مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (36) العدد (2) 2014
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (36) No. (2) 2014

استخدام أنظمة التحكم الحديثة لأتمتة المعابر السطحية للخطوط الحديدية السورية

الدكتور مخائيل مخول*
الدكتور علي محمود **
أسامه احمد سعد ***

(تاريخ الإيداع 14 / 1 / 2014. قُبِل للنشر في 17/ 3 / 2014)

□ ملخّص □

يهدف هذا البحث إلى تطوير آلية التحكم بالمعابر السطحية في الخطوط الحديدية التي تدار يدوياً، بالاعتماد على أنظمة التحكم الحديثة التي تتضمن المتحكمات والمعالجات الصغرية وأجهزة التحسس والمشغلات والاتصالات والبرمجيات لتشكيل نظم مؤتمتة ذكية يمكن مراقبتها عن بعد. تم وضع خوارزمية التحكم والمخططات الصندوقية لكافة الوظائف عند المعبر السطحي بالاعتماد على المعايير الأوروبية (Safer European Level Crossing Appraisal and Technology, SELCAT) التي تُعنى بتطوير تقنيات الأمان في المعابر السطحية الأوروبية.

تم في هذا المقال تصميم برنامجٍ يحاكي جميع الإجراءات والتحذيرات الموجودة عند المعبر السطحي الحقيقي بالاعتماد على لغة البرمجة الرسومية (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench, LabVIEW) مع إمكانية المراقبة عن بعد عبر شبكة تراسل المعطيات من قبل سائق القطار أو المحطة، وتمكننا من تحديد اقتراب القطار من المعبر بدقة أكبر باستخدام الطريقة المؤتمتة، وتأمين كافة التنبيهات والحماية اللازمة لمستخدمي الطريق وسائق القطار، وبالتالي زيادة الأمان وتقليل حوادث التصادم بين السيارات والقطار.

الكلمات المفتاحية: المعبر السطحي في الخطوط الحديدية، SELCAT، أنظمة التحكم الحديثة، LabVIEW.

* أستاذ – قسم الأتمتة الصناعية – كلية الهندسة التقنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
** أستاذ – قسم الأتمتة الصناعية – كلية الهندسة التقنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
*** ماجستير – قسم الأتمتة الصناعية – كلية الهندسة التقنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (36) العدد (2) 2014
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (36) No. (2) 2014

Using Modern Control Systems to Automate Syrian Railway Level Crossings

Dr. Mikhaiel Makhoul[*]
Dr. Ali Mahmoud[**]
Osama Ahmad Saad[***]

(Received 14 / 1 / 2014. Accepted 17 / 3 / 2014)

□ ABSTRACT □

This research aims to develop the control process of manned railway level crossings depending on the modern control systems that contain microcontrollers, microprocessors, sensors, actuators, communications and software to compose smart automated systems that could be remotely monitored. The control logarithm and flow charts for all the functions that occur on the railway level crossing were used, depending on European standards (Safer European Level Crossing Appraisal and Technology, SELCAT) that aim to develop safety technologies on European railway level crossings. We designed a program to emulate all warnings and procedures that happen on the real railway level crossing, depending on the graphical Programming language (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench, LabVIEW) that insures local monitoring on the crossing, and remote monitoring at the station and on the train via data network. By using the automated method, we were able to determine the approaching train to the crossing precisely, and insuring the provision of all warnings to road users and train driver to increase safety and reduce collision accidents between automobiles and train.

Keywords: Railway Level Crossing, Modern Control Systems, SELCAT, LabVIEW.

[*] **Professor, Department of Industrial Automation Engineering, Faculty of Technical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[**] **Professor, Department of Industrial Automation Engineering, Faculty of Technical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[***] **Postgraduate Student, Department of Industrial Automation Engineering, Faculty of Technical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

المعبر السطحي في الخطوط الحديدية (Railway Level Crossing) هو تقاطع بين السكة الحديدية من جهة والطريق الذي تسلكه السيارات والمشاة من جهة أخرى الواقعين في مستوى واحد. تُشكل المعابر السطحية نقاط تقاطع ضعيفة معرضة بكثرة للحوادث الخطرة والمميتة بالنسبة لمستخدمي الطريق وراكبي القطار، إضافةً إلى الخسائر الاقتصادية الناجمة عن تلك الحوادث [1].

تعرف الأتمتة بأنها إلغاء التدخل البشري بشكل كلي أو جزئي في عملية التحكم بالمنشأة أو المنظومة بهدف تنظيمها وتوجيها نحو الأداء الأفضل، وتُستخدم أنظمة التحكم الحديثة لأتمتة المعابر السطحية في السكك الحديدية بهدف زيادة الأمان وتقليل حوادث التصادم بين القطار ومستخدمي الطريق، حيث تم تطوير واختبار العديد من أنظمة التحكم والإنذار الفعّالة والاقتصادية عند تلك المعابر السطحية، وهي تتضمن [2, 3]:

- ❖ أجهزة تحذير وحماية من قبيل الإشارات الضوئية والأجراس والحواجز الآلية.
- ❖ نظام كشف القطار عند المعبر.
- ❖ نظام اتصال سلكي أو لاسلكي.
- ❖ تغذية كهربائية مناسبة.

ضُمِّنت المتحكمات والمعالجات الصغرية في الأجيال الحديثة من أنظمة التحكم بالمعابر السطحية لتميزها بالدقة وسرعة الأداء والموثوقية والمرونة في التطوير والاقتصادية مقارنة مع أنظمة التحكم باستخدام الريليهات [4, 5].

الهدف الرئيس للعديد من الأبحاث في هذا المجال هو الحصول على نظام تحكم آلي ذكي عند المعبر السطحي يتم فيه جمع البيانات من خلال مرسلات أو حساسات موزعة على السكة من جانبي المعبر لكشف القطار، ويقوم المتحكم أو المعالج الصغري بناءً على تلك البيانات بتشغيل التنبيهات الصوتية والضوئية وإنزال ذراع الحاجز الآلي أمام مستخدمي الطريق عند اقتراب القطار من المعبر بمسافة محددة، وبعد عبور القطار وابتعاده عن المعبر يعمل المتحكم على إيقاف تلك التنبيهات والبدء برفع ذراع الحاجز ليسمح لمستخدمي الطريق بالمرور، بالإضافة إلى إمكانية المراقبة لعمل النظام من خلال منظومات اتصالات سلكية أو لاسلكية مناسبة [1, 6, 7].

أهمية البحث وأهدافه:

❖ تصميم نظام تحكم مؤتمت للمعابر السطحية في الخطوط الحديدية السورية بما يتلاءم مع واقع وطبيعة العمل فيها ويكون بديلاً عن الطريقة اليدوية المتبعة حالياً، وذلك بالاعتماد على أنظمة التحكم الحديثة لتأمين كافة التنبيهات والحماية اللازمة لمستخدمي الطريق والقطار، وبالتالي زيادة الأمان وتقليل حوادث التصادم بين السيارات والقطار.

❖ تأمين إشراف المحطة وسائق القطار مباشرة على المعابر السطحية، وربط المعابر مع المحطة عبر شبكة تراسل المعطيات.

طرائق البحث ومواده:

❖ وضع مخطط للمعبر السطحي المؤتمت، وتحديد الأبعاد وأماكن توضّع عناصر التحسس وإشارات التحذير.

❖ وضع المخططات الصندوقية الوظيفية وخوارزمية التحكم المناسبة.

❖ تطبيق المعايير العالمية مثل المعايير الأوروبية التي تساهم في تطوير عوامل الأمان والتقنيات المستخدمة عند المعابر السطحية.

❖ تصميم برنامج يحاكي العمليات والوظائف الحاصلة عند المعبر السطحي، بالاعتماد على لغة البرمجة الرسومية LabVIEW.

❖ البحث في حالات العمل والإنذارات المختلفة عند المعبر السطحي.

❖ ربط هذه المعابر عبر شبكة تراسل المعطيات (الانترنت) مع المحطة والقطار لتأمين المراقبة عن بعد للأحداث عند المعبر السطحي.

واقع المعابر السطحية في الخطوط الحديدية السورية:

تمت هذه الدراسة على المعابر السطحية في محافظة طرطوس، حيث يوجد على امتداد الخط الحديدي أكثر من أربعين معبراً سطحياً موزعاً بين القطاعين الجنوبي والشمالي بالنسبة لمحطة طرطوس، منها معابر نظامية محروسة وغير محروسة، بالإضافة إلى المعابر غير النظامية. يبين الشكل (1) منظراً عاماً لأحد المعابر السطحية في محافظة طرطوس.

الشكل (1): أحد المعابر السطحية اليدوية في محافظة طرطوس.

الطريقة الحالية المتبعة في الإشراف على المعابر لا تزال قديمة وتقليدية، وتعتمد على الحارس الموجود عند المعبر السطحي، حيث يتم تبليغه بمغادرة القطار المحطة باتجاه المعبر عن طريق الاتصال الهاتفي، ليقوم الحارس بإنزال الحاجز وإيقاف السير من جهة الطريق معتمداً على الزمن الذي يستغرقه القطار عادةً للوصول إلى المعبر السطحي، وعلى رؤية القطار أو سماع صفارته عند اقترابه من التقاطع.

