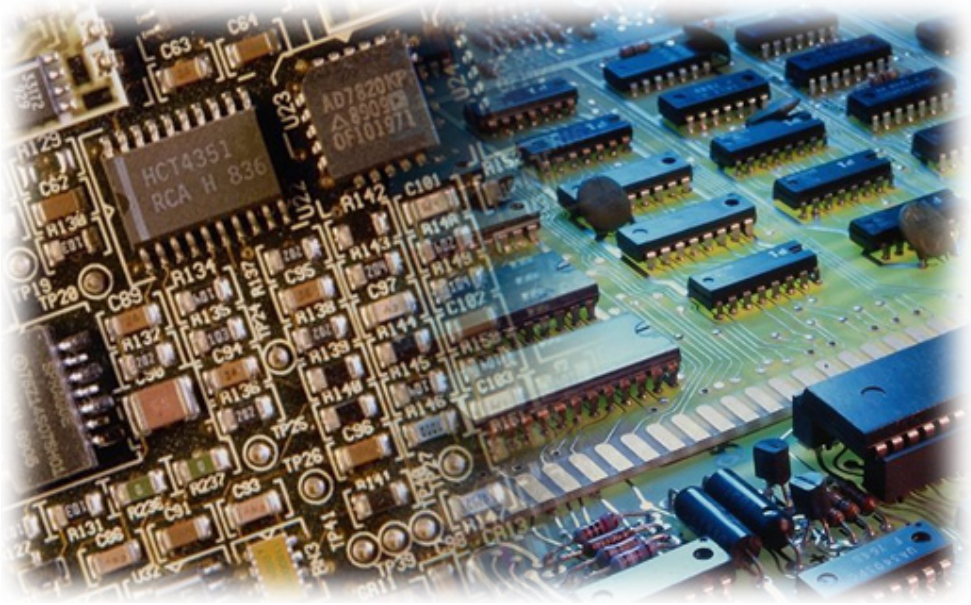
المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

إلكترونيات صناعية وتحكم

مقدمة أنظمة تحكم

٢٤٢ إلك



جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي، لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " مقدمة أنظمة التحكم " لمتدربي قسم" إلكترونيات صناعية وتحكم " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه، إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على سيدنا محمد وآله وصحبه،أما بعد، فهذه حقيبة تعليمية بعنوان: "مقدمة أنظمة التحكم" نقدمها لأبنائنا متدربي الكليات التقنية التابعة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني، تخصص "إلكترونيات صناعية وتحكم".

إن تكنولوجيا التحكم الآلي أصبحت منتشرة في كل قطاعات الصناعة وعلى ظهر السفن والغواصات والصواريخ والطائرات وسفن الفضاء والأقمار الصناعية ولذلك أصبح من الضروري لفني الإلكترونيات أن يلم بمبادئ تكنولوجيا التحكم الآلي.

من دراسة هذه الحقيبة يتمكن الطالب من تعريف وظائف ومكونات نظم التحكم وحلقات وأنماط التحكم الأساسية ورسم المخطط الصندوقي لنظام تحكم معين وكتابة دالة نقل أنظمة الرتبة الأولى والثانية واستجابتها لإشارة الخطوة. كما يتمكن الطالب من تحديد عملية التحكم النهائي وحساب المقاس الصحيح لصمام التحكم.

وقد تم توزيع محتوى المادة العلمية على خمس وحدات تعليمية هي:

الوحدة الأولى بعنوان مقدمة لتكنولوجيا أنظمة التحكم الآلي وقد تم فيها استعراض مراحل تطور تكنولوجيا التحكم الآلي على مدى العصور وتعريف العناصر الرئيسية لنظام التحكم الآلي وبعض المفاهيم الأساسية.

الوحدة الثانية: بعنوان طرق تمثيل النظم وتم التطرق خلالها إلى طريقة المخطط الصندوقي وتحويلات لابلاس ودالة النقل.

الوحدة الثالثة بعنوان نظم الرتبة الأولى والثانية وتطرقنا في هذه الوحدة إلى الصيغ العامة لنظم الرتبة الأولى والثانية ودالة نقلها وطريقة استجابتها لإشارة الخطوة.

الوحدة الرابعة بعنوان طرق وحلقات التحكم وتحتوي على شرح لحلقة التحكم المفتوح والتحكم المغلق. وتطرقنا إلى دراسة أنواع الحاكمات المختلفة من حيث المعادلة الزمنية ودالة النقل والمخطط الصندوقي والدائرة الإلكترونية

الوحدة الخامسة بعنوان التحكم النهائي وتتضمن شرحا لمكانة التحكم النهائي في حلقة التحكم والمراحل التي تمر بها عملية التحكم النهائي. كما تتضمن شرحا لوظيفة وأنواع المشغلات المختلفة من هوائية وكهربية وهيدروليكية، وكيفية حساب الحجم الأمثل لصمام التحكم.

وقد روعي عند إعداد هذه الحقيبة البساطة في تقديم المادة العلمية بحيث لا نلجأ إلى التحليل الرياضي إلا عند الضرورة. ولقد زودت كل الوحدات التعليمية بأمثلة تقرب المادة العملية للطالب وتساعده على استيعاب المفاهيم الأساسية. كما تم وضع أسئلة وتمارين في نهاية كل وحدة تعليمية ليتمكن الطالب من اختبار ما اكتسبه من جدارة، وتغرس فيه عادة التعلم الذاتي.

مقدمة أنظمة تحكم

مقدمة لتكنولوجيا أنظمة التحكم الآلي

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الأهداف:

بعد انتهائك من دراسة هذه الوحدة تكون قادرا على:

- تعريف تكنولوجيا أنظمة التحكم الآلي.
- ذكر بعض مجالات تطبيق تكنولوجيا أنظمة التحكم الآلي.
- ذكر مراحل تطور تكنولوجيا أنظمة التحكم الآلي.
- ذكر العناصر الرئيسية المكونة لنظام تحكم آلي.
- ذكر الأنواع المختلفة لتكنولوجيا التحكم الآلي بواسطة الحاسب الآلي.
- تعريف العبارات التالية: النظام، نظام التحكم، الدخل، الخرج.

مقدمة

تكنولوجيا نظم التحكم الآلي (Automatic Control Systems Technology) فرع من العلوم التكنولوجية، ويُعنى بالسيطرة على العمليات الصناعية والأجهزة والمعدات، وتشغيلها بدون الحاجة إلى مشغل بشري. ويعتبر التحكم الآلي ملتقى المعارف الهندسية، إذ ينبغي مراقبة وضبط المتغيرات التي تتفاعل في جميع العمليات الصناعية كي تؤدي المنشآت والتجهيزات الوظائف التي شيدت من أجلها.

ولتكنولوجيا نظم التحكم الآلي تطبيقات في جميع النشاطات الصناعية، مثل:

محطات توليد الطاقة الكهربائية وتحلية المياه،

مصافي تكرير النفط،

مصانع تعبئة قارورات الغاز،

مصانع تعبئة المواد الغذائية،

صناعة السيارات،

مصانع الإسمنت،

الملاحة الجوية والبحرية

التطبيقات العسكرية..

كما أن لتكنولوجيا نظم التحكم الآلي دور كبير في تخفيف أعباء الحياة اليومية وجعلها أكثر رفاهية، فنجد تطبيقات التحكم الآلي في معظم الأجهزة المنزلية، مثل:

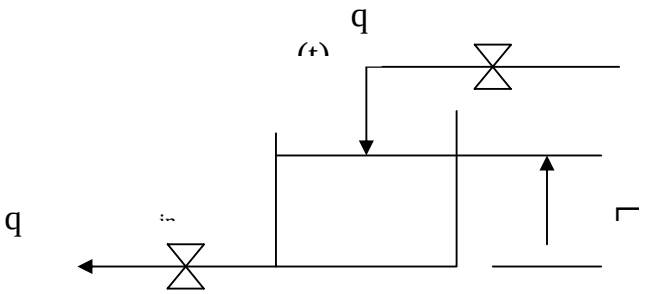
التبريد والتكييف،

التدفئة والأفران،

- الغسالات والنشافات....

ولقد أصبحت مفاهيم التحكم الآلي التي كانت حكرا على التقنيين والمهندسين، تستخدم في شتى مجالات المعرفة مثل علوم الأحياء والاقتصاد والاجتماع والتربية فضلا عن أنظمة النقل (Transportation Systems) والتخطيط العمراني (Urban Planning) والبيئة (Environment)...

مراحل تطور تكنولوجيا التحكم الآلي على مدى العصور:



الشكل ١ -١: التحكم في مستوى سائل في

لقد مرت تكنولوجيا التحكم في تطورها بمراحل عديدة نختصرها من خلال مثال التحكم في مستوى سائل في خزان، كما في الشكل أدناه، حيث:

q_{in}: معدل تدفق السائل الداخل للخزان (input flow rate)

q_{out}: معدل تدفق السائل الخارج من الخزان (output flow rate)

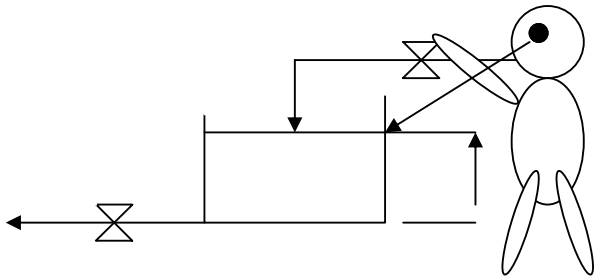
R_{in}: صمام الدخل (inlet valve)

R_{out}: صمام الصرف (outlet valve)

وقد مرت عملية التحكم في مستوى سائل في خزان بالمراحل الآتية.

المرحلة الأولى: التحكم اليدوي Manual Control

كان للمشغل البشري في هذه المرحلة دور أساسي، فهو يقوم بمتابعة مستوى السائل في الخزان بعينيه ويتخذ القرار المناسب (فتح الصمام أو غلقه) وينفذه بيده.



الشكل ١ -٢: التحكم اليدوي

h

تبرز من خلال هذا المثال العناصر الرئيسية التي تدخل في تشكيل نظام تحكم وهي:

العملية المراد التحكم فيها (Process to be controlled): فتدفق السائل داخل وخارج الخزان، والخزان نفسه، والسائل، كل ذلك يشكل عملية التحكم في المستوى.

الحساس (Sensor): وظيفته استشعار القيمة الفعلية للمقدار المراد التحكم فيه (مستوى السائل h)، وهو العين في هذا المثال.

المقارن (Comparator): وظيفته مقارنة القيمة الفعلية للمتغير المراد التحكم فيه مع القيمة المطلوبة والمخ هو الذي يقوم بهذه الوظيفة هنا.

الحاكم (Controller): وظيفته معالجة البيانات المتعلقة بالعملية المراد التحكم فيها، وإصدار الأوامر المناسبة وفق منهجية محددة، وهو أيضا المخ في هذا المثال.

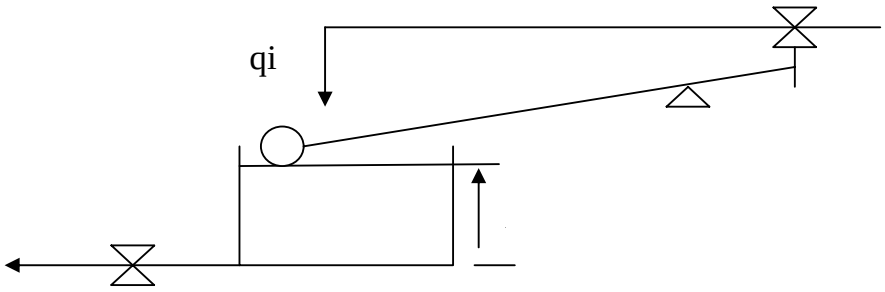
المشغل (Actuator): وظيفته تنفيذ الأوامر الصادرة عن الحاكم، وفي هذا المثال يد العامل،

عنصر التحكم النهائي (Final Control Element) ووظيفته التأثير المباشر على العملية وهو صمام التحكم في هذا المثال.

المرحلة الثانية: التحكم الميكانيكي Mechanical Control

باستخدام عوامة، يمكن الاستغناء عن المشغل البشري. فكُرَة العوامة بمثابة الحساس، والذراع والمفصل بمقاسات مناسبة بمثابة الحاكم، وطرف الذراع هو المشغل. فهذا النوع من التحكم يوصف بأنه تحكم آلي ميكانيكي (Mechanical Control)، فهو "آلي"، لعدم وجود مشغل بشري. وهو "ميكانيكي"، لأن القطع المستخدمة في عملية التحكم كلها قطع ميكانيكية.

وقد يستخدم الهواء المضغوط للتأثير على وضع الأجهزة (تحكم هوائي: Pneumatic Control)، أو الزيوت المضغوطة (تحكم هيدروليكي: Hydraulic Control).

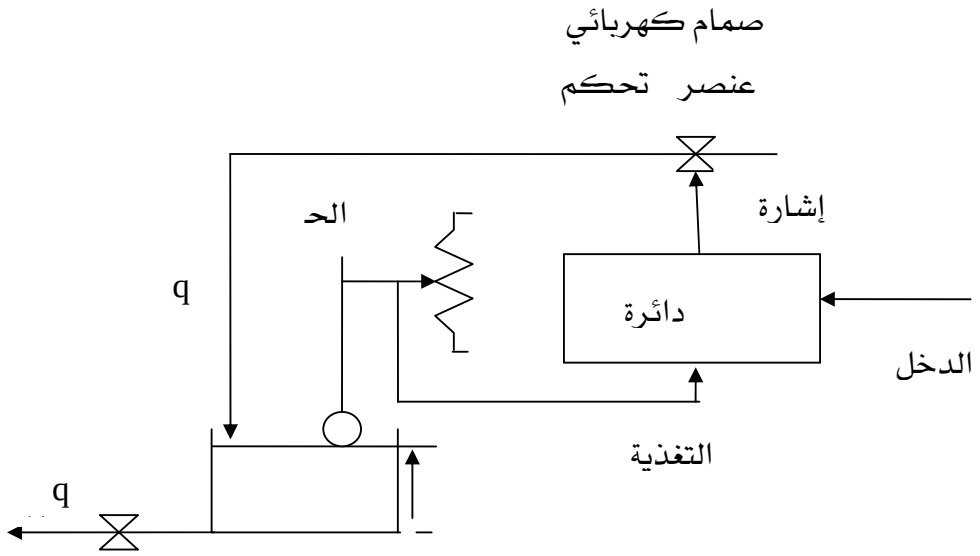


الشكل ١ -٣: التحكم الآلي الميكانيكي

المرحلة الثالثة: التحكم الإلكتروني (Electronic Control)

نتيجة للتقدم الهائل في مجال الصناعات الإلكترونية، لقيت الحاكمات الإلكترونية انتشارا واسعا في مجال تكنولوجيا نظم التحكم الآلي، وطورت الحساسات التي هي عناصر لتحويل المقادير الطبيعية إلى مقادير كهربائية مناظرة تستطيع دوائر التحكم معالجتها. كما طورت المشغلات التي تقوم بتحويل الأوامر الكهربائية الصادرة عن دوائر التحكم إلى إجراءات عملية يمكن التأثير بواسطتها على وضع المقادير المراد التحكم فيها في العمليات الصناعية.

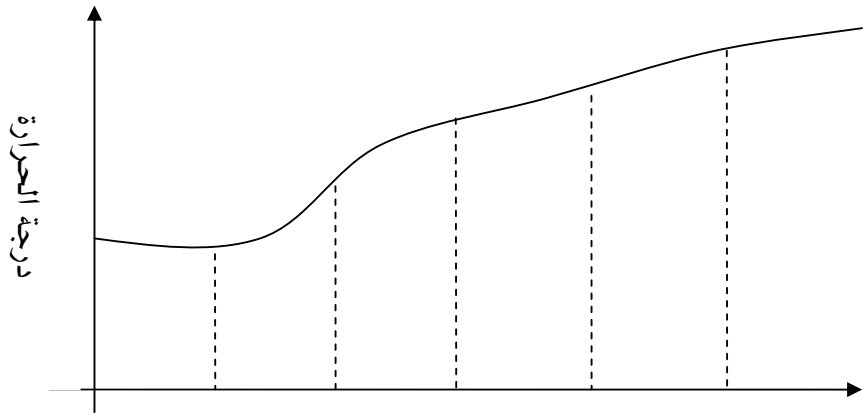
ففي هذا المثال، تستخدم مقاومة متغيرة موصلة بجهد ثابت يتصل طرفها المتحرك بكرة العوامة. فمستوى السائل في الخزان يؤثر على وضع الكرة التي بدورها تؤثر على موضع الطرف المتحرك من المقاومة المتغيرة ومن ثم على قيمة فرق الجهد بينه وبين الطرف الثابت ، وهكذا نحصل على جهد كهربائي يمثل مستوى السائل في الخزان. أنظر الشكل ١ -٤.



الشكل ١ -٤: التحكم الآلي الإلكتروني

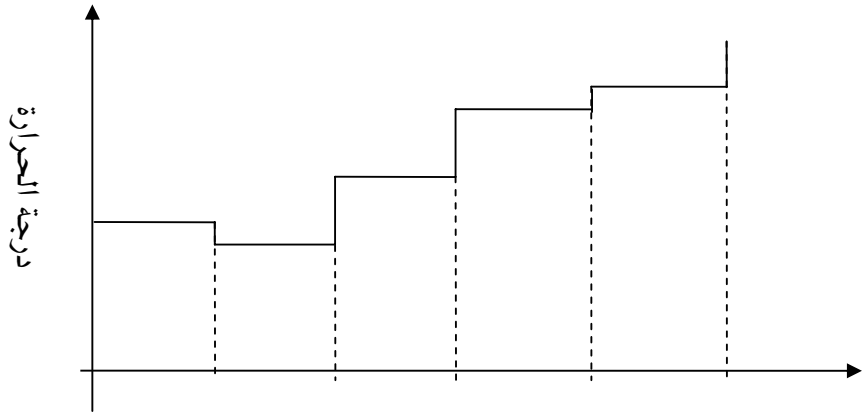
يوجد نوعان من الإشارات الكهربائية:

الإشارات الكهربائية التماثلية (Analogue): التي تتغير بطريقة مستمرة مع الزمن كما هو مبين في الشكل ١ -٦.



الشكل ١ -٦ إشارة تماثلية لدرجة الحرارة

الإشارة الكهربائية الرقمية (Digital) التي تتغير بطريقة متقطعة مع الزمن، كما هو واضح في الشكل ١ -٧.



الشكل ١ -٧ إشارة رقمية لدرجة الحرارة

ومن ثم انقسم التحكم الإلكتروني إلى نوعين تبعا لنوع الإشارات التي تتفاعل فيه:

أنظمة التحكم التماثلي (Analogue Control Systems): وهي أنظمة تحكم تتفاعل فيها إشارات تماثلية وهذا النوع طور أولا.

أنظمة التحكم الرقمي (Digital Control Systems): وهي أنظمة تحكم تتفاعل فيها إشارات رقمية، ومن أهمها أنظمة التحكم بواسطة الحاسب (Computer Control Systems) التي هي آخر ما وصل إليه تطور تكنولوجيا أنظمة التحكم الإلكترونية.

