التصميم الميكاترونى لمنظومة قاطرة أتوماتيكية لتسهيل آداء مناسك الحج والعمرة

Mechatronics Design of Automated Trailer System to Facilitate the Performance of Hajj and Umrah

إعداد:

د.فرحان سالم عطا اللّه

قسم الهندسة الميكانيكية – كلية الهندسة

جامعة الطائف

د.أيمن عبدالحميد النجار

قسم الهندسة الميكانيكية – كلية الهندسة

جامعة الطائف

د.أشرف عبدالرحمن المراكبى

قسم الهندسة الميكانيكية – كلية الهندسة

جامعة الطائف

د.كامل عقيله شوش

قسم الهندسة الميكانيكية – كلية الهندسة

جامعة الطائف

الملخص

توافقاً مع المتطلبات المتنامية لتحسين خدمة الحجيج و المعتمرين و لتذليل الصعوبات التي يواجهها الحجاج ذوي الإحتياجات الخاصة (كبار السن، و المقعدين و المرضى)، و زيادة راحتهم، و كذلك تسهيل آداء مناسك الحج و العمرة، و بهدف حل بعض الصعوبات التي يواجهها موظفى الدولة القائمين على شئون الحرم المكي، و كذلك الإستفاده المثلى من مساحات الطواف المختلفة، تقترح هذه الورقه تصميم ناقلة آمنة كهربائية ذكية ذاتية العمل ، تعمل بالطاقه الشمسية ، لآداء مناسك العمرة من طوافٍ و سعيٍ. التصميم المقترح يتكون من أربعة منظومات فرعية: المنظومة الميكانيكية و المنظومة الكهربائية و منظومة التحكم و منظومة الخلايا الكهروضوئية. يتكون هيكل المنظومة الميكانيكية من قسمان قاطرة و مقطورة مزودة بمقاعد للمعتمرين (Tractor and Passenger Carriage). المنظومة الالكترونية مزودة بمستشعرات للسرعة و الحركة و البعد و بوحدة تحكم مبرمجة لتؤمن السلامة و تتحكم بإنجاز التصميم لوظائفه من إتمام الطواف و السعي بشكل ذاتي ذكي، حيث يتم أشواط الطواف السبعة و من ثم التوجه بعدها لآداء أشواط السعي.

وللحصول على التصميم الأمثل، الذي ينجز أفضل آداء و بسعر تكلفة مقبول، تم تطبيق النهج الهندسي الميكاتروني (Mechatronics) في التصميم و التحقق من صحة و دقة التصميم المقترح،

من إختيار و دمج المنظومات الفرعية و مكوناتها مقترنة بالنمذجة و المحاكاة و كذلك منع أي تلوث لأجواء الحرم ، يستثمر التصميم المقترح الطاقة الشمسية، حيث أنه مزود بلوح خلايا كهروضوئية لتوليد الكهرباء من الطاقة الشمسية لشحن البطارية، التي، بدورها، تزود كل جزء من من أجزاء التصميم الميكاترونى المقترح بالطاقة الكهربائية.

الكلمات المفتاحية: المركبات الكهربائية، نمذجة ومحاكاة، الخلايا الكهروضوئية، الحج والعمرة.

المقدمة

تقترح هذه الورقة تصميم ميكاتروني لناقلة آمنة كهربائية ذكية ذاتية العمل ، تعمل بالطاقه الشمسية. التصميم المقترح للناقلة يتكون من أربعة منظومات فرعية (الشكل (1.a)) : الميكانيكية، الكهربائية، التحكم، و وحدة الخلايا الكهروضوئية. سيتم تطبيق النهج الميكاتروني لتصميم الناقلة ككل عبر إختيار و تصميم كل المنظومات الفرعية على التوازي و من ثم كتابة النموذج الرياضي لها ثم محاكاتها للتحقق من صحة إختيارها و تصميمها و دقة آداءها، ليتم لاحقاً دمج هذه المنظومات الفرعية بشكل تكاملي تفاعلي لتكوين التصميم الكلي للناقلة و من ثم التحقق من تحقيقها للآداء المطلوب و إنجاز الوظائف المحددة لها. التمثيل الصندوقي للتصميم المقترح مع المنظومات الفرعية مبينة في الشكل (1.b)، مثال للمكان المقترح لتطبيق التصميم المقترح مبين في الشكل (2)، كما يمكن إستخدام التصميم المقترح في الطوابق العلوية و صحن الكعبة.

في السنوات الأخيرة تزايد الأهتمام لدمج الوحدات الكهروضوئية (Photovoltaic modules) مع الناقلات الكهربائية (Electric Vehicles) يهدف ذلك الى تحقيق المتطلبات المتزايدة للترشيد من إستهلاك الوقود وتقليل التلوث البيئي المرتبط بإستخراج و إستهلاك الوقود،كما يرجع ذلك إلى حقيقة أن الطاقة الشمسية نوع من أنواع الطاقة المتجددة، الوفيرة و المجانية، و أيضاً نظراً لتناقص تكاليف تصميم و إنتاج الوحدات الكهروضوئية ورفع كفائتها [2-1]. إن الدمج بين هذين العنصرين ,آدى الى تولد فكرة الناقلات الكهربائية الهجينه العاملة بالطاقة الشمسية والتى تمتاز بأنها خفيفة الوزن و ذات كفاءة إيروديناميه عالية[9 -3].

