الفصل الأول: تمهيد في هندسة التحكم الآلي

Chapter 1: Introduction to Automatic Control Engineering

الفصل الأول: تمهيد في هندسة التحكم الآلي

Chapter 1: Introduction to Automatic Control Engineering

كامل الصفحة

1-1 لمحة تاريخية عن هندسة التحكم الآلي:

كان منظم سرعة المحرك البخاري من أوائل الأعمال المهمة في مجال التحكم الآلي الذي قام بتصميمه العالم جيمس وات (James Watt) في العام 1765 م. هناك أعمال مهمة أخرى ساهمت في تطوير علم التحكم الآلي قام بها مينورسكي (Minorsky)، وهازين (Hazen) ونايكوست (Nyquist) وآخرون. عمل مينورسكي, في عام 1922 م، على الحاكمات الآلية المخصصة لتوجيه السفن وبرهن أن استقرار النظام يمكن أن يُحدد من المعادلات التفاضلية الموصفة للنظام. في عام 1932 م، طور نايكوست إجرائية لتحديد استقرار نظم الحلقة المغلقة (Closed-Loop Systems) بالاعتماد على استجابته في الحلقة المفتوحة, وذلك عند تطبيق إشارات جيبية على دخله. ناقش هازين (Hazen), في عام 1934 م, تصميم الحاكمات لنظم السيرفو مع القدرة على ملاحقة الدخل المتغير.

خلال السنوات الممتدة من 1940 – 1950 م، أصبح من الممكن لمهندسي التحكم استخدام الطرائق المعتمدة على الاستجابة الترددية لتصميم نظم التحكم ذات الحلقة المغلقة بحيث تحقق النظم الخطية المراد التحكم بها متطلبات أداء معينة. شهدت هذه الفترة الزمنية أيضاً قيام إيفان (Evans) بتطوير طريقة المحل الهندسي للجذور أو مسار الجذور (Root-locus method) لدراسة الاستقرار.

تعتبر الاستجابة الترددية وطريقة مسار الجذور، من أهم نظريات التحكم الآلي، التي قادت إلى تصميم النظم المستقرة, أي المحققة لمعايير الاستقرار. بشكل عام، تُعدّ هذه النظم جيدة ولكن ليست المثلى, أدت هذه الحقيقة في أواخر عام 1950 م، إلى تحول مسألة تصميم نظام التحكم الآلي إلى مسألة تصميم نظام التحكم الأمثل. تتعامل نظرية التحكم الآلي التقليدية مع النظم وحيدة الدخل ووحيدة الخرج، بينما النظم الحديثة تكون عادة متعددة المداخل ومتعددة المخارج، وبالتالي فإن نظرية التحكم الآلي التقليدية تكون غير قابلة للتطبيق في هذه النظم. دفعت هذه الحقيقة لظهور طريقة فضاء الحالة للتحكم بالنظم متعددة المداخل ومتعددة المخارج، وذلك في عام 1960م.

تم التعامل, خلال السنوات الممتدة من 1960 – 1980م، مع نظم التحكم المثلى (Optimal Control Systems) , ونظم التحكم القابلة للتعلم أو التدريب والمعتمدة على مفاهيم الذكاء الصنعي، وذلك للنظم الصناعية المعقدة.

من عام 1980 وحتى اللحظة تمحور التطور الذي شهدته نظرية التحكم الآلي حول مفهوم التحكم المتين (Robust Control)، والذي يعمل على تحقيق أهداف التحكم على الرغم من وجود إشارات تشويش واضطرابات تؤثر على النظام المتحكم به.

2-1 المبادئ الأساسية في هندسة التحكم الآلي:

سنتطرق في هذه الفقرة إلى شرح المبادئ الأساسية في هندسة التحكم، والتي تشمل مفهوم النظام، ماهية النظم ذات الحلقة المفتوحة والمغلقة، وبعض التعاريف المهمة.

بدايةً لابد من توضيح الهدف من نظام التحكم، حيث يدخل التحكم في معظم مجالات الحياة اليومية. على سبيل المثال، يتم ضبط درجة الحرارة في غرفة بواسطة ترموستات (Thermostat)، بحيث تبقى درجة الحرارة ثابتة مهما كانت درجة الحرارة الخارجية. بالتأكيد تأمين درجة حرارة ($+18C^{\circ}$) عندما تكون درجة الحرارة الخارجية ($-5C^{\circ}$) في الشتاء, ليس مطابقاً لتأمين درجة حرارة ($+18C^{\circ}$) عندما تكون درجة الحرارة الخارجية ($+25C^{\circ}$) في الصيف.

يحمل قطاع النقل الكثير من الأمثلة عن نظم التحكم. قبل عشرات السنين كان على البحار أن يقف أمام دفة السفينة حتى يحافظ على اتجاه السفينة وللتغلب على التيارات المائية والهياج البحري الذي يحاول أن يحرف السفينة عن امسارها، ولكن في أيامنا الحالية أصبحت تقاد السفينة بواسطة نظام تحكم آلي, ولا يتدخل البحار إلا في العمليات الصعبة مثل الدخول والخروج من المرفأ أو الحالات الطارئة. الطائرات أصبحت أيضاً تحت سيطرة نظام تحكم آلي, حيث تبقى الطائرة لفترة طويلة تحت سيطرته (نظام القيادة الآلي)، حيث لا يتدخل الكابتن إلا خلال العمليات الصعبة مثل الإقلاع والهبوط. تحوي السيارات الحديثة أيضاً الكثير من نظم التحكم مثل منظم الإشعال، ونظام التحكم بسرعة

مساحات الزجاج وذلك تبعاً لكثافة الأمطار، والتحكم بالمصابيح تبعاً لدرجة الإنارة في الشوارع.

