

التحكم التناسبي التكاملي التفاضلي (PID) بمحركات التيار المستمر

الدكتور محسن داود*

(تاريخ الإيداع 8 / 1 / 2008. قُبل للنشر في 31/12/2008)

□ الملخص □

إن اختيار خوارزمية التحكم المناسبة للنظم الديناميكية هو دوما الحل الوسط بين جودة التحكم وكلفته، وبالتالي اختيار البنية الأبسط للتحكم. من المهم الملاحظة أن خوارزميات التحكم التي تحتوي على متحكمات من النوع PID تستخدم بشكل واسع في نظم التحكم بمحركات التيار المستمر وهي أكثر الطرق فائدة في تحقيق متطلبات التحكم، إلا أنها تتضمن بعض أوجه القصور. يقدم البحث تحليلا شاملا لاستجابة أنظمة التحكم بمحركات التيار المستمر بوجود إشارات التشويش وتغير بارامترات النظام. يظهر البحث مزايا ومساوئ استخدام المتحكمات من النوع PID في حلقة التحكم المغلقة بمحركات التيار المستمر.

يوفر نموذج المحاكاة لمحرك التيار المستمر الوارد في البحث إمكانية التحليل السريع للسلوك الديناميكي للمحرك. يورد البحث مخططات المحاكاة لخوارزميات التحكم بمحركات التيار المستمر، التي تستخدم متحكمات مختلفة في برنامج Matlab.

الكلمات المفتاحية:

PID controllers, D.C motors control methods, time response, Performance

* أستاذ مساعد - قسم هندسة الميكاترونك - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

The Proportional, Integral, and Differential (PID) Control of Direct Current (DC) Motors

Dr. Mohsen Daoud*

(Received 8 / 1 / 2008. Accepted 31 / 12 / 2008)

□ ABSTRACT □

The choice of an appropriate control algorithm for dynamic systems has always been a compromise between the quality of control and its cost- hence choosing the simplest control structure. It is worth noting that PID algorithms are widely used in the control systems of DC motors; they are the most useful methods adopted to satisfy control requirements, but they have their own shortcomings. This study offers a comprehensive analysis of the response of DC motor control systems along with the presence of disturbance signals and variation in system parameters. This research shows the advantages and disadvantages of applying PID controllers to the closed-loop control of the DC motor. The DC motor simulation model in this research provides a fast analysis of motor dynamic behavior. In this study, there is a matlab simulation diagram of DC motor control algorithms.

Keywords: PID controllers, DC motor control methods, time response, performance

* Associate Professor, Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تحتاج الأنظمة الصناعية الحديثة التي تستخدم محركات التيار المستمر إلى التحكم بسرعة هذه المحركات في ظروف التشويش والتغير في بارامترات نظام التحكم، وبالتالي يجب أن تضمن خوارزميات التحكم بمحركات التيار المستمر الحصول على استجابة جيدة، وأن تكون قادرة على مقاومة الآثار التي تتركها إشارات التشويش الخارجية (عزوم الحمولة) على سرعة هذه المحركات، أي الحصول على قيم دقيقة للسرعة والموضع بغض النظر عن إشارات التشويش (أليات المؤازرة) .

هناك طرق عديدة للتحكم بمحركات التيار المستمر قادرة على تحقيق المتطلبات السابقة. تعتمد طريقة التحكم الخطي التربيعي Linear quadratic control method [1] على استخدام طريقة فراغ الحالة للحصول على التحكم الأمثل بمحركات التيار المستمر، وبالتحديد على نظرية توقيع الأقطاب [2]. يعتبر اختيار المواقع المثلى للأقطاب في هذه الطريقة مهمة صعبة لها حساباتها الخاصة. تتميز طريقة التحكم الخطي التربيعي بقدرتها على تأمين التوافق بين الحصول على الاستجابة الجيدة للنظام وجهد التحكم المبذول، إلا إن بعض العوامل تحد من استخدام هذه الطريقة عند التحكم بمحركات التيار المستمر. إن الصعوبة في اختيار المصفوفات التربيعية Q,R ، والحاجة إلى التقريب الخطي لنموذج الحساب الرياضي، وأيضاً الأخذ بعين الاعتبار أن التغذية العكسية هنا تتم عبر قياس متغيرات الحالة أو عبر مراقب للحالة هي من أهم هذه العوامل.

هناك أيضاً خوارزميات التحكم التكيفي adaptive control algorithms [3,4] ، التي تعيد تشكيل نفسها عند تغير بارامترات الأداء لمحركات التيار المستمر وبالتالي نحصل على أداء جيد واستقرار مقبول، إلا أن استخدام طريقة التحكم التكيفي في التحكم بمحركات التيار المستمر يحتاج إلى حسابات كثيرة وكلفة كبيرة، وهناك أيضاً صعوبة في التصميم مما يحد من استخدام هذه الطريقة.

سننتقل في هذا البحث إلى دراسة استخدام خوارزميات التحكم التناسبي التكاملية التفاضلية PID في التحكم بمحرك التيار المستمر على اعتبار أن جهد المتحرض وعزم الحمولة (التشويش) هي إشارات الدخل.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في توفير نموذج محاكاة حاسوبي لمحركات التيار المستمر يتيح الحصول على الحالات العابرة (الديناميكا) لهذه المحركات وتحليلها. من الأهمية بمكان أيضاً تحديد مزايا ومساوئ استخدام المتحكمات من النوع PID في حلقات التحكم بسرعة هذه المحركات ، الأمر الذي يتيح الاختيار السليم لخوارزمية التحكم بسرعة محركات التيار المستمر .