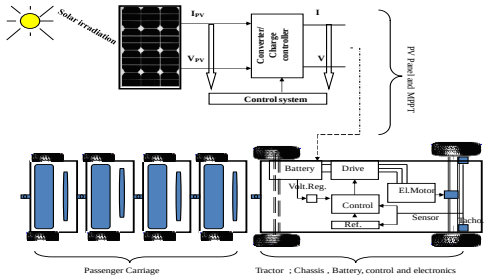
منهجية العمل والتحليل

يكون تطبيق التكامل للمنظومات الفرعية ضمن التصميم الميكاتروني إحدى نوعين، من خلال دمج المكونات الفيزيائية (Hardware Integration) ، و التكامل عن طريق معالجة المعلومات (Software Integration). يتحقق دمج المكونات الفيزيائية من تصميم المنظومة الميكاترونية ككل-كجزء واحد، و دمج أجهزة الأستشعار، والمشغلات، و الحواسيب الصغيرة في العملية الميكانيكية، الحواسيب الصغيرة يمكن أن تكون متكاملة مع المشغلات ، أو المستشعرات أو يتم ترتيبها و تموضعها في عدة أماكن في التصميم الكلي [10,11].

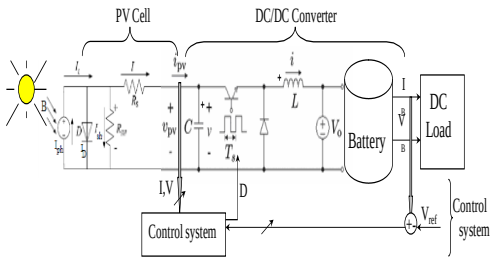
للحصول على قيادة آمنة، سلسة و كذلك راحة أثناء الحركة بدون أدنى ركلات عند التحرك و الوقوف، و كذلك لإعطاء المعتمرين الفترة الكافية للدعاء و التلبية، يقترح أن تكون السرعة الخطية المثلى للناقلة 0.5 م / ث ، و نصف قطر العجلة الأمثل هو 0.075 متر ,و تعطى العلاقة بين نصف قطر العجلة (r) و السرعة الخطية (υ) للناقلة بالعلاقة (1).

$$\upsilon = \omega \cdot r \qquad (1)$$

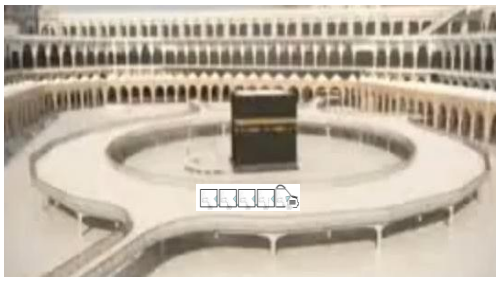
تتكون المنظومة الميكانيكية من قسمان قاطرة و مقطورة، و تبين الاشكال (١-٣) مسقطان للتصميم الميكانيكي لكل من هيكل القاطرة و المقطورة. يتكون التصميم المقترح للناقلة من أكثر من مقطورة (Passenger Carriage Trailer) للمستخدمين و يقترح أن يكون عدد المقطورات أربعة، العرض و الطول المقترح للمقطورة الواحدة يكون 0.8 متر، الأرتفاع المقترح للمقطورة يكون 1متر واحد، كل مقطورة مزودة بمقعد يتسع لشخصين متجاورين. لربط المقطورات ببعضها و تسهيل القطر، كل مقطورة مزودة (Axle springs). تحتوي القاطره (Tractor) على المولد الرئيسي للحركة و تكون ذات تصميم إيروديناميي،ذات مقدمة كما مبين في الشكل (3). و تحتوي على مقعد للمستخدمين. لتوفير المساحات و إستمار الحجم أثناء التصميم، و أيضاً للإستفادة من أكبر كم من الإشعاع الشمسي، وكما مبين في الشكل (3)، يوضع اللوح الكهروضوئي (Photovoltaic Panel)، على السطح و تتوافق أبعاده مع أبعاد القاطرة، و مع توليد القدرة الكهربائية المطلوبة.



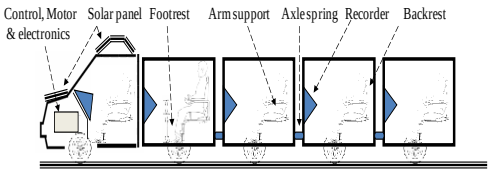
الشكل ((**1.a**)) المنظومات الفرعية المكونة للتصميم المقترح: (الميكانيكية، الكهربائية، التحكم، و منظومة الخلايا الكهروضوئية).



الشكل ((1.b)) الدوائر الكهربائية الممثلة للمنظومات الفرعية المكونة للتصميم المقترح: (الخلية الكهروضوئية، المحول، و التحكم).



الشكل (2) التصميم المقترح في الطواف المعلق



الشكل (3) منظر جانبي للتصميم المقترح، يبن الهيكل الميكانيكي للقاطرة ، المقطورة و تزويداتهما ، و تموضع اللوح الكهروضوئي

كون أن التصميم المقترح هو أحد اشكال تطبيقات الناقلات الكهربائية الهجينه العامله بالطاقة الشمسية، فإن المشغل الأمثل، يقترح أن يكون من مشغلات (مواتير) التيار المستمر (PM machines) و التي تمتاز مواتير التيار المستمر بعدد من المزايا، منها، الاكتناز،انخفاض الوزن، المتانة، الكفاءة و الموثوقية العالية ومعامل قدرة مرتفع و توليد عزم دوران عالي وأخيراً إنخفاض تكلفة الصيانة[13-12] . كما مبين في الشكل (4).