ويمكننا في هذا الصدد الإشارة إلى الأنواع الآتية من تكنولوجيا التحكم بواسطة الحاسب:

التحكم الرقمي المباشر (DDC: Direct Digital Control): للحاسب هنا دور أساسي في عملية التحكم، فهو يقوم مقام دوائر التحكم بواسطة برامج تحكم خاصة.

التحكم الإشرافي مع نظم كسب البيانات (SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition): للحاسب فقط دور إشراف ومتابعة (Monitoring) لعملية التحكم. أما التحكم الفعلي فتقوم بها دوائر تحكم تماثلية.

نظم التحكم المنتشر (DCS: Distributed Control Systems)

الحاكمات المنطقية القابلة للبرمجة (PLC: Programmable Logic Controller:): العديد من العمليات الصناعية تتم بطريقة تتابعية (sequential). فالحاسب يتولى ترتيب عملية التصنيع

برمتها، فيشغل السيور أو يوقفها، ويفتح الصمامات أو يغلقها الخ، وذلك وفق تسلسل منطقي معين.

تعريفات

تعريف النظام System

النظام عبارة عن مجموعة مكونات مترابطة فيما بينها بحيث تؤدي وظيفة محددة. لبيان ذلك، نعود إلى مثال الخزان الوارد في الشكل ١ -١. فالنظام في هذا المثال عبارة عن مجموعة مكونات هي الخزان، والمواسير، والصمامات، وهذه المكونات مرتبة ترتيبا دقيقا بحيث تؤدي وظيفة محددة هي تجميع السائل في الخزان.

تعريف نظام التحكم (Control System):

نظام التحكم عبارة عن مجموعة مكونات مترابطة فيما بينها بحيث تتحكم في نفسها أو غيرها من النظم. وكمثال على ذلك، نعود إلى التحكم الإلكتروني في مستوى السائل في الخزان الوارد في الشكل ١ -٤. فنظام التحكم هنا عبارة عن مجموعة مكونات هي الخزان والمواسير والصمامات والعناصر الإلكترونية المختلفة، ووظيفته التحكم في مستوى السائل في الخزان.

تعريف الدخل

الدخل هو المقدار الذي يؤثر في حالة النظام.

تعريف الخرج

الخرج هو المقدار الذي ينتج عن النظام نتيجة لتأثير الدخل عليه.

فالدخل والخرج مقداران يتفاعلان في النظام، وكلاهما يطلق عليه مصطلح "إشارة Signal"، ويختلف نوعها تبعا لنوع النظام، فهي في النظم الكهربائية تيار أو فرق جهد، وفي النظم الميكانيكية قوة أو سرعة أو مسافة، وفي نظم السوائل معدل تدفق أو مستوى سائل أو ضغط، وفي النظم الحرارية معدل تدفق الحرارة أو درجة حرارة وهكذا.

ففي مثال الخزان، تدفق السائل في الخزان يرفع مستوى السائل في الخزان. فالمقدار المؤثر في وضع النظام هنا هو معدل التدفق، والمقدار الناتج عن ذلك هو التغير في مستوى السائل في الخزان. ومن ثم يكون معدل التدفق qin هو الدخل ومستوى السائل h(t) هو الخرج.

الخلاصة:

تطرقنا في هذه الوحدة إلى نظرة عامة لتكنولوجيا أنظمة التحكم الآلي ومراحل تطورها.وذكرنا بعض التعريفات الهامة. وسنتطرق من خلال الوحدات القادمة بشيء من التفصيل لبعضها. وفيما يلي النقاط الرئيسية:

تعريف تكنولوجيا أنظمة التحكم وبعض تطبيقاتها.
مراحل تطور تكنولوجيا أنظمة التحكم الآلي.
العناصر الرئيسة المكونة لنظام تحكم آلي.
تعريف النظام، نظام التحكم، الدخل، الخرج.

أسئلة وتمارين

اذكر أربعة تطبيقات لتكنولوجيا التحكم الآلي في المجال الصناعي

اذكر المراحل التي مرت بها تكنولوجيا التحكم الآلي

اذكر العناصر الرئيسية لنظام التحكم الآلي

ما معنى الكلمات المختصرة الآتية:

DDC
DCS
SCADA
PLC

عرف الآتي :

النظام

نظام التحكم

الدخل

الخرج

مقدمة أنظمة تحكم

تمثيل النظم

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الأهداف :

بعد انتهائك من دراسة هذه الوحدة تكون قادرا على:

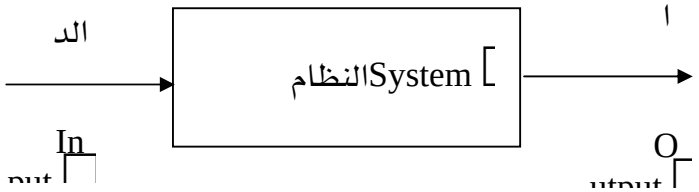
- شرح الغرض من المخطط الصندوقي،
- ذكر مكونات المخطط الصندوقي،
- رسم المخطط الصندوقي لنظام بسيط،
- شرح الغرض من تحويلات لابلاس،
- تعريف تحويل لابلاس،
- إيجاد تحويل لابلاس لبعض الإشارات الأساسية مثل إشارة الخطوة،
- شرح الغرض من دالة النقل
- تعريف دالة النقل
- إيجاد دالة النقل لبعض النظم البسيطة

مقدمة

تناولنا في الوحدة السابقة مقدمة لتكنولوجيا أنظمة التحكم الآلي واستعرضنا مراحل تطورها كما ذكرنا العناصر الأساسية التي تدخل في تكوين أنظمة التحكم الآلي وهي العملية المراد التحكم فيها والحساس والحاكم وعنصر التحكم النهائي. وفي هذه الوحدة سنتناول طريقتين من طرق تمثيل النظم: المخطط الصندوقي ودالة النقل.

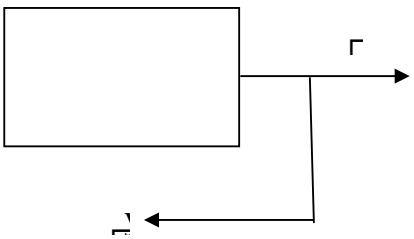
المخطط الصندوقي Block Diagram

يُعتبر المخطط الصندوقي من أهم طرق تمثيل النظم، نظرا لبساطتها واقتصارها على إبراز العلاقة بين المتغيرات التي تتفاعل في النظم (الدخل والخرج). فالعناصر المكونة للنظم تمثل بواسطة مستطيلات، وطرق نقل الإشارات تمثل بواسطة خطوط مستقيمة والأسهم تدل على اتجاه تدفق الإشارات.
يوضع الدخل على يسار الصندوق والخرج على يمينه، كما هو موضح في الشكل ٢ -١.

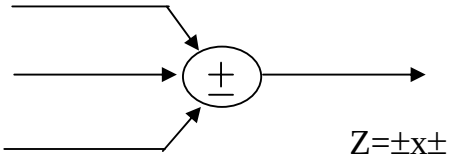


الشكل ٢ -١ المخطط الصندوقي

وتُستخدم أيضا في المخططات الصندوقية نقاط تفريع (take off point) الشكل ٢ -٣ ووصلات تجميع (summing junctions) الشكل ٢ -٢

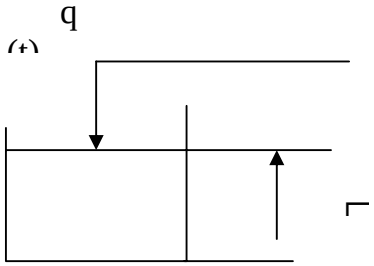


الشكل ٢ -٢ نقطة تفريع



الشـــــكل ٢ -٣ وصـــــلة

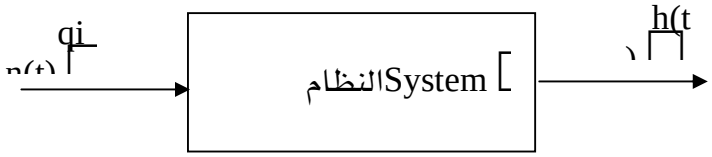
مثال٢ -١ ارسم المخطط الصندوقي للنظام المبين في الشكل ٢ -٤ أدناه



الشكل ٢ -٤ التحكم في مستوى سائل في

الحل:

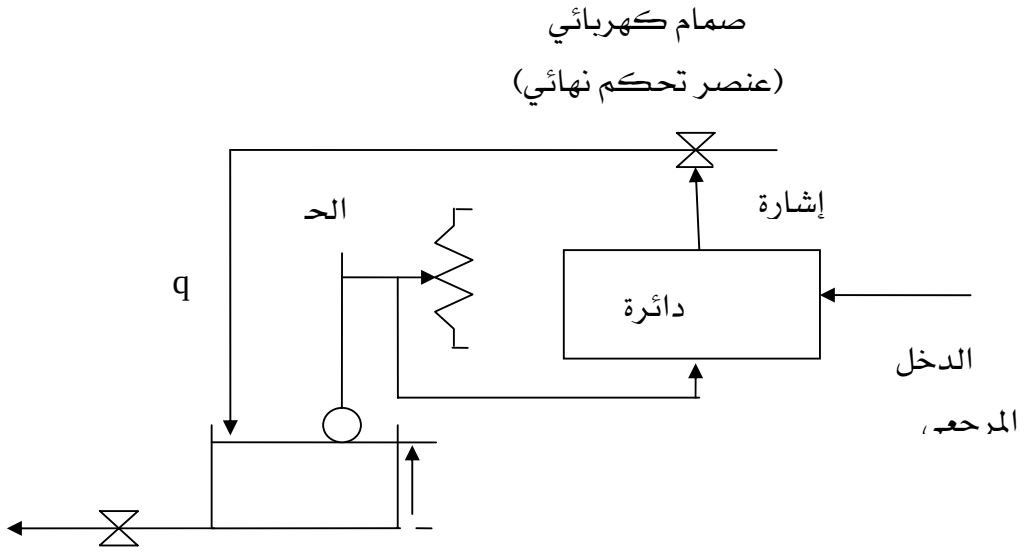
الخزان والأنابيب والسائل تُكوِّن النظام، ومعدل التدفق هو الدخل ومستوى السائل في الخزان هو الخرج، ومن ثم يكون المخطط الصندوقي كالتالي:



الشكل ٢ -٥ المخطط الصندوقي للخزان

عندما يتكون النظام من عدة عناصر، نستطيع إبرازها كمكونات فرعية ويخصص حينئذ صندوق لكل واحد منها كما يمكن دمجها في صندوق واحد لتظهر الوظيفة الأساسية فقط.

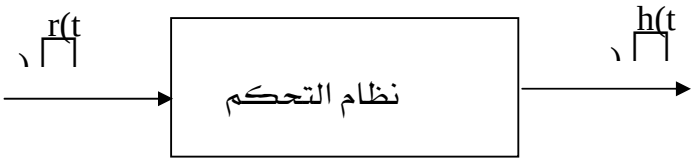
مثال٢ -٢ أوجد المخطط الصندوقي لنظام التحكم الإلكتروني في مستوى سائل في خزان المبين في الشكل ٢ -٦



الشكل ٢ -٦ نظام تحكم في مستوى سائل

الحل:

دخل نظام التحكم هنا هو المستوى المرغوب فيه (الدخل المرجعي r(t)، والخرج هو المقدار المراد التحكم فيه، وهو عندنا هنا المستوى h(t). وبذلك يكون المخطط الصندوقي لنظام الإجمالي كالتالي:



الشكل ٢ -٧ المخطط الصندوقي لنظام تحكم في مستوى السائل في خزان

لاحظ أن النظام مكون من أنظمة فرعية (Subsystems) مثل:

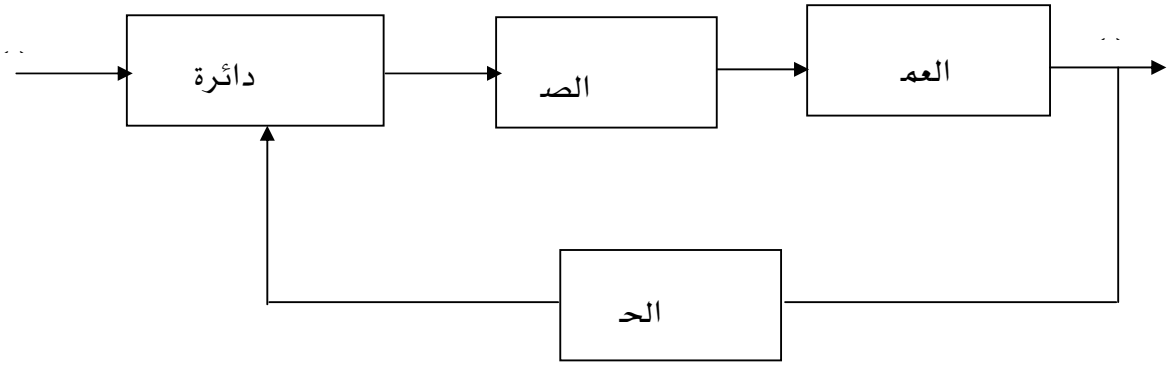
- العملية أو النظام المراد التحكم فيه، ويشتمل على الأنابيب والخزان والسائل،
- الحساس، ويشتمل على العوامة والمقاومة المتغيرة،

- الحاكم، ويشتمل على دائرة التحكم
- عنصر التحكم النهائي (الصمام الكهربائي).

والإشارات تسلك مسارات متنوعة لتنتقل من نظام فرعي إلى آخر:

- المستوى ينتقل من العملية إلى الحساس عن طريق الاتصال المباشر بين سطح الماء والعوامة،
- القيمة المقاسة للمستوى تنتقل من الحساس إلى دائرة التحكم عن طريق موصل عادي،
- إشارة التحكم تنتقل إلى الصمام الكهربائي عن طريق مرحل،

وهكذا، بتتبع مسار الإشارات يكون المخطط الصندوقي المفصل كالآتي:



الشكل ٢ -٨ المخطط الصندوقي المفصل لنظام التحكم في

تحويلات لابلاس Laplace Transforms

تُعتبر تحويلات لابلاس من الأدوات الرياضية المساعدة لدراسة نظم التحكم الآلي. وتتم بالانتقال من مجال المتغير الزمني t الذي هو عدد حقيقي، إلى متغير لابلاس s الذي هو عدد مركب على شكل $\sigma+j\omega$ ، وتعرف كالآتي:

$$L(f(t)) = F(s) = \int_0^\infty f(t)e^{-st}dt \qquad (٢-١)$$

حيث $L(f(t))$ يعني تحويل لابلاس للإشارة $f(t)$

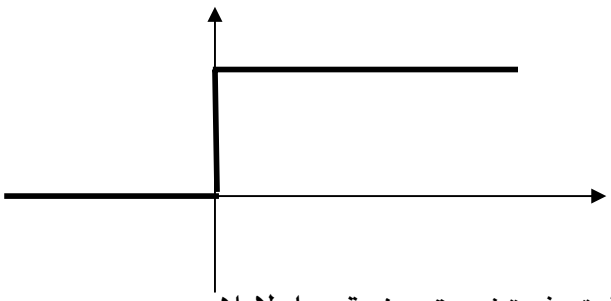
تحويلات لابلاس لبعض الإشارات الأساسية

تحويل لابلاس لإشارة الخطوة:

تعرف إشارة خطوة ارتفاعها A كالآتي:

$$x(t)=\begin{cases}A; & t\geq 0\\ 0 & t<0\end{cases} \qquad (٢-٢)$$

ويكون منحناها كالآتي:



لإيجاد تحول لابلاس لإشارة الخطوة، نستخدم تعريف تحويل لابلاس:

$$X(s)=\int_0^\infty x(t)e^{-st}dt=\int_0^\infty Ae^{-st}dt$$

$$X(s)=-\frac{A}{s}e^{-st}\Big|_0^\infty=\frac{A}{s}$$

وعندما يكون ارتفاع الخطوة ١ =A، يستخدم رمز $u(t)$ للدلالة عليها وتسمى إشارة خطوة الوحدة، ويكون تحويل لابلاس لخطوة الوحدة:

$$U(s)=\frac{A}{s}$$

تحويل لابلاس للإشارة الأسية

تعرف الإشارة الأسية كالآتي:

$$x(t)=\begin{cases}Ae^{at}; & t\geq 0\\ 0 & t<0\end{cases} \qquad (٢-٣)$$

لإيجاد تحول لابلاس لإشارة الخطوة، نستخدم المعادل (٢ -١):

$$X(s)=\int_0^{\infty}x(t)e^{-st}dt=\int_0^{\infty}Ae^{at}e^{-st}dt=\int_0^{\infty}Ae^{-(s-a)t}dt$$

$$X(s)=-\frac{A}{s-a}e^{-st}\Big|_0^{\infty}=\frac{A}{s-a}$$

ويحتوي الجدول (٢ -١) على مزيد من تحويلات لابلاس لإشارة هامة.

خواص تحويلات لابلاس

لتحويل لابلاس عدد من الخواص مفيدة جدا في استنتاج تحويلات لابلاس لإشارات أعقد انطلاقا من تحويلات لابلاس لإشارات معلومة.

- خاصية الخطية:

$$L(af(T)+bg(t)+=aF(s)+bG(s) \qquad (٤-٢)$$

حيث أن $L(f(t))=F(s)$ و $L(g(t))=G(s)$

وهذا ناتج عن الخاصية الخطية للتكامل نفسه.

- قانون الاشتقاق في مجال الزمن:

نظرا إلى كوننا سنعالج معادلات تفاضلية بواسطة تحويلات لابلاس، فإننا سنحتاج إلى علاقة تربط تحويل لابلاس مشتقة أي دالة بتحويل لابلاس الدالة نفسها.

$$L(f'(t))=sF(s)-f(\cdot) \qquad (٥-٢)$$

وباستخدام المعادلة (٢ -٥) مرتين نحصل على تحويل لابلاس للمشتقة الثانية:

$$L(f''(t))=s^{r}F(s)-sf('(\cdot)-f(\cdot) \qquad (٦-٢)$$

خلاصة هذه الخاصية: "الاشتقاق في مجال الزمن بمثابة الضرب في s مجال لابلاس".

مثال٢ -٣ أوجد تحويل لابلاس لإشارة الانحدار

تعرف إشارة الانحدار كالآتي،

$$r(t)=\begin{cases}t; & t\geq 0\\ 0; & t<0\end{cases}$$

بما أن $t = \int_0^t 1dt$ ، فإنه يمكن كتابة إشارة الانحدار باستخدام إشارة خطوة الوحدة كالتالي: $r(t) = \int_0^t u(\tau)d\tau$ وبالتالي، باستخدام قانون الاشتقاق تكون $L(u(t)) = sL((r(t))$ أو $L(r(t)) = \frac{1}{s}L(u(t))$

، ومن ثم يكون تحويل لابلاس لإشارة الانحدار كالآتي:

$$L(r(t)) = \frac{1}{s^2} \qquad (٢-٧)$$

- قانون الإزاحة في مجال الزمن Time Shift:

$$L(f(t-T) = e^{-sT}F(s) \qquad (٢-٨)$$

- قانون القيمة الابتدائية Final Value Theorem:

إذا كانت $\lim_{s\to\infty} sF(s)$ معرفة فإنه يمكن الحصول على القيمة الابتدائية للإشارة *f(t)* بالطريقة التالية:

$$f(0) = \lim_{s\to\infty} sF(s) \qquad (٢-٩)$$

- قانون القيمة النهائية (final value theorem):

إذا كانت $\lim_{s\to 0} sF(s)$ معرفة فإنه يمكن الحصول على القيمة النهائية للإشارة *f(t)* بالطريقة التالية:

$$\lim_{t\to 0} f(t) = \lim_{s\to\infty} sF(s) \qquad (٢-١٠)$$

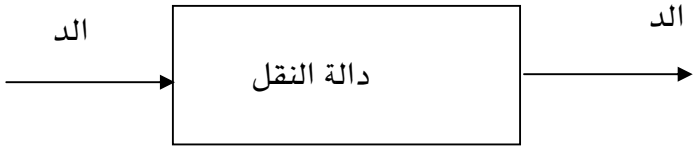
ويحتوي الجدول (٢ -٢) على مزيد من خواص تحويلات لابلاس.