طرائق البحث ومواده:

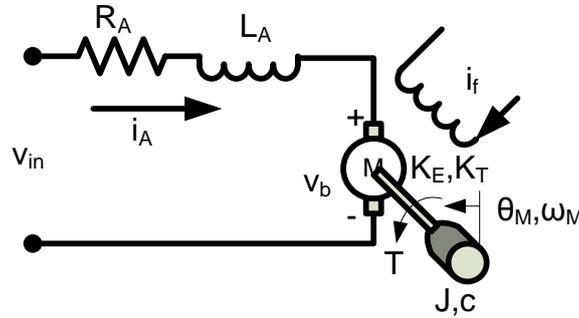
لقد اعتمدنا في البحث طرق التحليل الرياضي لعمل محركات التيار المستمر، وطريقة محاكاة أنظمة التحكم بسرعة هذه المحركات في برنامج Matlab.

النموذج الرياضي لمحركات التيار المستمر:

إن محرك التيار المستمر هو جهاز يحتوي على مجموعة من العناصر تعمل معا لتنفيذ مهمة محددة. فهو يقبل الجهد والتيار كإشارات دخل ويعطي على الخرج سرعة دوران وعزم على المحور. من المهم عند وضع النموذج الرياضي للمحرك تحديد شروط دوران محوره بسرعة أكبر، وممانعة تأثير حمل التشويش الذي يطبق بشكل فجائي على المحرك، وشروط الاستجابة للتغيرات اللحظية في الدخل. إن لمحرك التيار المستمر المبين على الشكل (1) سلوكاً ديناميكياً يمكن أن يمثل بمعادلات رياضية معقدة تشكل النموذج الرياضي للمحرك تكون على الصورة:

$$L_A \frac{d i_A}{dt} + R_A \cdot i_A + K_E \cdot \omega = v_{in} \quad (1)$$

$$J \frac{d\omega}{dt} + c \cdot \omega - K_T \cdot i_A = -T_d$$



الشكل (1) محرك تيار مستمر.

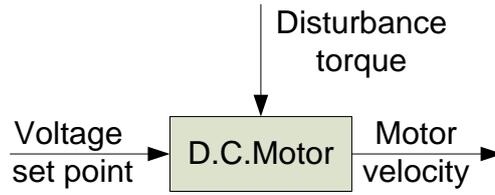
وبالتالي هناك معادلتان، واحدة كهربائية وأخرى ميكانيكية تصف السلوك الديناميكي لمحرك التيار المستمر. إذا أهملنا عزم التشويش نستطيع دمج المعادلتين السابقتين لنحصل على دالة تحويل واحدة محددة بالشكل:

$$\frac{\Omega(s)}{v_{in}(s)} = \frac{K_T}{J \cdot L_A \cdot s^2 + (R_A \cdot J + c L_A) \cdot s + (c \cdot R_A + K_E \cdot K_T)} \quad (2)$$

أو معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية من الشكل

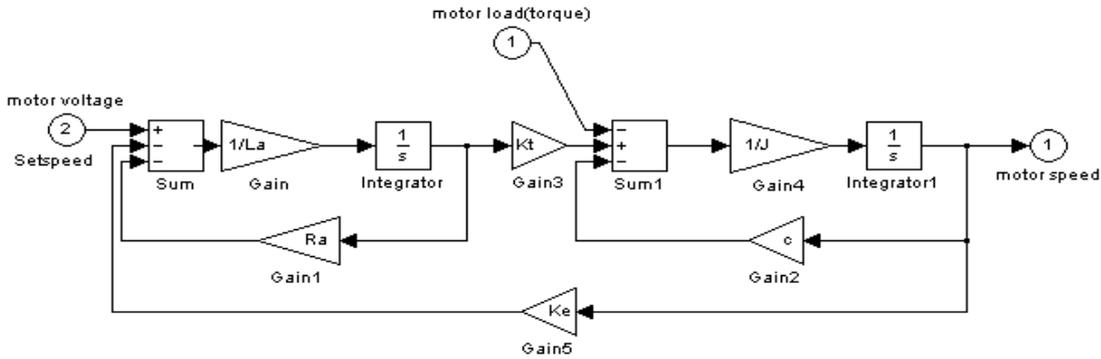
$$\left(\frac{L_A \cdot J}{c \cdot R_A + K_E \cdot K_T} \right) \cdot \frac{d^2 \omega}{dt^2} + \left(\frac{R_A \cdot J + c L_A}{c \cdot R_A + K_E \cdot K_T} \right) \cdot \frac{d\omega}{dt} + \omega = \left(\frac{K_T}{c \cdot R_A + K_E \cdot K_T} \right) \cdot v_{in} \quad (3)$$

إلا أننا نحتاج إلى تحليل تأثير عزم التشويش على السلوك الديناميكي للنموذج، وبالتالي نعتبره كإشارة دخل ثانية للمحرك، حيث يبين المخطط الصندوقي الوارد على الشكل (2) تمثيل ذلك مع الإبقاء على المعادلات (1) كنموذج رياضي لمحرك التيار المستمر.



الشكل (2) المخطط الصندوقي لنموذج محرك تيار مستمر.

سنستخدم Matlab simulink package للحصول على الخواص الديناميكية لمحرك التيار المستمر عند إشارات دخل مختلفة، حيث إن المخطط الوارد على الشكل (3) يمثل نموذج الحساب الرياضي للمحرك في برنامج Matlab بحسب جملة المعادلات (1). في هذا المخطط تمثل المداخل 1,2 جهد الدخل و عزم التشويش على التوالي، بينما يمثل الخرج سرعة الدوران الموافقة لمحور المحرك.