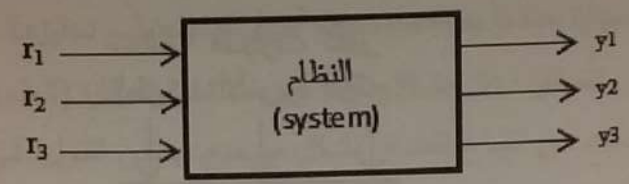
مما سبق نستطيع ملاحظة أن نظام التحكم يسعى دائماً إلى تحقيق عدداً من العمليات دون تدخل العامل البشري. في بعض الحالات، الهدف من استبدال العامل البشري هو تحقيق مكاسب اقتصادية، ولتجنيب العامل البشري القيام بأعمال مجهدة، أو الحصول على منتج بجودة أعلى.

في الواقع هناك نوعان أساسيان لنظم التحكم. في النوع الأول يقوم نظام التحكم بأتمتة النظام المراد التحكم فيه وذلك بتطبيق تتابع معين من التعليمات، معروفة مسبقاً، وبالتالي نحصل على ما يسمى بالنظام التتابعي. في هذه الحالة يمكن استثمار نظام التحكم بواسطة الحاكمة المنطقية المبرمجة أو الـ (PLC).

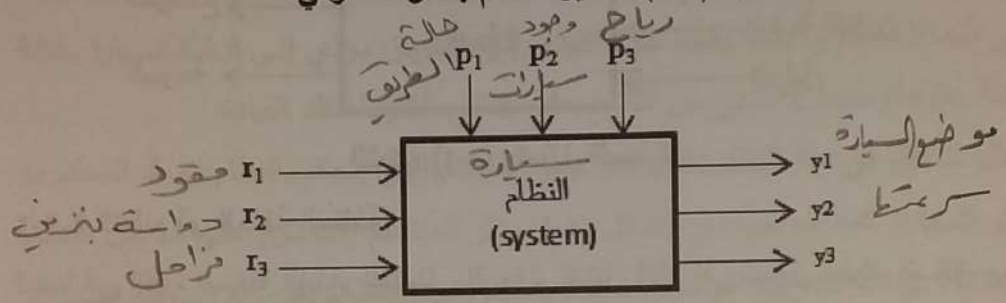
وفي النوع الثاني يقوم نظام التحكم بتنظيم قيمة مقدار فيزيائي في النظام المراد التحكم به (أو المحافظة على قيمة ثابتة له)، أو يقوم بفرض نمط تغير معين على المقدار الفيزيائي. وهنا ندخل ضمن ما يسمى بالتنظيم (Regulation). سيعالج هذا الكتاب النوع الثاني من نظم التحكم, التي سوف تطبق على النظم الخطية، المستمرة، والثابتة مع الزمن (Time-invariant) (سيتم شرح هذه المصطلحات لاحقاً في هذا الكتاب).

1-2-1 مفهوم النظام

يُعرّف النظام بصندوق أسود له مدخل أو عدة مداخل قابلة للتأثير, إضافة لوجود خرج أو عدة مخارج, تتيح مراقبة رد فعل النظام على الدخل. نستطيع تمثيل هذا التعريف البسيط للنظام بالمخطط المبين بالشكل (1-1). في هذا الشكل، تمثل المعاملات r_1، r_2، r_3 مداخل النظام، بينما تمثل y_1، y_2، y_3 مخارج النظام. يتغير النظام تبعاً للقوانين الفيزيائية التي تحكم سلوكه والمعتمدة على بنيته الداخلية. يتأثر النظام عادة بالبيئة المحيطة به ويؤثر فيها, لذلك يمكن تمثيل النظام بشكل أكثر واقعية، كما هو مبين في الشكل (1-2).



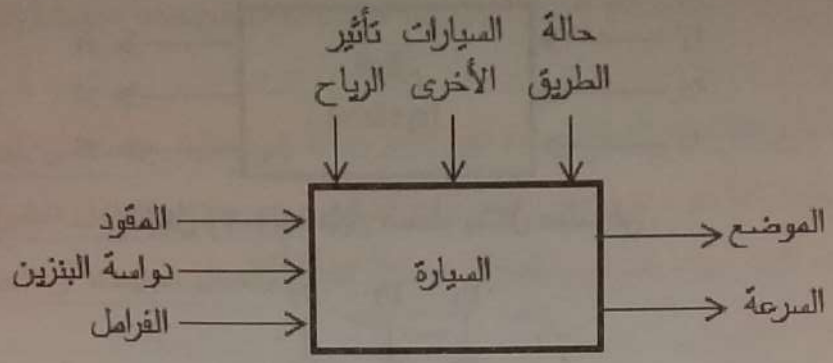
الشكل (1-1): تمثيل النظام بشكل صندوقي.



الشكل (1-2): تمثيل النظام مع الأخذ بعين الاعتبار تأثير البيئة المحيطة عليه.

في الشكل (1-2)، تمثل المعاملات p_1، p_2، p_3 تأثير المحيط على النظام. وتسمى هذه المداخل، في معظم الأحيان، بالاضطرابات (التشويش). لنأخذ السيارة كنظام معروف للجميع, يمكن أن ينظر إلى السيارة على أنها نظام فيزيائي يملك ثلاثة مداخل: المقود الذي يسمح للسائق بتوجيه السيارة، دواسة البنزين والتي تسمح بإكساب السيارة التسارع المطلوب، والفرامل التي تسمح بإيقاف السيارة. من جهة أخرى، للسيارة مخرجان يتمثلان بموضع السيارة وسرعتها. بالتأكيد تؤثر على السيارة العديد من الاضطرابات الخارجية نذكر منها على سبيل المثال: تأثير الرياح، تواجد سيارات أخرى على نفس الطريق، وحالة الطريق. بالتالي نستطيع تمثيل السيارة بواسطة المخطط المبين بالشكل (1-3).