دالة النقل Transfer Function

دالة النقل طريقة مهمة لدراسة نظم التحكم ، وتعرف كالآتي:

$$\text{دالة} \quad \frac{\text{تحويل لابلاس الخرج}}{\text{تحويل لابلاس الدخل}}$$

وتقترن دالة النقل غالبا بالمخطط الصندوقي، حيث توضع داخل صندوق النظام الذي تمثله. الد



الشكل ٢ -٩ دالة النقل والمخطط

قبل التفصيل في هذا الموضوع، نلفت الانتباه إلى أنه عند التعامل مع دالة النقل، لا تؤخذ القيم الابتدائية بعين الاعتبار.

دالة نقل النظم الأساسية

هناك نظم يمكن اعتبارها لبنات أساسية لبناء نظم أعقد وهي النظام التناسبي والنظام التكاملي والنظام التفاضلي.

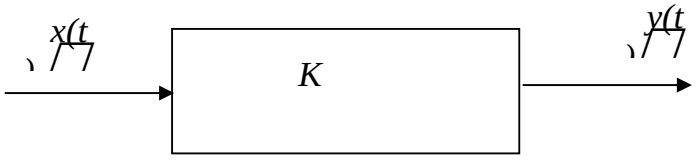
- النظام التناسبي Proportional System

o المعادلة الزمنية: يتناسب خرج النظام التناسبي طرديا مع دخله، وفق المعادلة التالية:

$y(t) = Kx(t)$	(٢ -١١)

حيث K معامل التناسب.

o المخطط الصندوقي للنظام التناسبي: يتم تمثيل النظام التناسبي بواسطة المخطط الصندوقي كالتالي:



الشكل ٢ -١٠ المخطط الصندوقي للنظام التناسبي

- دالة نقل النظام التفاضلي: للحصول على دالة نقل النظام التفاضلي، ندخل تحويل لابلاس على طرفي المعادلة (٢ -١٢).

$$L(y(t)) = L(Kx(t))$$

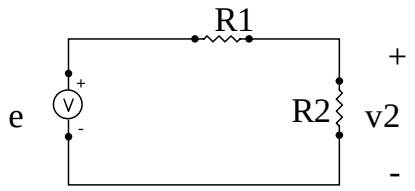
وباستخدام خاصية الخطية

$$Y(s) = KX(s)$$

ونظرا لتعريف دالة نقل النظام نحصل على دالة نقل النظام التناسبي كالتالي

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = K$$

مثال٢ -٤ أوجد دالة نقل وارسم المخطط الصندوقي للدائرة RC التالية:



الحل:

من الدوائر الإلكترونية نعرف أن العلاقة بين v_2 و e هي:

$$v_2 = \frac{R_2}{R_1} e$$

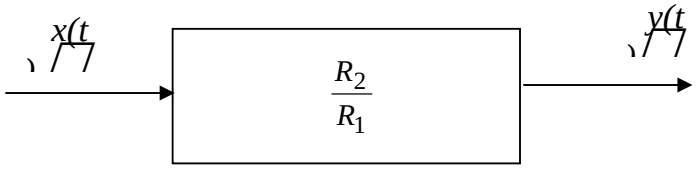
وبإدخال تحويل لابلاس على طرفي المعادلة نحصل على

$$V_2(s) = \frac{R_2}{R_1} E(s)$$

ومن ثم تكون دالة النقل:

$$\frac{V_2(s)}{E(s)} = \frac{R_2}{R_1}$$

و يكون المخطط الصندوقي الذي يمثل الدائرة كالآتي

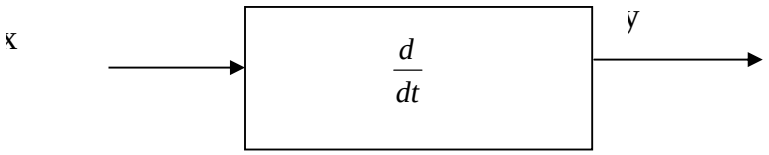


- النظام التفاضلي Derivative System

- المعادلة الزمنية: خرج النظام التفاضلي مشتقة دخله، وفق المعادلة التالية:

$y(t) = \frac{dx(t)}{dt}$	(٢ -١٢)

- المخطط الصندوقي للنظام التفاضلي: يتم تمثيل النظام التفاضلي بواسطة المخطط الصندوقي كالتالي:



الشكل ٢ -١١ المخطط الصندوقي للنظام

- دالة نقل النظام التفاضلي: للحصول على دالة نقل النظام التفاضلي، ندخل تحويل لابلاس على طرفي المعادلة (٢ -١٢).

$$L(y(t)) = L(\frac{dx(t)}{dt}) = L(x'(t))$$

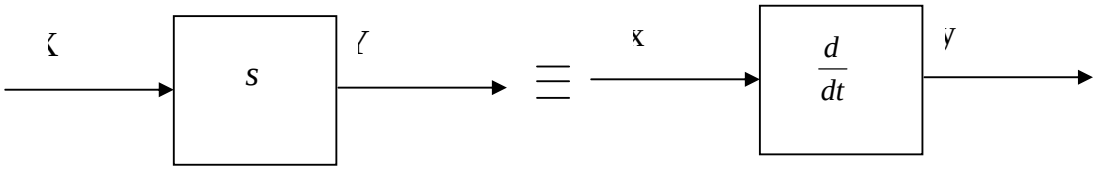
وباستخدام قانون الاشتقاق نحصل على:

$$Y(s) = sX(s)$$

ونظرا لتعريف دالة النقل نحصل على دالة نقل النظام التفاضلي كالتالي

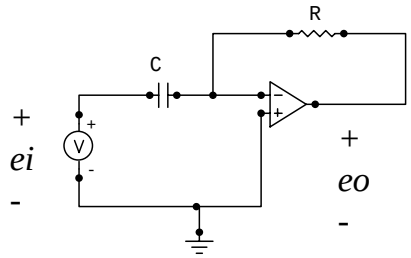
$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = s$$

وتذكر أن الاشتقاق في مجال الزمن بمثابة الضرب في s في مجال لابلاس.



الشكل ٢ -١٢ التكافؤ بين الاشتقاق في مجال الزمن و الضرب في s في مجال لابلاس

مثال٢ -٥ أوجد دالة نقل وارسم المخطط الصندوقي للدائرة RC التالية:



الحل:

من الدوائر الإلكترونية نعرف أن العلاقة بين ei و eo هي:

$$eo = -RC\frac{dei}{dt} = -RC(ei)'$$

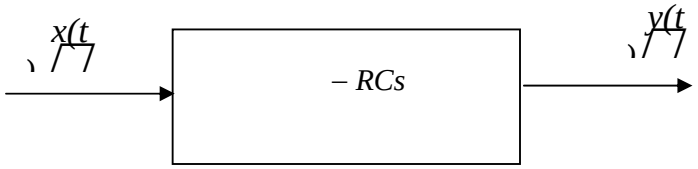
وبإدخال تحويل لابلاس على طرفي المعادلة واستخدام قانون الاشتقاق نحصل على

$$Eo(s) = -RCsEi(s)$$

ومن ثم تكون دالة النقل:

$$\frac{Eo(s)}{Ei(s)} = -RCs$$

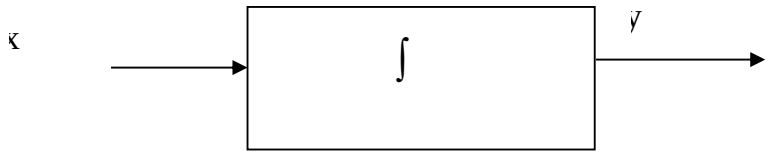
و يكون المخطط الصندوقي الذي يمثل الدائرة كالآتي



- النظام التكاملي Integral System
  - المعادلة الزمنية: خرج النظام التكاملي تكامل دخله، وفق المعادلة التالية:

$y(t) = \int_0^t x(\tau)d\tau$	(٢ -١٢)

  - المخطط الصندوقي للنظام التكاملي: يتم تمثيل النظام التكاملي بواسطة المخطط الصندوقي كالتالي:
  -



الشكل ٢ -١٣ المخطط الصندوقي للنظام

- دالة نقل النظام التكاملي: للحصول على دالة نقل النظام التكاملي، ندخل تحويل لابلاس على طرفي المعادلة (٢ -١٣).

$$L(y(t)) = L(\int_0^t x(\tau)d\tau)$$

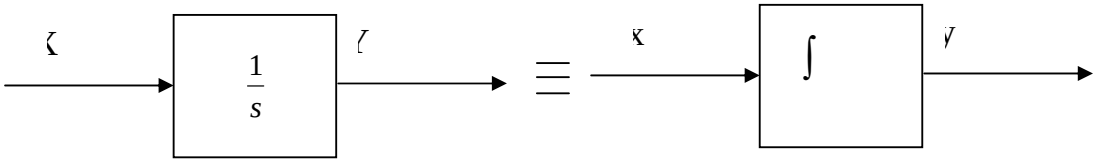
فكون y تكامل x يعني أن x مشتقة y وباستخدام قانون الاشتقاق

$$X(s) = sY(s)$$

ونظرا لتعريف دالة النقل نحصل على دالة نقل النظام التفاضلي كالتالي

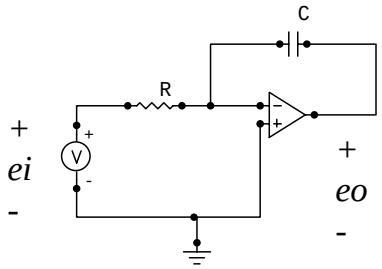
$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{s}$$

وتذكر أن التكامل في مجال الزمن بمثابة القسمة على s في مجال لابلاس.



الشكل ٢ -١٤ التكافؤ بين التكامل في مجال الزمن
والقسمة على S في مجال لابلاس

مثال٢ -٦ أوجد دالة نقل وارسم المخطط الصندوقي للدائرة RC التالية:



الحل:

نعرف من الدوائر الإلكترونية أن العلاقة بين ei و eo هي:

$$eo = -RC\int_0^t eidt$$

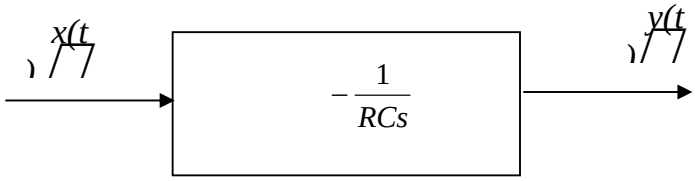
وبإدخال تحويل لابلاس على طرفي المعادلة واستخدام قانون الاشتقاق نحصل على

$$Eo(s) = -\frac{1}{RC}Ei(s)$$

ومن ثم تكون دالة النقل:

$$\frac{Eo(s)}{Ei(s)} = -\frac{1}{RCs}$$

و يكون المخطط الصندوقي الذي يمثل الدائرة كالآتي



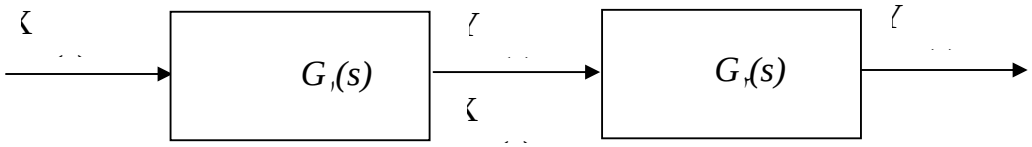
توصيل النظم Systems Interconnection

بتوصيل عدد من النظم الأساسية نحصل على نظم أعقد. توجد ثلاث توصيلات أساسية

- توصيل النظم على التوالي Series Connection

عند توصيل نظامي توالي يكون خرج النظام الأول دخل النظام الثاني، كما هو موضح في الشكل ٢ -١٥، وتكون دالة النقل النظام الإجمالي حاصل ضرب دالة نقل النظام الأول في دالة نقل النظام الثاني.

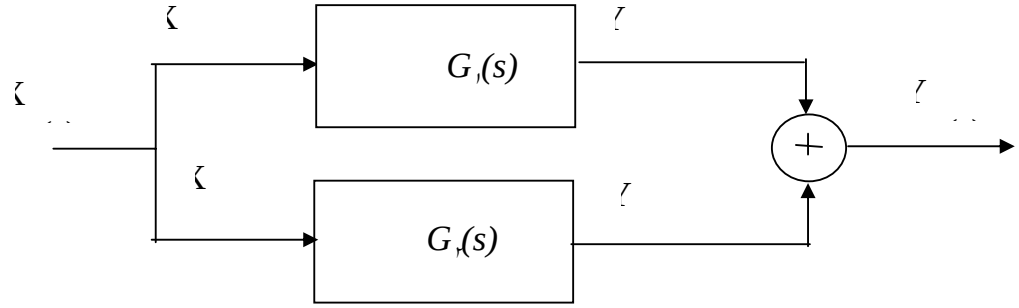
$G(s) = G_1(s)G_2(s)$	(٢ -١٣)



الشكل ٢ -١٥توصيل نظامين على التولي

- توصيل النظم على التوازيي Parallel Connection

عند توصيل نظامين على التوازي يكون الدخل مشتركا، بينما يكون الخرج مجموع الخرجين، كما هو موضح في الشكل ٢ -١٦، وتكون دالة النقل النظام الإجمالي حاصل جمع دالتي نقل النظام الأول والثاني.



الشكل ٢ -١٦ توصيل نظامين على التوازي

$G(s) = G_1(s) + G_2(s)$	(٢ -١٣)

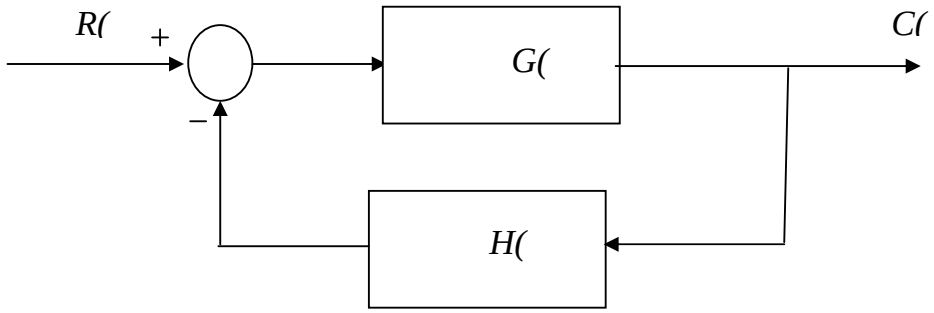
- التوصيل على هيئة التغذية الخلفية Feedback Configuration

التوصيل على هيئة التغذية الخلفية يكون وفق الشكل ٢ -١٧

وتكون دالة نقل النظام المغلق

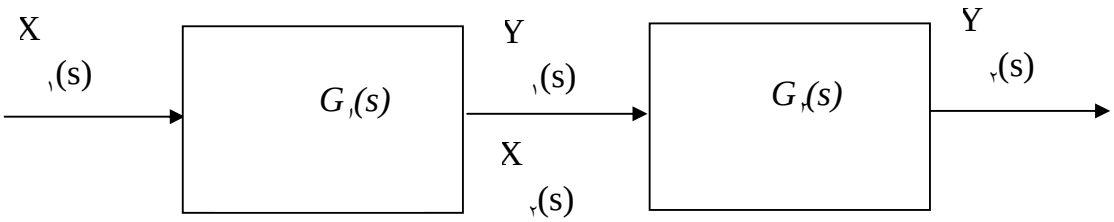
$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)}$	(٢ -١٤)

حيث $G(s)$ دالة نقل المسار الأمامي و$H(s)$ دالة نقل المسار الخلفي



الشكل ٢ -١٧ التغذية الخلفية

مثال٢ -٧ أوجد دالة نقل النظام التالي:



حيث $G_1(s) = \frac{1}{s+1}$ و $G_2(s) = \frac{10}{2s+1}$

الحل:

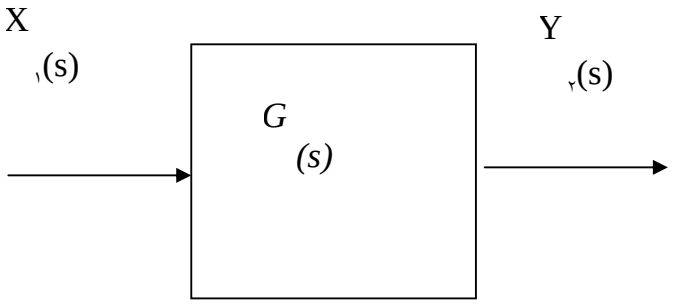
النظامان موصلان على التوالي، ومن ثم تكون دالة نقل النظام الإجمالي حاصل ضرب الدالتين

$$G(s) = \frac{Y_2(s)}{X_{1(s)}} = G_1(s) \cdot G_2(s)$$

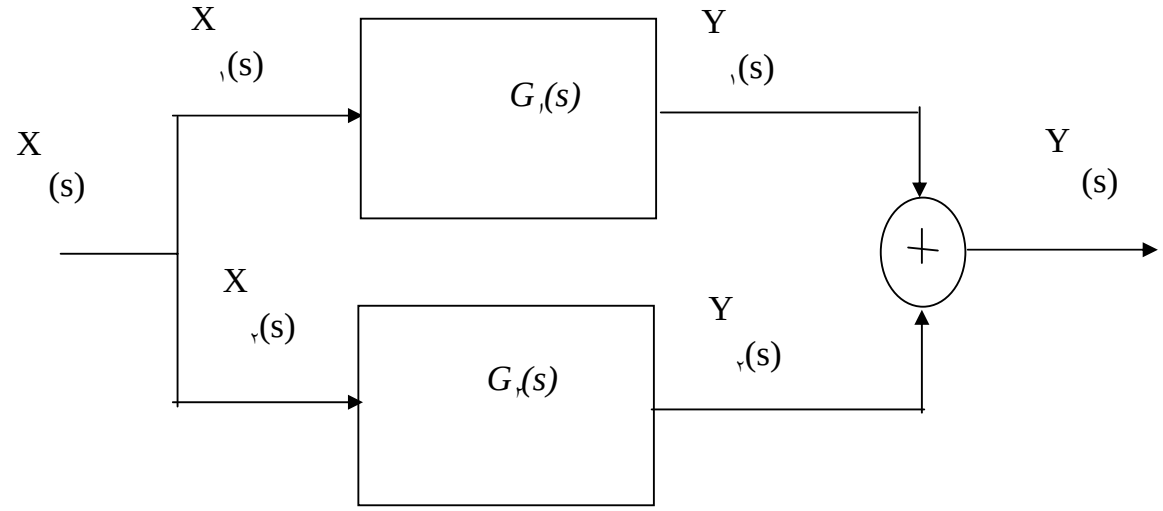
$$= \frac{1}{s+1} \cdot \frac{10}{2s+1}$$

$$\frac{10}{2s^2 + 3s + 1}$$

ويكون المخطط الصندوقي للنظام الإجمالي كالآتي



مثال٢ -٨ أوجد دالة نقل النظام التالي:



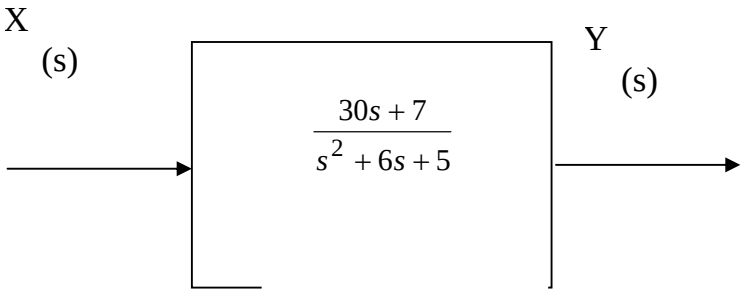
حيث $G_1(s)=\frac{1}{0.25s+1}$ و $G_2(s)=\frac{20}{0.1s+5}$

الحل:

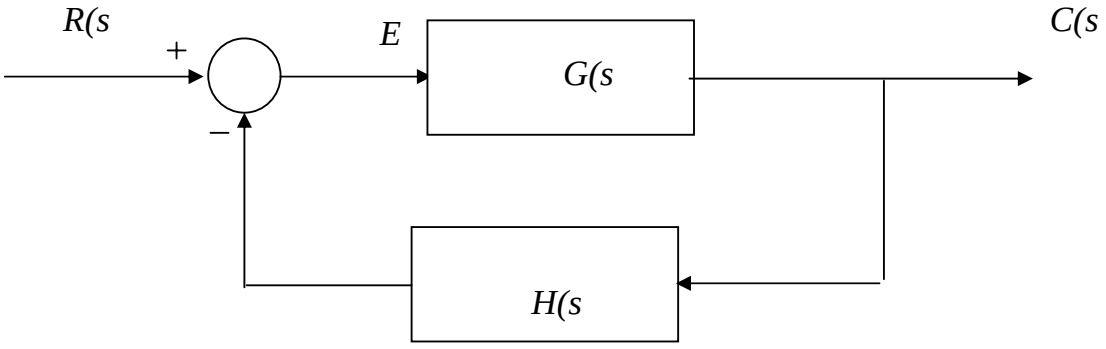
النظامان موصلان على التوازي، ومن ثم تكون دالة نقل النظام الإجمالي حاصل جمع الدالتين

$$G(s)=\frac{Y(s)}{X_{(s)}}=G_1(s)+G_2(s)$$
$$=\frac{20}{s+5}+\frac{10}{s+1}$$
$$=\frac{20(s+1)}{(s+5)(s+1)}+\frac{10(s+5)}{(s+5)(s+1)}$$
$$=\frac{30s+70}{(s+5)(s+1)}$$
$$=\frac{30s+7}{s^2+6s+5}$$

ويكون المخطط الصندوقي للنظام الإجمالي كالآتي



مثال٢ -٩ أوجد دالة نقل النظام التالي:



حيث، $G(s)=\frac{1}{0.25s+1}$ و $H(s)=$ ١

الحل:

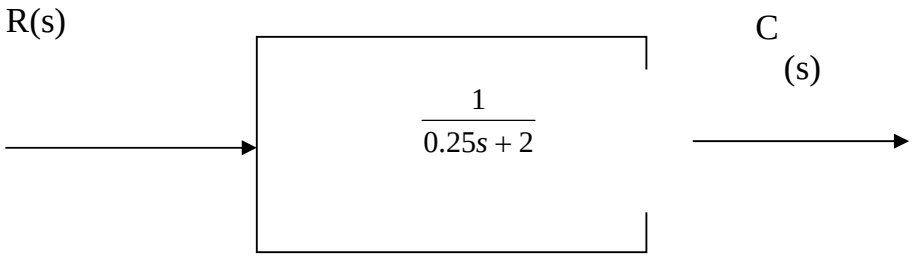
النظـــام موصـــل علـــى هيئـــة التغذيـــة الخلفيـــة، وبالتـــالي تكـــون دالـــة نقـــل النظـــام الإجمالي كالآتي

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

$$= \frac{\frac{1}{0.25s + 1}}{1 + \frac{1}{0.25s + 1}}$$

$$= \frac{1}{0.25s + 2}$$

ويكون المخطط الصندوقي للنظام الإجمالي كالآتي



جدول (٢ -١) تحويلات لابلاس لإشارات هامة

الإشارات	تحويلات لابلاس
$u(t)=\begin{cases}A; & t\geq 0\\ 0; & t<0\end{cases}$	$\frac{A}{s}$
$r(t)=\begin{cases}At; & t\geq 0\\ 0; & t<0\end{cases}$	$\frac{A}{s^2}$
e^{at}	$\frac{1}{s-a}$
$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{s^2+\omega^2}$
$\cos \omega t$	$\frac{s}{s^2+\omega^2}$

جدول (٢ -٢) خواص تحويلات لابلاس

١. الخطية	$L(af(t)+bg(t))=aF(s)+bG(s)$
٢. تغير سلم محور الزمن	$L(f(at))=\frac{1}{\lvert a\rvert}F(\frac{s}{a})$
٣. الإزاحة في مجال الزمن t	$L(f(t-T))=e^{-sT}F(s)$
٤. الإزاحة في مجال s	$L(e^{at}f(t))=F(s-a)$
٥. قانون الاشتقاق في مجال الزمن	$L(f'(t))=sF(s)-f(0)$
٦. قانون القيمة النهائية	$\lim_{t\to\infty} f(t)=\lim_{s\to 0} sF(s)$
٧. قانون القيمة الابتدائية	$\lim_{t\to 0} f(t)=\lim_{s\to\infty} sF(s)$

الخلاصة:

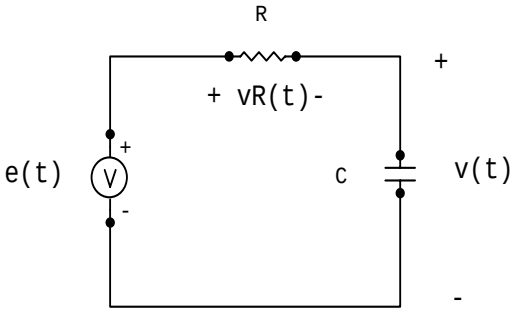
تناولنا في هذه الوحدة بعض طرق تمثيل النظم مثل المخطط الصندوقي ودالة النقل. وشرحنا المخطط الصندوقي ومكوناته وكيفية رسمه لبعض النظم البسيطة. كما عرفنا تحويلات لابلاس وقمنا بإيجاد تحويلات لبعض الإشارات الأساسية مثل إشارة الخطوة والإشارة الأسية وإشارة الانحدار. وفي النهاية شرحنا الغرض من دالة النقل وأوجدنا دالة النقل لبعض النظم البسيطة وشرحنا كيفية الحصول على دالة النقل الإجمالية للتوصيلات الأساسية (التوالي والتوازي والتغذية الخلفية).

أسئلة وتمارين

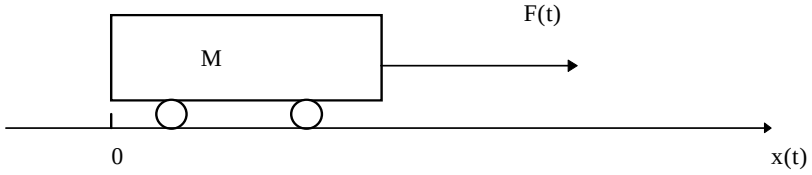
اذكر الغرض من المخطط الصندوقي

ارسم المخطط الصندوقي للنظم التالية

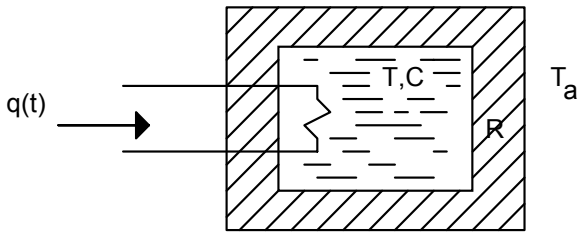
أ -دائرة RC:



ب - النظام الميكانيكي المتمثل في كتلة M تحت تأثير قوة F(t)، x(t) تمثل الإزاحة.



ج - سخان كهربائي، حيث q(t) معدل تدفق الحرارة و T درجة الحرارة داخل السخان، وT_a درجة حرارة الجو المحيط.



أوجد تحويل لابلاس للإشارات التالية

أ - $x(t) = ١٠$ ، $t \geq ٠$

ب - $t \geq ٠ \ ، \ x(t) = \square ١٠$

ج - $t \geq ٠ \ ، \ x(t) = \square ٣t$

د - $t \geq ٠ \ ، \ x(t) = ٣t$

ه - $t \geq ٠ \ ، \ z(t) = e^{٥t}$

و - $t \geq ٠ \ ، z(t) = ١٠e^{\square ٧t}$

ز - $t \geq ٠ \ ، \ x(t) = ٣\sin ٣t$

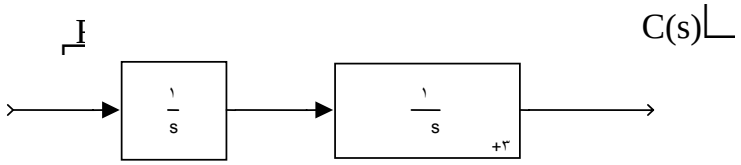
ح - $t \geq ٠ \ ، \ y(t) = ١٠\cos ٥t$

ط - $t \geq ٠ \ ، \ v(t) = e^{at}\cos \omega t$

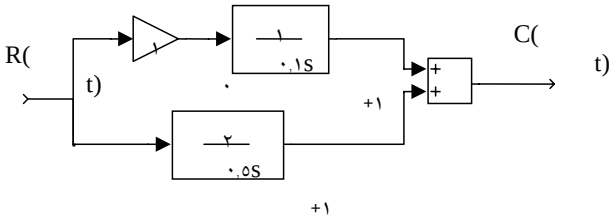
ي - $t \geq ٠ \ ، \ w(t) = e^{at}\sin \omega t$

أوجد دالة نقل النظامين التاليين:

ا -

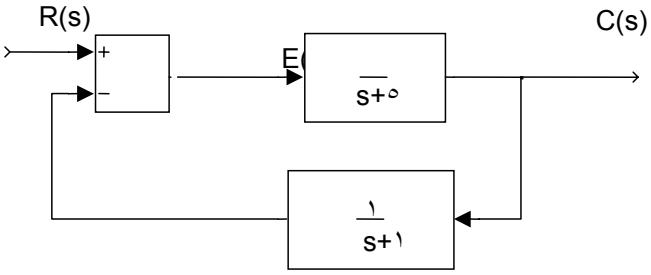


ب -



أثبت العلاقة التي تعطي دالة نقل النظام المغلق في حالة التوصيل على هيئة التغذية الخلفية (الشكل ٢ -١٥)

أوجد دالة نقل النظام التالي:



مقدمة أنظمة تحكم

نظم الرتبة الأولى والثانية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الأهداف :

بعد انتهائك من دراسة هذه الوحدة تكون قادرا على:

١. تعريف نظم الرتبة الأولى والثانية
٢. استنتاج نماذج رياضية لنظم بسيطة من الرتبة الأولى والثانية
٣. إيجاد دالة نقل نظم الرتبة الأولى والثانية
٤. حساب الثابت الزمني لنظم الرتبة الأولى
٥. إيجاد استجابة نظم الرتبة الأولى لإشارة الخطوة ورسم منحناها
٦. حساب معاملات نظم الرتبة الثانية
٧. تعريف أنواع الإخماد
٨. تحديد نوع الإخماد لنظام ما من الرتبة الثانية

مقدمة

تناولنا في الوحدة السابقة طريقتين لتمثيل النظم وهما المخطط الصندوقي ودالة النقل. وسنتناول في هذه الوحدة النموذج الرياضي الذي هو طريقة أخرى لتمثيل النظم، وهو عبارة عن معادلة رياضية تربط بين الدخل والخرج. والنماذج الرياضية لكثير من النظم الطبيعية معادلات تفاضلية، تتفاوت درجتها مع درجة تعقيد النظم

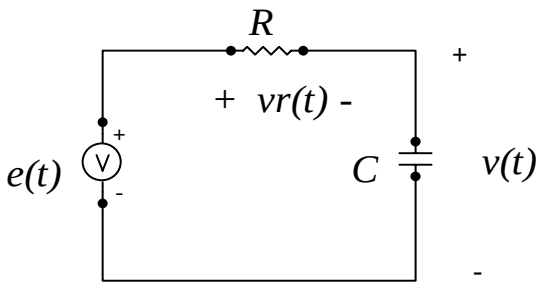
وسنولي اهتماما خاصا بنظم الرتبة الأولى والثانية، وهي نظم تربط بين المتغيرات التي تتفاعل فيها معادلات تفاضلية من الدرجة الأولى والثانية لأن فهمها مفتاح لدراسة أنظمة التحكم الآلي. وسنتطرق عند دراستها للنماذج الرياضية التي تمثلها، ودالة النقل، واستجابتها لإشارة الخطوة وخواصها.

نظم الرتبة الأولى First Order Systems

سنعتمد في شرحنا لنظم الرتبة الأولى على مثال دائرة RC توالي كالواردة في الشكل ٣ -١

٩. النموذج الرياضي للدائرة

●.



الشكل ٣ -١ دائرة RC توالى

بناء على قانون كيرشوف للجهد تُكتب العلاقة بين فروق الجهد في الدائرة كالآتي:

$vr(t) + v(t) = e(t)$	(١- ٣)

بما أن العلاقة بين فرق الجهد بين طرفي المقاومة والتيار المار فيها هي:

$vr(t) = Ri(t)$	(٢- ٣)

وبما أن العلاقة بين التيار المار في المكثف وفرق الجهد بين طرفيه هي:

$i((t) = Cv'(t)$	(٣- ٣)

فإن المعادلة (٣ -١) تصبح :

$RCv'(t) + v(t) = e(t)$	(٣- ٤)

المعادلة (٣ -٤) هي النموذج الرياضي لدائرة RC الموضحة في الشكل ٢ -١ وهي عبارة عن معادلة تفاضلية من الدرجة الأولى.

١٠.دالة نقل الدائرة:

للحصول على دالة نقل الدائرة، نُدخِل تحويل لابلاس على طرفي المعادلة٣ -٤

$L(RCv'(t) + v(t)) = L(e(t))$	(٣- ٥)

ليكن $L(e(t))=E(s)$ و $L(v(t))=V(s)$،

وبناء على قانون الاشتقاق،فإن $L(v'(t))=sV(s)$ ومن ثم تصبح المعادلة ٣ -٥

$RCsV(s) + V(s) = E(s)$	(٣- ٦)

ومن ثم تكون دالة نقل الدائرة:

$G(s) = \frac{V(s)}{E(s)} = \frac{1}{RCs + 1}$	(٣- ٧)

لاحظ العلاقة بين عدد عناصر التخزين ودرجة المعادلة التفاضلية: فالدائرة تحتوي على عنصر تخزين واحد للطاقة وهو المكثف، والمعادلة التفاضلية من الدرجة الأولى. فنقول أن الدائرة نظام من الرتبة الأولى. لاحظ كذلك أن مقام دالة النقل كثير الحدود في s من الدرجة الأولى.

الصيغة العامة لنظم الرتبة الأولى

تكون الصيغة العامة للمعادلة الزمنية لنظم الرتبة الأولى على الشكل التالي

$\tau y'(t) + y(t) = Gx(t)$	(٣ -٨)

حيث:

$x(t)$: دخل النظام

$y(t)$: خرج النظام

τ : الثابت الزمني للنظام

G: معامل الكسب

لاحظ الآتي من الشكل العام لمعادلة (٣ -٨):

معامل الخرج $y(t)$ يساوي ١. وإلا يُقسم طرفي المعادلة عليه،

معامل الدخل $x(t)$ هو معامل الكسب G،

معامل مشتقة الخرج $y'(t)$ هو الثابت الزمني τ

دالة النقل لنظم الرتبة الأولى

تكون دالة نقل نظم الرتبة الأولى كما يلي:

$G(s) = \frac{Y(S)}{X(s)} = \frac{G}{\tau s + 1}$	(٣ -٨)

استجابة نظم الرتبة الأولى لدخل على هيئة إشارة الخطوة

عندما يكون الدخل على الشكل التالي:

$$x(t) = \begin{cases} E, & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$

تكون الاستجابة كالآتي:

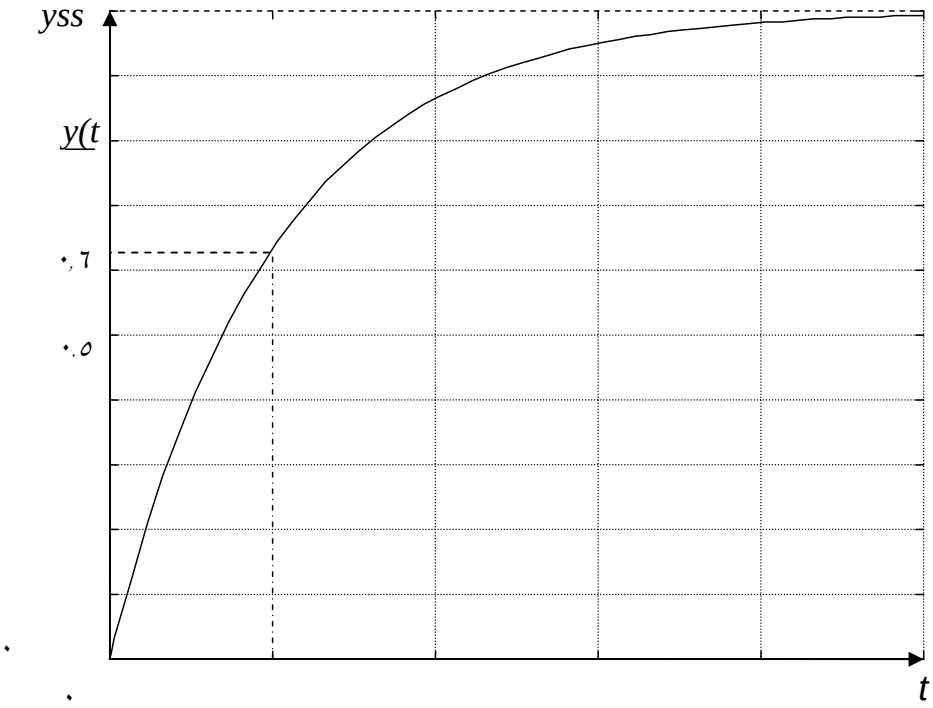
$y(t) = y_0 e^{-t/\tau} + GE(1 - e^{-t/\tau})$	(٣ -٩)