أحصي حوالي عشرين حادث تصادم خطيراً عند الممرات السطحية بفرع طرطوس عام 2011، وقد نجم عنها أضرار بشرية ومادية كبيرة، عدا عن الازدحام المروري للسيارات عند المعبر السطحي، وساعات التأخير في زمن عبور القطار التي يترتب عليها خسائر بحدود مائة ألف ليرة سورية لكل ساعة تأخير بالنسبة لقطارات الشحن.

وتعزى تلك الحوادث إلى أسباب عديدة منها:

1-عدم الانتباه والإهمال من قبل مستخدمي الطريق عند عبورهم التقاطع، وقلة إشارات التحذير وعوامل الحماية والأمان عند المعبر السطحي.

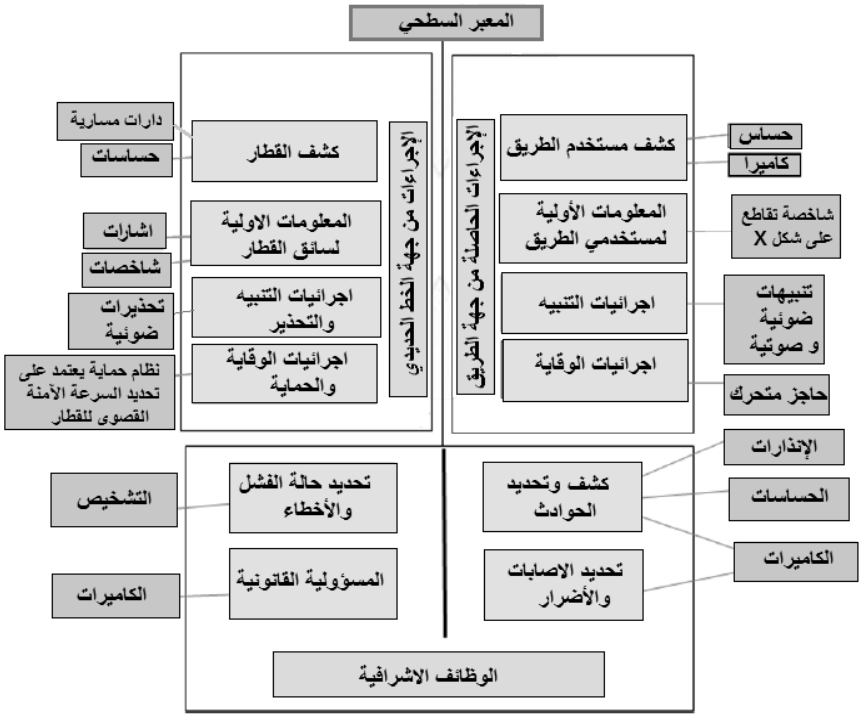
2- أخطاء العامل البشري وسوء تقديره لزمن وصول القطار إلى المعبر السطحي.

3-عدم وضوح الرؤية عند المعبر بالنسبة لسائق القطار ومستخدمي الطريق بسبب التضاريس أو العوامل الجوية.

المعايير الأوروبية المستخدمة في زيادة أمان المعابر السطحية SELCAT:

صدرت الإجرائية (Safer European Level Crossing Appraisal and Technology, SELCAT) وتعني (التقنيات والتقييمات الأكثر أماناً للمعابر السطحية في الخطوط الحديدية الأوروبية) في الأول من أيلول عام 2006، والهدف الرئيس منها جمع ونشر المعارف المتعلقة بالتقنيات والمنهجيات المتبعة عند تشغيل وإدارة المعابر السطحية، وكذلك تقييم الأخطار والحوادث عند تلك المعابر للحد قدر الإمكان منها أو تلافيها [8].

وفقاً لمعايير SELCAT تم وضع البنية الوظيفية في الشكل (2) بغية تخطيط وتصنيف المعابر السطحية للسكك الحديدية، وهي تبين أهم الوظائف والإجراءات الواجب توفرها وإتباعها لضمان الأمان والعمل الأفضل عند المعابر السطحية في الخطوط الحديدية.



الشكل(2): البنية الوظيفية للمعبر السطحي في الخطوط الحديدية

أنظمة التحكم الحديثة في أتمتة المعابر السطحية:

هي عبارة عن دمج مجموعة من الأنظمة الكهروميكانيكية والالكترونية والاتصالات والبرمجيات، لتشكيل نظم تحكم متكاملة عالية الكفاءة ومنخفضة الكلفة.

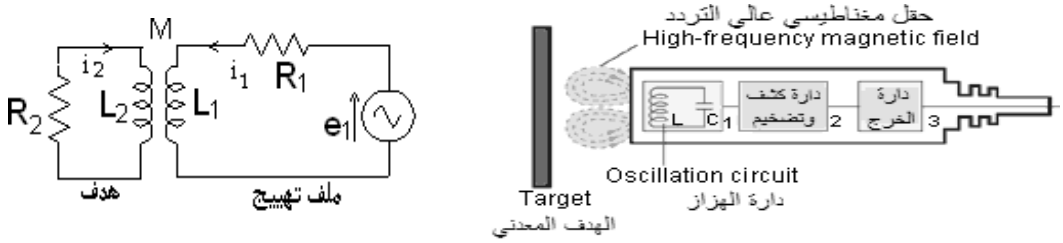
تستخدم أنظمة التحكم الحديثة في مجالات تطوير وسائل النقل المختلفة، ومنها النقل بالخطوط الحديدية لتأمين السلامة وزيادة معايير الأمان فيها، ونستطيع تمييز المكونات الأساسية لنظم التحكم الحديثة المستخدمة في أتمتة المعابر السطحية وهي:

1- أجهزة الاستشعار(الحسّاسات) في نظم التحكم بالمعابر السطحية:

تستخدم الحسّاسات في نظم التحكم بالمعابر السطحية لكشف اقتراب القطار من المعبر السطحي، وكذلك لتحديد وجود أي عائق أو سيارة تقف في منطقة التقاطع الخطر لتلافي اصطدام القطار بها، من هذه الحسّاسات:

1-1- الحسّاسات التقاربية لكشف عجلة القطار (Rail Wheel Proximity Sensors):

هي نوع من الحسّاسات التقاربية التحريضية حيث يمكن تبسيط مبدأ عمل هذا النوع من الحسّاسات وذلك بمحاكاة الجسم المعدني بدارة ذات ثوابت معينة مرتبطة بالتحريض المتبادل، كما يبين الشكل (3).



الشكل(3): بنية الحسّاس التقاربي التحريضي والدارة الكهربائية المكافئة

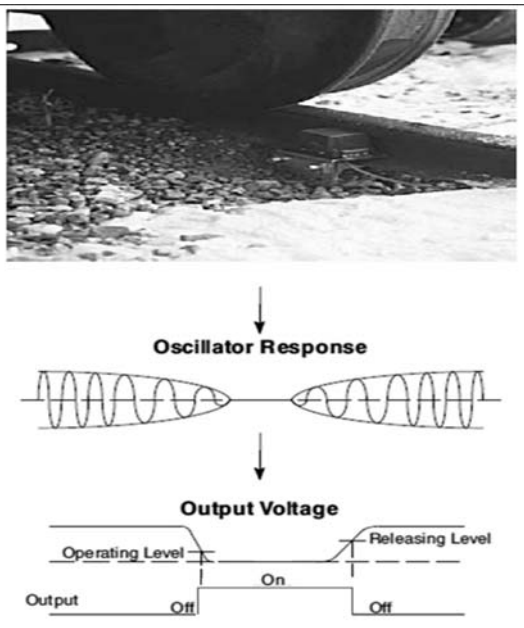
حيث الممانعة المكافئة للملف هي: $Z_1 = R_1 + jL_1\omega$ (1)

الممانعة المكافئة للجسم المتحرك هي: $Z_2 = R_2 + jL_2\omega$ (2)

معامل التحريض المتبادل هو: $M = K.\sqrt{L_1.L_2}$ (3)

حيث K هو معامل الربط بين الملف والجسم المتحرك، وهو يتعلق بالموضع النسبي لهما.

الشكل (4) يبين إشارة خرج حساس كشف عجلة القطار وأهم خصائصه الفنية [9].



خصائص حساسات كشف عجلة القطار [9]:

- ❖ كشف وجود القطار عند سرعات عالية للقطار.
- ❖ مقاومة عالية للصدمات والاهتزازات.
- ❖ حماية من دارات القصر، وارتفاع الجهد.
- ❖ مجال عمل حراري عريض.
- ❖ مجال تحسس كبير: (25 ~ 30 mm) عند درجة حرارة 25°C.
- ❖ جهد التشغيل: VDC (12 ~ 65).
- ❖ تيار التشغيل: 300 mA.
- ❖ عدد الأسلاك: سلكان أو (3) أسلاك.
- ❖ نمط الخرج: Normally Open (NO).

الشكل (4): إشارة خرج حساس عجلة القطار وأهم خصائصه.