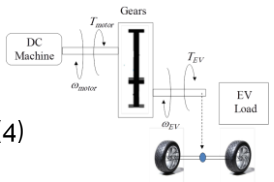
إشتقاق النموذج الرياضي لموتور التيار المستمر، و كذلك و محاكاتة و تقييم ادائه، مذكور بإسهاب في العديد من المراجع العلمية و منها [17-14] ، و بناءاً عليه ، دالة النقل الرابطة بين الجهد المدخل (V_{in}) و السرعة الزاوية لمحور الموتور (ω)، معطاة بالعلاقة (2). حيث أن العزم (T)، هي مجموع عزوم القوى المؤثره على الناقلة أثناء حركتها ، بما فيها احتكاك كولومب (T_f) و المعطاة، جميعها، بالعلاقة (3).كون أن الشكل الهندسي يحدد القصور الذاتي (Inertia) فلحساب القصور الذاتي، يمكن اعتبار أن الناقلة ذات شكل متوازي المستطيلات و حساب كل من القصور الكلي المكافئ (J_{equiv}) و الاخماد (Damping) الكلي المكافئ (b_{equiv}) بالعلاقة (٤).القصور الذاتي للعجلات و كذلك التروس و الموتور تضاف جميعها للقصور الكلي المكافئ، كما معطى بالعلاقة (4)

$$G_{open}(s)=\frac{\omega_{platform}(s)}{V_{in}(s)}=\frac{K_t/n}{(L_a s+R_a)(J_{equiv}s^2+b_{equiv}s)+(L_a s+R_a)(T)+K_b K_t} \quad (2)$$

$$T=T_{load}+T_f \quad (3)$$

$$J_{load}=\frac{bh^3}{12}\Rightarrow J_{equiv}=J_m+J_{Load}\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2, b_{equiv}=b_m+b_{Load}\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad (4)$$

$$J_{equiv}=J_{motor}+J_{gear}+(J_{wheel}+mr^2)*\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$



الشكل (4) الهيكل الكهروميكانيكي، للتصميم المقترح، و ربط العجلات مع الموتور

إختيار و دمج وحدة التحكم (Control unit) والمستشعرات (Sensors)

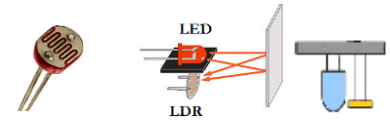
إن وحدة التحكم المناسبة للتحكم في وظائف التصميم المقترح و تحقيق الآداء و الوظائف المطلوبة هو المايكروكونترولر (PIC16F917) المغمور (Embedded Microcontroller) داخل هيكل التصميم كالمبين في الشكل (5). عدد من منهجيات و خوارزميات التحكم ، يمكن أن تستخدم للتحكم في حركة موتور التيار المستمر لتحقيق الآداء و السرعة المطلوبان منها نهج (PID) ، كما يمكن أستخدام الحلقات التكراريه (For.. loop) التصاعديه في البرمجه، لبرمجة وحدة التحكم – المايكروكونترولر، للتحكم في تشغيل و إغلاق الموتور، و كذلك إستخدام عرض النبضة (PWM) لتحقيق الآداء و السرعة المطلوبان.

$$G_{PID} = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s} = \frac{K_D \left[s^2 + \frac{K_P}{K_D} s + \frac{K_I}{K_D} \right]}{s} \qquad (5)$$

يتتطلب التصميم المقترح ثلاثة أنواع من أجهزة الاستشعار: مستشعر للسرعة، مستشعر العقبات لإستشعار وجود معتمرين أمام القاطرة و في مسارها، و آخيراً مستشعر للمسار المطلوب تعقبه، سواء كان الطواف أو السعي، كما أن وحدة التحكم، يمكن برمجتها لتتحكم بإنجاز الحركة إما بالإعتماد على الزمن اللازم أو تتبع مسار (خط) مرسوم على أرضية كل من المطاف المعلق والمسعي.

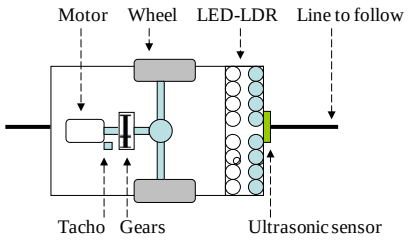
إن أجهزة الاستشعار المتاحة تجارياً منخفضة التكلفة، و سهلة في الربط مع وحدة التحكم و وكذلك تلبى متطلبات التصميم المقترح كما بالشكل(5): مستشعر السرعة (Tachometer)، مستعشر العقبات بالموجات فوق الصوتيه (Ultrasonic sensors) ، و مستشعر المسار و الذي يمكن ان يكون برنامج مصمم لحساب المسافات أو وحدة إستشعار المسار مكونة من أزواج (LDR-LED) كما مبين في الشكل.

الشكل ((5(a) وحدة التحكم المايكروكونترولر

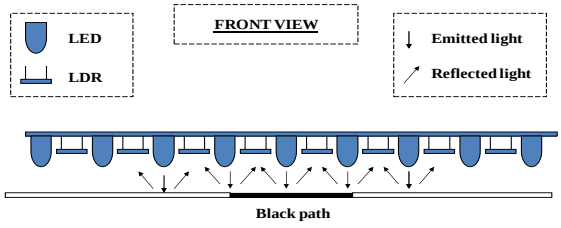


الشكل ((5(b) وحدة واحدة من مستشعر LDR-LED

الشكل ((5(c) مستعشر العقبات بالموجات فوق الصوتية



الشكل ((5(d) , مكان تموضع كل من مستشعر المسار و مستشعر السرعة ، و مستشعر العقبات في القاطرة



الشكل ((6(a) مستشعر المسار المكون من ثماني وحدات من LDR-LED

خورزميات المستشعرات: خوارزمية كل من مستشعر العقبات و مستشعر السرعة و مستشعر المسار. و منها، خوارزمية مستشعر العقبات تكتب على أساس البعد الأنسب و الأكثر امناً لإيقاف أو إبطاء الناقلة لسرعتها، عند وجود عائق (معتمر) أمامها، لتتابع الحركة بعد ذهاب العائق، المسافه المقترحة لوجود عائق و إيقاف الحركة، هي 0.25 متر ، فتكون الخوارزميه كالآتي:

Step 1: Read : distance to object.