حيث

$y(٠)=y_0$ هي القيمة الابتدائية (قيمة الخرج عند بداية التشغيل)

E ارتفاع الخطوة

ويكون منحنى الاستجابة على الشكل التالي:



الشكل ٣ -٣ منحنى استجابة الرتبة الأولى لإشارة الخطوة

في حالة $y_{.} = ٠$

- **خواص نظم الرتبة الأولى**

قيمة الخرج عند حالة الاستقرار Output Steady State Value وهي القيمة التي تستقر عندها قيمة الخرج ونحصل عليها من المعادلة ٣ -٩ عندما يؤول متغير الزمن t إلى مالا نهاية (∞)

$y_{ss} = \lim_{t\to\infty} y(t)$	(١٠- ٣)

الثابت الزمني Time Constant وهو مقياس لسرعة استجابة النظام، ويتم حسابه من المعادلة(٢ -٩) بوضع قيمة الأس تساوي ١/

قيمة الخرج عند الثابت الزمني وهي قيمة الاستجابة $y(t)$ عندما يكون $t=\tau$

(مع اعتبار القيمة الابتدائية منعدمة)

$y(\tau) = GE(1-e^{-1}) = 0.63GE = 0.63y_{ss}$	(١١- ٣)

زمن الاستقرار Settling Time وهو الزمن الذي تبلغ فيه الاستجابة ٩٨٪ من قيمتها عند حالة الاستقرار، ويُحسب كالتالي:

$t_s = 4\tau$	(١٢- ٣)

معامل الكسب Gain Coefficient

- وهو حاصل قسمة قيمة الخرج عند حالة الاستقرار على قيمة الدخل

$G = \frac{y_{ss}}{E}$	(١٣- ٣)

ليكن النظام التالي

$$0.1y'(t) + y(t) = 2x(t)$$
$$y(0) = 0$$
$$x(t) = \begin{cases} 5 & \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$

أوجد الثابت الزمني

أوجد معامل الكسب

أوجد الاستجابة $y(t)$

أوجد قيمة الاستجابة عند حالة الاستقرار

ارسم منحنى الاستجابة

الحل

١. الثابت الزمن هو معامل y' ويساوي

$$\tau = 0.1$$

٢. معامل الكسب

عند حالة الاستقرار يكون الخرج $y(t)$ ثابتا ومن ثم تكون مشتقته $y'(t)=0$

ومن ثم تصبح معادلة النظام $y_{ss} = 2x$ ومن ثم يكون معامل الكسب

$$G = \frac{y_{ss}}{x} = 2$$

٣. الاستجابة

بالتعويض في المعادلة (٣ -٩) بالقيم التالية: $G=٢$ ، $y_{.}=٠$ ، $E=٥$

نحصل على

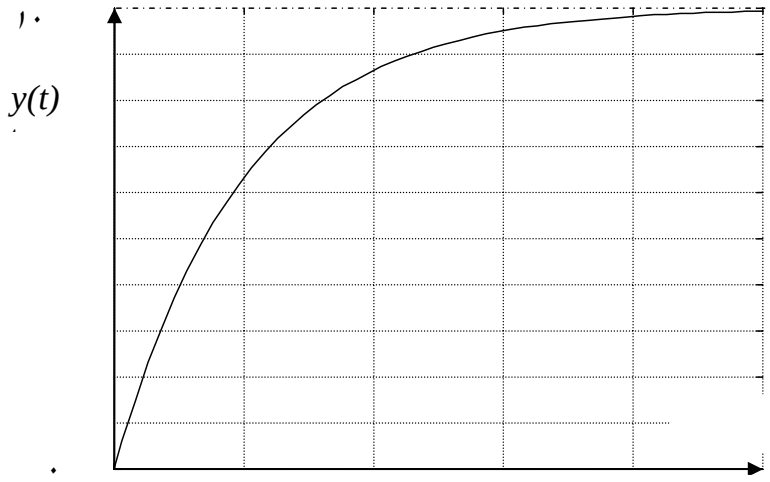
$$y(t) = y_0 e^{-t/\tau} + GE(1 - e^{-t/\tau})$$

$$y(t) = 10(1 - e^{-t/\tau})$$

٤. قيمة الاستجابة عند حالة الاستقرار

$$y_{ss} = \lim_{t\to\infty} y(t) = GE = 10$$

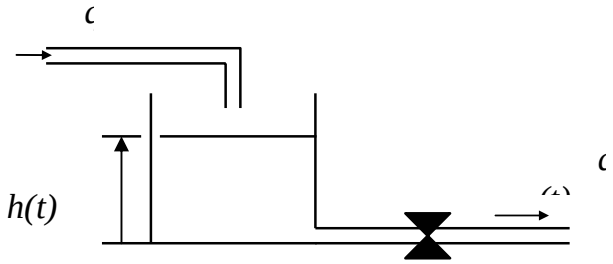
٥. منحنى الاستجابة



٠,٤ ٠,٣ ٠,٢ ٠,١

أوجد النموذج الرياضي لنظام الشكل ٣ -٤ أدناه حيث الخزان أسطواني الشكل، مساحة قاعدته A والصمام مقاومته الهيدروليكية R.

الحل:



الشكل ٣ -٤ نظام هيدروليكي من

باستخدام قانون حفظ المادة الذي ينص على أن معدل الكمية الداخلة يساوي معدل الكمية الخارج زائد معدل تراكم الكمية في الخزان:

$$q_i(t) = q_s(t) + q_o(t)$$

حيث:

١١. $q_i(t)$: معدل تدفق السائل في الخزان،

١٢. $q_s(t)$: معدل تراكم السائل في الخزان يساوي معدل تغير حجم السائل في الخزان $q_s(t) = \frac{dV(t)}{dt}$ ، وعلما أن الحجم يساوي مساحة القاعدة في الارتفاع($V(t) = Ah(t)$) فإن

$$q_s(t) = A\frac{dh(t)}{dt}$$

١٣. $q_o(t)$: معدل تدفق السائل خارج الخزان، $q_o(t) = \frac{1}{R}h(t)$ (في حالة تدفق طبقي)

ومن ثم $A\frac{dh(t)}{dt} + \frac{1}{R}h(t) = q_i(t)$ وبضرب طرفي المعادلة في R نحصل على

$$AR\frac{dh(t)}{dt} + h(t) = Rq_i(t) \qquad (١٤-٣)$$

وهذه المعادلة يمكن إعادة كتابتها باستخدام الصيغة العامة لنظم الرتبة الأولى كالتالي:

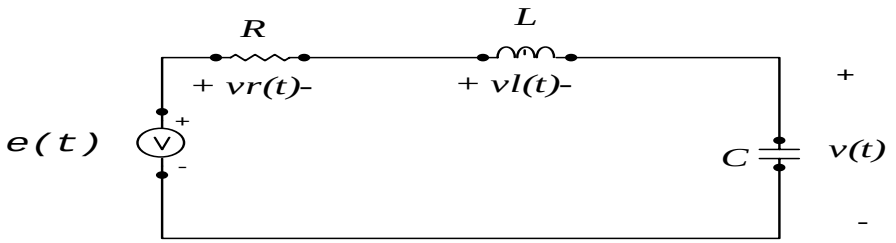
$$\tau\frac{dh(t)}{dt} + h(t) = Rq_i(t) \qquad (١٥-٣)$$

حيث الثابت الزمني $\tau = AR$ ، وهي معادلة تفاضلية من الدرجة الأولى وفعلا فالنظام يحتوي على عنصر تخزين واحد.

بمقارنة المعادلة (٣ -١٥) مع النموذج الرياضي للدائرة RC المعادلة (٣ -٤) نلاحظ التشابه بين معادلة الدائرة ومعادلة النظام الهيدروليكي من الرتبة الأولى، حيث نجد أن مساحة قاعدة الخزان A تقابل سعة المكثف C، والمقاومة الهيدروليكية للصمام تقابل المقومة الكهربية.

نظم الرتبة الثانية Second Order Systems

. سنعتمد في شرحنا لنظم الرتبة الثانية على مثال دائرة LRC توالي كالواردة في الشكل ٣ -٤



الشكل ٣ -٤ دائرة RLC توالي

١٤.النموذج الرياضي للدائرة

. بناء على قانون كيرشوف للجهد نكتب العلاقة الآتية:

$vr(t) + vl(t) + v(t) = e(t)$	(١٦- ٣)

حيث:

$$vr(t) = Ri(t)$$

$$vl(t) = L\frac{di(t)}{dt} = Li'(t)$$

$$i((t) = Cv'(t)$$

وبالتعويض في المعادلة (٣ -١٦) عن $vr(t)$، $vl(t)$ و$i(t)$ نحصل على:

$LCv''(t) + RCv'(t) + v(t) = e(t)$	(١٧- ٣)

فالمعادلة (٣ -١٧) هي النموذج الرياضي لدائرة RLC وهي عبارة عن معادلة تفاضلية من الدرجة الأولى.

١٥.دالة نقل الدائرة RLC توالي:

للحصول على دالة نقل الدائرة، نُدخِل تحويل لابلاس على طرفي المعادلة (٣ - ١٧). ليكن $L(e(t))=E(s)$ و $L(v(t))=V(s)$، فبناء على قانون الاشتقاق، فإن $L(v'(t))=sV(s)$ و $L(v''(t))=s^2V(s)$ ومن ثم تصبح المعادلة ٣ -١٧

$LCs^2V(s)+RCsV(s)+V(s)=E(s)$	(١٨- ٣)
$[LCs^2+RCs+1]V(s)=E(s)$	(١٩- ٣)

وتكون دالة نقل الدائرة:

$G(s)=\frac{V(s)}{E(s)}=\frac{1}{LCs^2+RCs+1}$	(٢٠- ٣)

لاحظ هنا أيضا العلاقة بين عدد عناصر التخزين ودرجة المعادلة التفاضلية. فالدائرة تحتوي على عنصري تخزين للطاقة هما المكثف والملف، والمعادلة التفاضلية من الدرجة الثانية. فالدائرة نظام من الرتبة الثانية والنموذج الرياضي معادلة تفاضلية من الدرجة الثانية. لاحظ كذلك مقام دالة النقل، فهو كثير الحدود في s من الدرجة الثانية.

الصيغة العامة لنظم الرتبة الثانية

تكون الصيغة العامة للمعادلة الزمنية لنظم الرتبة الثانية على الشكل التالي

$\frac{1}{\omega_0^2}y''(t)+2\frac{\alpha}{\omega_0^2}y'(t)+y(t)=Gx(t)$	(٢١- ٣)

حيث:

$x(t)$: الدخل

$y(t)$: الخرج

G: معامل الكسب

$\omega_.$: تردد الرنين

α: معامل الإخماد

لاحظ الآتي من الشكل العام لمعادلة (٢ -٢١):

معامل الخرج $y(t)$ يساوي ١. وفي الحالة المخالفة، يُقسم طرفي المعادلة عليه

معامل الدخل $x(t)$ هو معامل الكسب G،

معامل مشتقة الخرج $y'(t)$ هو $2\frac{\alpha}{\omega_0^2}$

معامل المشتقة الثانية $y''(t)$ هو المقدار $\frac{1}{\omega_0^2}$

دالة النقل لنظم الرتبة الثانية

تكون دالة النقل لنظم الرتبة الثانية كما يلي

$$G(s)=\frac{Y(S)}{X(s)}=\frac{G}{\frac{1}{\omega_0^2}s^2+2\frac{\alpha}{\omega_0^2}s+1}=\frac{G\omega_0^2}{s^2+2\zeta\omega_0 s+\omega_0^2}$$	(٢٣- ٣)

استجابة نظم الرتبة الثانية لدخل على هيئة إشارة الخطوة

البحث عن استجابة نظم الرتبة الثانية لدخل على هيئة إشارة الخطوة ارتفاعها E بمثابة حل المعادلة التفاضلية من الدرجة الثانية التالية:

$$\frac{1}{\omega_0^2}y''(t)+2\frac{\alpha}{\omega_0^2}y'(t)+y(t)=Gx(t)$$
$$y(0)=y_0;\qquad y'(0)=y'_0$$
$$x(t)=E$$

حيث y_0 و y'_0 القيمتين الابتدائيتين.

للحصول على الاستجابة نحتاج إلى المعادلة المميزة للنظام ونحصل عليها عند وضع مقام دالة النقل يساوي صفر في المعادلة (٣ -٢٢)

$$s^2+2\alpha s+\omega_0^2=0$$	(٢٣- ٣)

المعادلة (٣ -٢٣) من الدرجة الثانية في s لها جذرين ، يعتمد نوعهما على العلاقة بين قيم α و ω_0

الحالة الأولى $\alpha>\omega_0$:

في هذه الحالة يكون للمعادلة المميزة جذرين حقيقيين مختلفين هما:

$$r_{1,2}=-\alpha\pm\sqrt{\alpha^2-\omega_0^2}$$

ومن ثم تكون الاستجابة على الشكل التالي:

$$y(t)=GE+Ae^{r_1 t}+Be^{r_2 t}$$

هـــذه الحالـــة تســـمى حالـــة الإخمـــاد الزائـــد حيـــث أن الاســـتجابة تصـــل إلى حالـــة الاستقرار بدون ذبذبة، كما هو مبين في الشكل ٣ -٦.

الحالة الثانية $\omega_0=\alpha$:

في هذه الحالة يكون للمعادلة المميزة جذرين متطابقين هما:

$$r_1 = r_2 = -\alpha$$

ومن ثم تكون الاستجابة على الشكل الآتي:

$$y(t) = GE + (A + Bt)e^{-\alpha t}$$

وهـــذه هـــي حالـــة الإخمـــاد الحـــرج حيـــث الاســـتجابة تبلـــغ حالـــة الاســـتقرار بـــدون ذبذبة أيضا، كما هو مبين في الشكل ٣ -٧

الحالة الثالثة $\alpha<\omega_0$:

في هذه الحالة يكون للمعادلة المميزة جذرين مركبين مترافقين هما:

$$r_{1,2} = -\alpha \pm j\sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$$

ومن ثم تكون الاستجابة على الشكل الآتي:

$$y(t) = GE + Ae^{-\alpha t}\sin(\omega_d t + \phi)$$

حيث:

١٦. التردد المخمد Damped Frequency : $\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$

١٧. $\phi = \cos^{-1}\frac{\alpha}{\omega_n}$

وهـــذه الحالـــة تســـمى حالـــة الإخمـــاد النـــاقص وتحتـــوي الاســـتجابة عـــل ذبذبـــة متناقصة، كما هو مبين في الشكل ٣ -٨.

حالة خاصة: $\alpha=0$، الجذران المركبان المترافقان في هذه الحالة هما:

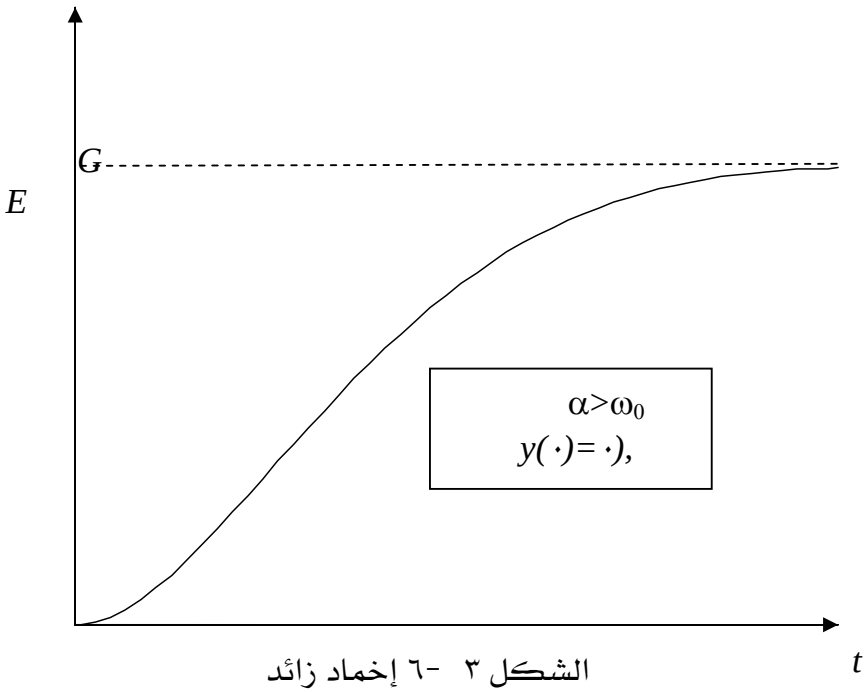
$$r_{1,2} = \pm j\omega_0$$

ومن ثم تكون الاستجابة على شكل:

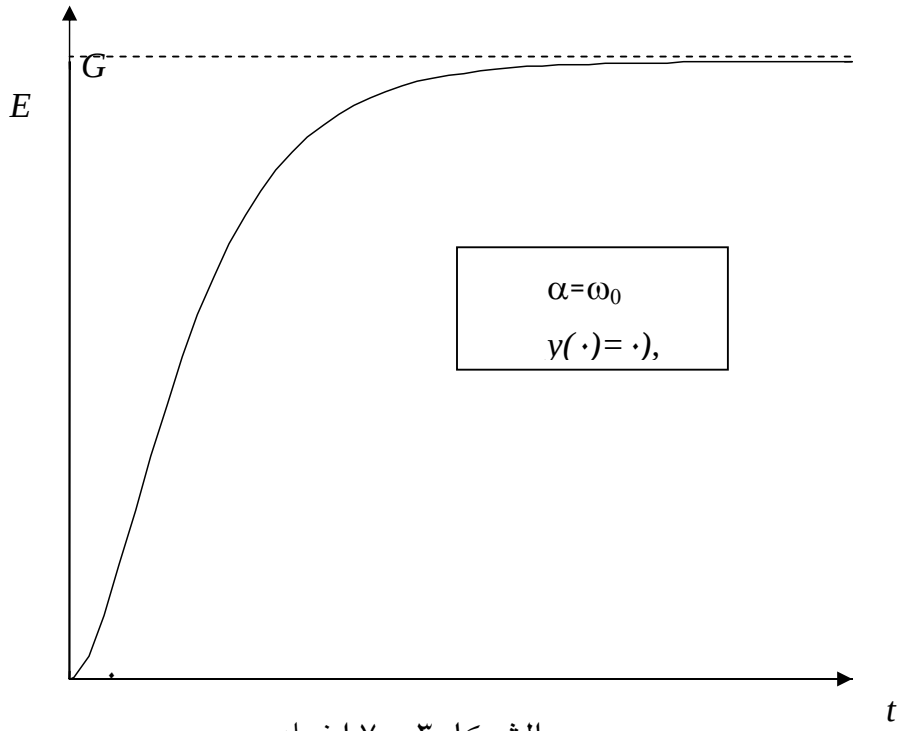
$$y(t) = GE - A\cos\omega_0 t$$

في هذه الحالة لا يوجد إخماد (No Damping) حيث أن الاستجابة تكون على هيئة ذبذبة متواصلة (Sustained Oscillation) كما هو مبين من خلال الشكل ٣ -٩.

