

فوائد استخدام حلقة التغذية الأمامية مع حلقة التغذية العكسية في أنظمة التحكم بالحركة:

Benefits of using the feedforward with the feedback in motion control systems:

## 1 مقدمة:

شهد هذا العصر تطوراً كبيراً في تقنيات التحكم الصناعي، وكان للتحكم بالحركة Motion control نصيباً وافراً من هذا التطور. حيث تتسابق شركات تصنيع هذه الأنظمة لوضع مفاهيم التحكم الصناعي النظرية في حيز التطبيق، ومن هذه المفاهيم مفهوم التغذية العكسية FeedBack والفوائد من إضافة أنظمة التغذية الأمامية Feedforward إليها. ومع وجود كلفة عالية لاستخدام هذه التقنيات إلا أن لهذا التوجه ما يبرره، حيث إن زيادة إنتاجية المنشآت الصناعية والخفض الواضح في الكلفة وزيادة دقة وجودة الإنتاج هي من أهم مكاسب هذه الأنظمة. إن حاجة الاقتصاد السوري، ولاسيما الجانب الصناعي منه، للتطور في ظل هذه المناخات الاقتصادية الضاغطة، والحاجة لزيادة القدرة التنافسية للمنتجات المحلية، وضعت الصناعيين أمام ضرورة تطوير خطوط الإنتاج بكافة مراحلها، مع الأخذ بعين الاعتبار أن الكلفة المتوقعة لعملية التطوير هي جزء لا يتجزأ من الميزانية الاستثمارية للمشاريع، مع عدم نسيان أن زمن الاسترداد لهذه التكاليف لن يكون كبيراً مما يعتبر دافعاً مغرياً للبدء بعملية التطوير الشاملة.

## 2 تعريف أنظمة التحكم بالحركة (Motion control Systems):

التحكم بالحركة (Motion Control): في الحقيقة إن مفهوم التحكم بالحركة هو مفهوم واسع، وله تعريفات عديدة، ويمكن أن نعرفه بأنه عملية التحكم بكل من الموضع والسرعة. وأما نظام التحكم الذكي (Intelligent Motion control system): فهو النظام الذي يتخذ بنفسه القرار متى وإلى أين يتحرك، وفقاً للظروف المحيطة الواقعية، وليس الظروف النظرية المتوقعة.

في الحقيقة هناك العديد من الفوائد على العملية الإنتاجية ككل من استخدام هذا النوع من الأنظمة. وهذه ما يبرر البحوث العديدة التي تجرى في دول العالم المتقدم حول هذه المواضيع بالإضافة للتركيز الشديد من قبل المنتجين على زيادة أداء هذه الأنظمة، ونذكر من هذه الفوائد ما يلي:

✓ خفض زمن دورة العمل Cycle time.

✓ زيادة الدقة Accuracy.

✓ زيادة المرونة Flexibility.

✓ زيادة الوثوقية Reliability.

✓ خفض زمن توقف خط الإنتاج Down time.

✓ تشخيص أسهل للأعطال Diagnostic.

وبالتالي لا بد في أنظمة التحكم بالحركة من توفر معلومات سليمة وسريعة حول كل من التيار ( وبالتالي العزم )، السرعة والموضع.

يقوم نظام التغذية العكسية بقراءة هذه المعلومات من الخرج وإرسالها إلى نظام التحكم لتتم معالجتها و اتخاذ القرار المناسب للوصول إلى النتيجة المطلوبة من العملية.

### 3) معنى نظام التغذية العكسية Feedback Systems:

التغذية العكسية هي عبارة عن خوارزمية عمل، مستخدمة في أنظمة التحكم بمختلف أنواعها (التحكم بالحرارة، التحكم بالرطوبة، التحكم بالسرعة، التحكم بالموضع...) . تعتمد هذه الخوارزمية على مراقبة مستمرة للمعامل المطلوب تغييره (سرعة أو موضع مثلاً)، ومقارنته مع مرجع محدد (وهو قيمة نظرية لهذا العامل المتحكم به set point). واعتماداً على هذه المقارنة يتم اتخاذ القرار المناسب من أجل ضمان الوصول بهذا المعامل لأقرب قيمة ممكنة للقيمة النظرية المطلوبة. والهدف من نظام التغذية العكسية Feedback هو:

✓ تحسين الاستجابة للحالات العابرة، وبمضى آخر زيادة عرض المجال لنظام التحكم.

✓ تقليل الخطأ الساكن (Steady-State-Error)، أي زيادة دقة النظام.

✓ خفض الحساسية لتغيير الحمل في النظام، أي مرونة النظام في الاستجابة لتغيرات البارامترات الخارجية.