تسمى في هندسة التحكم الطريقة التي تستجيب فيها مخارج النظام إلى التغيرات في دخله باستجابة النظام, حيث تسعى هندسة التحكم إلى تقدير استجابة النظام باستخدام النموذج الرياضي له, بمعنى أخر تمكننا معرفة مداخل النظام بالإضافة إلى نموذجه الرياضي من حساب مخارجه.



الشكل (1-3): تمثيل السيارة.

1-2-2 النظام ذو الحلقة المغلقة:

قدمنا في الفقرة السابقة النظام المتمثل بالسيارة. لننتقل الآن إلى تحليل سلوك السائق مع الأخذ بعين الاعتبار الاضطرابات التي تعوق السيارة.

لنفرض أن السائق يقود سيارته على طريق مستقيم تماماً، في منطقة خالية من الرياح، علماً أنه الوحيد الذي يسلك هذا الطريق (بمعنى أخر: لا توجد سيارات أخرى تسلك نفس الطريق). إن هذه الشروط مثالية حيث اعتبرنا أن الاضطرابات معدومة. في هذه الحالة ليس على السائق إلا أن يوجه مقوده في الاتجاه الصحيح، ويضغط على دواسة البنزين حتى يحصل على السرعة المطلوبة. تعطى هذه الحالة الرقم /1/.

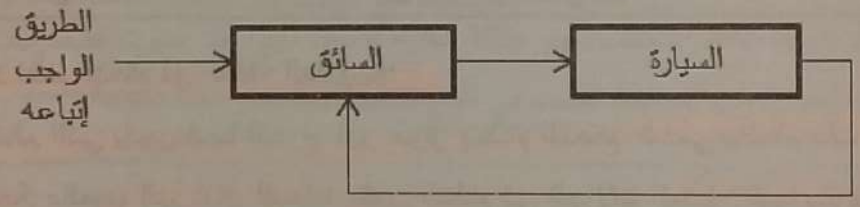
لنفرض الآن أن السائق يواجه طريقاً صاعداً. إذا كان السائق يعرف طريقه بشكل تام، ويعرف مسبقاً التغيرات التي سوف يواجهها في الطريق، فالسائق يستطيع القيادة وبدون النظر إلى الطريق، بأن يقوم فقط بمراقبة السرعة، وبتغيير توجيه المقود بالاتجاه الصحيح وفي الوقت المناسب، وذلك ليتتبع الطريق بشكل صحيح. لنعطي هذه الحالة رقم /2/.

لنترك الآن هاتين الحالتين المثاليتين ولنقترب من الواقعية. لنفترض أنه قد تم إعادة تزفيت الطريق بطول /2/ كم، وبالتالي تغيرت طبيعة الطريق أثناء مسير السيارة، إضافةً إلى تعرض السيارة للرياح، وكان هناك سيارات أخرى تسير على نفس الطريق بسرعة أقل. في هذه الحالة فإن السائق مضطر إلى النظر على الطريق لتصحيح المسار، بواسطة المقود (تذكر أن المقود هو أحد مداخل النظام التي يستطيع السائق أن يتحكم

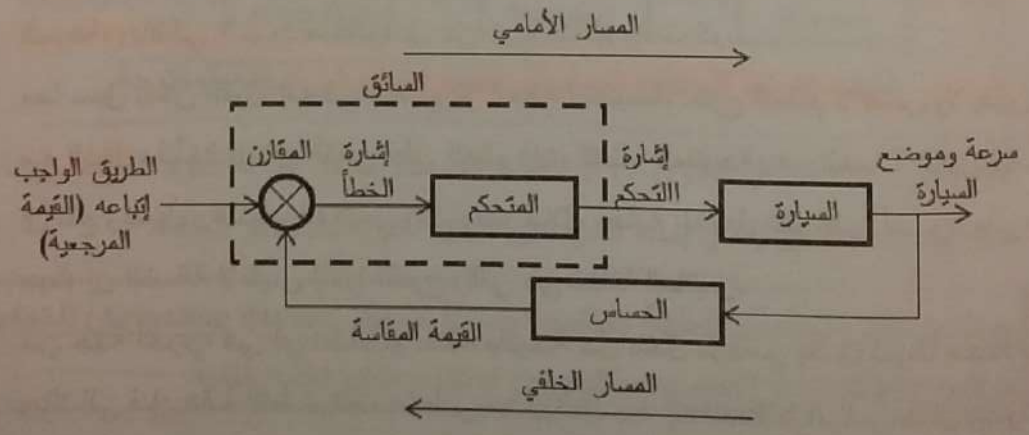
بها)، وإبطاء السيارة عندما يصادف سيارة أخرى ولا يستطيع تجاوزها. نلاحظ، في هذه الحالة الثالثة أن السائق يؤثر بشكل دائم على مداخل السيارة (المقود، دواسة البنزين، الفرامل) حتى يتأكد من اتباع المسار بشكل صحيح. يمكن القول، في هذه الحالة، إن جملة السيارة– السائق في حالة حلقة مغلقة، كما يبين الشكل (1-4).