الشكل (3) نموذج حساب محرك التيار المستمر بواسطة Matlab

أنظمة التحكم بمحركات التيار المستمر:

1- النظام ذو الحلقة المفتوحة Open-loop system

يسمى النظام الوارد على الشكل (2) بالنظام ذو الحلقة المفتوحة Open-loop system، والتحكم بمحرك التيار هنا ينجز عبر تغيير جهد المتحرض. في هذا النوع من التحكم يتبع خرج النظام (سرعة دوران محور المحرك) الإشارة المطبقة على الدخل ولا يكون النظام قادراً على تعويض أثر عزم الحمل على سرعة الدوران (إشارة التشويش)، مما يسبب تباطؤ النظام والعمل عند سرعة مستقرة أقل من السرعة الأسمية.

إذا أخذنا محرك تيار مستمر بالبارامترات ذو معطيات الكتالوج التالية [5]:

$$J=0.02 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2, L_A = 0.5 \text{ H}, R_A=2.0 \Omega, C=0.2 \text{ N.m.s}, K_e=0.1, K_t = 0.1, P_n=288\text{W}$$

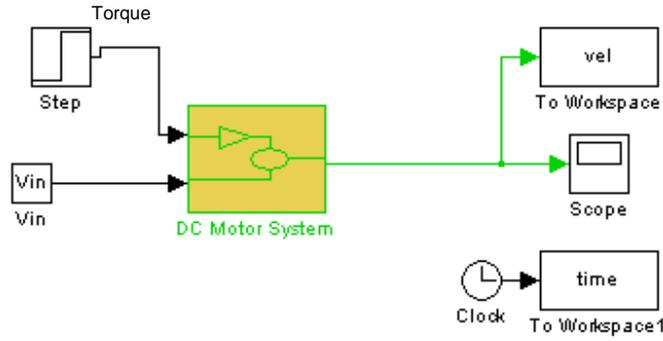
$$, V_n=24 \text{ V}, n_n=115\text{rpm}, \omega_n = \frac{2\pi \cdot n_n}{60} = \frac{6.28 \times 115}{60} = 12 \text{ rad/sec}$$

فإن دالة التحويل لمحرك التيار المستمر تكون:

$$\frac{\Omega(s)}{V_{in}(s)} = \frac{0.1}{0.01s^2 + 0.14s + 0.41}$$

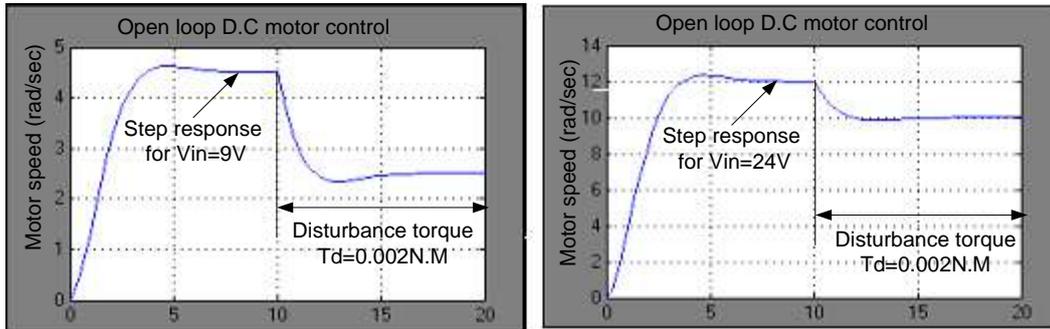
وهي تمثل دالة تحويل نظام من الدرجة الثانية (نظام من النوع صفر) [2]. ومخطط الحساب بواسطة Matlab

كما في الشكل (4).



الشكل (4) نموذج حساب الحلقة المفتوحة لمحرك التيار المستمر بواسطة Matlab

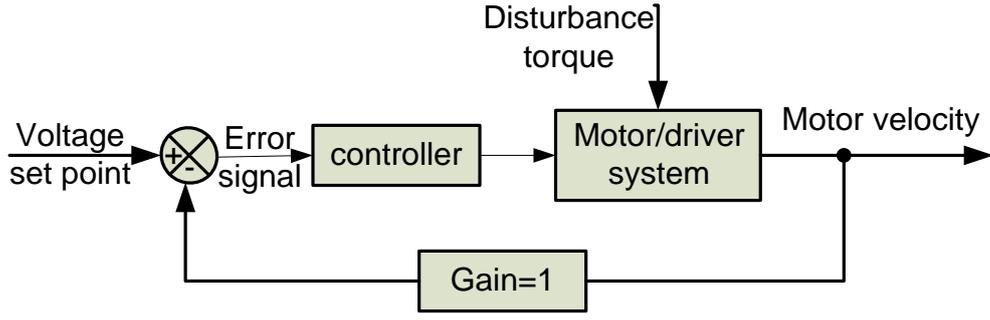
وتكون الاستجابة النموذجية لجهد الخطوة $V_{in}=9V, 24V$ عند $t=0$ s و $T_d=0.002$ N.m عند $t=10$ s. الذي يعتبر عزم تشويش وليس عزم حمولة حيث إننا نناقش هنا أنظمة العمل الديناميكية وليس أنظمة العمل المستقرة كما في الشكل (5)، الذي يظهر بوضوح أن هذا النوع من التحكم يستخدم فقط لزيادة مقدار استجابة النظام ويلاحظ هبوط نسبي مؤني أكبر للسرعة عند العمل بتوتر أقل من الاسمي (9V) (نظام عمل مستقر يختلف عن نظام العمل الاسمي) وعند نفس الحمولة البالغة %1.01 من الحمولة الاسمية للمحرك $T_n=0.973.P_n/n=0.2N.M$.