✓ حساسية أقل للضجيج الخارجي.

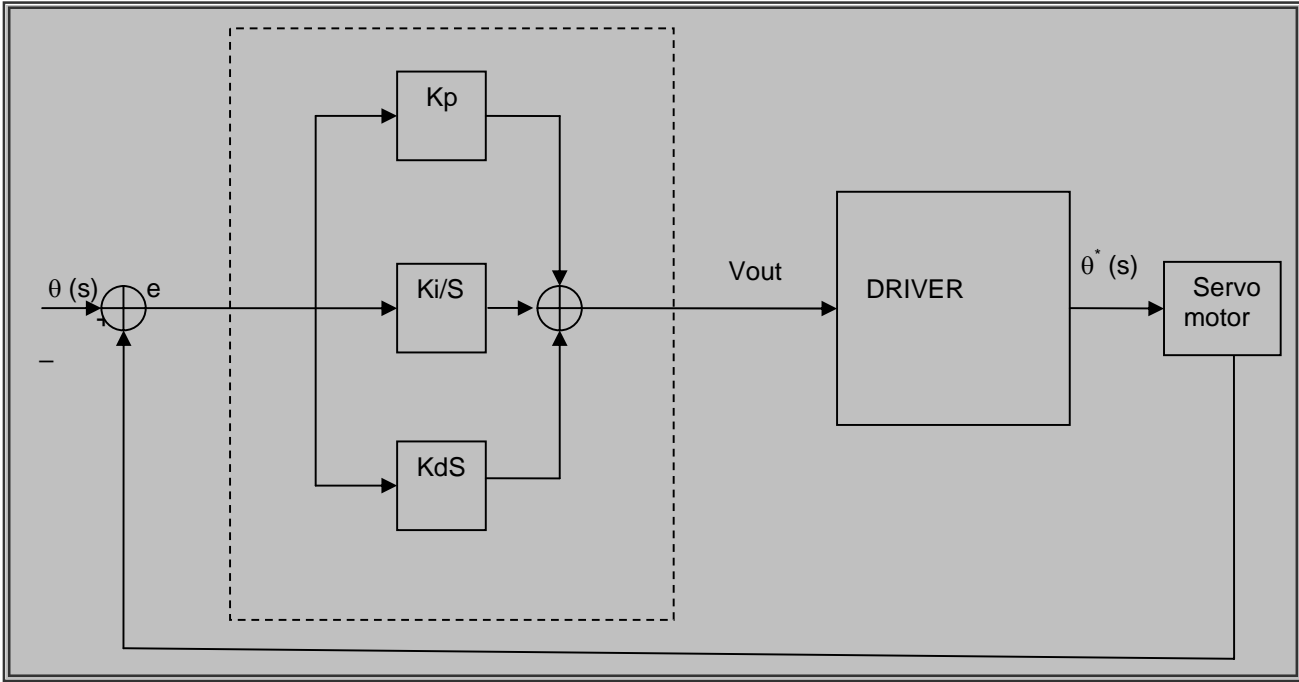
في الحقيقة إن حياتنا اليومية مليئة بالأمثلة على أنظمة التغذية العكسية، ونذكر من هذه الأمثلة:

✓ التحكم بدرجة حرارة الماء المناسبة للجسم.

✓ التحكم بقيادة السيارة.

✓ التحكم بحركات السيرفو في أنظمة التحكم بالحركة.

ويبين الشكل التالي المخطط الصندوقي لنظام تغذية عكسية P.I.D يقوم بالتحكم بموضع Position Control محرك سيرفو مثلاً:



نلاحظ من الشكل وجود ثلاث معاملات رئيسة نسميها أرباح النظام وهي  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ . ونلاحظ أيضاً أن هذه الأرباح مرتبطة بشكل مباشر بالخطأ  $e$  المعرف في المعادلة التالية:

$$e(t) = \theta(t) - \theta^*(t) \quad \left\{ \begin{array}{l} \theta(t) \text{ Demand position.} \\ \theta^*(t) \text{ Actual position.} \end{array} \right.$$