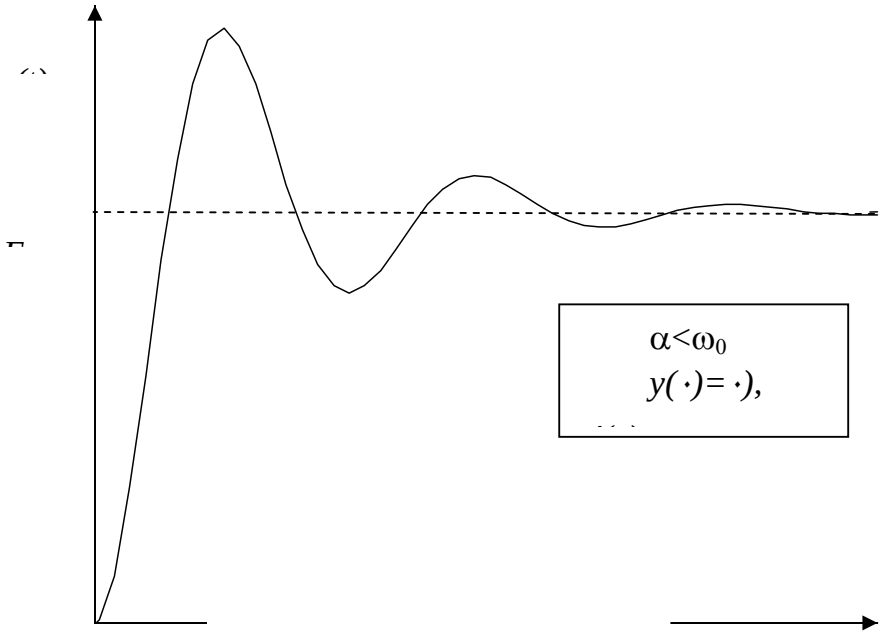
في الحالات الأربعة السابقة يتم حساب المعاملات A و B بالتعويض في القيمتين الابتدائيتين $(y(0), y'(0))$.



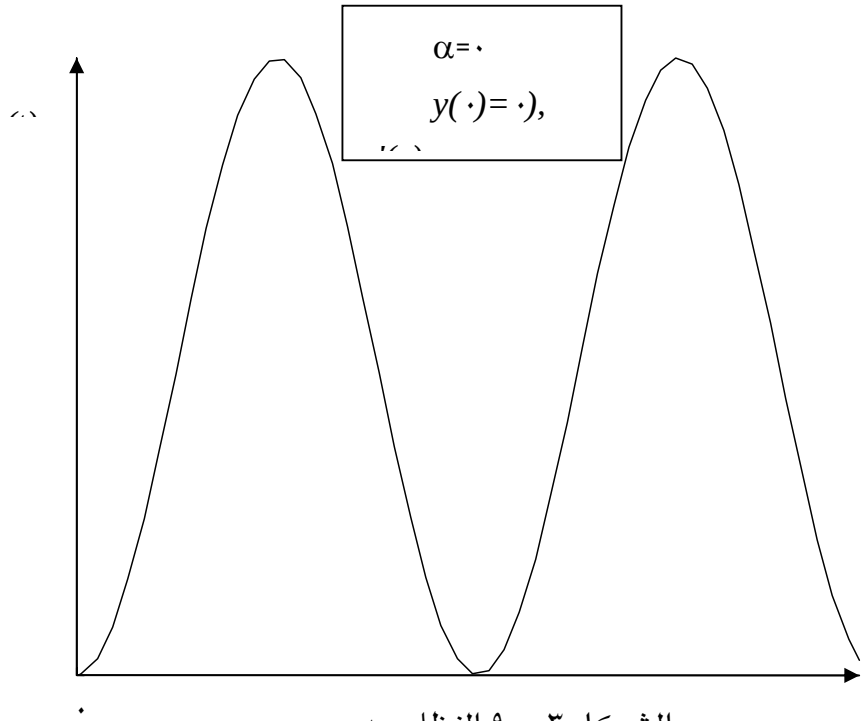
الشكل ٣ -٦ إخماد زائد



الشكل ٣ -٧ إخماد حرج



ألشكل ٣ -٨ إخماد ناقص



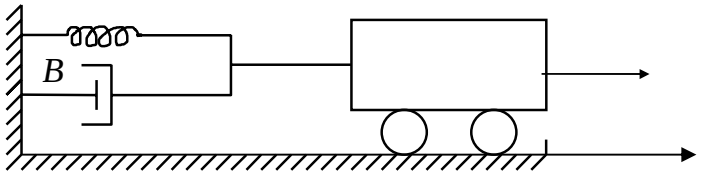
الشكل ٣ -٩ النظام عديم

احسب تردد الرنين ومعامل الإخماد للدائرة RLC (الشكل ٣ -٤)

الحل:

بمطابقة النموذج الرياضي للدائرة RLC الواردة في المعادلة (٣ -١٨) مع الصيغة العامة لنظم الرتبة الثانية الواردة في المعادلة (٣ -٢٢) نجد تردد الرنين $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ ومعامل الإخماد $\alpha = \frac{1}{2}R\sqrt{\frac{C}{L}}$

أوجد النموذج الرياضي لنظام (الشكل ٣ -١٣) الذي هو عبارة عن كتلة M و نابض معامله K، ومخمد (Damper) معامل احتكاكه B. الكل



شكل ٣ -١٤ نظام ميكانيكي من

يعمل تحت تأثير قوة سحب $F(t)$

الحل:

للحصول على النموذج الرياضي للنظام الميكانيكي، نستخدم قانون نيوتن الذي ينص على أن المجموع الجبري للقوى المؤثرة على جسم يساوي حاصل ضرب الكتلة في التسارع، كالآتي:

$$\sum F = F(t) - F_K - F_B = M\frac{d^2x(t)}{dt^2} \qquad (٣ -٢٤)$$

حيث:

١٨. F_K: قوة معارضة النابض للتمدد وتتناسب طرديا مع مقدار الإزاحة أي $F_K = Kx(t)$

١٩. F_B: قوة معارضة الاحتكاك للحركة وتتناسب طرديا مع السرعة أي $F_B = B\frac{dx(t)}{dt}$

ومن ثم نحصل على

$$M\frac{d^2x(t)}{dt^2} + B\frac{dx(t)}{dt} + Kx(t) = F(t) \qquad (٣ -٢٥)$$

هذه المعادلة يمكن إعادة كتابتها كالتالي:

$$\frac{M}{K}x''(t)+\frac{B}{K}x'(t)+x(t)=\frac{1}{K}F(t) \qquad (٣-٢٦)$$

فالنموذج الرياضي للنظام الميكانيكي الوارد في الشكل (٣-١٤) معادلة تفاضلية من الدرجة الثانية، وفعلا، فالنظام الميكانيكي يحتوي على عنصري تخزين للطاقة الميكانيكية هما الكتلة التي تخزن الطاقة الميكانيكية على شكل طاقة حركية، والنابض الذي يخزن الطاقة الميكانيكية على شكل طاقة كامنة.

لاحظ التشابه بين المعادلة (٣-٢٦)، والنموذج الرياضي لدائرة RLC، المعادلة (٣-١٨). يمكن إعادة كتابة المعادلة (٣-٢٦) في الصيغة العامة لنظم الرتبة الثانية، التي هي:

$$\frac{1}{\omega_0^2}y''(t)+2\frac{\alpha}{\omega_0^2}y'(t)+y(t)=Gx(t)$$

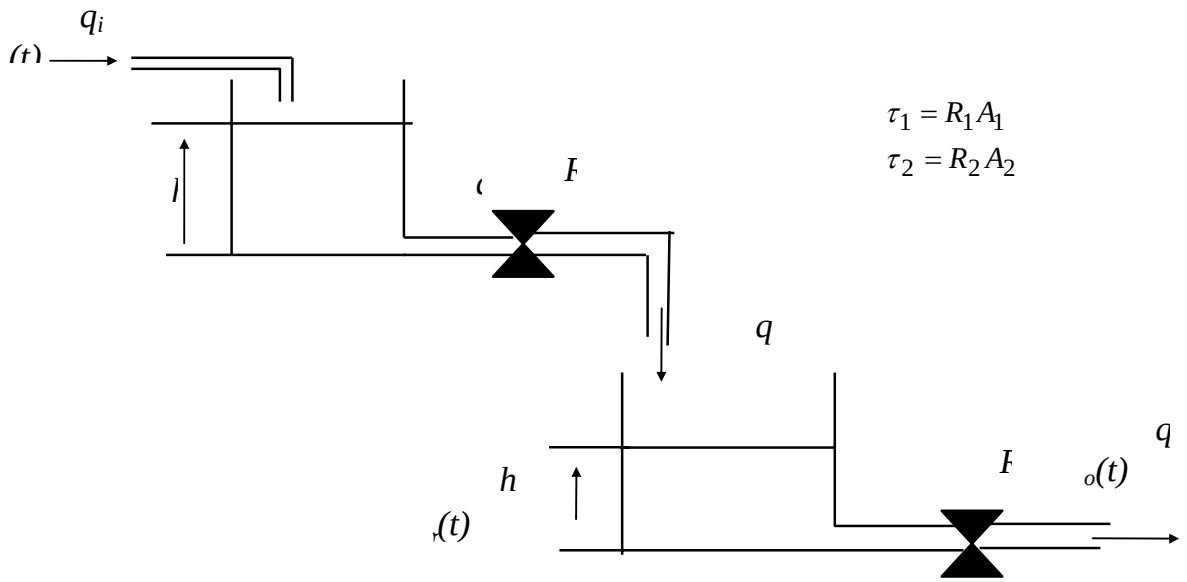
حيث يكون تردد الرنين $\omega_0=\sqrt{\frac{K}{M}}$ ويكون معامل الإخماد $\alpha=\frac{1}{2}\frac{B}{M}$

أوجد النموذج الرياضي للنظام الهيدروليكي الذي يحتوي على خزانين غير متفاعلين (Noninteracting Two Capacity System) والموضح في الشكل ٣-١٥.

الحل:

٢٠.معادلة الخزان الأول:

$$\tau_1 h_1'(t)+h_1(t)=R_1 q_i(t)$$



الشـــكل ٣ -١٥ لنظـــام هيـــدروليكى مـــن الدرجـــة

٢١.علاقة الربط بين الخزانين:

$$h_1(t) = R_1 q_1(t)$$

ومن ثم

$$h_1'(t) = R_1 q_1'(t)$$

٢٢.معادلة الخزان الثاني:

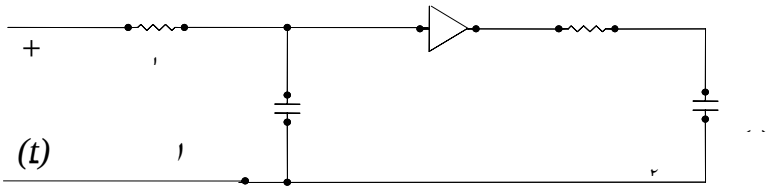
$$\tau_2 h_2'(t) + h_2(t) = R_2 q_1(t)$$

ومنها نحصل على $q_1(t) = \frac{1}{R_2}\left[\tau_2 h_2'(t) + h_2(t)\right]$ و $q_1'(t) = \frac{1}{R_2}\left[\tau_2 h_2''(t) + h_2'(t)\right]$

وبـــالتعويض في معادلـــة الخـــزان الأول بصـــيغ $q_1(t)$ و $q_1'(t)$ نحصـــل علـــى معادلـــة النظام كالآتي:

$$\tau_1 \tau_2 h_2''(t) + (\tau_1 + \tau_2) h_2'(t) + h_2(t) = R_1 R_2 q_i(t)$$

أوجد النموذج الرياضي للدائرة الكهربية الموضحة بالشكل ٣ -١٦:



الشكلُ ٣ -١٦ نظام كهربي من الدرجة الثانية

الحل:

باستخدام قانون كيرشوف للجهد في الحلقتين نحصل على:

$$\tau_1\tau_2 v''(t) + (\tau_1 + \tau_2)v'(t) + v(t) = e(t)$$

حيث

$$\tau_1 = R_1C_1$$
$$\tau_2 = R_2C_2$$

الخلاصة:

تطرقنا في هذه الوحدة لنظم الرتبة الأولى والثانية.وشرحنا كيفية استنتاج نماذج رياضية لنظم بسيطة من الرتبة الأولى والثانية ودالة نقلها. كما شرحنا طريقة حساب الثابت الزمني لنظم الرتبة الأولى، وطريقة إيجاد استجابتها ورسم منحناها. كما استعرضنا طريقة حساب معاملات نظم الرتبة الثانية وقمنا بشرح أنواع الإخماد.

أسئلة وتمارين

ما هي العلاقة بين عدد عناصر التخزين ورتبة النظام

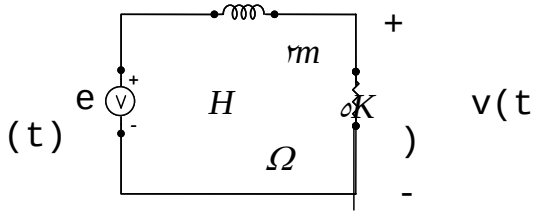
ما هي العلاقة بين رتبة النظام ودرجة المعادلة التفاضلية

ما هي العلاقة بين مقام دالة النقل ورتبة النظام

أوجد النموذج الرياضي لدائرة توالي RC إذا كانت قيمة المقاومة ١٠KΩ وقسمة سعة المكثف ٢٠μF.

دائرة RC توالي مثل التي في الشكل ٣ -١، إذا كانت قيمة سعة المكثف ١٠μF، حدد قيمة المقاومة التي تجعل الثابت الزمني يساوي ٠,٠٨٣ ثانية

أوجد النموذج الرياضي ودالة النقل للدائرة RL الموضحة أدناه، واحسب الثابت الزمني لها.



ليكن النظام التالي

$$10y'(t) + y(t) = 2x(t)$$
$$y(0) = 0$$
$$x(t) = \begin{cases} 1 & \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$

أوجد الثابت الزمني

أوجد معامل الكسب

أوجد الاستجابة $y(t)$

أوجد قيمة الاستجابة عند حالة الاستقرار

ارسم منحنى الاستجابة

احسب تردد الرنين ومعامل إخماد دائرة الشكل ٣ -٤ إذا كان R=٢٥KΩ ، L=٤mH ، C=٤٠μF

دائـــرة RLC تـــوالي تحتـــوي علـــى ملـــف قيمتـــه ٠,٠٤H ومقاومـــة ١٠٠Ω ومكثـــف ٤μF

أ تأكد من أن الدائرة ذات إخماد ناقص.

ب يمكـــن زيـــادة الإخمـــاد بإضـــافة مقاومـــة تـــوالي مـــع المقاومـــة الأولى. حدد قيمة المقاومة التي ستجعل الدائرة ذات إخماد حرج.

ج حدد المعادلة الزمنية ودالة نقل الدائرة ذات الإخماد الحرج.

أوجد الصيغة العامة لتردد الرنين ومعامل الإخماد لنظام الشكل ٣ -١٥

أوجـــد المعادلـــة الزمنيـــة ودالـــة النقـــل للنظـــام الهيـــدروليكي مـــن الدرجـــة الثانيـــة الموضح في الشكل ٣ -١٥ حيث

$$\tau_1=\tau_2=٣٠٠ \text{ seconds}$$
$$R_2=١٠٠ \text{ seconds/m}^2$$

ليكن النظام التالي

$$y''(t) + 2y'(t) + 2y(t) = 2x(t)$$

أ أوجد دالة النقل

ب أوجد تردد الرنين

ج أوجد معامل الإخماد

د حدد نوع الإخماد

ه ارســـم الشـــكل العـــام لمنحنـــى الاســـتجابة لـــدخل علـــى هيئـــة إشـــارة الخطوة

أوجـــد المعادلـــة الزمنيـــة ودالـــة نقـــل الـــدائرة الكهربيـــة الموضـــحة في الشـــكل ٣ - ١٦ حيث $R_1=١٠٠\Omega$، $R_2=٣٠٠\Omega$، $C_1=٠,١\mu F$، $C_2=٠,٨\mu F$

لـــدينا نظـــام ميكـــانيكي مثـــل الـــذي في الشـــكل ٣ -١٤، حيـــث M=٢٥Kg، K=١٤٥٠N/m، B=٤٢N-second

أ أوجد المعادلة الزمنية

ب أوجد دالة النقل

ج أوجد تردد الرنين

د أوجد معامل الإخماد

ه حدد نوع الإخماد

مقدمة أنظمة تحكم

طرق وحلقات التحكم

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الأهداف :

بعد انتهائك من دراسة هذه الوحدة تكون قادرا على:

تعريف التحكم المفتوح

تعريف التحكم المغلق

تعريف الحاكم ذي الوضعين

تعريف وكتابة المعادلة الزمنية ودالة النقل ورسم المخطط الصندوقي والدائرة الإلكترونية للحاكمات التالية:

- الحاكم التناسبي
- الحاكم التكاملي
- الحاكم التفاضلي
- الحاكم التناسبي التكاملي
- الحاكم التناسبي التفاضلي
- الحاكم التناسبي التكاملي التفاضلي

مقدمة

درسنا في الوحدة السابقة نظم الرتبة الأولى والثانية وتعرفنا على بعض خصائص النظم مثل سرعة الاستجابة والإخماد. وفي هذه الوحدة سنتطرق إلى مكون أساسي من مكونات أنظمة التحكم الآلي وهو الحاكم. سنشرح أولا حلقات التحكم حيث يوجد نوعان من حلقات التحكم وهي حلقات التحكم المفتوحة وحلقات التحكم المغلقة ثم سنتطرق إلى أنماط التحكم الأساسية، وهي التحكم ذي الوضعين، التحكم التناسبي، التحكم التكاملي، التحكم التفاضلي...

حلقات التحكم

الغرض من التحكم هو تحقيق جملة مواصفات في النظام المراد التحكم فيه، أهمها:

- الاستقرار بحيث لا تنمو المقادير المراد التحكم فيها بلا حدود،
- الدقة بحيث يكون المقدار المراد التحكم فيه أقرب ما يمكن من القيمة المرجوة،
- سرعة الاستجابة بحيث تصل المقادير المراد التحكم فيها إلى قيمها المرجوة في وقت مقبول،
- التكلفة بحيث لا تكون تكاليف إنجاز عملية التحكم باهظة،

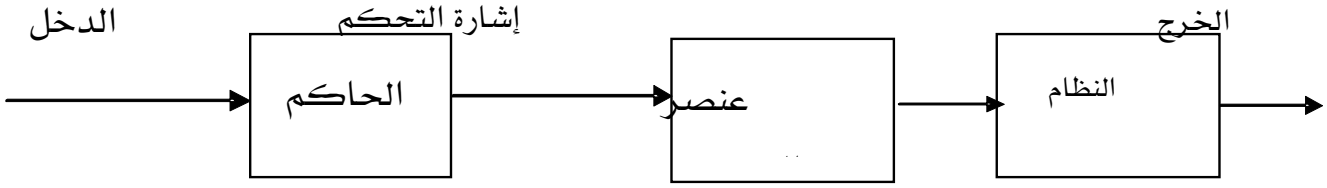
ويوجد نوعان أساسيان من حلقات التحكم هما حلقات التحكم المفتوحة وحلقات التحكم المغلقة.

