 320.
6- WOOLF B.P., 2009- Building Intelligent Interactive Tutors Student-centered strategies for revolutionizing e-learning, 1st Ed, University of Massachusetts, USA, 480pagess
7- STEPHENS R., 2008– Visual Basic® 2008 Programmer's Reference, Wiley Publishing, Inc., 1st Ed, USA, 1251.
8- LOCKYER L., 2009– Handbook of Research on Learning Design and Learning Objects, Information Science Reference, 955.
9- JANKE R.A., 2008– Encyclopedia of Educational Psychology, SAGE Publications Inc., USA, 1st Ed, 1120.
10- KINCHELOE J.L., 2007– The Praeger Handbook of Education and Psychology, USA, 1st Ed, 1029.
11- HESSON M., SHAD K.F., 2007– A Student-Centered Learning Model, 1st Ed, American Journal of Applied Sciences, UAE, 628 pages.
12- NAGY Z.K, 2009– Applying Kolb's Experiential Learning on Laboratory Education, Case Study, *Journal of Engineering Education*, **98(3)**, 283-294.
13- STEPIEN W.J., 1997– Designing problem-based learning units. *Journal for the Education of the Gifted*, **29(4)**, 380-400.
14- HOWARD J., 2002– Technology enhanced project-based learning in teacher education: Addressing the goals of transfer. *Journal of Technology and Teacher Education*, **10(3)**, 343-364.