الشكل (5) الاستجابة النموذجية للحلقة المفتوحة لمحرك التيار المستمر.

2- النظام ذو الحلقة المغلقة Closed-loop system

كما مر معنا سابقاً، لا يمكن لنظام التحكم ذي الحلقة المفتوحة أن يلاحق قيمة الدخل المرجعي (الخرج المرغوب) وأن يقلل من الحساسية لعزم التشويش. الحل هنا يكون باستخدام نظام التحكم ذي الحلقة المغلقة (التغذية العكسية للخرج) كما يوضح الشكل (6). يغذى الخرج عكسياً إلى الدخل في هذا النظام لتتم مقارنته في عنصر المقارنة مع الدخل المرجعي وتغذى إشارة الفرق (الخطأ) إلى مدخل المتحكم، الذي بدوره يعمل على جعل إشارة الخطأ تنتهي إلى الصفر.



الشكل (6) نظام التحكم ذو الحلقة المغلقة لمحرك التيار المستمر.

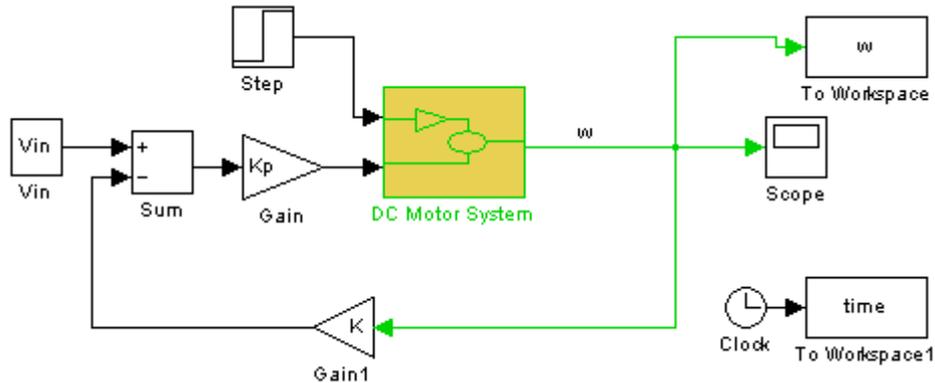
وهنا تسمى طريقة التحكم تبعاً لنوع المتحكم المستخدم، حيث نستطيع أن نميز عدة طرق للتحكم بالتغذية العكسية (الحلقة المغلقة) من أهمها:

- التحكم التناسبي. Proportional control.
- التحكم التناسبي التكاملي (PI) Proportional plus integral control.
- التحكم التناسبي التفاضلي (PD) Proportional plus derivative control.
- التحكم التناسبي التكاملي التفاضلي (PID) Proportional plus integral and derivative control.

وفيما يلي لتبيان مزايا ومساوئ استخدام طرق التحكم السابقة سندرس استجابة نظام التحكم بمحركات التيار المستمر لكل طريقة على حده:

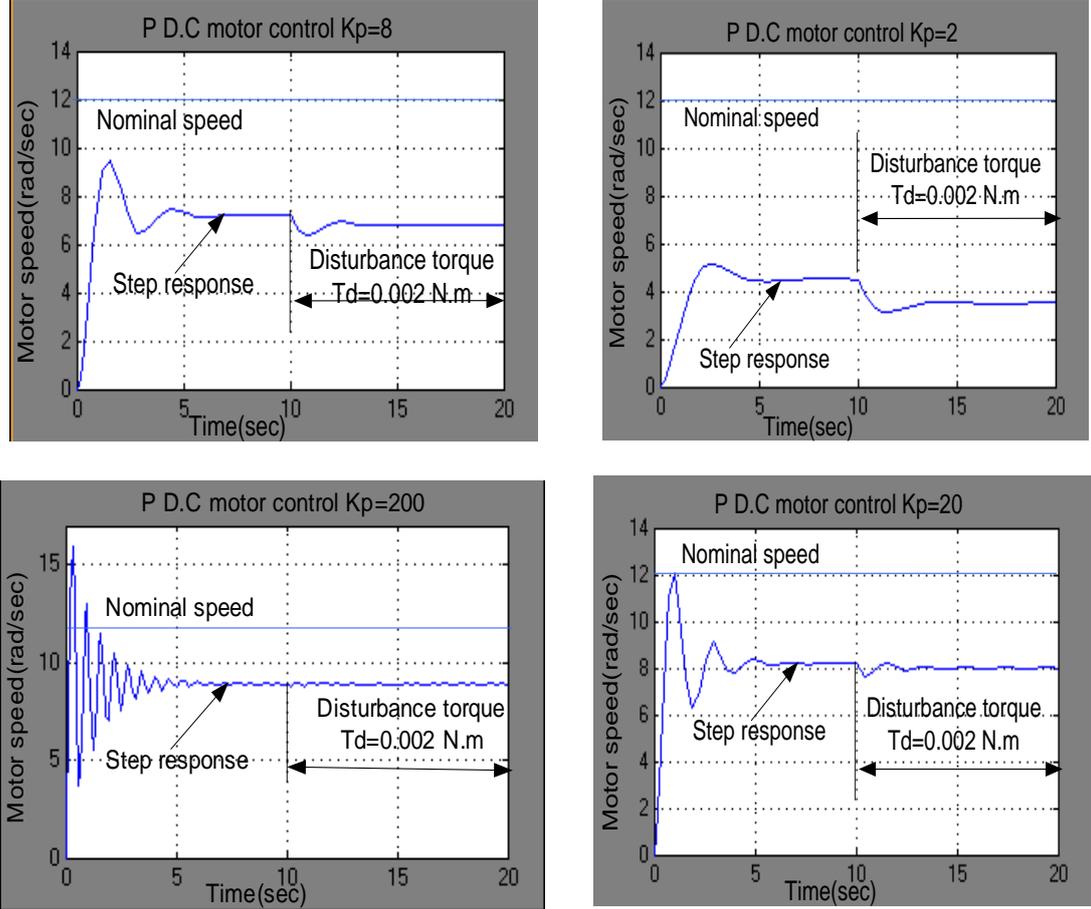
1.2- التحكم التناسبي بمحركات التيار المستمر (P control) D.C.Motors proportional control