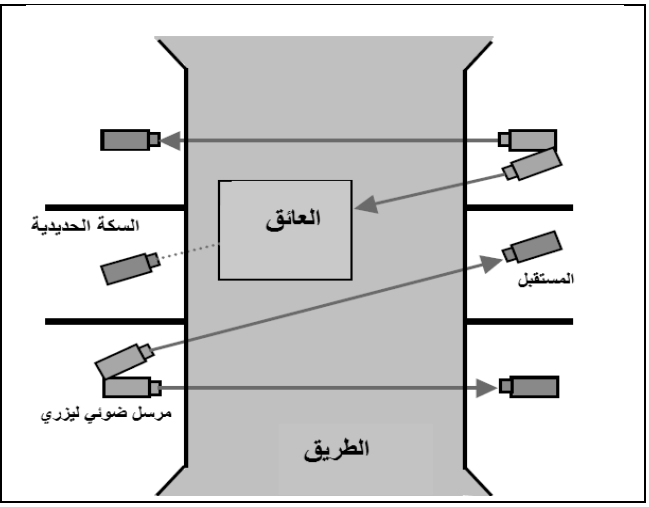
1-2- حساسات كشف العوائق (Obstacles Detection Sensors):

تُستخدم عادةً الحسّاسات البينية الضوئية لكشف وتحديد العوائق عند منطقة التقاطع بين السكة الحديدية والطريق. يُعتبر الليزر من أهم المنابع الضوئية المستخدمة كمرسل، ويتميز بكونه منبعاً وحيد اللون بشكل نقي ذي إضاءة عالية جداً وموجهاً بشكل دقيق، ويمكن من خلاله الحصول على حزم ضوئية ضيقة جداً والمحافظة على أبعادها لمسافات طويلة. المستقبلات الضوئية مثل الثنائيات والترانزستورات الضوئية هي التي تقوم باستقبال الضوء القادم من المرسل الضوئي وتحوله عبر خصائصها إلى إشارة كهربائية نستفيد منها في عملية التحكم المطلوبة.

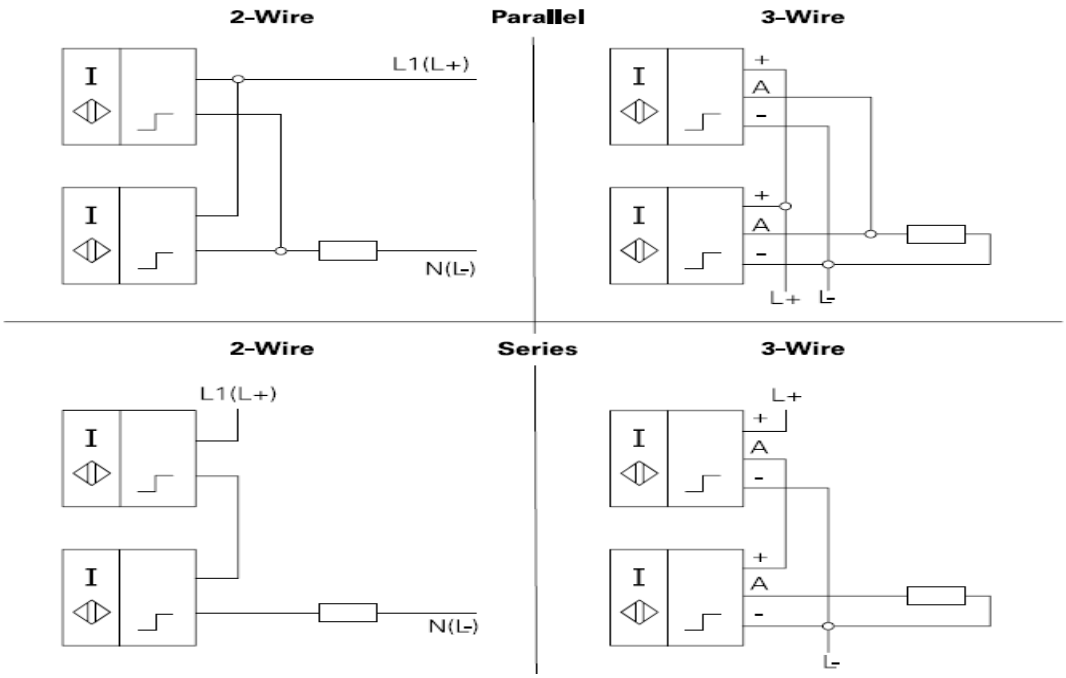
يبين الشكل (5) كيفية توزع الحسّاسات الضوئية التقاربية عند منطقة التقاطع بين الطريق والسكة الحديدية لكشف وتحديد العوائق في تلك المنطقة [10]، والشكل (6) يبين كيفية توصيل عنصري تحسس على التفرع وعلى التسلسل.

خصائص حساسات كشف العوائق [10]:

- ❖ مقاومة عالية للصدمات والاهتزازات.
- ❖ حماية من دارات القصر، وارتفاع الجهد.
- ❖ مجال عمل حراري عريض.
- ❖ جهد التشغيل: VDC (36 ~ 12)
- ❖ تيار التشغيل: A 0.2
- ❖ عدد الأسلاك: سلكان أو (3) أسلاك
- ❖ نمط الخرج: Normally Open (NO)
- ❖ مجال التحسس البيني: m 25



الشكل (5): توزع الحسّاسات الضوئية في منطقة التقاطع وأبرز خصائصها



الشكل (6): توصيل عنصري تحسس على التفرع (Parallel) وعلى التسلسل (Series)

2- تجهيزات الخرج في نظم التحكم بالمعابر السطحية:

تُعتبر تجهيزات الخرج في المعابر السطحية عناصر مهمة لتنبيه وحماية مستخدمي تلك المعابر، سواء من جهة الطريق أو الخط الحديدي ونذكر منها:

2-1- التجهيزات من جانب الطريق (الحواجز الآلية مع الأضواء والأجراس):

يُستخدم الحاجز الآلي لمنع المركبات من الاقتراب من منطقة الخطر في أثناء عبور القطار للتقاطع تلافياً للحوادث. ويتألف من محرك تيار مستمر وعلبة سرعة، كما يزود بإشارات تحذير ضوئية ومّاضة (Flashing Lights) وجرس كهربائي أو مجهار للحصول على منظومة حماية وتحذير صوتي وضوئي متكاملة لمستخدمي الطريق [11]. الشكل(7) يوضح منظومة الحاجز الآلي مع ملحقاته.

أبرز الخصائص الفنية للحاجز وملحقاته [11]:

1- محرك الحاجز مع علبة السرعة:

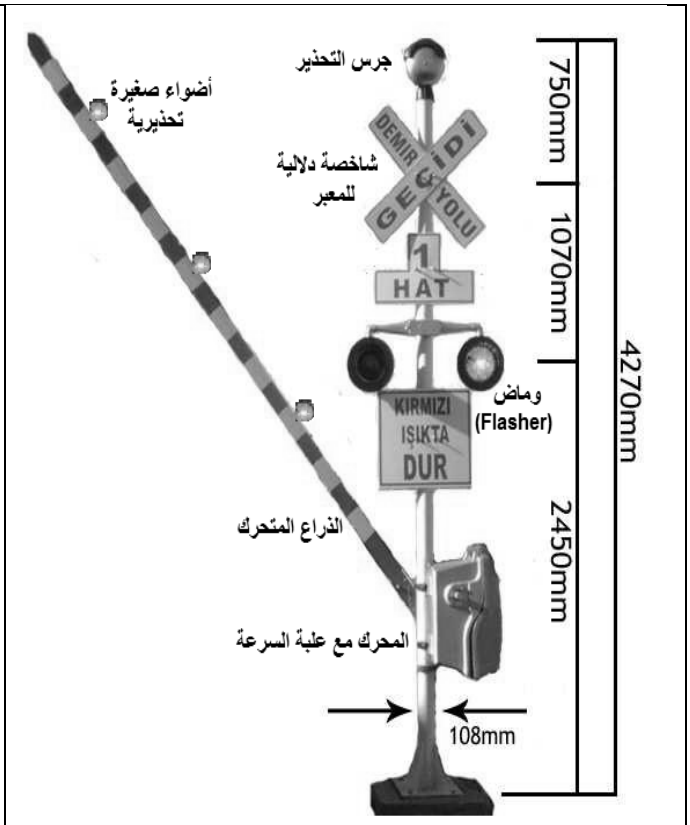
- جهد التشغيل: VDC (20~28).
- تيار التشغيل: A (4~9) (Up/Down).
- ضبط زمن الصعود والهبوط: (4~16) ثانية.
- زاوية الصعود القصوى: (85º ~ 90º).

2- الإشارات الضوئية:

- جهد التشغيل: 24 VDC.
- تيار التشغيل: A (1,2~3).
- معدل شدة الإضاءة: 600 Candelas.

3- الجرس الكهربائي:

- جهد التشغيل:24 VDC.
- تيار التشغيل: A (1,8).
- الشدة الصوتية: dB (80~95).



الشكل(7): منظومة الحاجز الآلي وأبرز الخصائص التشغيلية.

2-2- التجهيزات من جانب الخط الحديدي (الإشارات الضوئية):

تستخدم الإشارات الضوئية لتنبيه سائق القطار بخلو أو انشغال الممر السطحي في حال وجود عائق أو سيارة عالقة في منطقة التقاطع. توضع إشارة تحذير على مسافة بعيدة نسبياً أكثر من 1000 متر من مركز التقاطع، وتضيء باللون الأصفر لتخفيف السرعة، كذلك توضع إشارة توقف لا تبعد أكثر من 300 متر عن مركز التقاطع، وتضيء باللون الأحمر للتوقف وتلافي الاصطدام بالعائق. الشكل (8) يبين شكل إشارة التوقف للقطار قرب التقاطع.