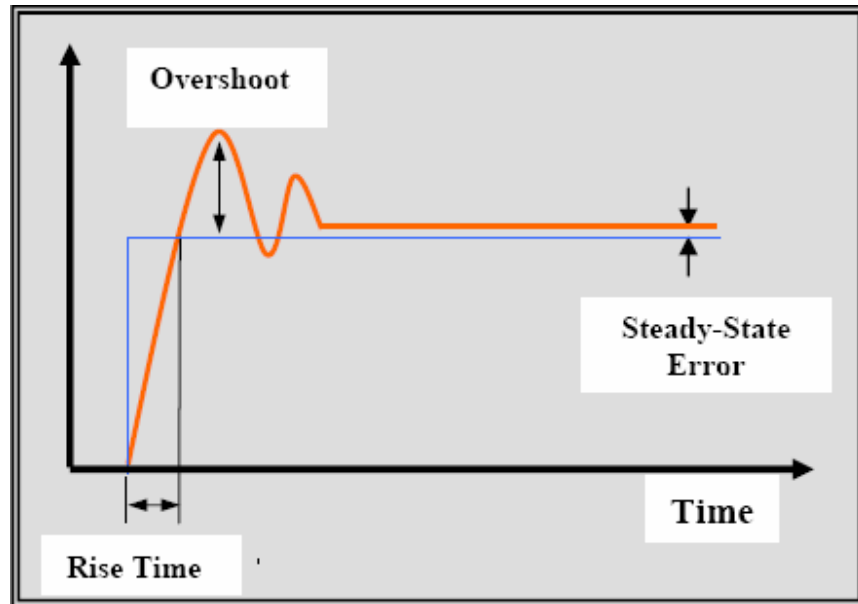
كما أنه يمكننا استنتاج المعادلة التالية، من خلال الشكل السابق:

$$V_{out} = K_p \times e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{d(e(t))}{d(t)}$$

يمكن تمثيل هذه المعادلة في النظام المقطع Discret System، كما يلي:

$$V_{out} = K_p \times e_i + K_i \sum e_i + K_d \times (e_i - e_{i-1})$$

يبيّن الشكل التالي استجابة نظام سيرفو لإشارة القفزة Step response:



في الحقيقة إن لكل معامل من معاملات P.I.D أثر خاص على واحد أو أكثر من القيم التي تُعرّف هذه الاستجابة (أعني overshoot, rise time and steady-state-error).

يبين الجدول التالي أثر كل معامل من المعاملات على القيم المبينة في الشكل السابق:

	KP	KD	KI
Overshoot	↗	↘	↗
Rise Time	↘	↗	↗
Steady-state Error	↘	—	↘

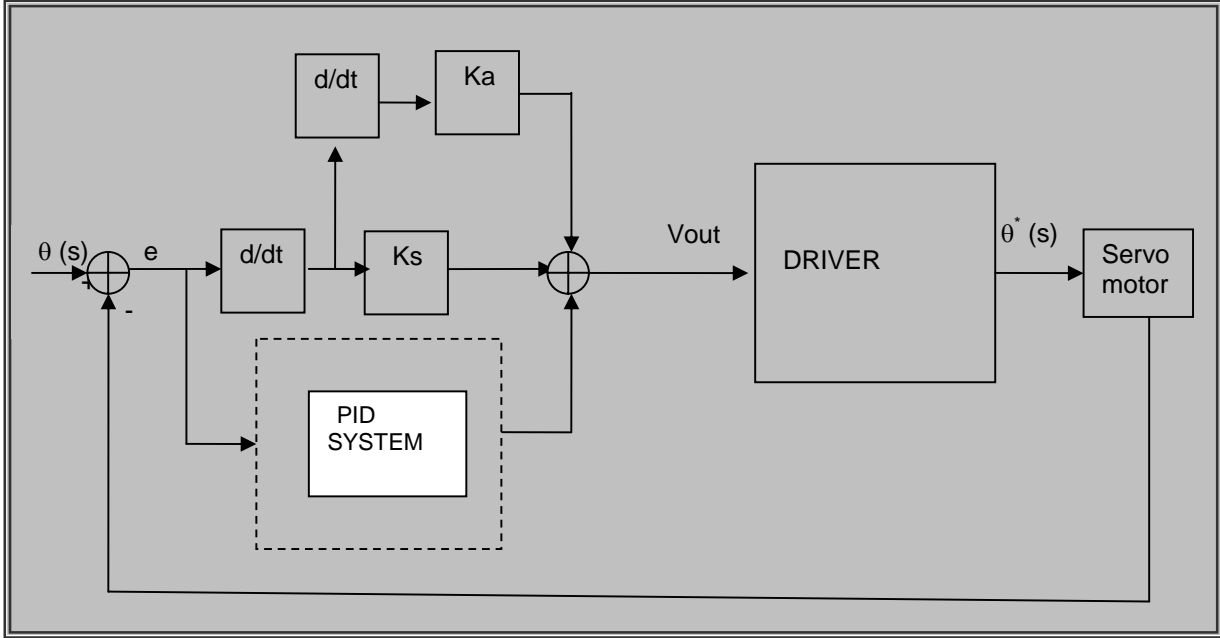
وبناءً عليه، من أجل - مثلاً - زيادة استجابة النظام لا بد من زيادة المعامل P (Proportional Gain). ولكن زيادة هذا المعامل إلى قيم كبيرة يؤدي إلى خروج النظام عن الاستقرار، ومن ثم فشل النظام في أدائه. وبالتالي نحن هنا أمام ثنائية جدلية تتمثل في أنه من أجل زيادة أداء النظام لا بد من زيادة الاستجابة عن طريق زيادة الربح P. وزيادة الربح P إلى قيم عالية تؤدي إلى خروج النظام عن الاستقرار وبالتالي فشل الأداء. وهنا تكمن فائدة إضافة نظام التغذية الأمامية على النظام السابق.