إن الغاية من التغذية العكسية هي تصحيح الفرق بين الخرج المطلوب والفعلي، حيث تنتهي عملية التصحيح للخطأ (الفرق بين الدخل المرجعي والخرج الفعلي) عند وصول الخرج إلى القيمة المرغوبة. في هذه الحالة يضاف متحكم تناسبي إلى المسار الأمامي للحلقة المفتوحة بدالة تحويل ثابتة كما في الشكل (7)، الذي يبين مخطط المحاكاة للتحكم التناسبي بمحرك التيار المستمر. يمكن اعتبار التحكم التناسبي كإشارة تصحيح كبيرة عندما يكون الاختلاف بين الدخل المرجعي والخرج الفعلي كبيراً، ويعتبر كإشارة تصحيح صغيرة عندما يكون الاختلاف السابق صغيراً جداً.



الشكل (7) التحكم التناسبي بمحركات التيار المستمر.

تبين الأشكال (8) نتائج المحاكاة للتحكم التناسبي لمحركات التيار المستمر عند نفس البارامترات الواردة سابقا للمحرك عندما يأخذ الريح التناسبي القيم التالية: ($K_p=2,8,20,200$) باعتبار أن T_d هو عزم تشويش (الزيادة عن عزم الحمولة الاسمي) وليس عزم حمولة بحد ذاته لأننا ندرس هنا أنظمة العمل الديناميكية وليس أنظمة العمل المستقرة (عند حمولات 100%,75%,50%,25%) وهذا ينطبق على بقية المتحكمات التالية.



الشكل (8) نتائج المحاكاة للتحكم التناسبي لمحركات التيار المستمر.

الجدول (1) بارامترات الاستجابة الزمنية لحلقة التحكم التناسبي بسرعة محركات التيار المستمر عند تغيير معامل الريح التناسبي.

الريح التناسبي للحلقة المغلقة	زمن الصعود (ثانية) Rise Time	التجاوز للأعظمي % Overshoot%	زمن التخميد (ثانية) Settling Time	الخطأ الستاتيكي Steady-State Error
$K_p=2$	1.2	14%	7	22%
$K_p=8$	0.6	32%	6.2	5.5%
$K_p=20$	0.45	46%	5.7	2.4%
$K_p=200$	0.25	77%	5.22	1.5%

من الأشكال السابقة والجدول (1) نرى أن التأثيرات الرئيسية لزيادة ربح المتحكم التناسبي الموجود في حلقة التحكم المغلقة على استجابة محركات التيار المستمر (السرعة) تتلخص بما يلي:

- تصغير زمن الصعود Time rise.
- تقليل خطأ الحالة المستقرة e_{ss} (لكن بدون حذفه).
- هناك احتمال أن تصبح الاستجابة مهتزة (أو حتى غير مستقرة).

إن زيادة ربح المتحكم التناسبي في حلقة التحكم بمحركات التيار المستمر يساهم في زيادة التردد الطبيعي المخمد ω_d مما يؤدي إلى تناقص زمن الصعود $t_r = \frac{\pi - \beta}{\omega_d}$ ، أما إشارة الخطأ الستاتيكي فتكون

باعتبار محرك التيار المستمر يمثل نظاماً من النوع صفر فإن الخطأ الستاتيكي يعطى

$$E(s) = \frac{1}{(1 + K_p \cdot G)}$$

$$e_{ss} = \frac{1}{(1 + K_p)}$$

حيث:

K_p - معامل الخطأ للموضع.

من علاقة الخطأ نرى أن زيادة ربح المتحكم التناسبي تقلل من قيمة خطأ الحالة المستقرة ولكن دون أن تجعله يساوي الصفر.

إن زيادة ربح المتحكم التناسبي تساهم في زيادة قيمة الجزء الحقيقي لدالة تحويل محرك التيار المستمر وهذا يخفض احتياطي الاستقرار بالمطال إلى أن نصل إلى الحالة المهتزة وبعدئذ إلى حالة عدم الاستقرار (زيادة تجاوز الهدف الأعظمي). وأخيراً من الممكن تحسين أداء حلقة التحكم التي تستخدم المتحكم التناسبي بإضافة متحكمات تكاملية وتفاضلية، حيث أن هذه المتحكمات لا تستخدم بمفردها بل مع المتحكم التناسبي.