حلقات التحكم المفتوحة (Open Lop Control Systems)

المظهر العام لحلقات التحكم المفتوحة يكون كما هو موضح في الشكل ٤ -١. فإشارة التحكم تولد في هذا النوع من نظم التحكم بمعزل عن المقدار المراد التحكم فيه فلا تتأثر به إطلاقا، بل يتم تصميم الحاكم تبعا لمعلومات مسبقة عن النظام المراد التحكم فيه وظروف تشغيله. فدخل الحاكم هنا هو نفس الدخل المرجعي للنظام.

عندما يكون الدخل المرجعي قيمة ثابتة يسمى نقطة الضبط (Set Point).

معظم الأنظمة التي تعتمد على دوائر التوقيت (timers) كجزء أساسي من دوائر التحكم تستخدم طريقة التحكم المفتوح.



الشكل ٤ -١ المخطط الصندوقي لنظام تحكم مفتوح

وحدات التكييف غير المجهزة بترموستات مثال لنظم التحكم المفتوحة، حيث إنها مصممة لدفع هواء بارد في الغرفة المراد تبريدها. ولمفتاح التحكم عدة أوضاع حسب درجة الحرارة المرجوة. لكن استمرار عملية التبريد مستقلة تماما عن درجة الحرارة الواقعية في الغرفة.

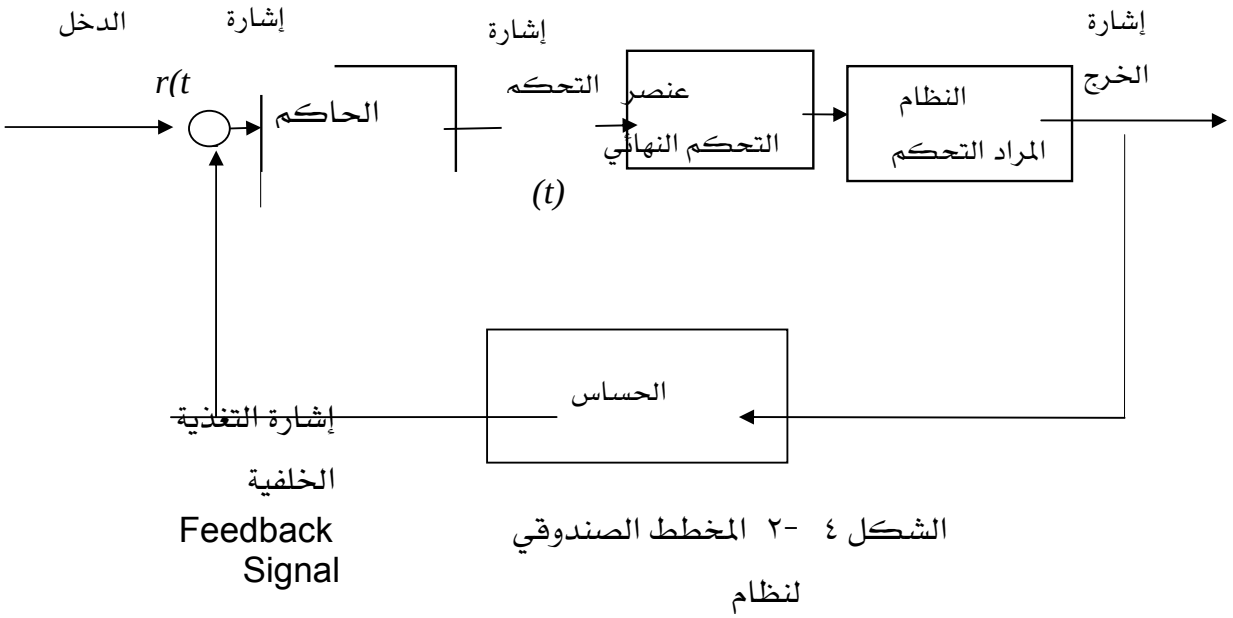
جهاز تحميص الخبز هو مثال آخر لنظم التحكم المفتوحة، حيث يصمم للحصول على درجات معينة لتحميص الخبز، تتمثل في لونه، وتوجد عدة أوضاع لمفتاح التحكم (بني غامق، بني فاتح...). فالدخل المرجعي أو نقطة الضبط هي وضع مفتاح التحكم والخرج هو درجة تحميص الخبز. فلو أعدنا إدخال قطعة محمصة أصلا، فالجهاز غير مجهز لأخذ ذلك بعين الاعتبار، فيعيد تحميصها ثانية، فتحترق.

الغسالات الآلية مثال آخر لنظم التحكم المفتوحة، فهي مصممة لغسل، وشطف، وعصر الثياب وفق تسلسل معين. وهنا ك أوضاع مختلفة لمفتاح التحكم حسب الوزن ونوع الأنسجة ولونها وخلافه. فالدخل المرجعي أو نقطة الضبط هي وضع مفتاح التحكم والخرج هو درجة نظافة الثياب. فلو أعدنا ثيابا نظيفة للغسالة وقمنا بتشغيلها، ستمر ثانية بنفس. الدورة: غسل – شطف – عصر،

تعتبر نظم التحكم المفتوح سهلة التنفيذ فهي غير مكلفة وسهلة الصيانة. لكنها جِدُّ حساسة للتغييرات التي قد تطرأ على النظام بفعل التقادم أوعلى الظروف المحيطة.

حلقات التحكم المغلقة (Closed Loop Control Systems)

وتسمى أيضا نظم تحكم التغذية الخلفية (Feedback Control Systems) ويكون مظهرها العام كما هو موضح في الشكل ٤ -٢.



الشكل ٤ -٢ المخطط الصندوقي لنظام

فعند تصميم هذا النوع من نظم التحكم تؤخذ بعين الاعتبار القيمة الواقعية للمتغير المراد التحكم فيه. فتستخدم إشارة الخطأ $e(t)$ كدخل للحاكم الذي يولد إشارة التحكم $p(t)$ بناء على قاعدة معينة. وإشارة التحكم هذه هي التي تحمل النظام على تقليل الخطأ ومن ثم ضبط قيمة الخرج الواقعي عند قيمة الدخل المرجعي.

لنظم التغذية الخلفية مصطلحات خاصة بها منها:

المسار الأمامي (Forward Path): يتكون المسار الأمامي من الحاكم وعنصر التحكم النهائي والنظام المراد التحكم فيه،

المسار الخلفي (Feedback Path): يتكون الخلفي من الحساس،

المتغير المراد التحكم فيه (Variable to be Controlled) $c(t)$،

الدخل المرجعي (Reference Input) *r(t)*: وهو القيمة المرجوة للمتغير المراد التحكم فيه، وعندما تكون قيمته ثابتة يسمى نقطة الضبط (Set Point)،

إشارة التغذية الخلفية (Feedback Signal) *b(t)*: وهي قياس للمتغير المراد التحكم فيه،

إشارة الخطأ (Error Signal) *e(t)*: وهي عبارة عن الفرق بين إشارة التغذية الخلفية (قياس للمتغير المراد التحكم فيه) وإشارة الدخل المرجعي. ويستخدم لتوليدها دائرة مقارن (Comparator) هي دخل الحاكم.

إشارة التحكم (Control Signal) *p(t)*: هي خرج الحاكم وتولد وفق قاعدة معينة حسب نوع الحاكم المستخدم.

بإضافة ترموستات إلى المكيف نحصل على نظام تحكم مغلق، حيث يتم باستمرار مقارنة درجة الحرارة الواقعية في الغرفة T_a بدرجة الحرارة المرجوة T_d. وطالما $T_a \geq T_d$ فإن التكييف يستمر إلى حين تتساوى الدرجتان، فيتوقف. وبفعل المحيط ونوعية العوازل المستخدمة، تتسرب الحرارة إلى داخل الغرفة، فترتفع درجة الحرارة في الغرفة إلى أن تزيد عن درجة الحرارة المرجوة، حينئذ تستأنف عملية التبريد، وهكذا دواليك.

نظم التحكم المغلقة أقل حساسية للتغيرات التي قد تطرأ على النظام ومحيطه، بيد أنها أكثر تعقيدا وبذلك تكون كلفتها أعلى. علاوة على أنها معرضة للاهتزازات لعدم الاستقرار.

أنماط التحكم

يتم اختيار نوع الحاكم ونمط التحكم حسب نوع النظام والأهداف المرجوة من عملية التحكم.

الحاكم ذو الوضعين Two Position Controller

الحاكم ذو الوضعين أبسط أنواع الحاكمات وأسهلها تنفيذا، وأقلها كلفة. في هذا النوع من التحكم تأخذ إشارة التحكم حصريا قيمتين تبعا لقيمة إشارة الخطأ:

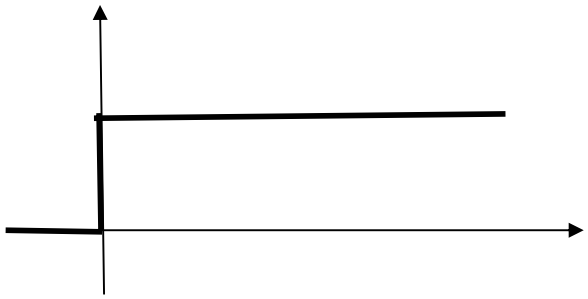
- المعادلة الزمنية للحاكم ذي الوضعين:

تولد إشارة التحكم في هذه الحالة وفق القاعدة التالية: عندما تكون القيمة المقاسة للمتغير المراد التحكم فيه أصغر من قيمة الدخل المرجعي يكون الحاكم في وضع الفتح

(ON) وتكون قيمة إشارة التحكم P، وعندما تكون القيمة المقاسة أكبر من الدخل المرجعي يكون الحاكم في وضع الغلق (OFF) وتكون قيمة إشارة التحكم صفر. يمكن كتابة العلاقة بدلالة لإشارة الخطأ كالتالي:

$p(t)=\begin{cases}P & e>0\\ 0 & e<0\end{cases}$	(١- ٤)

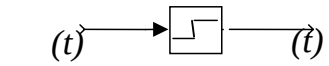
يمكن تمثيل هذه العلاقة بواسطة المنحنى التالي



الشكل ٤ -٣ منحنى خواص الحاكم ذي

- المخطط الصندوقي للحاكم ذي الوضعين:

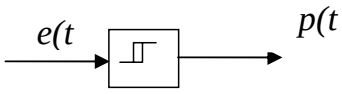
لتمثيل الحاكم ذ الوضعين بواسطة المخطط الصندوقي نستخدم الرمز الموضح على الشكل ٣ -٣



الشكل ٤ -٤ المخطط الصندوقي للحاكم
ذي الوضعين

جهاز تدفئة مثال على ذلك، عندما تكون درجة الحرارة أقل من قيمة درجة المرجوة يكون الجهاز في وضع التشغيل (ON) وعندما تكون درجة الحرارة أكبر من قيمة درجة المرجوة يكون الجهاز في وضع التشغيل (OFF).

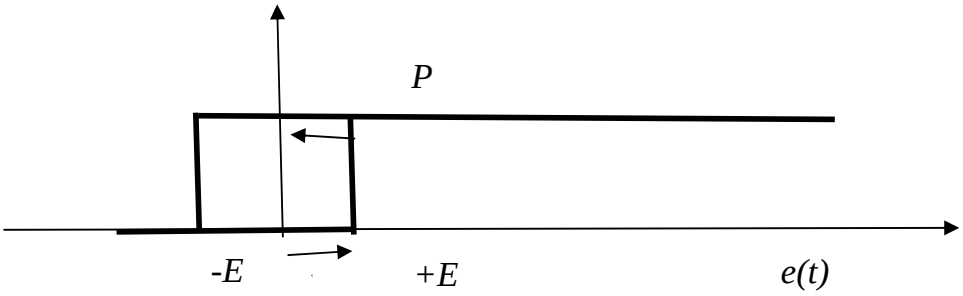
هـذا الحـاكم سـهل التنفيـذ ومـن ثـم قليـل التكلفـة، لكنـه معـرض للاهتـزاز (chattering) ولتفـادي الاهتـزازات الـتي قـد تتلـف التجهيـزات، نلجـأ إلى الحـاكم ذي الوضـعين ذي تخلفيـة، كمـا هـو مـبين في الشـكل ٤ -٥، حيـث يـتم تغـيير وضـع الحـاكم عنـد $e=-E$ في حالـة تنـاقص قيمـة إشـارة الخطـأ $e(t)$ وعنـد $e=+E$ في حالـة تزايـد قيمـة إشـارة الخطـأ $e(t)$، كمـا هـو مـبين في



الشـــــكل ٤ -٥ الم ذي الوضـــــعين ذي

الشكل ٤ -٦،

ويمكن تمثيل العلاقة بين إشارة الخطأ وإشارة التحكم كالتالي



الشـكل ٤ -٦ منحنـى خـواص الحـاكم ذي الوضـعين ذي

الحاكم التناسبي Proportional Controller

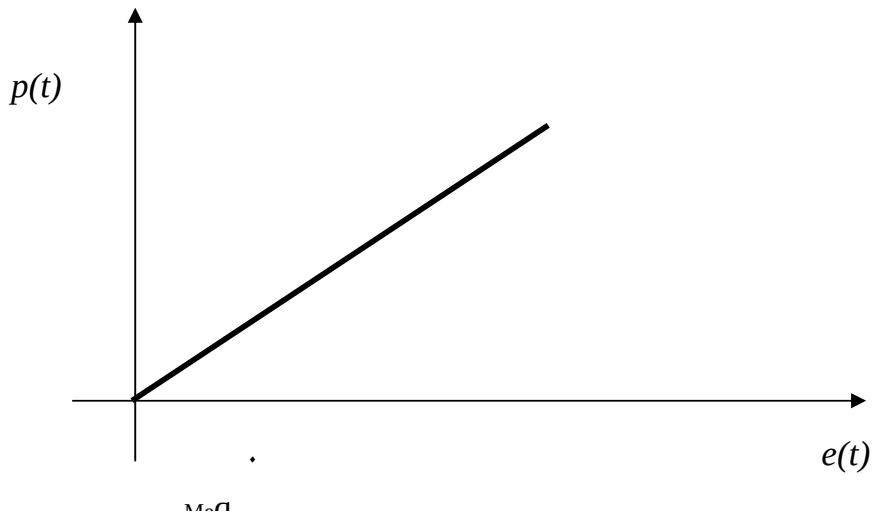
- المعادلة الزمنية للحاكم التناسبي

تكون المعادلة الزمنية على الشكل التالي

$p(t) = K_p e(t)$	(٤ -٢)

حيث، K_P معامل التناسب، وكما هو واضح من المعادلة (٤ -٢) تتناسب إشارة التحكم طرديا مع إشارة الخطأ.

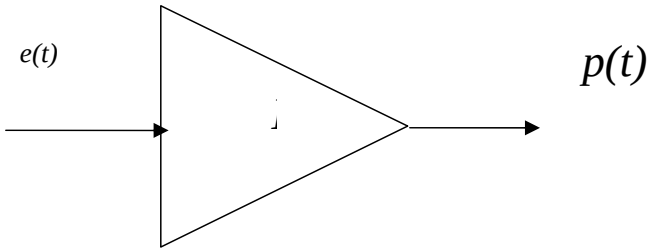
الشكل ٤ -٧ يوضح العلاقة بين دخل الحاكم التناسبي وخرجه حيث يكون معامل التناسب K_P ميل الخط.



الشكل ٤ -٧ منحنى خواص الحاكم التناسبي

- المخطط الصندوقي للحاكم التناسبي

يكون المخطط الصندوقي للحاكم التناسبي كما هو موضح في الشكل ٤ -٨



الشكل ٤ -٨ الحاكم التناسبي

- دالة نقل الحاكم التناسبي

للحصول على دالة نقل الحاكم التناسبي، ندخل تحويلات لابلاس على طرفي المعادلة (٤ -٢)

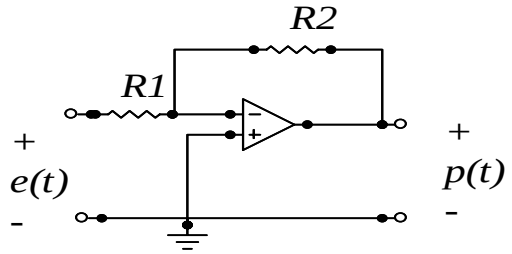
$$P(s) = K_p E(s)$$

ومن ثم تكون دالة نقل الحاكم التناسبي كالتالي:

$G_c(s) = \frac{P(s)}{E(s)} = K_p$	(٤ -٣)

- الدائرة الإلكترونية التي تنفذ وظيفة الحاكم التناسبي

يمكن استخدام الدائرة الإلكترونية الموضحة في الشكل ٤ -٩ للقيام بوظيفة الحاكم التناسبي.



الشكل ٤ -٩ الدائرة الإلكترونية التي تنفذ وظيفة الحاكم التناسبي

$$K_p = -\frac{R_2}{R_2}$$

- مميزات وعيوب الحاكم التناسبي

من مميزات هذا الحاكم أنه بسيط وسريع الاستجابة ومن عيوبه أن لا يلغي إشارة الخطأ.

الحاكم التكاملي Integral Controller

- المعادلة الزمنية للحاكم التكاملي

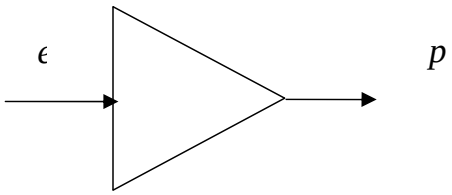
تكون المعادلة الزمنية للحاكم التكاملي على الشكل التالي

$p(t) = K_I \int_0^t e(\tau) d\tau$	(٤- ٤)

حيث، K_I ثابت التكامل.

- المخطط الصندوقي للحاكم التكاملي

يكون المخطط الصندوقي للحاكم التكاملي كما هو موضح في الشكل ٤ -١٠



الشكل ٤ -١٠ الحاكم التكاملي

- دالة نقل الحاكم التكاملي

للحصول على دالة نقل الحاكم التكاملي، ندخل تحويلات لابلاس على طرفي المعادلة (٤- ٤)

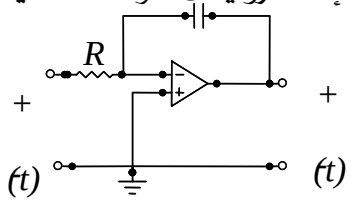
$$P(s) = K_I \frac{E}{s}$$

ومن ثم تكون دالة نقل الحاكم التكاملي كالتالي:

$G_c(s) = \frac{P(s)}{E(s)} = \frac{K_I}{s}$	(٤- ٥)

- الدائرة الإلكترونية التي تنفذ وظيفة الحاكم التكاملي

يمكن استخدام الدائرة الإلكترونية الموضحة في الشكل ٤ -١١ للقيام بوظيفة الحاكم التكاملي.



الشكل ٤ -١١ الدائرة الإلكترونية التي تنفذ وظيفة الحاكم التكاملى

$$G_c(s) = \frac{K_I}{s} = -\frac{1}{RCs}$$

- مميزات وعيوب الحاكم التكاملي

من مميزات هذا الحاكم أنه يلغي إشارة الخطأ ومن عيوبه بطء الاستجابة، وتعرضه للاهتزاز (Cycling).