الخصائص الفنية للإشارات الضوئية على الخط الحديدي قرب المعبر السطحي [11]: ❖ جهد التشغيل: VDC (20~28). ❖ تيار التشغيل: A (1,2~3). ❖ معدل شدة الإضاءة: 600 Candelas.	

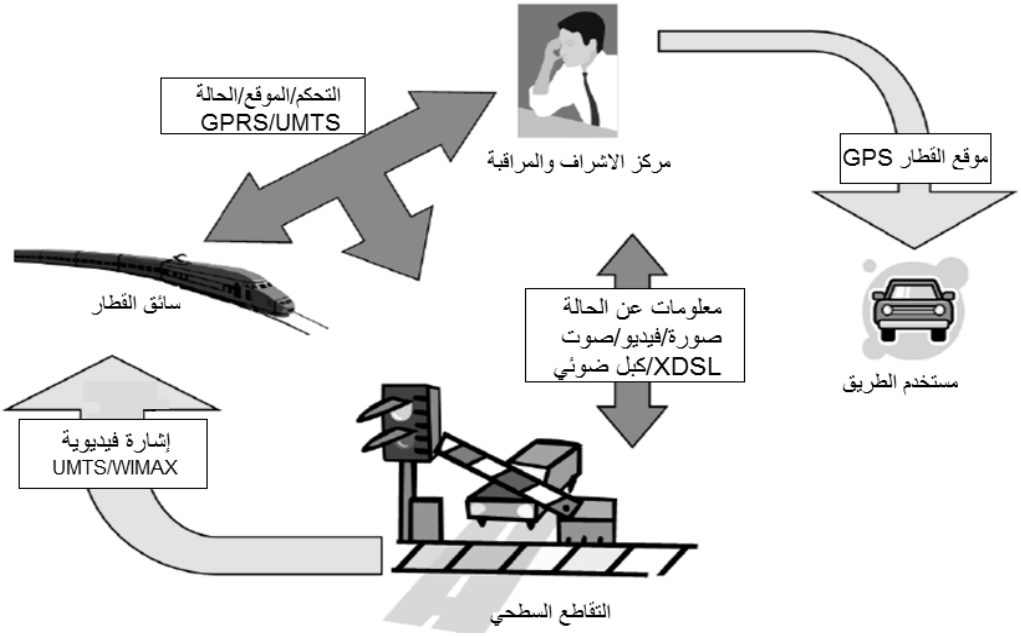
الشكل (8): إشارة التوقف للقطار

3- المعالجات والمتحكمات المستخدمة في تجهيزات المعابر السطحية:

تستخدم بطاقات التحكم الرقمية والمعالجات والمتحكمات الصغرية للتحكم بالوظائف والإجراءات الحاصلة عند المعبر السطحي، حيث يطبق على المداخل الرقمية لدارة التحكم الإشارات القادمة من الحسّاسات التي تتوضع على محور السكة وعند التقاطع وفق محور الطريق. أما المخارج فتتصل عبر ريليهات تشغيل مع كل من إشارات التحذير الضوئية والصوتية و محرك الحاجز [4, 5].

4- تقنيات الاتصال المعتمدة في تطبيقات المعابر السطحية:

يمثل الشكل (9) أبرز تقنيات الاتصال المعتمدة بين العناصر الأساسية المشتركة في المعبر السطحي [8].



الشكل (9): بعض وسائل الاتصال بين العناصر الأساسية

حيث نلاحظ وجود أنواع مختلفة من الاتصالات وهي:

1-الاتصالات الخلوية (General Packet Radio Service, GPRS): وهي تؤمن سرعة نقل مقبولة للبيانات والوسائط المتعددة عبر الانترنت، وقد تطورت إلى الجيل الثالث من الاتصالات الخلوية Universal Mobile Telecommunications System, UMTS) التي تتميز بسرعة نقل عالية، واتصال دائم مع الانترنت، ونقل الوسائط المتعددة ومشاهدة آنية للفيديو بدقة عالية.

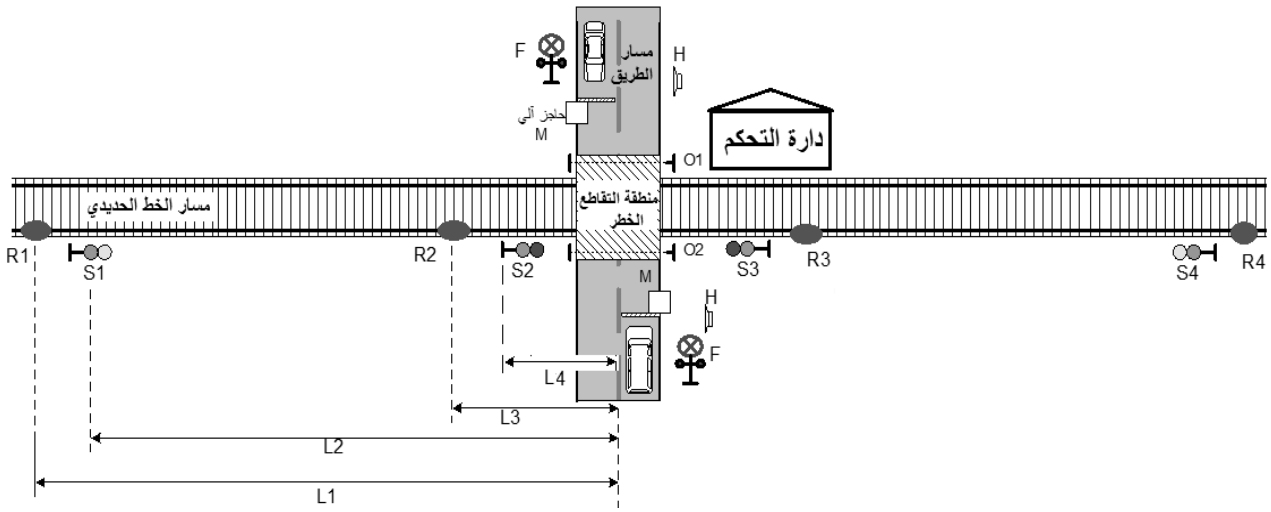
2-الاتصالات السلكية: يستخدم خط الهاتف العادي لتأمين الاتصال بين المعبر السطحي ومركز الإشراف باستخدام تقنية الاتصال عبر خط المشترك الرقمي (Digital Subscriber Line, DSL)، ويمكن في حال توفر شبكة ألياف بصرية بين المعبر ومركز الإشراف الحصول على سرعات أعلى لنقل البيانات والوسائط المتعددة [12].

3-نظام تحديد المواقع بالأقمار الصناعية (Global Positioning System, GPS): وهو يقدم معلومات ديناميكية للمشتركين في المعبر السطحي، مثل المعلومات حول موقع القطار وسرعته والمقدمة لسائقي المركبات التي تقترب من الممر السطحي.

النتائج والمناقشة:

المخطط العام للمعبر السطحي المؤتمت مع الأبعاد والحسابات:

لقد صممنا مخططاً لمعبر سطحي مؤتمت يعتبر نموذجاً عاماً يمكن تطبيقه على معظم المعابر السطحية في سوريا، حيث اعتمدنا التناظر في توزع التجهيزات من جهة الطريق والخط الحديدي بالنسبة لمركز التقاطع كما في الشكل (10).



الشكل (10) مخطط عام لمعبر سطحي آلي مع أبرز مكوناته

- R1: زوج من الحسّاسات التحريضية على التفرع لتحديد اقتراب القطار من المعبر من اليسار.
- R4: زوج من الحسّاسات التحريضية على التفرع لتحديد اقتراب القطار من المعبر من اليمين.
- R2: زوج من الحسّاسات التحريضية على التفرع لتحديد مغادرة القطار للمعبر في حال قدومه من اليمين.
- R3: زوج من الحسّاسات التحريضية على التفرع لتحديد مغادرة القطار للمعبر في حال قدومه من اليسار.
- O1, O2: حساسات ضوئية على التفرع لتحديد العوائق في منطقة التقاطع الخطر (Danger Zone, DZ).

❖ M: حاجز آلي مزود بذراع متحرك يغلق حتى منتصف الطريق كي لا يحجز السيارة التي يصادف مرورها للمنطقة الخطرة مع اقتراب القطار من المعبر.

❖ S1, S2, S3, S4: إشارات تحذيرية للقطار للدلالة على خلو المسار أمامه أو للتنبيه في حال وجود العوائق والسيارات في منطقة الخطر (DZ)، حيث توضع الإشارات S1, S2 ليراها القطار في حال اقترابه من جهة اليسار، وتوضع الإشارات S3, S4 ليراها القطار في حال اقترابه من جهة اليمين.

❖ F: إشارة ضوئية ومّاضة (Flashing Light) لتحذير للسيارات من اقتراب القطار.

❖ H: جرس أو مجهار لتنبيه السيارات في حال اقتراب القطار من المعبر السطحي.

❖ لوحة التحكم (Control Box): توجد في غرفة الحراسة بجانب المعبر السطحي.

1- الأبعاد على طول الخط الحديدي من جانبي المعبر السطحي:

بناءً على أكبر سرعة مسموح بها للقطار عند الاقتراب من الممرات السطحية في طرطوس وهي 80 كم/سا تم تحديد أماكن توضع الحسّاسات وإشارات التحذير على طول السكة كما في المخطط المبين في الشكل (10).