2.2- التحكم التناسبي التكاملي التفاضلي بمحركات التيار المستمر

D.C. Motors proportional plus integral and derivative control (PID control)

تستخدم المتحكمات من النوع PID في حلقة التحكم المغلقة لتلافي الآثار السلبية التي يتركها استخدام المتحكمات التناسبية على استجابة الحلقة وتحقيق المواصفات المرغوبة لهذه الاستجابة. تتكون المتحكمات PID من ثلاثة حدود (تناسبي، تكاملي، تفاضلي)، حيث يعطى المتحكم PID على الصورة:

$$u = K_p \cdot e + K_I \int e \cdot dt + K_D \frac{de}{dt}$$

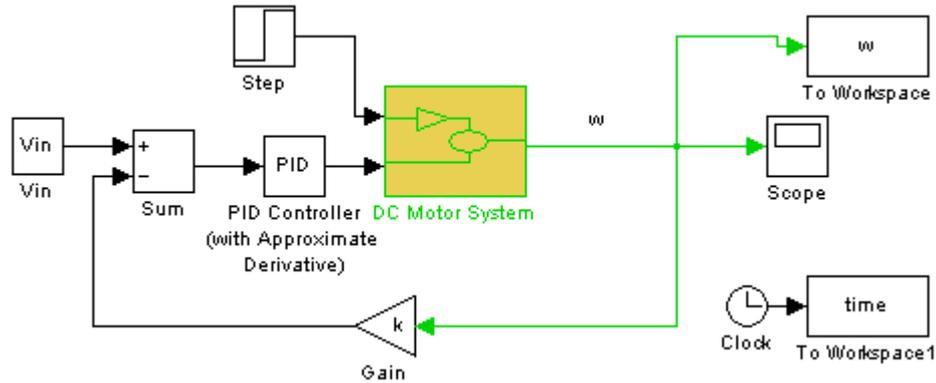
حيث:

-u إشارة التحكم المرسل إلى موضوع التحكم.

-e إشارة الخطأ (دخل المتحكم).

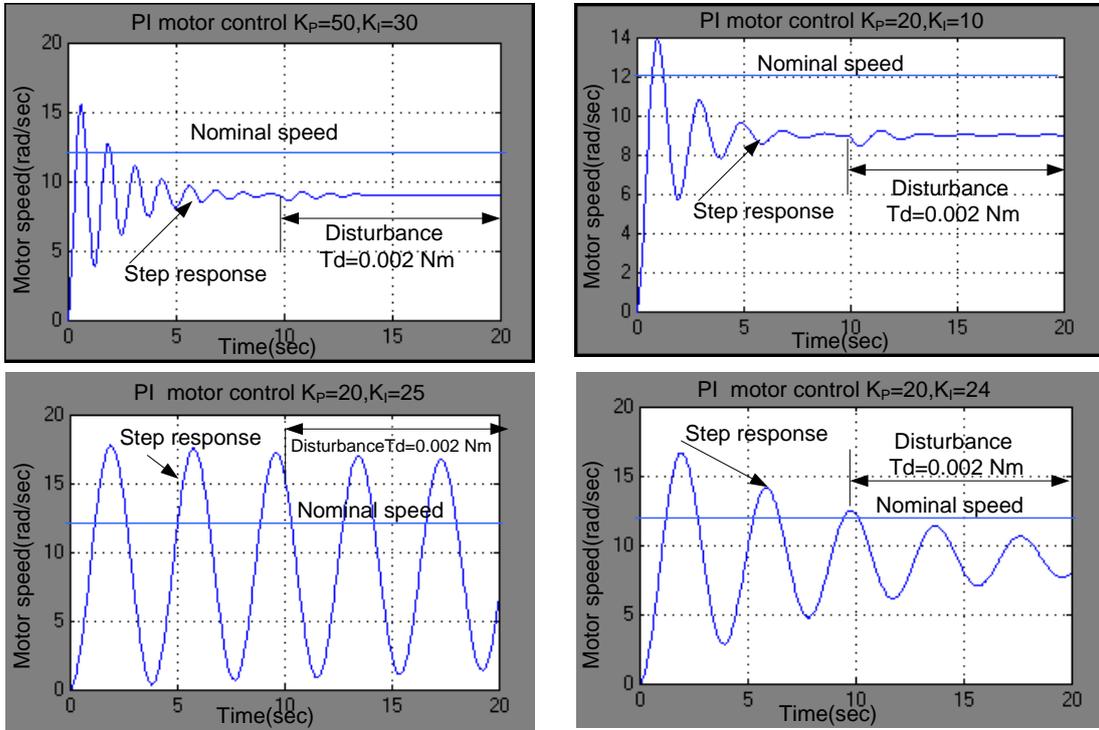
K_p, K_I, K_D - معاملات الربح التناسبي، التكاملي، التفاضلي.

الجدير بالذكر إن ثوابت الربح للمتكم PID متعلقة ببعضها البعض، بحيث أن أية زيادة في أحدها يمكن أن تترك أثراً هاماً على قيمة الثابتين الآخرين. إذا استخدمنا نموذج محرك التيار المستمر يمكننا الحصول على استجابة النظام وتحليلها باستخدام متحكمات من الأنواع PID, PD, PI بمساعدة Matlab وفقاً لمخطط النمذجة الوارد على الشكل (9).



الشكل (9) مخطط المحاكاة للتحكم PID لمحركات التيار المستمر.

يبين الشكل (10) استجابة حلقة التحكم المغلقة بسرعة محرك التيار المستمر عند استخدام المتحكم PI عند عدم وجود الحد التفاضلي وأخذ $(K_p=20,50), (K_i=10,24,25,30)$ للمحرك السابق.



الشكل (10) استجابة محركات التيار المستمر عند استخدام تحكم PI.