في الحالات /1/ و /2/، حقيقة عدم النظر إلى الطريق يؤدي إلى قيادة السيارة بحالة حلقة مفتوحة، طبعاً لا داعي من التأكيد على النتائج الكارثية لتلك القيادة.

يمثل السائق في هذا النظام نظام التحكم أو المتحكم الذي يتحكم بالنظام المراد التحكم به وهو السيارة. كما هو موضح بالشكل (1-5) يؤثر المتحكم (السائق) على مداخل النظام (المقود، دواسة البنزين، الفرامل)، بحيث يتحكم بخرج النظام (موضع وسرعة السيارة). يقوم السائق بمقارنة خرج النظام مع الإشارة المرجعية والمتمثلة بالطريق الواجب إتباعه ليتخذ بعد ذلك القرار الصحيح للتحكم بالسيارة.



الشكل (1-4): نظام الحلقة المغلقة لجملة السيارة – السائق.



الشكل (1-5): تفصيل لمهمة السائق في نظام الحلقة المغلقة لجملة سيارة – سائق.

يتبين من الشكل (1-5) ضرورة وجود حساس أو مقياس في نظام الحلقة المغلقة يمكن السائق من معرفة خرج النظام الحالي. يقوم في مثال السيارة، كل من مقياس سرعة السيارة وعيني السائق بهذه المهمة. يمكن ملاحظة أيضاً أن المتحكم والنظام المراد التحكم به يقعان ضمن المسار الأمامي أو (Forward Path) للحلقة المغلقة، أما الحساس فيقع ضمن المسار الخلفي أو (Backward Path) للحلقة. تتم مقارنة القيمة المقاسة لخرج النظام والقيمة المرجعية (القيمة المرغوبة) لهذا الخرج بواسطة المقارن.

يتم إدخال الفرق بين هاتين القيمتين (أو ما يُعرف بإشارة الخطأ) إلى المتحكم والذي يولد، اعتماداً على إشارة الخطأ، إشارة تُعرف بإشارة التحكم، والتي تعمل على التحكم بالنظام بحيث تصبح قيمة خرجه مطابقة للقيمة المطلوبة.

تستخدم نظم التحكم ذات الحلقة المغلقة مقاييس لقياس إشارة الخرج وتغذى خلفياً ليتم مقارنتها مع القيمة المرغوبة لإشارة الخرج (الإشارة المرجعية).

1-2-3 نظام التحكم ذو الحلقة المفتوحة:

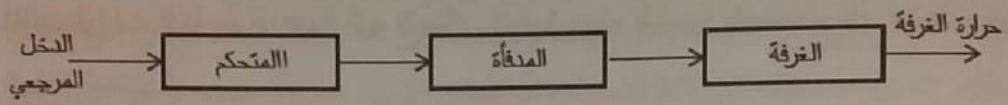
إن النظم التي يكون فيها الخرج غير مؤثر بنظام التحكم، تسمى بالنظم ذات الحلقة المفتوحة, بالعودة إلى مثال السيارة، يكون النظام في الحالات المشار إليها بالرقم /1/ و /2/، في حالة حلقة مفتوحة حيث إن السائق لا ينظر لا إلى الطريق، ولا على مقياس السرعة، وبالتالي لا توجد صلة وصل بين خرج النظام والمتحكم.

مما سبق يمكن القول إنه في النظام ذو الحلقة المفتوحة، خرج النظام لا يقاس ولا يقارن مع الدخل. لنأخذ المثال التالي على النظم ذات الحلقة المفتوحة وهو الغسالة الكهربائية. إن نقع وغسيل وتنشيف الملابس والتي تتم خلال عملية الغسيل تتم على أساس زمني، حيث إن الغسالة لا تقيس إشارة الخرج والتي هي نظافة الملابس.

من جهة أخرى، في أي نظام ذو حلقة مفتوحة كل دخل مرجعي يقابل شرطاً محدداً، وبالتالي فإن دقة النظام تعتمد على معايرة الشرط (Calibration). في حال وجود اضطرابات تصيب النظام فإن نظام التحكم ذو الحلقة المفتوحة لا ينجز المهمة

المطلوبة، وبالتالي يستخدم هذا النظام فقط عندما تكون علاقة الدخل بالخرج معروفة وفي حال غياب الاضطرابات.

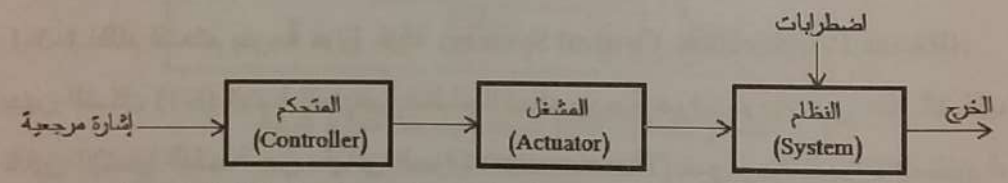
إن نظام تدفئة غرفة بواسطة مدفأة الغاز، والمبين بالشكل (1-6) أحد الأمثلة على النظم ذات الحلقة المفتوحة.



الشكل (1-6): نظام التحكم بدرجة حرارة غرفة، ذو الحلقة المفتوحة.

إذا تم إشعال مدفأة الغاز في الغرفة، بحيث يتم تعيير درجة الحرارة على (20°C) فإنها ستبقى عند هذه القيمة ما لم تحدث أي اضطرابات. هذه الاضطرابات يمكن أن تحدث إذا ترك باب الغرفة مفتوحاً أو إذا تغيرت درجة الحرارة الخارجية. في حال حدوث هذه الاضطرابات، سوف تتغير درجة حرارة الغرفة. حتى تبقى درجة الحرارة ثابتة، فإن آلية التحكم بدرجة الحرارة تتطلب تغيير طاقة الخرج لمدفأة الغاز عند حدوث اضطرابات.