Step 2: If distance > 50 cm

Move, or , keep velocity of 0.5 m/sec

elseif 40 cm < distance <= 50 cm

Decrease velocity to 0.3 m/sec

elseif 25 cm < distance <= 40 cm

Stop all motions

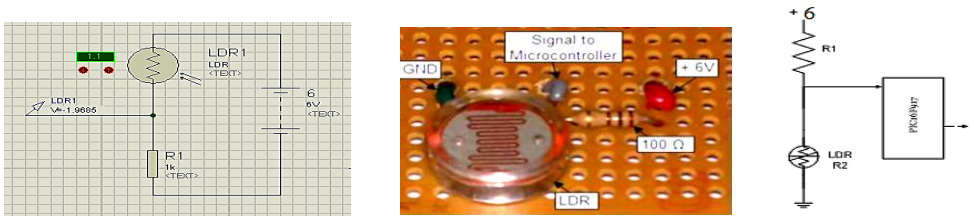
Step 3 : Go to step 1

مستشعر المسار، المبين في الشكل (5-a) و في الشكل (6) يتكون من أزواج ثنائية من مصدر ضوء (LED) مع مقاومه متغيرة، تتغير مع تغير شده الضوء (LDR)، تمت محاكاة مستشعر المسار بإستخدام برنامج (Proteus), و نموذج المحاكاة مبين في الشكل (7). النموذج الرياضي لمستشعر السرعة (Tachometer)، و الذي يعبر عن ديناميكية، كذلك حساب ثابت مستشعر السرعة (K_{tach}) معطى بالعلاقة (6). لتحقيق السرعة الخطية المقترحة المثلى للناقلة، أي 0.5 م / ث ، مع نصف قطر عجلة الأمثل هو 0.075 متر، و جهد المدخل 12 فولط، و ثابت مستشعر السرعة يحسب بالتعويض في المعادلة (8) ، بعد حساب السرعة الزاوية لمحور الموتور، و منه:

$$V_{out}(t) = K_{tach}\frac{d\theta(t)}{dt} \Rightarrow V_{out}(t) = K_{tach}\omega \Rightarrow K_{tach} = \frac{V_{out}(s)}{\omega(s)} \quad and \quad ,\omega = \frac{V}{r}$$

$$\omega = \frac{V}{r} = \frac{0.5}{0.075} = 6.6667 \text{ rad/s} \Rightarrow K_{tach} = \frac{12}{6.6667} = 1.8$$

(6)



الشكل (7) محاكاة و تنفيذ دائرة مستشعر المسار المكونة من زوج من (LDR- LED) و ربطة مع وحدة التحكم-المايكروكونترولر

اللوح الكهروضوئي (Photovoltaic panel)

الوحدات الكهروضوئية يتم ترتيبها في بنية على التوالي-التوازي لتشكيل الألواح الكهروضوئية (PV Panel) لإنتاج ما يكفي من القدرة المطلوبة [18] و يمكن تجميع الألواح الكهروضوئية لتشكيل

المجموعات-المصفوفات (array) الكهروضوئية الكبيرة. لقد تم على مدى العقود الأربعة الماضية، دراسة و تمثيل و اشتقاق النموذج الرياضي للخلية-و اللوح الكهروضوئي، و أيضاً محاكاتهم ، من حيث التيار ، القدرة ، و الخصائص الكهروضوئية (I-V , P-V) ، ويمكن العثور على ذلك في مراجع علمية مختلفة، و معظم هذه المراجع تم سردها في[19] ، و منها أن التيار الصافي المولد من الخلية الكهروضوئية و الخصائص(I-V , P-V) ،معطاة بالمعادلة (7)، ان هذا التيار المولد هو الفرق بين ثلاثة تيارات هي: (the light-generated photocurrent I_{ph}, diode current I_d and the shunt current I_{RSH})

$$I = I_{ph} - I_d - \mathrm{I}_{RSH}$$
$$\mathrm{I} = \mathrm{I}_{ph} - \mathrm{I}_s \left(e^{\frac{q(V + IR_S)}{NKT}} - 1 \right) - \frac{V + R_S I}{R_{sh}} \qquad (7)$$
$$\mathrm{I} = \left(I_{sc} + K_i \left(T - T_{ref} \right) \right) \frac{\beta}{1000} - \mathrm{I}_s \left(e^{\frac{q(V + IR_S)}{NKT}} - 1 \right) - \frac{V + R_S I}{R_{sh}}$$

نمذجة ديناميات الناقلة Modeling of design dynamics

يمكن العثور على مراجع علمية مختلفة لنمذجة ديناميكية منصة (Platform) متحركة ، بما في ذلك [20-21]. إن عزم الدوران اللازم تجاوزه من قبل الناقلة، للبدء بالحركة، هو مجموع عزم الدوران الناتجة عن القوى المؤثرة على الناقلة أثناء سيرها ، و هذه القوى معطاه بالمعادلة (8). حيث أنه و بالرجوع للشكل (8) و الذي يبن تحليل للقوى المؤثره على التصميم المقترح أثناء سيره، و عزوم هذه القوى تشمل؛ . عزم (rolling resistance torque) و المعطى بالمعادله (10)، (The hill-climbing resistance, slope, torque)، و المعطى بالمعادلة (11)، و عزم القصور الذاتي الكلي للناقله و المعطى بالمعادلة (12)، و العزم إيروديناميي، و المعطى بالمعادلة (13)، و القوه الإيروديناميه الرافعة، و المعطى بالمعادلة (14)،و قوة التسارع الزاوي، هو القوة التي تتطلبها العجلات لزيادة التسارع الزاوي و المعطى بالمعادلة (15)،و و قوة التسارع الخطي، هي القوة اللازمة لزيادة سرعة الناقلة و يمكن وصفها بأنها القوة اللازمة لزيادة السرعة الخطية للناقلة و المعطى بالمعادلة (16). يتم إختيار الموتور لتوليد العزم اللازم لتجاوز هذه العزوم و البدء بالحركة و كذلك لتيمكن للتصميم المقترح من انجاز وظائفة إما، على أسطح المسارات مستوية، أو مستخدماً الإنحدارات المخصصة لذوي الإحتياجات الخاصة في الكراسي المتحركة.