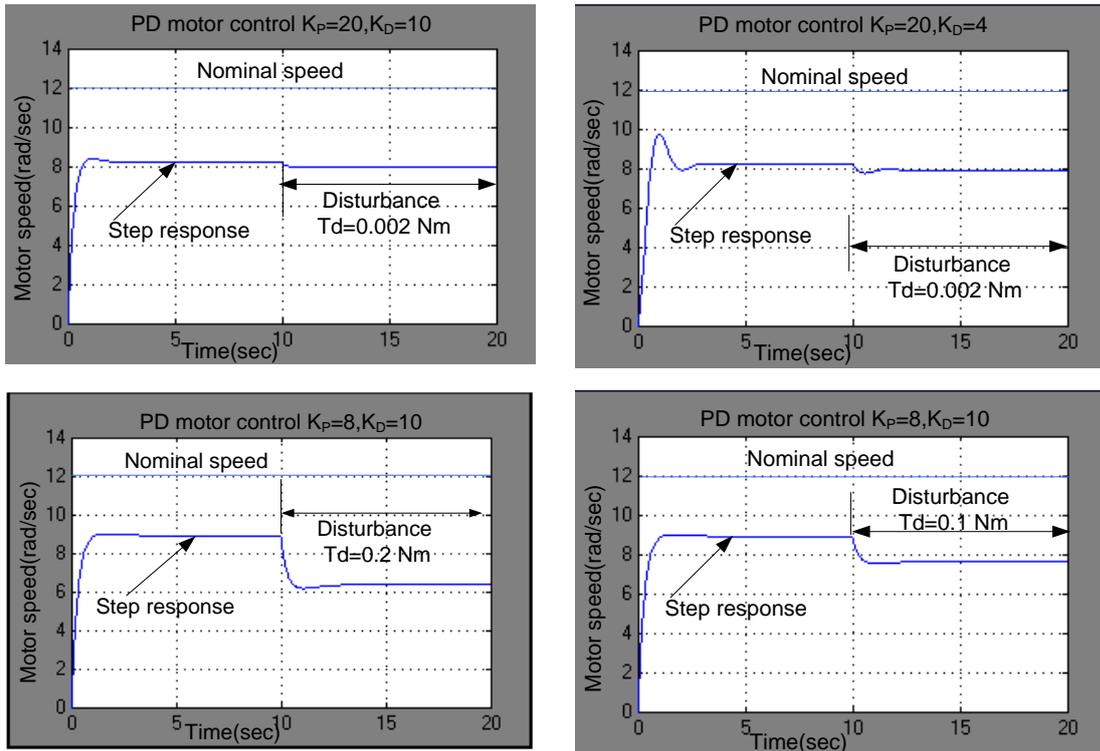
الجدول (2) بارامترات الاستجابة الزمنية لحلقة التحكم التناسبي التكاملي بسرعة محركات التيار المستمر عند تغيير معامل الربح التناسبي والتكاملي أو تغيير معامل الربح التفاضلي فقط.

الربح التناسبي للحلقة المغلقة	زمن الصعود (ثانية) Rise Time	التجاوز الأعظمي % Overshoot%	زمن التخميد (ثانية) Settling Time	الخطأ الستاتيكي Steady-State Error
$K_p=20, K_i=10$	0.5	55%	8	0
$K_p=20, K_i=24$	0.42	86%	-	-
$K_p=20, K_i=25$	0.3	100%	-	-
$K_p=50, K_i=30$	0.39	68%	9.3	0

من الشكل (10) والجدول (2) يمكن أن نرى أن استخدام متحكمات من النوع PI في الحلقة المغلقة للتحكم بسرعة دوران محرك مستمر يساهم في:

- إنقاص زمن الصعود أي أن الاستجابة تصبح أسرع.
- زيادة تجاوز الهدف الأعظمي وزمن التخامد.
- يلغي تماماً وجود الخطأ في الحالة المستقرة.

يبين الشكل (11) استجابة حلقة التحكم المغلقة بسرعة محرك التيار المستمر عند استخدام المتحكم PD عند عدم وجود الحد التكاملي وأخذ $(K_P=20,20), (K_D=4,10)$ للمحرك السابق.



الشكل (11) استجابة محركات التيار المستمر عند استخدام تحكم PD .

الجدول (3) بارامترات الاستجابة الزمنية لحلقة التحكم التناسبي التفاضلي بسرعة محركات التيار المستمر عند زيادة معامل الريح التناسبي والتفاضلي و زيادة عزم حمولة المحرك.

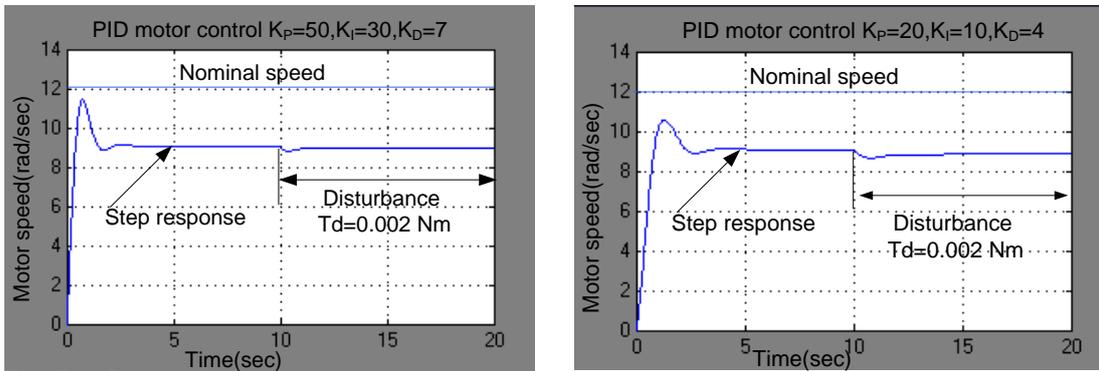
الريح التناسبي للحلقة المغلقة	زمن الصعود(ثانية) Rise Time	التجاوزالأعظمي % Overshoot%	زمن التخامد(ثانية) Settling Time	الخطأ الستاتيكي % Steady-State Error%
$K_P=20, K_D=4$	0.5	23%	3.38	2.3%
$K_P=50, K_D=7$	0.39	2.4%	3.11	2.3%
$K_P=8, K_D=10$ $T_d=0.1N.m$	0.25	0%	0.58	13.34%
$K_P=8, K_D=10$ $T_d=0.2N.m$	0.3	0%	0.58	31.1%

من الشكل (11) والجدول (3) نرى أن استخدام متحكمات من النوع PD في الحلقة المغلقة للتحكم بسرعة دوران محرك مستمر يساهم في:

- إنقاص تجاوز الهدف الأعظمي وزمن التخماد.
- وجود خطأ حالة مستقرة محدد.