يبين الشكل (1-7) المخطط الصندوقي العام لنظام التحكم ذو حلقة مفتوحة.



الشكل (1-7): المخطط الصندوقي لنظام التحكم ذو الحلقة المفتوحة.

نجد بمقارنة الأشكال (1-6) و(1-7) أن النظام المتحكم به هو الغرفة المراد التحكم بدرجة حرارتها، أما المشغل والذي يملك القدرة على التأثير على النظام فهو المدفأة.

يستخدم نظام التحكم ذو الحلقة المفتوحة وسيلة تشغيل (Actuating device) للتحكم مباشرة بالنظام المراد التحكم به وذلك بدون استخدام إشارة تغذية خلفية.

4-1 تحديد المصطلحات الأساسية:

قبل مناقشة نظرية التحكم الآلي، لابد من تعريف بعض المصطلحات الأساسية:

- المتحول المتحكم به (Controlled Variable) والمتحول الذي يتم التأثير عليه (Manipulated Variable): يتحدد الأول بالكمية المقاسة والمتحكم بها, والثاني بالكمية التي يتم تغييرها بواسطة المتحكم (Controller) للتأثير على قيمة المتحول المتحكم به. عادة يكون المتحول المتحكم به هو خرج النظام. مما سبق نجد أن التحكم يعني قياس قيمة المتحول المتحكم به للنظام واستخدام المتحول الذي يمكن التأثير عليه وذلك بهدف تصحيح أو الحد من انحراف القيمة الحالية للمتحول المراد التحكم به عن القيمة المطلوبة.

نحتاج أيضاً في هندسة التحكم إلى مصطلحات إضافية ولكن ضرورية لوصف نظم التحكم, سنستعرضها فيما يلي:

- الجهاز (Plant): عبارة عن مجموعة من التجهيزات التي تعمل معاً بهدف إنجاز عملية محددة. عموماً، يدعى أي جسم فيزيائي يراد التحكم به مثل آلة ميكانيكية أو فرن تدفئة أو مفاعل كيميائي بالجهاز.

- العملية (Process): يقصد بالعملية النشاط أو التطور المميز بتغييرات متدرجة ومتتابعة، للوصول إلى نتيجة أو هدف محدد. يمكن أن يقصد بالعملية النشاط المصطنع، المؤلف من مجموعة من الإجراءات أو الحركات المتحكم بها، والمؤدية إلى نهاية أو نتيجة محددة. تدعى عموماً، أي فعالية يراد التحكم بها بالعملية، ونذكر على سبيل المثال العمليات الكيميائية، الاقتصادية والبيولوجية.

- النظام (System): يتكون من مجموعة من الأجزاء تعمل معاً لأداء هدف معين، علماً أن النظام ليس مقصوراً فقط على النظام الفيزيائي، بل يمكن أن يطلق النظام على ظواهر ديناميكية مثل تلك التي تظهر في الاقتصاد. لذلك فإن كلمة نظام يمكن أن تتضمن الأنظمة الفيزيائية، والبيولوجية والاقتصادية وما شابه ذلك. يمكن تعريف النظام أيضاً بأنه مجموعة مكونات مترابطة فيما بينها تؤدي وظيفة محددة.

- الاضطراب (Disturbance): هو إشارة تسعى للتأثير السلبي على قيمة خرج النظام. يمكن أن يتولد الاضطراب من داخل النظام فيدعى بالاضطراب الداخلي، أما إذا كان متولداً من خارج النظام فإنه يسمى بالاضطراب الخارجي، ويُعَدّ أحد مداخل النظام.

- التحكم ذو التغذية الخلفية (Feedback Control): هي العملية التي تسعى في حال وجود اضطرابات إلى إنقاص الفرق بين خرج النظام والدخل المرجعي، وتقوم هذه العملية على أساس قيمة هذا الفرق. غالباً ما يشار إلى نظم التحكم ذات التغذية الخلفية بالنظم ذات الحلقة المغلقة.

- التنظيم (Regulation): يمثل بنية تسعى إلى إخضاع خرج النظام لدخله والمسمى بالدخل المرجعي.

- الدخل: هو المقدار الذي يؤثر في حالة النظام.

- الخرج: هو المقدار الذي ينتج عن النظام نتيجةً لتأثير الدخل عليه.

- المقارن (Comparator) : عنصر يقوم بمقارنة القيمة الحالية للمتغير المراد التحكم به مع القيمة المطلوبة. في مثال السيارة يقوم دماغ السائق بعمل المقارن.

- المتحكم (Controller) : يقوم بمعالجة البيانات المتعلقة بالعملية المراد التحكم فيها، وإصدار الأوامر المناسبة وفق منهجية محددة.

- المشغل أو عنصر التشغيل (Actuator or Actuating Device): عنصر يقوم بتنفيذ الأوامر الصادرة عن المتحكم، بهدف التأثير على النظام المراد التحكم به.

1-5 تصنيف نظم التحكم:

يتم تصنيف نظم التحكم اعتماداً على خصائص عدة منها: وجود التغذية الخلفية، ودور الإنسان في نظام التحكم، نوعية الإشارة المستخدمة، تبعاً للطاقة المستخدمة، وبحسب التطبيقات المختلفة وغيرها.