لتحديد سعة البطارية الكهربائية ، و منها تصميم اللوح الكهروضوئي فإنة يتطلب حساب القدرة الكهربائية المطلوبة للناقلة، لتجاوز مجموع العزوم المؤثره و تطوير سرعة ثابتة مستقرة، يمكن تحديد القدرة الكهربائية من خلال ضرب مجموع القوى الكلية مع سرعة الناقلة ، كما معطى بالمعادلات (17 ,18,19) .

$$F_{Total} = \mathrm{F_a} + \mathrm{F}_R + \mathrm{F}_C + \mathrm{F_{Lin_a}} + F_{ang_a} \quad (8)$$

$$F_{Total} = \mathrm{F_a} + \mathrm{F}_R + \mathrm{F}_C + \mathrm{F_{Lin_a}} + F_{ang_a} \quad (9)$$

$$\mathrm{T_{rolling}} = \left(Mg\mathrm{C_r}\cos(\alpha)\right) r_{wheel} \quad (10)$$

$$\mathrm{T_{climb}} = \mathrm{T_{slope}} = \left(Mg\sin(\alpha)\right) r_{wheel} \quad (11)$$

$$F_{inertia} = F_{slope} = M\frac{dv}{dt} \quad (12)$$

$$\mathrm{T_{aerod}} = \left(\frac{1}{2}\rho \mathrm{AC_d} \upsilon_{vehicle}{}^2\right) r_{wheel} \quad (13)$$

$$F_{lift} = 0.5\rho C_L B \upsilon_{vehicle}^2 \quad (14)$$

$$\mathrm{F_{acc_angle}} = J\frac{n^2}{r_{wheel}^2}a \quad (15)$$

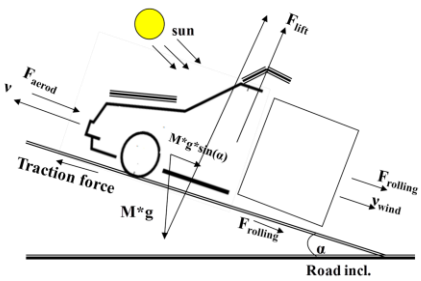
$$\mathrm{F_{acc}} = M * a = M\frac{d\upsilon}{dt} = \left(M + \frac{J_{wheel}}{r^2}\right)\frac{d\upsilon}{dt} \quad (16)$$

$$\mathrm{F_{acc}} = M * a = M\frac{d\omega}{dt} = M\frac{\sum T}{J}$$

$$P_{Total} = (\sum F) * \upsilon = F_{Total} * \upsilon \quad (17)$$

$$P = I \times V \quad (18)$$

$$\alpha = \frac{P_m - P_{total}}{M * \upsilon} \quad (19)$$



الشكل (8) تحليل للقوى المؤثره على التصميم المقترح

النتائج ومناقشتها

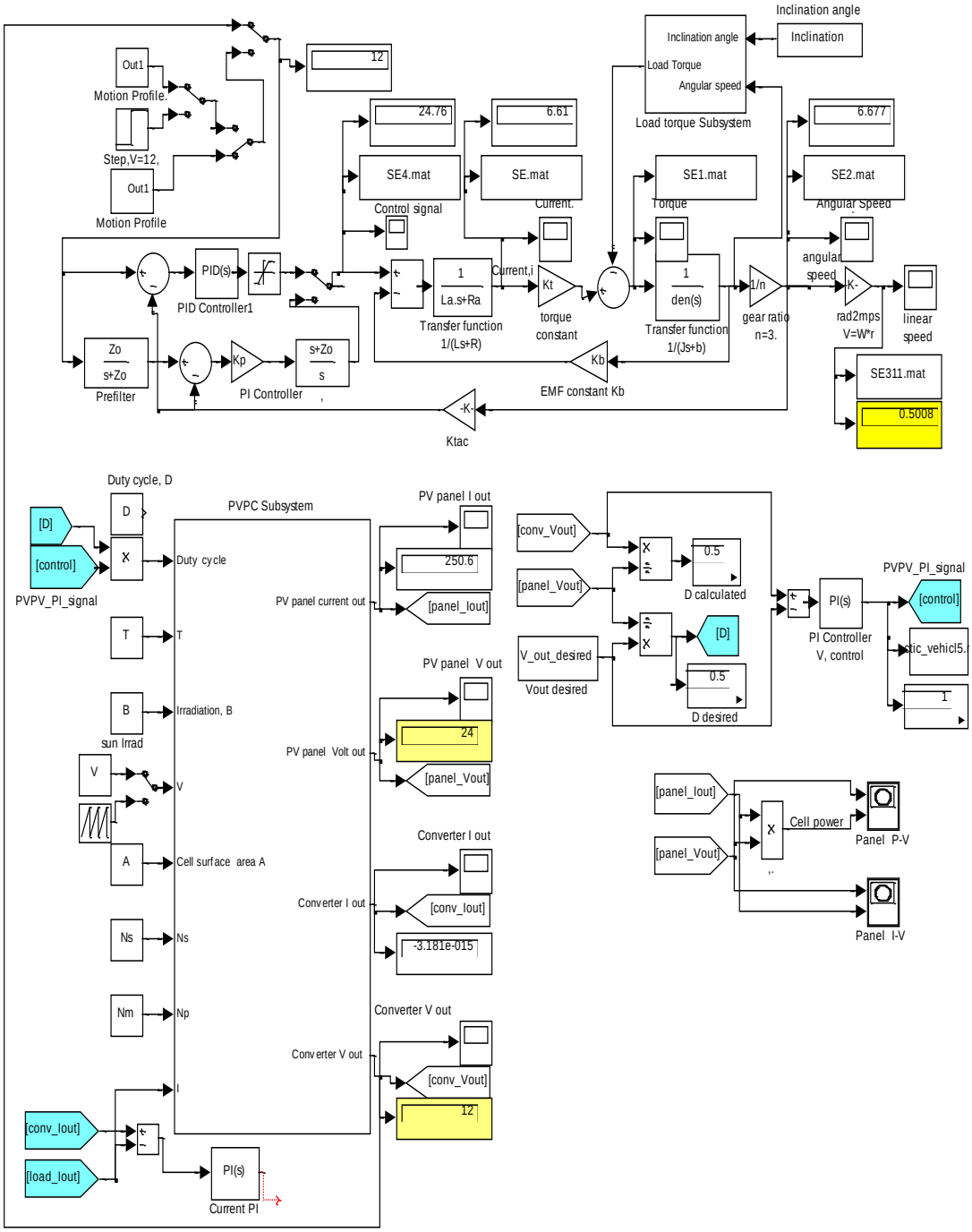
لمحكاة التصميم الكلي للناقلة المقترحة تم إستخدام برمجيات (MATLAB /Simulink) ، لإنشاء النموذج الكلي للتصميم و المبين في الشكل (9). حيث يوضح نموذج لمحاكاة الماطور الكهربائي ، و ديناميكيات الناقلة أثناء سيرها، و مشتملاً على نموذج المحاكاة لكل من اللوح الكهروضوئي و المحول و مولد عرض النبضة . وهذا النموذج صمم ليعطي أكبر قدر ممكن من البيانات العددية و البيانية، والتي تعطي المصصم القدرة على تحليل و تقييم آداء كل منظومة فرعية و كذلك آداء التصميم الكلي.