❖ بعد حساس دخول القطار R1, R4 عن مركز المعبر: L1= 1500m.

❖ بعد إشارة التحذير البعيدة S1, S4 عن مركز المعبر: L2= 1200m.

❖ بعد حساس خروج القطار R2, R3 عن مركز المعبر: L3= 500m.

❖ بعد إشارة التحذير القريبة (إشارة التوقف) S2, S3 عن مركز المعبر: L4= 200m.

2- الزمن اللازم للوصول إلى المعبر T_{L1} عند سرعات مختلفة لعبور القطار:

1-باعتبار سرعة عبور القطار في أثناء اقترابه من المعبر $V_{app} = 80\ \text{km.h}^{-1} = 22{,}22\ \text{m.sec}^{-1}$:

الزمن اللازم للوصول إلى المعبر T_{L1} يعطى بالعلاقة:

$$T_{L1} = L_1/V_{app} \rightarrow T_{L1} = 1500/22.222 = 67{,}5\ \text{sec} = 1.125\ \text{min} \quad (4)$$

2-من أجل سرعة عبور $V_{app} = 40\ \text{km.h}^{-1} = 11{,}111\ \text{m.sec}^{-1}$:

عندئذٍ يصبح الزمن اللازم للوصول إلى المعبر T_{L1}:

$$T_{L1} = L_1/V_{app} \rightarrow T_{L1} = 1500/11{,}111 = 135\ \text{sec} = 2.25\ \text{min} \quad (5)$$

نتيجة: زمن إغلاق الحاجز أمام السيارات عند المعبر من أجل أقل سرعة للقطار وهي 40 كم/سا لا يتجاوز ثلاث دقائق.

آلية التحكم بالمعبر السطحي المؤتمت والمخطط الصندوقي:

1- **حالة اقتراب القطار من المعبر:**

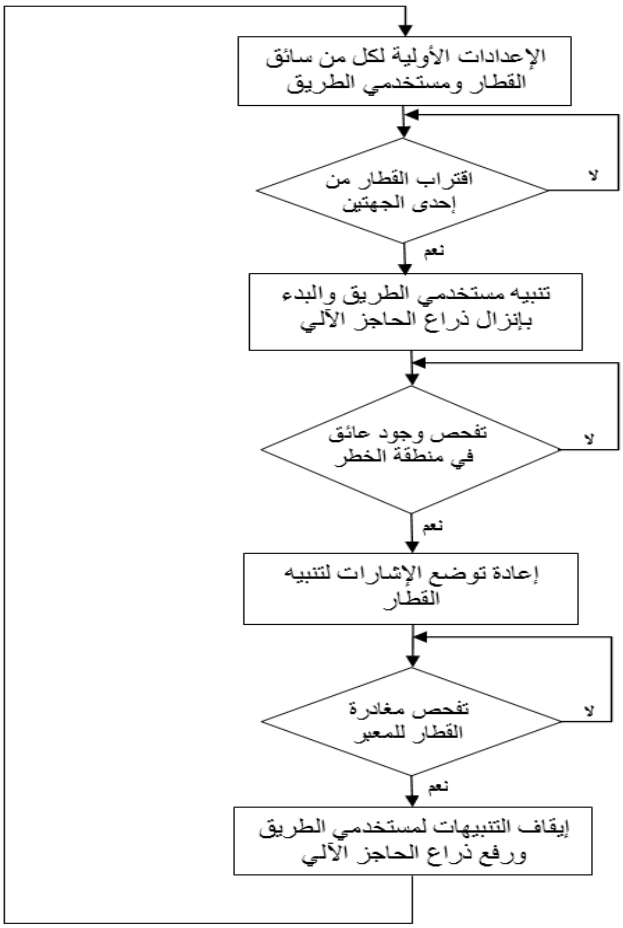
عندما يتحسس أحد الحسّاسات R1 أو R4 مرور القطار، ترسل إشارة إلى المتحكم الذي يقوم بتفحص حالة المعبر في حالة وجود سيارة تمر على المعبر في مستوي التقاطع مستخدماً حساس تحديد العوائق OS، ثم يقوم المتحكم بتشغيل الإشارتين الضوئيتين الومّاضتين F، ويترافق ذلك مع تشغيل الجرس H بعدها يتم تشغيل المحرك M وإنزال الحاجز. لكن في حال صادف وجود سيارة تمر في منطقة التقاطع الخطر DZ مع اقتراب القطار من المعبر، تضيء الإشارات S1, S2, S3, S4 لتنبيه سائق القطار بعدم خلو المعبر والسيارات لا تزال تمر خلاله، حيث تضيء الإشارتان S1, S4 كإشارات تحذير باللون الأصفر لتخفيف السرعة، والإشارتان S2, S3 باللون الأحمر للتوقف، ليقوم بتخفيف السرعة أو التوقف إذا اقتضت الضرورة.

في حال عدم وجود عائق في مستوى التقاطع تصبح الإشارات خضراء، ويمكن للقطار متابعة سيره بأمان.

2- **حالة ابتعاد القطار عن المعبر:**

يحدد الحسّاس R3 مغادرة القطار للمعبر إذا دخل من جهة الحسّاس R1، كذلك الحسّاس R2 يحدد مغادرة القطار للمعبر إذا دخل من جهة الحسّاس R4، حيث يرسلان إشارة إلى المتحكم فيعمل على إيقاف الإشارة الوماضة F، ويتم تشغيل المحرك M بالاتجاه المعاكس، ويرتفع ذراع الحاجز للأعلى سامحاً للسيارات بالمرور.

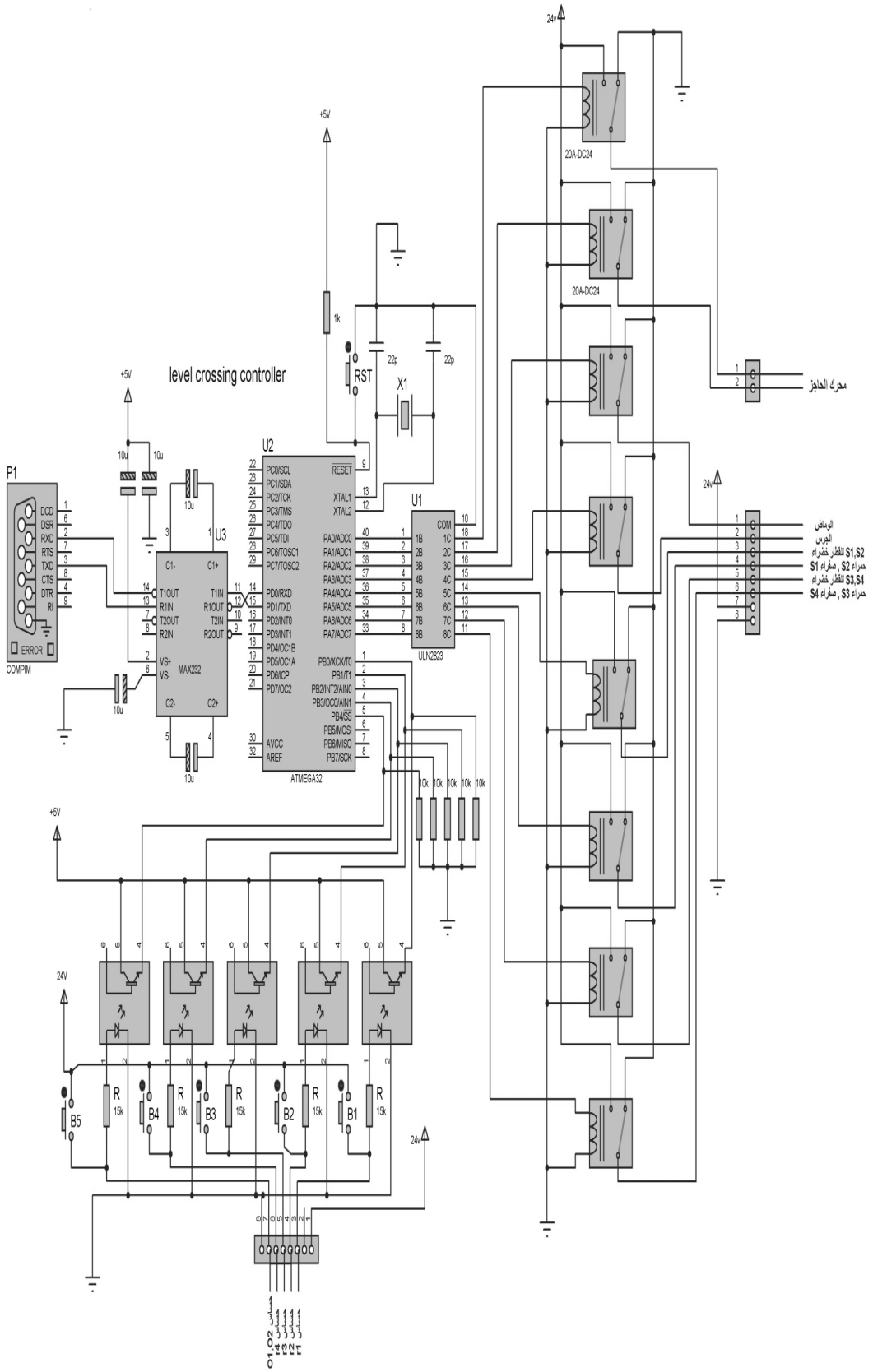
الشكل (11) يبين المخطط الصندوقي الذي يوضح الخطوات الرئيسة لعمل المعبر السطحي الآلي [7].