1- التصنيف حسب وجود التغذية الخلفية:

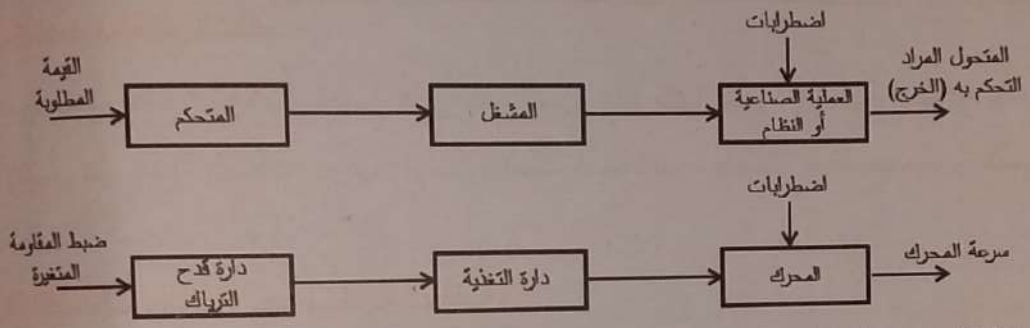
تصنف نظم التحكم حسب استعمال التغذية الخلفية إلى نظم مغلقة ونظم مفتوحة.

أ- نظم التحكم ذات الحلقة المفتوحة:

كما رأينا آنفاً لا يتم في هذه النظم مقارنة القيمة الحالية للمتحول المراد التحكم به (الخرج) مع القيمة المطلوبة، لتحديد خرج المتحكم. تتم عملية التحكم عادة عن طريق ضبط أو تعيير (Calibration) المتحكم لتحديد قيمة المتحول المؤثر في الخرج وبالتالي التحكم بقيمة المتحول المراد التحكم به.

من الأمثلة على هذا النظام نظام التحكم بسرعة دوران المحرك عن طريق التحكم بتوتر التغذية، علماً أن التغذية تؤمن من دارة تقويم مكونة من عناصر نصف ناقلة (ترياك). عند ضبط قيمة المقاومة المتغيرة للدارة فإن هناك جهداً ذا قيمة معينة يطبق على طرفي المحرك، وبالتالي يدور المحرك بسرعة معينة. عند تغير الظروف الخارجية مثل جهد المصدر الداخل إلى الدارة أو الحمل الميكانيكي على المحرك فإن سرعة المحرك سوف تتغير. وكذلك فإن سرعة المحرك سوف تتغير عند حدوث تغيرات داخلية مثل تغير قيم المقاومات. في كلا الحالتين فإنه للحفاظ على سرعة ثابتة فيجب إعادة ضبط أو تعيير

المقاومة المتغيرة في كل حالة. يبين الشكل (1-18) المخطط الصندوقي لنظام التحكم ذو الحلقة المفتوحة بشكل عام وللمثال المذكور. نلاحظ من هذا الشكل أنه لا يوجد أي ربط بين خرج النظام (سرعة المحرك) ودخله (قيمة زاوية القدح المحددة حسب المقاومة المتغيرة), وبالتالي لا يوجد تأثير من الخرج على دخل النظام. نستنتج مما سبق أن هذا النظام يعطي نتائج مقبولة في الحالات التي تكون فيها ظروف التشغيل الخارجية ثابتة ومستقرة إلى حد ما، وكذلك التغيرات الداخلية في النظام قليلة.

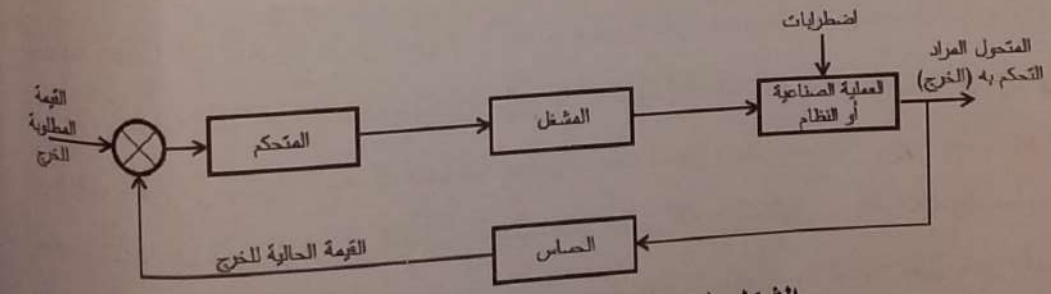


الشكل (1-18): المخطط الصندوقي لنظام تحكم بسرعة محرك ذو الحلقة المفتوحة.

يمتاز هذا النظام ببساطة التركيب والتكلفة المنخفضة, ومن مساوئه أنه لا يستطيع تعديل الأخطاء الناتجة عن المؤثرات الخارجية أو الأحمال غير المتوقعة أو التغيرات الداخلية في النظام، مما يجعل خرج النظام غير ثابت على القيمة المطلوبة.

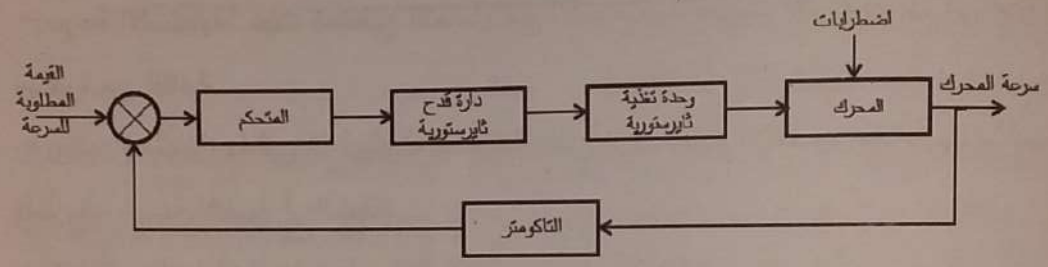
ب – **نظم التحكم ذات الحلقة المغلقة:**

تمتاز هذه النظم بوجود تغذية خلفية من خرجها إلى دخلها. يبين الشكل (1-19) المخطط الصندوقي لنظام تحكم بحلقة مغلقة.