ونرى أيضا أن زيادة قيمة مؤثر التشويش (عزم الحمولة) يزيد من الخطأ الستاتيكي مما يجعل مقاومة هذا المتحكم للتشويش الخارجي سيئة.

يبين الشكل (12) استجابة حلقة التحكم المغلقة بسرعة محرك التيار المستمر عند استخدام المتحكم PID عند $(K_P=20, 50)$, $(K_I=10, 30)$, $(K_D=4, 7)$ للمحرك السابق.



الشكل (12) استجابة محركات التيار المستمر عند استخدام تحكم PID .

من الشكل (12) نرى أن استخدام متحكمات من النوع PID في الحلقة المغلقة للتحكم بسرعة دوران محرك مستمر يساهم في:

- تسريع زمن الصعود.
- إنقاص زمن التخماد.
- إنقاص تجاوز الهدف الأعظمي (وفقا لقيمة K_D).
- إلغاء خطأ الحالة المستقرة (وفقا لقيمة K_I).

مما سبق نستنتج أن توليف بارامترات المتحكمات من النوع PID بشكل جيد يؤدي إلى الحصول على مواصفات استجابة جيدة لمحركات التيار المستمر، حيث أنه يوجد طرق عديدة لتوليف بارامترات المتحكم PID نتيج الحصول على استجابة مثالية من أهمها طرق Ziegler-Nichols, Cohen-Coon، والطرق البرمجية [6].

و بهدف توفير المقارنة بين المتحكمات المختلفة السابقة نورد الجدول التالي، الذي يبين تأثير تغيير بارامترات الحلقة المغلقة للمتكمات المختلفة PID, PD, PI, P على استجابة تلك الحلقة وبالتالي توفير المقارنة بين هذه المتكمات عندما تستخدم في حلقة التحكم المغلقة.

الجدول (3) مقارنة تأثير زيادة بارامترات الحلقة المغلقة للمتحكمات P,PI,PD,PID على استجابة الحلقة .

الخطأ الستاتيكي Steady-State Error	زمن التخماد Settling Time	تجاوز الهدف الأعظمي Overshoot	زمن الصعود Rise Time	زيادة بارامترات متحكمات الحلقة المغلقة
يتناقص	تغير صغير	يتزايد	يتناقص	K_P
ينعدم	يتزايد	يتزايد	يتناقص	K_I
تغير بسيط	يتناقص	يتناقص	تغير صغير	K_D

وأخيرا إذا كان استخدام أي من المتحكمات P,PI,PD يفى بمتطلبات التحكم فلا حاجة لاستخدام المتحكمات من النوع PID.

الاستنتاجات والتوصيات:

إن استخدام طريقة التحكم التناسبي التكامل التفاضلي بمحركات التيار المستمر يخضع للمقارنة بين مساوي ومحاسن أو مزايا هذه الطريقة، حيث أثبتت الدراسة أن خوارزمية التحكم تتميز بما يلي:

1. البنية البسيطة مقارنة ببقية خوارزميات التحكم (التكيفية، الخطية التريعية مثلا).
2. إمكانية التوليف الآلي لبارامترات المتحكم PID (تغيير المعاملات K_P, K_I, K_D) وفقا لطرق التوليف المختلفة (زيغلر - نيكولز، كوهن - كون مثلا...) والحصول على استجابة مثالية عن طريق استخدام دارات التضخيم المختلفة والدارات التي تقدم أقطابا أو أصفارا إلى دالة تحويل نظام التحكم. إلا أن ما يحد من استخدام هذه الطريقة:

1. إمكانية إشباع المتحكم إذا كان الدخل المرجعي أكبر من عزم المحرك (تصرف النظام كحلقة تحكم مفتوحة) بفعل وجود الحد التكامل الذي يراكم قيم الخطأ بمرور الزمن وحتى وصول النظام إلى الحالة المهتزة الشكل (10) والجدول (2).

2. تضخيم تأثير التشويش على الخرج بوجود الحد التفاضلي الذي يلعب دور المضخم، حيث يتجلى ذلك بظهور خطأ حالة مستقرة محدد (قيمه تابعة لقيمة التشويش ذاته) وهذا ما يشير إليه بوضوح الشكل (11) والجدول (3).

المراجع:

-
- [1] FRANKLIN G.F., POWEL J.D., EMAMI-NAEINI A., *Feedback control of dynamic systems*. Addison-Wesley P.C., USA. 1986.
- [2] KATSUHIKO OGATA, *Modern control engineering. Third edition*. Prentice Hall, USA. 1997.
- [3] FRANKLIN G.F., POWEL J.D., WORKMAN M.L., *Digital control of dynamic systems*. Addison-Wesley Longman Inc, USA. 1998,
- [4] VTOROV V.B., KALMYKOV A.N., *Some questions of design and practical implementation of signal type adaptation systems*. Energoatomizdat. Moscow. 1997.
- [5] MATLAB, SIMULINK Package, Toolboxes, control system Demos.
- [6] ASTROM K., HAGGLUND T., *PID controllers: theory, design, tuning*. USA. ISBN 1-55617-1995.516-7.