الشكل (11): المخطط الصندوقي للمعبر السطحي المؤتمت

تصميم دارة تحكم بالمعبر السطحي:

تؤمن الدارة المبينة في الشكل (12) إمكانية التحكم بالعمليات الرئيسة الجارية عند المعبر السطحي، وهي تتضمن متحكماً صغرياً MCU ATmega32، وتستخدم 5 مداخل رقمية معزولة ضوئياً بجهود VDC (30~12)، و8 مخارج رقمية ريليهات بجهود VDC 24 مع إمكانية الربط مع الحاسب عبر المنفذ التسلسلي وفق البروتوكول RS232، حيث صممنا برنامج محاكاة لجميع الإجراءات والتحذيرات الموجودة في المعبر بالاعتماد على لغة البرمجة الرسومية LabVIEW.

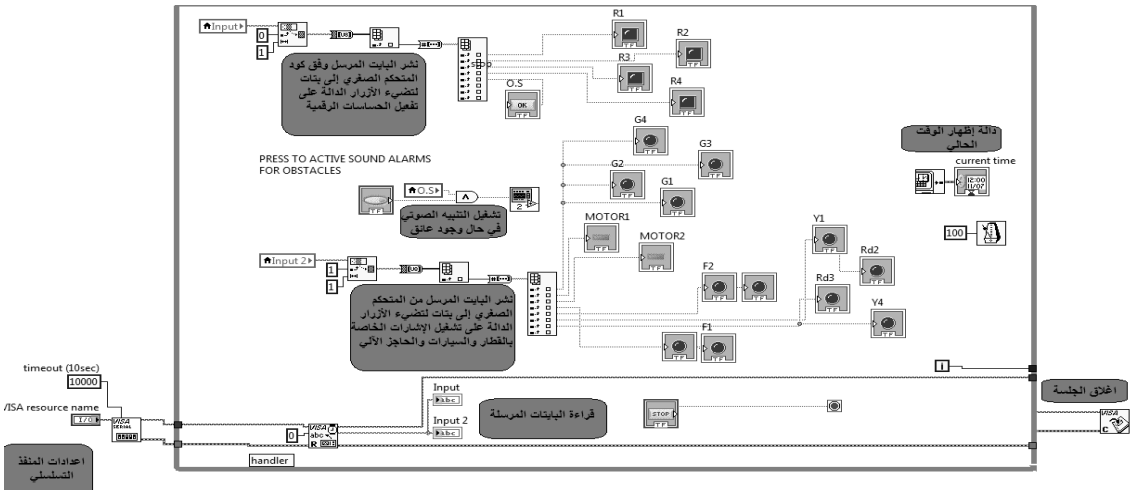


الشكل(12): مخطط دارة التحكم بوظائف المعبر السطحي

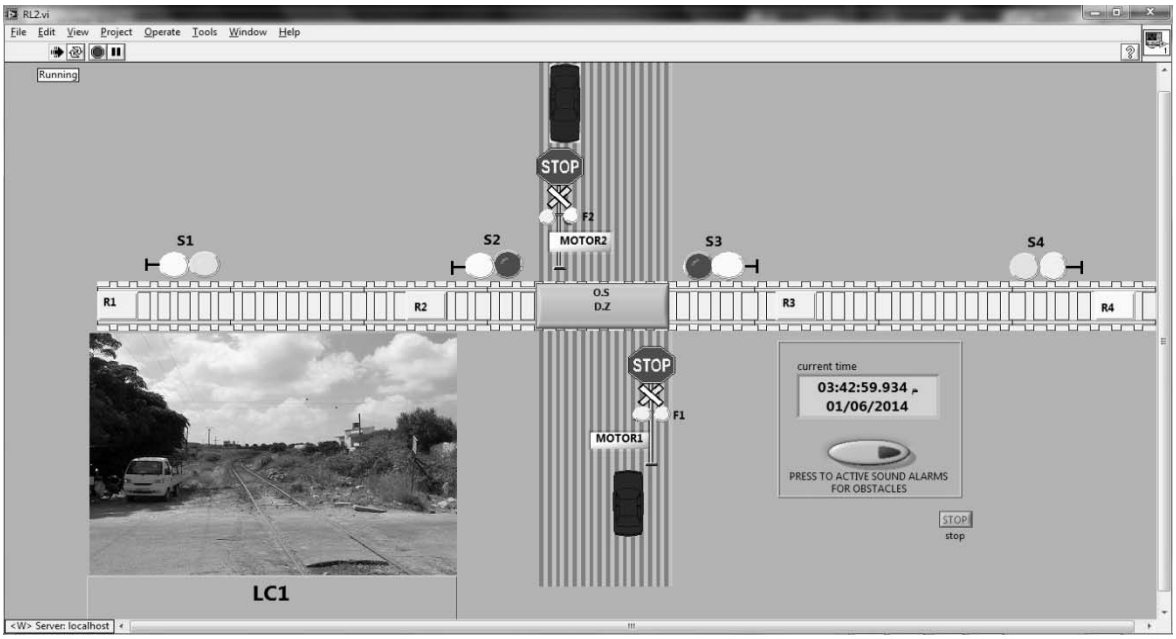
مراقبة ومحاكاة الإجراءات عند المعبر السطحي باستخدام البيئة LabVIEW:

(LabVIEW) هي اختصار لـ "Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench" أي المخبر وورشة العمل الافتراضية للهندسة الإلكترونية، وهي عبارة عن بيئة برمجية وأداة تطويرية متكاملة تمكن الطلاب والمهندسين والباحثين في مختلف الفروع الهندسية والمختصين في فروع العلوم من التصميم التفاعلي، وبناء النماذج الأولية، والنشر العملي للأنظمة المدمجة بكافة تطبيقاتها وتقنياتها، باستخدام مكتبات رسومية نموذجية أو عبر تضمين مكتبات خارجية جاهزة.

يبين الشكل (13) الكود البرمجي الرسومي للمعبر السطحي المشكل بلغة البرمجة LabVIEW لإظهار كافة المتغيرات والبارمترات الرقمية عند المعبر السطحي على الواجهة التفاعلية الأمامية للمستخدم التي يبينها الشكل (14).



الشكل (13): الكود البرمجي الرسومي بلغة LabVIEW الخاص بالمتغيرات عند المعبر السطحي.



الشكل (14): واجهة البرنامج LabVIEW الأمامية للمعبر السطحي

سندرس أهم الحالات والإجراءات الحاصلة على واجهة المستخدم الأمامية للمعبر السطحي بلغة LabVIEW:

1-حالة عدم وجود قطار يقترب من المعبر السطحي: يكون الطريق مفتوحاً أمام السيارات التي تعبر التقاطع، ونلاحظ البارمترات التالية كما في واجهة المستخدم الأمامية المبينة في الشكل(14) وهي:

- ❖ الحسّاسات R1, R2, R3, R4, OS (off).
- ❖ الضوء الوماض الذي ينبه مستخدمي الطريق F1, F2 (off).
- ❖ ذراع الحاجز للأعلى Motor1, Motor2 (UP).
- ❖ الإشارات البعيدة الخاصة بتحذير القطار S1, S4 صفراء، والإشارات القريبة S2, S3 حمراء.

2-حالة اقتراب القطار من المعبر مع عدم وجود سيارة أو عائق في منطقة الخطر: عند اقتراب القطار من إحدى جهتي المعبر السطحي ولتكن جهة اليسار عند الحسّاس R1، كما يبين الشكل (15)، نميز البارمترات التالية:

- ❖ الحسّاس R1 (on)، والقطار يبعد حوالي 1500 متر عن مركز التقاطع.
- ❖ الحسّاسات R2, R3, R4 (off) وحساس العوائق OS (off).
- ❖ الضوء الوماض الذي ينبه مستخدمي الطريق F1, F2 (on).
- ❖ ذراع الحاجز يبدأ بالنزول Motor1, Motor2 (Down).
- ❖ إشارات التحذير القريبة والبعيدة للقطار S1, S2, S3, S4 خضراء.

ويكون الطريق مغلقاً أمام مستخدمي الطريق، والقطار يستطيع متابعة سيره بالسرعة المحددة له ولتكن 80 كم/سا ويلزمه حوالي 70 ثانية للعبور.