الشكل (1-19): نظام تحكم ذو حلقة مغلقة.

يبين الشكل (1-20) نظاماً للتحكم بسرعة محرك تيار مستمر بحلقة مغلقة. يتم عن طريق التحكم بزاوية القدح للثيرستورات تغيير قيمة الجهد الواصل إلى طرفي المحرك وبالتالي سرعة المحرك. تتحدد زاوية القدح حسب جهد التحكم الخارج من المتحكم, الذي يعتمد على قيمة كل من سرعة المحرك الفعلية التي يقيسها التاكومتر والسرعة المطلوبة.



الشكل (1-20): نظام التحكم بسرعة محرك بحلقة مغلقة.

نورد أهم المميزات التي يوفرها نظام التحكم ذو الحلقة المغلقة ما يلي: انخفاض التأثيرات الناتجة من التشويش أو الاضطراب المؤثرة في النظام وانخفاض الحساسية لتغيرات عناصر النظام.

2- التصنيف حسب دور الإنسان في التحكم:

تقسم نظم التحكم حسب دور الإنسان فيها إلى:

أ- نظم تحكم يدوية:

يقوم الإنسان في هذه النظم بدور المتحكم، وتمتاز هذه الطريقة بالسهولة وقلة التعقيد التقني, ولكن من الناحية الأخرى فإن للتحكم اليدوي مساوئ منها عدم الدقة, التأثر بحالة العامل النفسية والجسدية من ملل وإرهاق وعدم انتباه, عدم الحصول على أداء متماثل باختلاف العنصر البشري القائم على التحكم, ولا يمكن استخدامه في الظروف البيئية القاسية أو الخطرة.

ب- نظم تحكم آلية:

يتم التحكم بالعملية الصناعية أو بالنظم آلياً ودون تدخل الإنسان وذلك باستخدام جهاز أو مجموعة أجهزة تقوم بمهمة المراقبة والمقارنة والتحكم. وتمتاز نظم التحكم الآلية عن اليدوية:

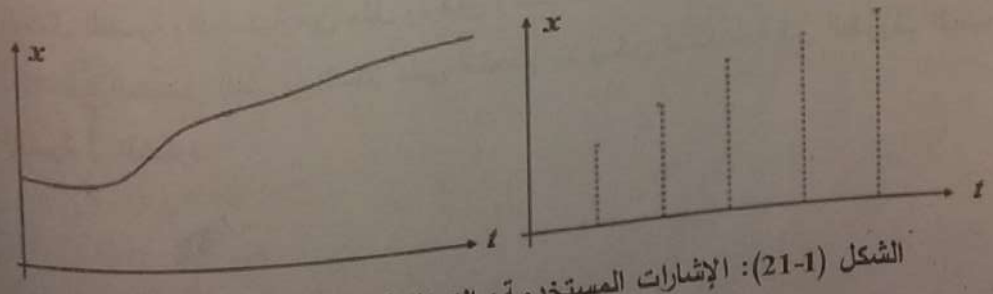
- سرعة الاستجابة: حيث تستطيع التعامل مع الأحداث والتغيرات التي تحصل في أجزاء صغيرة من الثانية.
- يمكن استخدامها في التطبيقات المختلفة التي لا يستطيع الإنسان القيام بها بسبب الظروف البيئية القاسية أو الخطرة.
- لا تتأثر بالعوامل المؤثرة على فعالية الإنسان مثل الإرهاق وضعف الأداء مع الزمن.
- الحصول على أداء متماثل لا يختلف باختلاف العنصر البشري القائم على التحكم.
- النظم الآلية أكثر اقتصادية.
- زيادة الإنتاجية.

3- التصنيف حسب نوعية الإشارات المستخدمة:

تصنف الإشارات بشكل عام وتلك المستخدمة في نظم التحكم إلى:

1- إشارات تماثلية: وهي إشارات مستمرة تأخذ قيمة في أي لحظة زمنية وذلك بين قيمتين عليا ودنيا.

2- إشارات رقمية: وتأخذ الإشارة فيها قيماً محددة في لحظة محددة (لحظات التقطيع) وذلك بين قيمتين عليا ودنيا.



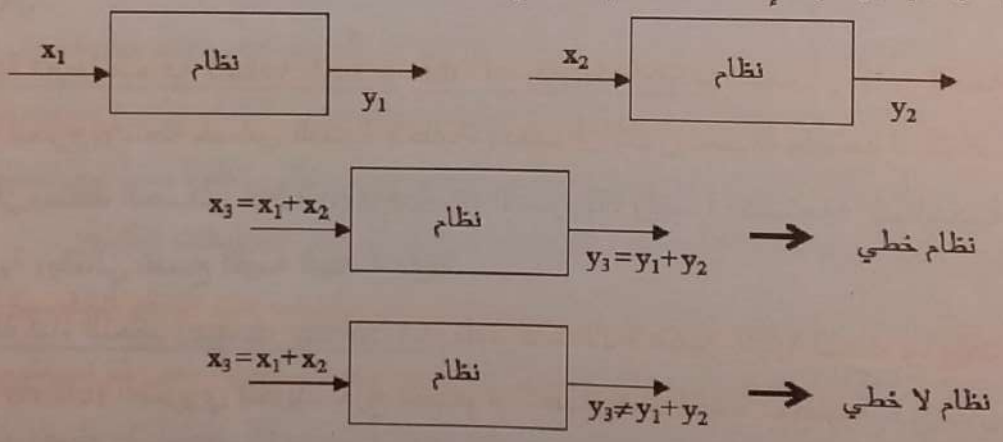
الشكل (1-21): الإشارات المستخدمة: التماثلية والرقمية(أو المتقطعة).