من أجل التحقق من صحة التصميم و دقة تحقيقة للآداء المطلوب، و أيضاً قابلية تنفيذه ، تمت تجربته في برنامج الماتلاب، وذلك باستخدام القيم العددية لمعايير كل منظومة من المنظومات الفرعية و المعطاة في ملحق (1) ، و إختيار وحدة التحكم لتكون نوع (PID) و تعريض التصميم

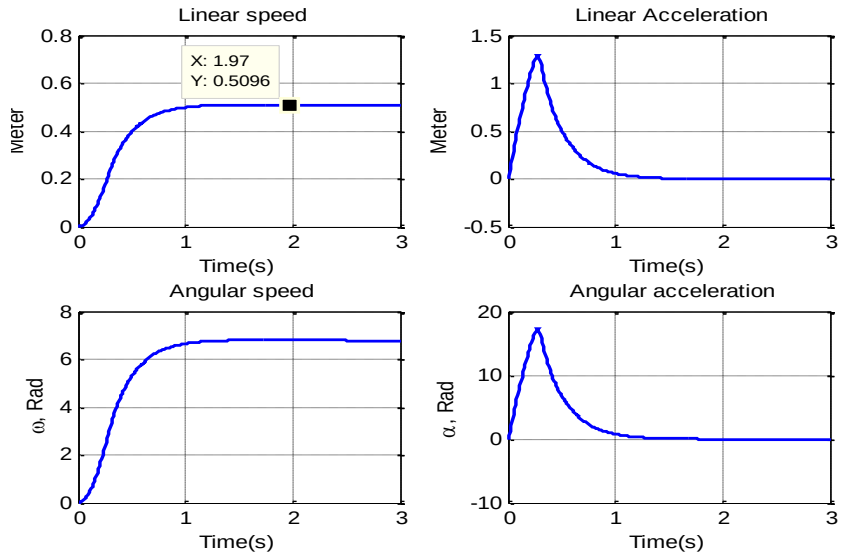
لأشارة الخطوة التجريبية (أي التشغيل بإرسال 12 فولط للموتور)، و أفتراض أن النموذج المقترح يرتقي على سطح مائل زاويتة 45 درجة، لنحاكي، أصعب الأوضاع أثناء الصعود بإتجاه الصفا و المروة و بوزن إجمالي يعادل 800 كيلوغرام، فأنه يتم الحصول على منحنيات إستجابة التصميم (الشكل (10)) و التي تعبر عن آداء كل منظومة فرعية وكذلك آداء التصميم الكلي، و كيفية إنجازه لوظائفه، و تحديداً منحنى إستجابة السرعة الخطية للتصميم ، منحنى إستجابة التسارع الخطي و الزاوي، منحنى كمية التيار الكهربائي المستهلك، و كذلك القيم العدديه لهذه المعايير كما هي مبينه على نموذج المحاكاة. بتحليل هذه المنحنيات ، يتبن نصل الى ان التصميم المقترح يصل الى السرعة المطلوبة في (1.3 ثانية)، بدون تجاوزات، ما يعني أنه تم الحصول على قياده آمنة، سلسة و مريحة و بدون ركلات عند التحرك و التوقف. للتحقق أكثر من دقة التصميم، تم، أيضاً، تعريضة لإشارة (Motion profile)، لتعبر عن تسارع التصميم للوصول للسرعة الخطية المطلوبة و من ثم المحافضة عليها ، و بعد ذلك التناقص في السرعة من أجل التوقف ، منحنيات إستجابة التصميم لإشارة (Motion profile)، من حيث السرعة الخطية، السرعة الزاوية، التيار ، و العزم مبينة في الشكل (11) .