الشكل (15): اقتراب القطار عند الحسّاس R1 مع عدم وجود عائق عند التقاطع

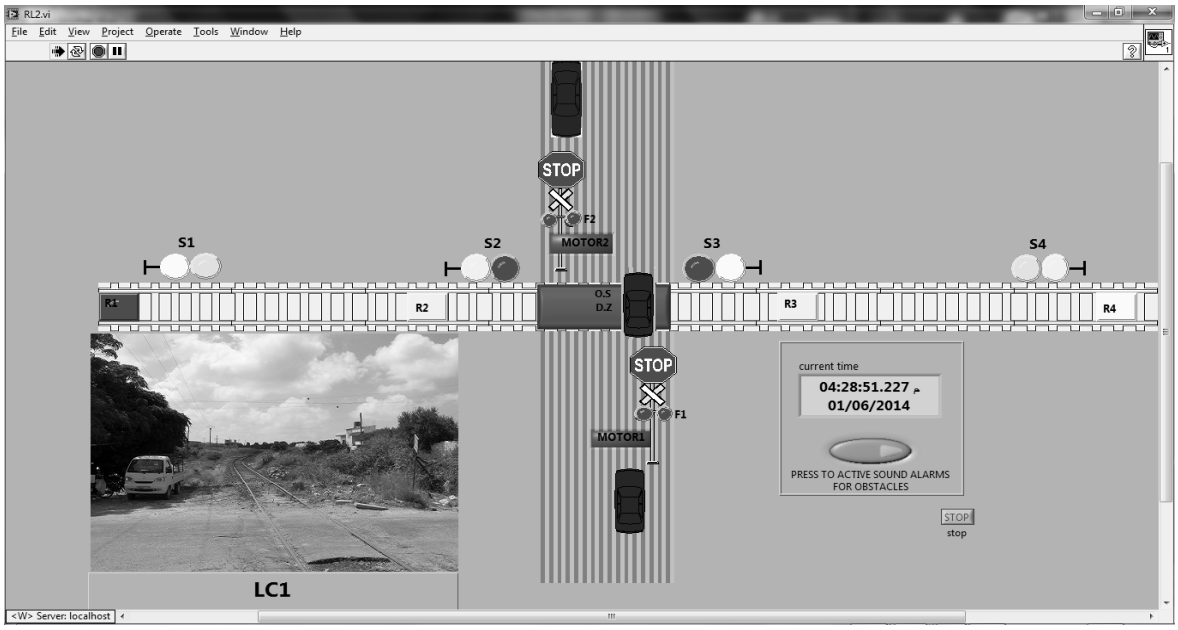
عند اقتراب القطار من الحسّاس R2 الذي يبعد حوالي 500 متراً من مركز التقاطع تبقى البارمترات السابقة نفسها، لكن بدل من R1 يضيء الزر المقابل للحساس R2 (on) على الواجهة الأمامية، وتكون بداية مغادرة القطار للمعبر السطحي بتفعيل الحسّاس R3 (on)، ويصبح الطريق مفتوحاً أمام السيارات المنتظرة خلو التقاطع لتبدأ بالتحرك

والعبور. تتحدد مغادرة القطار للمعبر بشكل كلي عند تفعيله للحساس (on) R4، حيث تعود جميع البارمترات إلى الوضع الابتدائي في الحالة الأولى كما في الشكل (14) تحسباً لقدوم قطار آخر.

3-حالة اقتراب القطار من المعبر مع وجود سيارة أو عائق في منطقة الخطر (DZ):

قد يصادف دخول القطار منطقة المعبر السطحي من جهة R1 وجود سيارة تمر أو تقف عند المنطقة الخطرة (DZ) كما في الشكل (16)، حيث نميز البارمترات والتنبيهات التالية:

- ❖ الحسّاس (on) R1، والقطار يبعد حوالي 1500 متر عن مركز التقاطع.
- ❖ حساس العوائق (on) OS ويضيء الزر المقابل في واجهة التطبيق باللون الأحمر.
- ❖ الحسّاسات R2, R3, R4 غير مفعلة (off).
- ❖ الضوء الومّاض الذي ينبه مستخدمي الطريق (on) F1, F2.
- ❖ ذراع الحاجز يبدأ بالنزول (Down) Motor1, Motor2.
- ❖ إشارات التحذير البعيدة للقطار S1, S4 صفراء.
- ❖ إشارات التحذير القريبة للقطار S2, S3 حمراء.
- ❖ عند تفعيل زر التنبيه الصوتي في البرنامج يصدر تنبيه بوجود عائق في منطقة التقاطع الخطر (DZ).



الشكل (16) اقتراب القطار من المعبر مع وجود سيارة أو عائق في منطقة الخطر (DZ)

سائق القطار يرى إشارة التحذير S1 باللون الأصفر، فيعمل على تخفيف السرعة، وفي حال إكمال السيارة سيرها وخروجها من منطقة التقاطع الخطر (حيث تُصمم ذراع الحاجز الآلي لكي تغلق حتى منتصف الطريق ولا يتم حجز السيارة التي يصادف عبورها للمنطقة الخطرة مع اقتراب القطار من المعبر)، تعود البارمترات كما في الحالة الثانية المبينة في الشكل (15)، ويمكن لسائق القطار زيادة السرعة وإكمال سيره وفق الإجراءات الاعتيادية.

أما في حال كان العائق دائماً كتوقف السيارة وتعطلها في منطقة التقاطع الخطر (DZ)، فيجب على سائق القطار عند رؤيته إشارة التحذير القريبة مضاءة باللون الأحمر S2، بالإضافة إلى استمرار التنبيه الصوتي الخاص بوجود العائق والزر الخاص بالحسّاس OS مضاء بالأحمر، أن يتوقف لتلافي الاصطدام بالعائق.

ملاحظة: يعتبر التنبيه في حالة وجود العائق عند منطقة التقاطع الخطر مستوى إنذار خطير ينبه سائق القطار من احتمال وقوع تصادم.

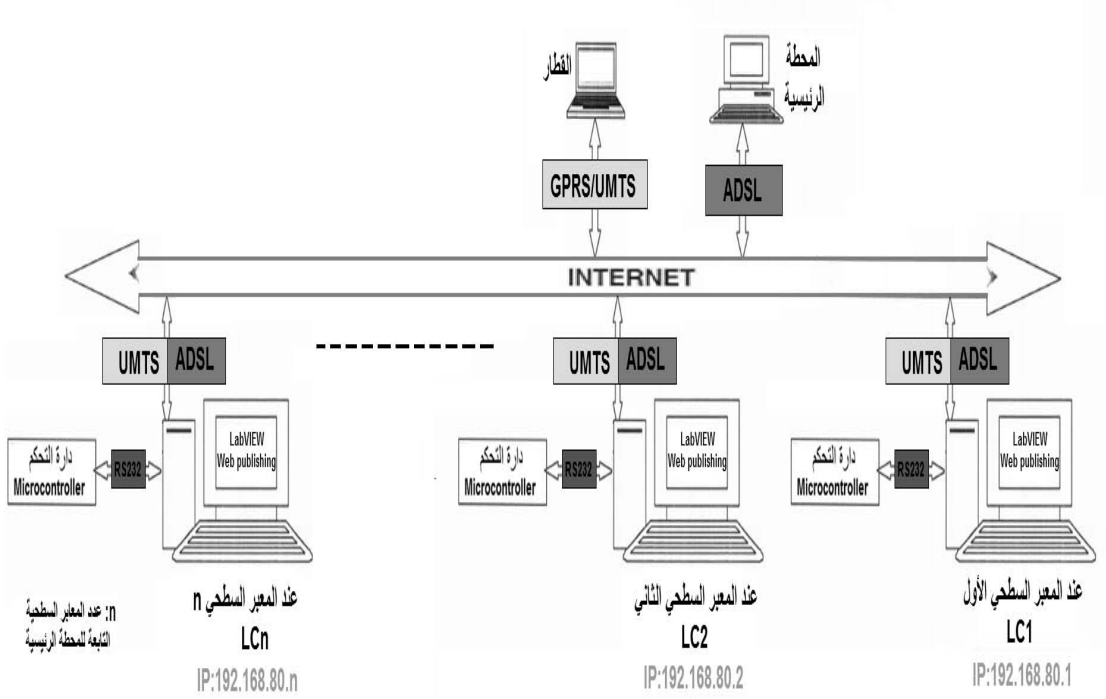
مراقبة الإجراءات الحاصلة عند المعبر السطحي عبر الشبكة:

كل العمليات السابقة عند المعبر السطحي يتم مراقبتها والإشراف عليها بشكل مركزي باستخدام برنامج LabVIEW المنصب على جهاز الحاسب الموجود في غرفة الحراسة بجانب المعبر، حيث يتم ربط دارة التحكم عند المعبر مع الحاسب عبر المنفذ التسلسلي وفق البروتوكول RS232.

لكن المراقبة والإشراف عن بعد للمتغيرات والبارمترات عند المعبر السطحي هي جزء مهم في منظومة أتمتة المعابر السطحية من قبل سائق القطار أو المحطة الرئيسة. يتيح لنا برنامج LabVIEW أداة للنشر عبر الشبكة (Web Publishing Tool) سواء كانت شبكة محلية أو حتى شبكة الإنترنت العامة، وتوفر هذه الأداة إمكانية المراقبة والتحكم بالمشروع عبر متصفح الانترنت من قبل أي جهاز متصل عبر الشبكة مع الحاسب عند المعبر، وتعتمد على مبدأ عرض صورة لواجهة البرنامج LabVIEW الأمامية تحدث دورياً [13].