7-1 النظم الخطية, والمستمرة, وذات المعاملات الثابتة:

سنهتم في هذا الكتاب بالنظم الخطية ذات المعاملات الثابتة (Linear Time-Invariant Systems أو LTI systems). كما سنتخصص بالنظم المستمرة. فيمايلي سنقوم بشرح كل خاصية من خصائص هذه النظم.

- النظم المستمرة: كما رأينا سابقاً أثناء تصنيف نظم التحكم، يمكن تصنيف النظم إلى نظم مستمرة والتي تتغير فيها المتحولات بطريقة مستمرة مع الزمن، ونظم متقطعة أو رقمية والتي تتغير فيها المتحولات بطريقة متقطعة مع الزمن. (راجع الشكل 1-21).

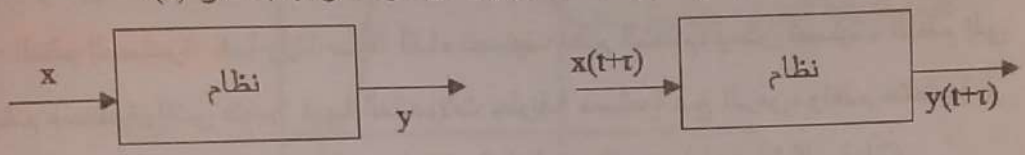
- النظم الخطية: يمكن أن يصنف نظام التحكم المستمر إما خطي (Linear) أو لاخطي (Non-Linear). يقال عن النظام أنه خطي إذا كانت علاقة الدخل والخرج علاقة خطية، وإذا كان بالإمكان تطبيق مبدأ التراكم (Super-position). يمكن شرح مبدأ التراكم كمايلي: ليكن لدينا نظام ما. عند تطبيق على الدخل الإشارة (x_1) نحصل في الخرج على الإشارة (y_1). عند تطبيق على الدخل الإشارة (x_2) نحصل في الخرج على الإشارة (y_2). يقال عن النظام بأنه خطي وذلك إذا طبقنا على الدخل الإشارة $x_3=x_1+x_2$، حصلنا على الإشارة $y_3=y_1+y_2$، وإلا كان النظام لاخطي. يبين الشكل (1-27) مبدأ التراكم.



الشكل (1-27): مبدأ التراكم.

- النظم ذات البارامترات الثابتة: نقول عن النظام أنه ذو بارمترات ثابتة مع الزمن إذا كانت بارامتراته ثابتة خلال فترة حياته. يبين الشكل (1-28) شرح لفكرة النظم ذات البارامترات الثابتة. في هذا الشكل، إذا طبقنا على دخل النظام الإشارة x(t) نحصل في

الخرج على الإشارة y(t). يقال عن النظام بأنه ذو بارامترات ثابتة وذلك إذا طبقنا على النظام بعد فترة زمنية (τ) نفس إشارة الدخل، حصلنا على نفس إشارة الخرج y(t) ولكن مزاحة زمنياً بمقدار (τ). في الشكل (1-28)، x(t+τ) هي نفس الإشارة x(t) ولكن مزاحة زمنياً بمقدار (τ) و y(t+τ) هي نفس الإشارة y(t) ولكن مزاحة زمنياً بمقدار (τ).



الشكل (1-28): النظم ذات البارامترات الثابتة.

1-8 تصميم نظام التحكم:

من أجل تصميم واستثمار نظام التحكم، يجب تحديد ومعرفة العناصر الأساسية التالية:

- معرفة القيمة المطلوبة (Knowledge of the desired value): من الضروري معرفة ما هو المقدار الذي نحاول أن نتحكم به، وبأي دقة، وضمن أي مجال من القيم. يتم التعبير عن هذه المعلومة ضمن محددات الأداء (Performance Specification). في النظم الفيزيائية، تُحول هذه المعلومة إلى صيغة مناسبة يمكن أن يفهمها المتحكم (إشارة تماثلية أو رقمية).

- معرفة القيمة الحالية (Knowledge of the actual value): يجب أن تقاس القيمة الحالية للخرج بواسطة حساس التغذية الخلفية، ويجب أن تكون بصيغة مفهومة للمتحكم. يجب أن يمتلك الحساس الدقة (Resolution) الضرورية، وأيضاً الاستجابة الديناميكية الضرورية وبالتالي تصبح القيمة المقاسة دقيقة.

- معرفة أداة التحكم (Actuating device): تقوم هذه الأداة بتكبير إشارة التحكم وتزويدنا بالجهد (effort) الضروري لتحريك خرج النظام أو الجهاز نحو القيمة المطلوبة. في مثال التحكم بدرجة حرارة الغرفة, كانت أداة التشغيل صمام الغاز ذو الملف اللولبي والحراق أو المدفأة الغازية, والجهد (effort) كان الحرارة الدخلة مقدرة بالوات (W).

- معرفة النظام أو الجهاز: تتطلب معظم استراتيجيات التحكم معرفة الخواص الستاتيكية والديناميكية للجهاز أو النظام. يمكن الحصول على هذه الخواص بإجراءات القياسات على الجهاز أو بتطبيق القوانين الأساسية في الفيزياء أو بكلاهما معاً.