التوصيات

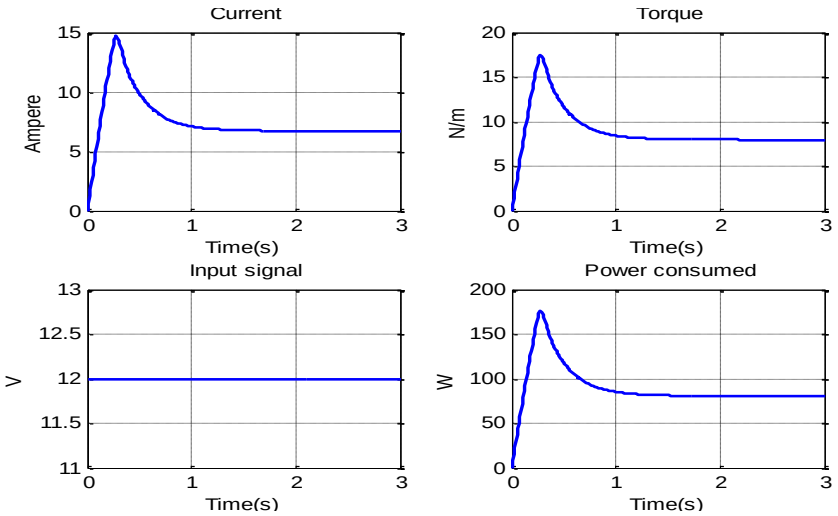
بهدف حل بعض الصعوبات التي يواجهها كل من الحجيج و المعتمرين ، و تحديداً ،ذوي الإحتياجات الخاصة (كبار السن، و المقعدين و المرضى)، و بهدف للإستفادة من مساحات الطواف وخصوصاً في الأدوار العليا، تم إقتراح تصميم لناقلة آمنة ذكية، ذاتية العمل ، تعمل بالطاقه الشمسية، لتسهيل آداء مناسك الحج والعمرة. تم التحقق من صحة التصميم الميكانيكي، و تصميم وحدة التحكم ، بإستخدام برمجيات (MATLAB - Simulink)، حيث تمت محاكاة التصميم و تجربته، حيث تحقق الآداء المطلوب من سرعة خطية 0.5 م/ ث في 1.3 ثانية بدون تجاوزات، ما يعني أنه تم الحصول على قيادة مريحة و بدون ركلات عند التحرك و التوقف. ينصح بتنفيذ تطبيق التصميم المقترح للناقلة الآمنة الكهربائية الذكية ذاتية العمل لآداء المناسك كإضافة حضارية متقدمة إلى منظومة العمل بالمسجد الحرام.



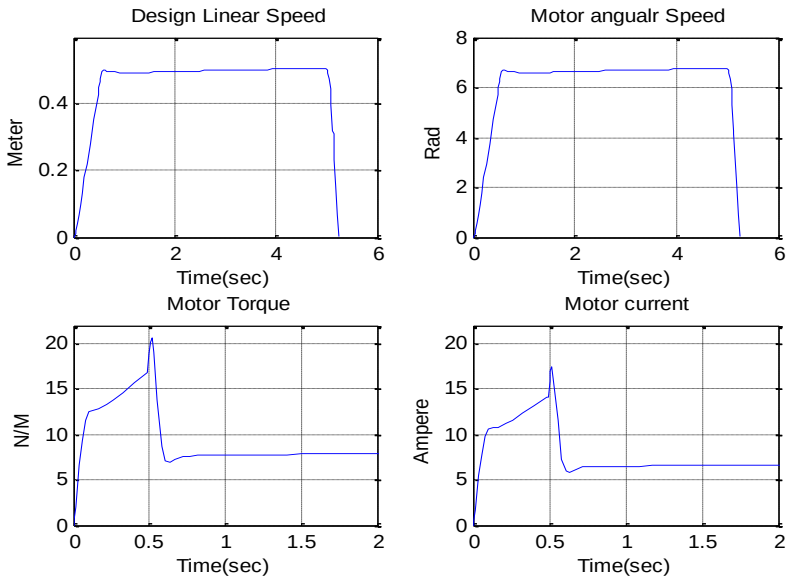
الشكل (9). نموذج السيميولينك، المبسط، لمحاكاة آداء التصميم المقترح



الشكل ((10(a) منحنيات إستجابة التصميم لإشارة الخطوة، السرعة الخطية، السرعة الزاوية، التسارع الخطي و الزاوي



الشكل ((10(b) منحنيات استجابة التصميم لاشارة الخطوة، التيار المستهلك ، و العزم المولد، القدرة و الإشارة المدخلة



الشكل (11) منحنيات إستجابة التصميم لإشارة (Motion profile)، السرعة الخطية، السرعة الزاوية، التيار ، و العزم

المراجع

Letendre S., Perez R., Herig C. (2003), Vehicle Integrated PV: A Clean and Secure Fuel for Hybrid Electric Vehicles, Proc. of the American Solar Energy Society Solar 2003 Conference, June 21-23, 2003, Austin,TX.

Rizzo G. (2010), Automotive Applications of Solar Energy, 6th IFAC Symposium "Advances in Automotive Control", Munich, July 11-14, 2010.

S.Letendre, R.Perez, Christy Herig, Vehicle Integrated PV: a Clean and Secure Fuel for Hybrid Electric Vehicles, Proc. of Annual Meeting of the American Solar Energy Society, June 21-26, 2003, Austin, TX.

Ivan Arsie, Gianfranco Rizzo, Marco Sorrentino, OPTIMAL DESIGN AND DYNAMIC SIMULATION OF A HYBRID SOLAR VEHICLE, 2006-01- 2997SAE International.

Hammad M., Khatib T. (1996), Energy Parameters of a Solar Car for Jordan, Energy Conversion Management, V.37, No.12.

Wellington R.P. (1996), Model Solar Vehicles Provide Motivation for School Students, Solar Energy Vol.58, N.1-3.

Seal M.R. (1995), Viking 23 - zero emissions in the city, range and performance on the freeway. Northcon- Conference Record 1995. IEEE, RC-108.p 264-268.

Seal M.R., Campbell G. (1995), Ground-up hybrid vehicle program at the vehicle research institute. Electric and Hybrid Vehicles - Implementation of Technology SAE Special Publications n 11051995.SAE, Warrendale, PA, USA.p 59-65

Saitoh, T.; Hisada, T.; Gomi, C.; Maeda, C. (1992), Improvement of urban air pollution via solarassisted super energy efficient vehicle. 92 ASME JSES KSES Int Sol Energy Conf. Publ by ASME, New York, NY, USA.p 571-577.

Rolf Isermann, Modeling and Design Methodology for mechatronics Systems,IEE/SME transaction on mechatronics, VOL. 1, No 1, March 1996.

De Silva, Clarence W., Mechatronics: An Integrated Approach, CRC Press, 2005.

Parsa, L.; Goodarzi, A.; Toliyat, H. A. Five-Phase Interior Permanent Magnet Motor for Hybrid Electric Vehicle Application, Proceedings of the IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC'2005, Chicago: USA, 2005, pp. 631-637.