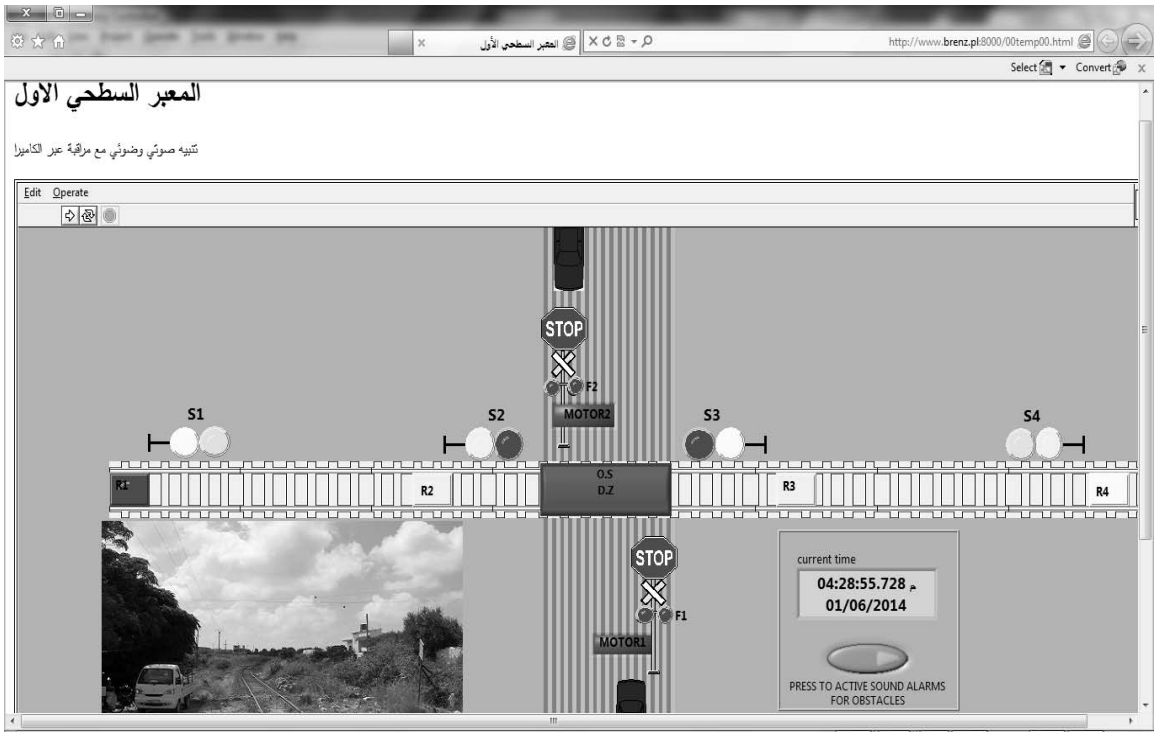
تم إعداد الحاسب الموجود في غرفة الحراسة بجانب المعبر السطحي كمخدم مصغر متصل مع الانترنت، ويتم حجز عنوان IP (Internet Protocol) خاص به، ويمكن في حال توفر خط هاتفي في المعبر تأمين الربط مع الانترنت عن طريق حجز دارة (Asymmetrical Digital Subscriber Line, ADSL) من مقسم الهاتف الثابت، كما يمكن تأمين الربط مع الانترنت عن طريق الجيل الثالث من الاتصالات الخلوية UMTS.

يبين الشكل (17) أنظمة الاتصال المختلفة للربط مع الانترنت التي يمكن استخدامها بين كل من القطار والمعبر السطحي، وكذلك بين مركز المراقبة في المحطة الرئيسة والمعبر السطحي [14].



الشكل (17): ربط المعابر مع شبكة الانترنت

من خلال برنامج متصفح الإنترنت في الكمبيوتر البعيد الموجود في المحطة أو القطار نستطيع الدخول إلى عنوان الانترنت المحدد مسبقاً للمعبر، فتظهر أمامنا الصفحة المبينة في الشكل (18) التي تبين العمليات التي تجري عند المعبر السطحي الأول LC1 على سبيل المثال، ويمكن استخدام نفس الطريقة لبقية المعابر السطحية.



الشكل (18): مراقبة بارمترات المعبر السطحي عن بعد عبر متصفح الإنترنت

الاستنتاجات والتوصيات:

❖ تأمين السلامة لمستخدمي الطريق والقطار على حد سواء، والحد من حوادث التصادم، والتخفيف من الازدحام المروري على جانبي المعبر.

❖ إمكانية الاستغناء عن العامل البشري في إدارة المعبر.

❖ كلفة مادية أقل باستخدام المعالجات والمتحكمات الصغرية التي تؤمن لنا مجالاً واسعا من التحكم بالعمليات والوظائف عند المعبر السطحي.

❖ أهمية البيئة البرمجية الرسومية LabVIEW التي مكنتنا من التصميم التفاعلي، وبناء النماذج الأولية، والمراقبة لكافة تغيرات البارمترات عند المعابر السطحية مع إمكانية عرض النتائج والبيانات بطريقة رسومية وأشكال مميزة توفرها بيئة LabVIEW مثل المؤشرات وأزرار التحكم.

❖ إمكانية المراقبة عبر الشبكة لكل معبر ومعرفة حالته بشكل آني ومباشر باستخدام الأداة Web Publishing Tool في برنامج LabVIEW، بدون الحاجة لمعرفة لغات البرمجة الضرورية لتصميم صفحات الانترنت الخاصة بالمشروع، مع إمكانية تحديد الأجهزة المصرح لها بالدخول إلى الصفحة.

التوصيات:

❖ العمل على تطبيق نظام التحكم الآلي المؤتمت في إدارة المعابر السطحية للخطوط الحديدية السورية لما يؤمنه من تنبيهات وحماية ومراقبة، وتحسين البنية التحتية لتلك المعابر.

❖ العمل على توفير شبكة خاصة تتمتع بالأمان والموثوقية لتبادل البيانات بين المعابر السطحية ومركز الإشراف والتحكم في المحطة الرئيسة مستقلة عن شبكة الانترنت العامة، وفي حال توفر كبل ضوئي ممتد بجانب الخط الحديدي، كما في هو الحال في محور خط (اللاذقية – طرطوس– حمص)، يمكننا الحصول على معدل لنقل البيانات والوسائط المتعددة بسرعات عالية ولمسافات طويلة.

❖ تحسين تغطية شبكة الاتصال الخلوي لضمان عدم انقطاع وصلة الانترنت الخلوية بين القطار والمعبر السطحي، والعمل على تفعيل خدمة نظام تحديد المواقع بالأقمار الصناعية GPS.

❖ نشر الوعي بين الناس بضرورة الالتزام بقواعد المرور والإشارات عند المعابر السطحية، حيث الأولوية دوماً لعبور القطار.

المراجع :

1. BANUCHANDAR, J.; KALIRAJ, V.; BALASUBRAMANIAN, P.; DEEPA, S.; THAMILARASI, N. *Automated Unmanned Railway Level Crossing System*. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER). Vol. 2, Issue.1, Jan-Feb 2012, 458-463.
2. HILDEBRAN, E.; ROBERTS, C.; ROBICHAUD, K. *A Low-Cost Rail Warning System for Private and Farm Road Crossings*. Transportation Group, University of New Brunswick, Canada, May 2007, 118.
3. OGDEN, B. D. *Railroad-Highway Grade Crossing Handbook*. Revised Second Edition, National Technical Information Service, Washington U.S.A, August 2007, 324.
4. KORNASZEWSKI, M.; LUKASIK, Z. *Safe implementation of automatic microprocessor systems of level crossing on the example of the SPA-4 system*. 7th International Conference TRANSPORT SYSTEMS TELEMATICS, Katowice-Ustron, 2007, 85.
5. KORNASZEWSKI, M.; *Programmable logic controllers for systems of automatic of the level crossing. 6th International Conference ELEKTRO'06, Žilina - Slovak Republic 2006, 265.*
6. RAJASEKHAR, P.; SHARON KIRUBAKAR, J.; VINOTH, K. *Intelligent Railway Level Crossing System*. CHENNAI, Anna University, 2005, 75.
7. NAVEEN, P.; SUDHAKAR, S. *Microcontroller Based Automatic Railway Gate Control*, Arulmigu Kalasalingam College of Engineering Krishnankovil, 2008, 1-15.
8. LAZAREVIC, N.; KHOUDOUR, L.; KOURSI, El.; MACHY, C.; ROBERTS, C.; SLOVAK, R. and other members of the SELCAT consortium. *SELCAT-D2-Report about Examination of actual and potential Technologies for Level Crossings*, Version 3, The French National Institute for Transport and Safety Research (INRETS), September 2008, 220.
9. Honeywell. High-speed Railwheel Proximity Sensors, 2010. <www.honeywell.com/sensing>
10. Takeuchi, H.; Shozawa, T.; Miki, H.; Shibasaki, R.; Zhao, H.; Nakamura,K. *Study On Obstacle Detection With Automatic Pedestrian Tracking At Railway Level Crossings By Using Laser Range Scanners*. IEEJ Industry Applications Society, Vol. 125-D, 2005, 321-328.
11. Rayennur Electronic Automatic Level Crossing System, February 2013. <www.rayennur.com/download/Rayennur_Automatic_LevelCrossing_System.pdf>
12. مخول، مخائيل. *هندسة الاتصالات*، مديرية الكتب والمطبوعات، جامعة تشرين، 2007، 640.
13. خيري، هيثم. *"المراقبة والتحكم في منافذ المايكروكونترولر عبر شبكة الانترنت باستخدام LabVIEW"*، 2013. <http://www.kutub.info/library/book/11604>
14. Railway Communications Solutions, 11 May 2010. <www.rad.com>