#### 4) مفهوم التغذية الأمامية FeedForward Concept:

في العديد من التطبيقات تبرز الحاجة إلى وجود أقل نسبة ممكنة من الخطأ على كامل منحني السرعة ( وبالتالي الموضوع )، في هذه التطبيقات الحساسة ربما لن تكفي معاملات P.I.D التقليدية ولا بد هنا من استخدام بعض المفاهيم الجديدة في التحكم.

إن مفهوم التغذية الأمامية يعد مفهوماً ذا أهمية في كثير من التطبيقات. وهو يصنف كنظام حلقة مفتوحة يستخدم على التسلسل أو على التفرع مع حلقة التغذية العكسية.

يمكن اعتبار التغذية الأمامية نوع من أنواع التنبؤ، حيث يقوم نظام التحكم بتوقع قيمة السرعة و/ أو التسارع المطلوبة. يبين الشكل التالي المخطط الصندوقي لنظام التغذية الأمامية لكل من السرعة والتسارع عند استخدامها بشكل تفرعي مع نظام P.I.D:



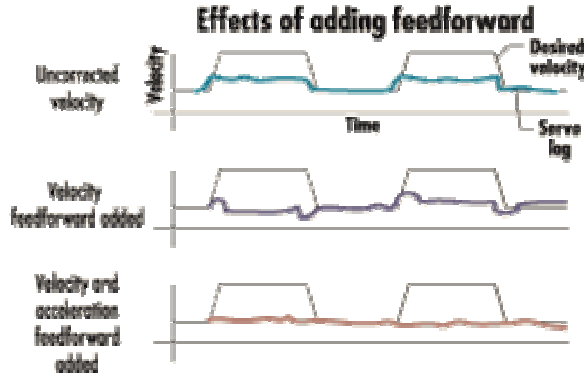
تبين المعادلة التالية الطريقة الرياضية لعملية التغذية الأمامية:

$$V_{out} = V_{P.I.D} + K_a \alpha + K_s \omega$$

نلاحظ عند عدم وجود تسارع  $\alpha = 0$  أي النظام يعمل بسرعة ثابتة. فإنه لن يكون هناك تأثير لربح التغذية الأمامية للتسارع  $K_a$ .

من الناحية النظرية يمكن الوصول إلى أداء عالٍ في نظام التحكم دون الحاجة إلى التغذية الأمامية وذلك عن طريق زيادة كبيرة لمعاملات P.I.D. ولكن من الناحية العملية هذا غير ممكن؛ لأن هذه الزيادة (في معاملات P.I.D) تؤدي حتماً إلى دخول النظام في منطقة عدم الاستقرار (كما أوضحنا من قبل). وهذه هي ميزة نظام التغذية الأمامية، حيث لا يمكن الدخول في حالة عدم استقرار نتيجة زيادة قيم معاملاته.

يبين الشكل التالي أداء النظام باستخدام التغذية الأمامية للسرعة ثم للتسارع والتسارع معاً:



نلاحظ في الشكل السابق انخفاض واضح للخطأ أثناء مرحلة السرعة الثابتة، وذلك عند إضافة مرحلة تغذية أمامية للسرعة، ولكن نلاحظ بقاء قيمة صغيرة للخطأ عند مرحلة التسارع والتباطؤ. إن إضافة مرحلة التغذية الأمامية للتسارع سيكون له أثر إيجابي واضح عند مرحلتي التسارع والتباطؤ، حيث نلاحظ انخفاض واضح لقيمة الخطأ في هاتين المرحلتين (التسارع والتباطؤ).

إن عدد كبير من الشركات تقوم الآن بتطبيق نظام التغذية الأمامية في العديد من أنظمتها من أجل رفع مستوى أداء الأنظمة وتحقيق استجابة عالية مما يؤدي لزيادة إنتاجية ودقة الأنظمة بشكل ملحوظ.