Massimo Barcaro , Nicola Bianchi , Freddy Magnussen, PM Motors for Hybrid Electric Vehicles, The Open Fuels & Energy Science Journal, 2009, 2, 135-141 135.

Farhan A. Salem, Ahmad A. Mahfouz , A Proposed Approach to Mechatronics Design and Implementation Education-Oriented, Innovative Systems Design and Engineering , Vol.4, No.10, pp 12-39,2013.

Farhan A. Salem, Dynamic and Kinematic Models and Control for Differential Drive Mobile Robots, International Journal of Current Engineering and Technology , Vol.3, No.2 , pp253-263 (June 2013).

Farhan A. Salem, Refined modeling and control for Mechatronics design of mobile robotic platforms, Estonian Journal of Engineering, 19, 3, 212–238,2013.

Farhan A. Salem, Mechatronics motion control design of electric machines for desired deadbeat response specifications, supported and verified by new MATLAB built-in function and Simulink model, submitted to European journal 2013.

Huan-Liang Tsai, Ci-Siang Tu, and Yi-Jie Su, Development of Generalized Photovoltaic Model Using Matlab/Simulink, Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, October 22 - 24, 2008, San Francisco, USA 2008.

S.Letendre, R.Perez, Christy Herig, Vehicle Integrated PV: a Clean and Secure Fuel for Hybrid Electric Vehicles, Proc. of Annual Meeting of the American Solar Energy Society, June 21-26, 2003, Austin, TX.

Farhan A. Salem, Dynamic and Kinematic Models and Control for Differential Drive Mobile Robots, International Journal of Current Engineering and Technology , Vol.3, No.2 , pp253-263 (June 2013).

Ahmad A. Mahfouz, Ayman A. Aly, Farhan A. Salem, "Mechatronics Design of a Mobile Robot System", I. J. Intelligent Systems and Applications (IJISA), vol.5, no.3, pp.23-36, 2013.

ملحق المصطلحات، و القيم العددية

DC motor parameters معايير الموتور الكهربائي

V_{in}=12 V	Input voltage to DC machine
K_t=1.188 Nm/A	Motor torque constant
R_a = 0.156 Ω	Motor armature Resistance
L_a=0.82 MH	Motor armature Inductance,
J_m=0.271 kg.m^2	Geared-Motor Inertia
b_m=0.271 N.m.s	Viscous damping
K_b=1.185 rad/s/V	Back EMF constant,
n=1	Gear ratio
r=0.075 m,	Wheel radius
J_{equiv} kg.m^2	The total equivalent inertia,
b_{equiv} N.m.s	The total equivalent damping,
L=0.4 m	The distance between wheels centers
K_{tac}=12/6.667=1.8 rad/s	Tachometer constant,
ω=speed/r, rad/s	=0.5/0.075=6.667 ,also 1/0.075=13.3333
T_{shaft}	The torque produced by motor
η	The transmission efficiency
T_{shaft}	The torque, produced by the driving motor

Nominal values for Solar vehicle platform معايير التصميم الميكانيكي و الديناميات

M,m, Kg	The mass of the mobile platform
C_d =0.80	Aerodynamic drag coefficient
C_L	The coefficient of lift, with values(C_L to be 0.10 or 0.16),
Cr=0.5	The rolling resistance coefficient
ρ , kg/m^3	The air density at STP, ρ =1.25
a, m/s^2	Platform linear Acceleration
G, m/s^2	The gravity acceleration
N, m/s	The vehicle linear speed.
α, Rad	Road slope or the hill climbing angle
B	Mobile platform's reference area
L	lift,
A_f	Platforms frontal area

K_P	Proportional gain
K_I	Integral gain
Z_0	PI controller zero
P_m	The power available in the wheels of the vehicle.
T_{Total}	The total resistive torque, the torque of all acting forces.
Solar cell parameters معايير الخلية الكهروضوئية	
Isc=8.13 A , 2.55 A , 3.8	The short-circuit current, at reference temp 25°C
I A	The output net current of PV cell (the PV module current)
I_{ph} A	The light-generated photocurrent at the nominal condition (25°C and 1000 W/m^2),
E_g : =1.1	The band gap energy of the semiconductor
$V_t = KT / q$	The thermo voltage of cell. For array :($V_t = N_s KT / q$)
I_s ,A	The reverse saturation current of the diode or leakage current of the diode
Rs=0.001 Ohm	The series resistors of the PV cell, it they may be neglected to simplify the analysis.
Rsh=1000 Ohm	The shunt resistors of the PV cell
V	The voltage across the diode, output
q=1.6e-19 C	The electron charge
B_o=1000 W/m^2	The Sun irradiation
β =B=200 W/m^2	The irradiation on the device surface
Ki=0.0017 A/◦C	The cell's short circuit current temperature coefficient
Vo= 30.6/50 V	Open circuit voltage
Ns= 48 , 36	Series connections of cells in the given photovoltaic module
Nm= 1 , 30	Parallel connections of cells in the given photovoltaic module
K=1.38e-23 J/oK;	The Boltzmann's constant
N=1.2	The diode ideality factor, takes the value between 1 and 2
T= 50 Kelvin	Working temperature of the p-n junction
T_{ref}=273 Kelvin	The nominal reference temperature
Buck converter parameters معايير المحول	
C=300e-6; 40e-6 F	Capacitance
L=225e-6 ; .64e-6 H	Inductance
Rl=RL=7e-3	Inductor series DC resistance
rc= RC=100e-3	Capacitor equivalent series resistance, ESR of C ,
V_{in}= 24 V	Input voltage
R=8.33; 5 Ohm;	Resistance
Ron=1e-3;	Transistor ON resistance
KD=D= 0.5, 0.2,	Duty cycle
Tt=0.1 , 0.005	Low pass Prefilter time constant
V_L	Voltage across inductor
I_C	Current across Capacitor