الحاكم التفاضلي Derivative Controller

- المعادلة الزمنية للحاكم التفاضلي

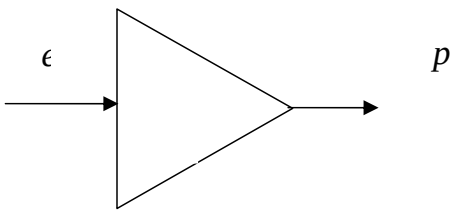
تكون المعادلة الزمنية للحاكم التفاضلي على الشكل التالي

$p(t) = K_D \frac{de(t)}{dt}$	(٤ -٦)

حيث، K_D ثابت التفاضل.

- المخطط الصندوقي للحاكم التفاضلي

يكون المخطط الصندوقي للحاكم التفاضلي كما هو موضح في الشكل ٤ -١٢



الشكل ٤ -١٢ الحاكم التفاضلي

- دالة نقل الحاكم التفاضلي

للحصول على دالة نقل الحاكم التفاضلي، ندخل تحويلات لابلاس على طرفي المعادلة (٤- ٤)

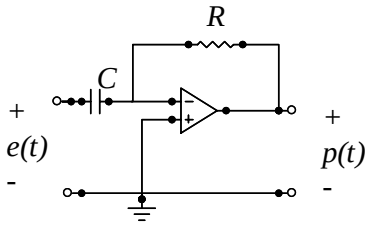
$$P(s) = K_D sE(s)$$

ومن ثم تكون دالة نقل الحاكم التفاضلي كالتالي:

$G_c(s) = \frac{P(s)}{E(s)} = K_D s$	(٤- ٧)

- الدائرة الإلكترونية التي تنفذ وظيفة الحاكم التفاضلي

يمكن استخدام الدائرة الإلكترونية الموضحة في الشكل ٤ -١٣ للقيام بوظيفة الحاكم التفاضلي.



الشكل ٤ -١٣ الدائرة الإلكترونية التي تنفذ وظيفة الحاكم التفاضلى

$$G_c(s) = K_D s = -RCs$$

- مميزات وعيوب الحاكم التفاضلي

من مميزات هذا الحاكم أنه سريع الاستجابة ومن عيوبه أنه لا يلغي إشارة الخطأ ويضخم إشارات التشويش.

الحاكمات الأساسية السابقة الذكر نادرا ما تستخدم منفردة، بل يتم استخدامها مع بعضها في نمط تحكم مركب .

الحاكم التناسبي التكاملي PI Controller

- المعادلة الزمنية للحاكم التناسبي التكاملي

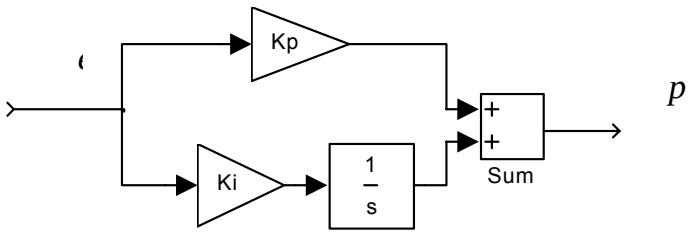
تكون المعادلة الزمنية للحاكم التناسبي التكاملي على الشكل التالي

$p(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau$	(٤ -٧)

.

- المخطط الصندوقي للحاكم التناسبي التكاملي

يكون المخطط الصندوقي للحاكم التناسبي التكاملي كما هو موضح في الشكل ٤ -١٣



الشكل ٤ -١٣ الحاكم التناسبي التكاملي

- دالة نقل الحاكم التفاضلي

للحصول على دالة نقل الحاكم التناسبي التكاملي ، ندخل تحويلات لابلاس على طرفي المعادلة (٤ -٧) للحصول على

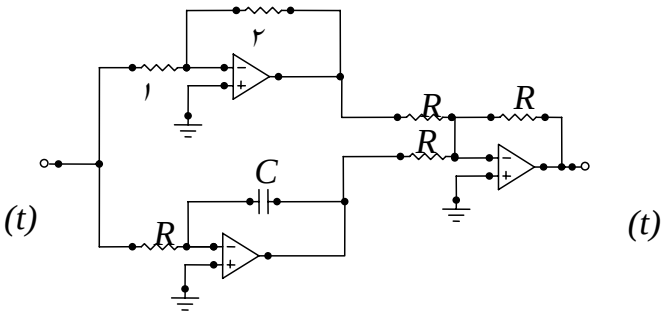
$$P(s) = K_P E(s) + K_I \frac{E(s)}{s}$$

ومن ثم تكون دالة نقل الحاكم التناسبي التكاملي كالتالي:

$G_c(s) = \frac{P(s)}{E(s)} = K_{P+} \frac{K_I}{s}$	(٤ -٨)

- الدائرة الإلكترونية التي تنفذ وظيفة الحاكم التفاضلي

يمكن استخدام الدائرة الإلكترونية الموضحة في الشكل ٤ -١٣ للقيام بوظيفة الحاكم التفاضلي.



الشكل ٤ -١٤ الدائرة الإلكترونية للحاكم التناسبي التكاملي

$$K_P = \frac{R_2}{R_1}; \quad K_I = \frac{1}{RC}$$

- مميزات وعيوب الحاكم التناسبي التكاملي

من مميزاته هذا الحاكم أنه يجمع بين مميزات الحاكم التناسبي والحاكم التكاملي ومن عيوبه أنه معرض للاهتزاز.

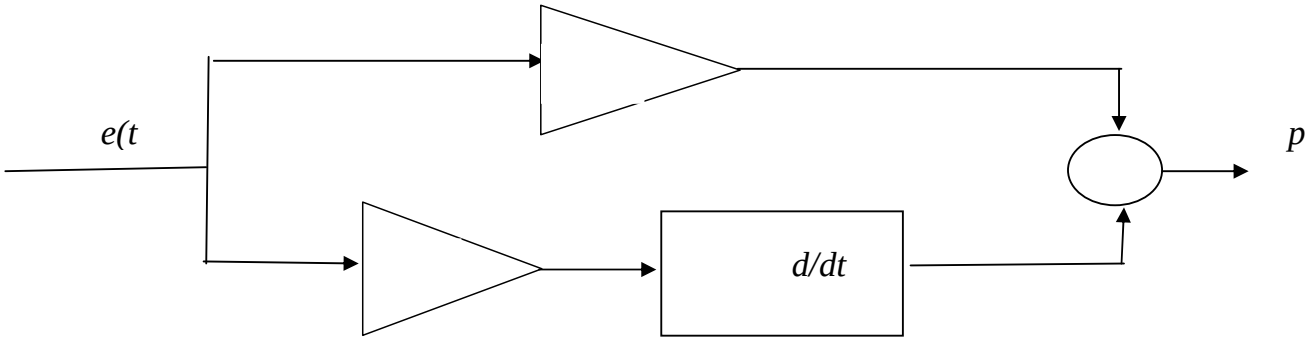
الحاكم التناسبي التفاضلي PD Controller

- المعادلة الزمنية للحاكم التناسبي التفاضلي

تكون المعادلة الزمنية للحاكم التناسبي التفاضلي على الشكل التالي:

$$p(t) = K_P e(t) + K_D \frac{de(t)}{dt}$$	(٤ -٩)

- المخطط الصندوقي للحاكم التناسبي التفاضلي



الشكل ٤ -١٥ الحاكم التناسبي التفاضلي

- دالة نقل الحاكم التناسبي التفاضلي

للحصول على دالة نقل الحاكم التناسبي التفاضلي ، ندخل تحويلات لابلاس على طرفي المعادلة (٤ -٩) فنحصل على

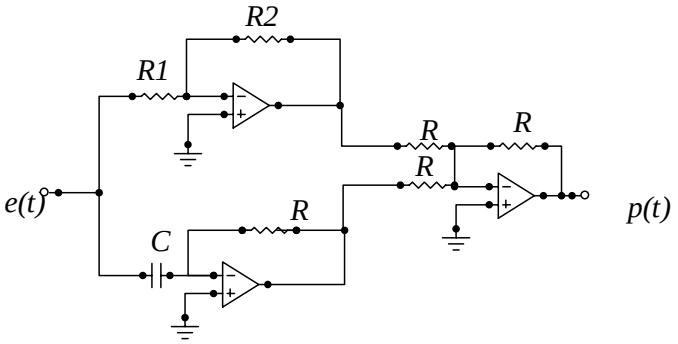
$$P(s) = K_P E(s) + K_D s E(s)$$

ومن ثم تكون دالة نقل الحاكم التناسبي التفاضلي كالآتي:

$G_c(s) = \frac{P(s)}{E(s)} = K_{P+} K_D s$	(٤ -٨)

- الدائرة الإلكترونية لحاكم التناسبي التفاضلي

يمكن استخدام الدائرة الإلكترونية الموضحة في الشكل ٤ -١٦ للقيام بوظيفة الحاكم التناسبي التفاضلي.



الشكل ٤ -١٦ الدائرة الإلكترونية للحاكم التناسبي التفاضلي

$$K_P = \frac{R_2}{R_1}; \quad K_D = RC$$

الحاكم التناسبي التكاملي التفاضلي PID Controller

يعتبر الحاكم التناسبي التكاملي التفاضلي من أقوى وأعقد الحاكمات، حيث يتم دمج الأنماط الثلاثة (التناسبي، التكاملي، التفاضلي) في حاكم واحد.

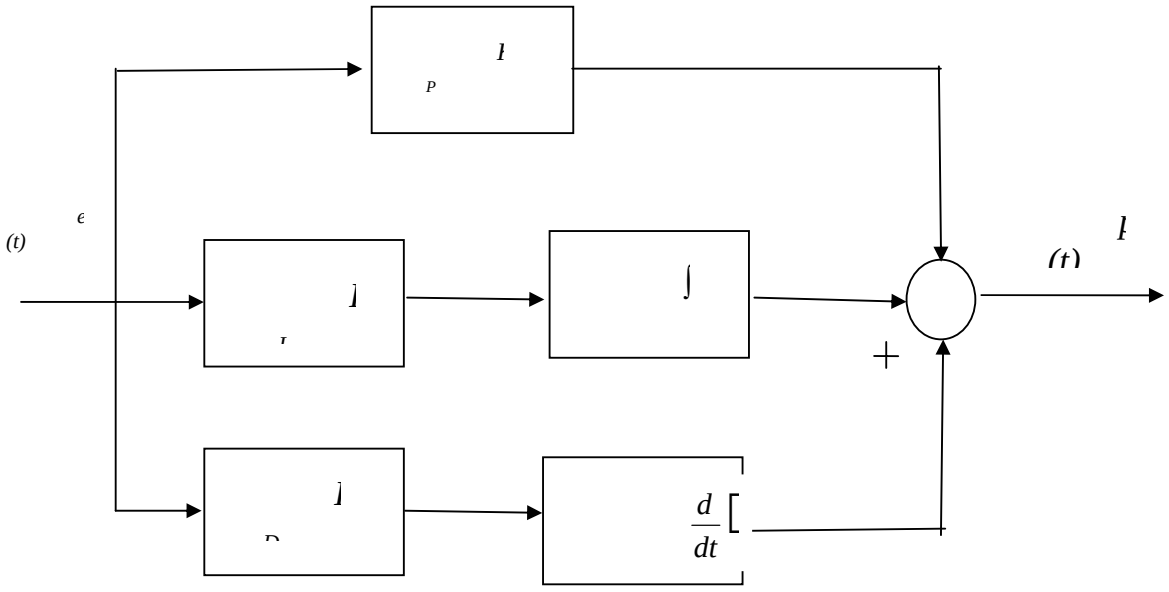
- المعادلة الزمنية للحاكم التناسبي التكاملي

تكون المعادلة الزمنية للحاكم التناسبي التكاملي كالتالي:

$p(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(\tau)d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt}$	(١٠- ٤)

- المخطط الصندوقي للحاكم التناسبي التكاملي

يكون المخطط الصندوقي للحاكم



الشكل ٤ -١٧ الحاكم التناسبي التكاملي التفاضلي

كما يلي:

- دالة نقل الحاكم التناسبي التفاضلي التكاملي التفاضلي

للحصول على دالة نقل الحاكم التناسبي التكاملي التفاضلي، ندخل تحويلات لابلاس على طرفي المعادلة (٤ -١٠) للحصول على

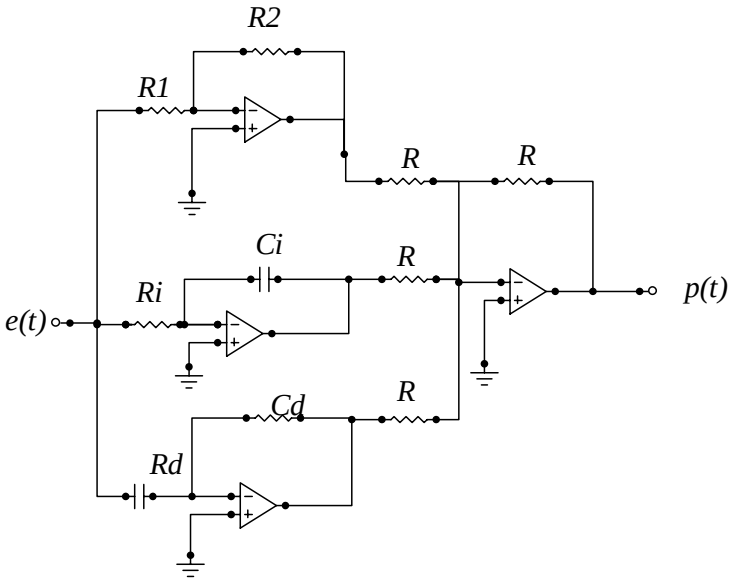
$$P(s) = K_P E(s) + K_I \frac{E(s)}{s} + K_D s E(s)$$

ومن ثم تكون دالة نقل الحاكم التناسبي التكاملي التفاضلي كالآتي:

$G_c(s) = \frac{P(s)}{E(s)} = K_{P+} + \frac{K_I}{s} + K_D s$	(٤ -١١)

- الدائرة الإلكترونية للحاكم التناسبي التكاملي التفاضلي

تكون الدائرة الإلكترونية كما يلي:



الشكل ٤ -١٨ الدائرة الإلكترونية للحاكم التناسبي التكاملي التفاضلي

ملاحظة: يمكن تنفيذ الدوائر الإلكترونية للحاكمات السابقة باستخدام عدد أقل من مكبرات العمليات.

الخلاصة

شرحنا في هذه الوحدة حلقات وأنماط التحكم. فعرفنا التحكم المفتوح والتحكم المغلق. وتطرقنا إلى أنواع الحاكمات المختلفة. فألقينا الضوء على الحاكم ذي الوضعين، وقمنا بدراسة الحاكمات التالية: الحاكم التناسبي والحاكم التكاملي والحاكم التفاضلي والحاكم التناسبي التكاملي والحاكم التناسبي التفاضلي والحاكم التناسبي التكاملي التفاضلي من حيث المعادلة الزمنية ودالة النقل والمخطط الصندوقي والدائرة الإلكترونية

أسئلة تمارين

اذكر أنواع حلقات التحكم

هل يدخل المتغير المراد التحكم فيه في توليد إشارة التحكم في نظام تحكم مفتوح

ارسم مخططا صندوقيا لنظام تحكم مغلق موضحا عليه الأجزاء الرئيسية

حدد نوع نظام التحكم المستخدم في سخان الماء المنزلي (هل هو تحكم مفتوح أو تحكم مغلق) مع الشرح

حدد نوع نظام التحكم المستخدم في الغسالة الآلية (هل هو تحكم مفتوح أو تحكم مغلق) مع الشرح

اذكر أنواع الحاكمات

بالإشارة إلى الشكل ٤ -٩ للدائرة الإلكترونية التي تنفذ وظيفة الحاكم التناسبي، وإذا علمت أن $R١=١٠K\Omega$ و $R٢=٥K\Omega$، أوجد الآتي

معامل التناسبي K_P

المعادلة الزمنية للحاكم التناسبي

دالة النقل

بالإشارة إلى الشكل ٤ -٩ للدائرة الإلكترونية التي تنفذ وظيفة الحاكم التناسبي، وإذا علمت أن $R١=١٠K\Omega$ ماهي قيمة المقاومة $R٢$ التي تجعل $K_P=$□/٧.

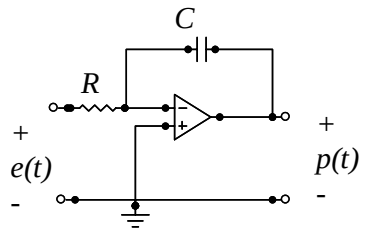
اذكر مميزات وعيوب الحاكم التناسبي

بالإشارة إلى دائرة الحاكم التكاملي أدناه، وإذا علمت أن $R=١٠K\Omega$ و $C=١\mu F$ أوجد الآتي

معامل التكامل K_I

المعادلة الزمنية للحاكم التكاملي

دالة النقل



بالإشارة إلى الشكل ٤ -١٣ للدائرة الإلكترونية التي تنفذ وظيفة الحاكم التفاضلي، وإذا علمت أن $R=٥K\Omega$ و $C=٢\mu F$. أوجد الآتي

معامل التفاضل K_D

المعادلة الزمنية للحاكم التفاضلي

دالة النقل

بالإشارة إلى الشكل ٤ -١٤ لدائرة الحاكم التناسبي التكاملي، وإذا علمت أن $R=٥K\Omega$ و $C=٢\mu F$ و $R١=٢٠K\Omega$ و $R٢=٤٠K\Omega$ أوجد الآتي

معامل التكامل K_I ومعامل التناسب K_P

المعادلة الزمنية للحاكم

دالة نقل الحاكم

ارسم الدائرة الإلكترونية التي تنفذ الحاكم التناسبي التفاضلي

بالإشارة إلى الشكل ٤ -١٧ الموضح للمخطط الصندوقي للحاكم التناسبي التكاملي التفاضلي، وإذا علمت أن

KP=٢
KI=٥S□ ١
KD=٤S

المعادلة الزمنية للحاكم

دالة نقل الحاكم

ارسم الدائرة الإلكترونية التي يمكن تنفيذ هذا الحاكم بواسطتها

مقدمة أنظمة تحكم

التحكم النهائي

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الأهداف

بعد انتهائك من دراسة هذه الوحدة تكون قادرا على:

- فهم دور عملية التحكم النهائي ومكانته في حلقة التحكم
- تحديد مراحل عملية التحكم النهائي
- تحديد وظيفة محول الإشارة
- تحديد أنواع المشغلات
- تحديد وظيفة المشغلات
- تحديد وشرح أنواع المشغلات الكهربية
- تحديد وشرح أنواع المشغلات الهيدروليكية
- تحديد وشرح أنواع المشغلات الهوائية
- تحديد وظيفة العنصر النهائي في حلقة التحكم
- تحديد الحجم الأمثل لصمام التحكم

مقدمة

علمنا مما سبق أن حلقة التحكم الآلي تتكون من العناصر الرئيسية الآتية:

- العملية المراد التحكم فيها
- الحساس
- الحاكم
- عنصر التحكم النهائي

في الوحدات السابقة درسنا طرق تمثيل النظم، ونظم الرتبة الأولى والثانية وحلقات وأنماط التحكم وفي هذه الوحدة سنتطرق إلى عملية التحكم النهائي.

٥ -١ عملية التحكم النهائي

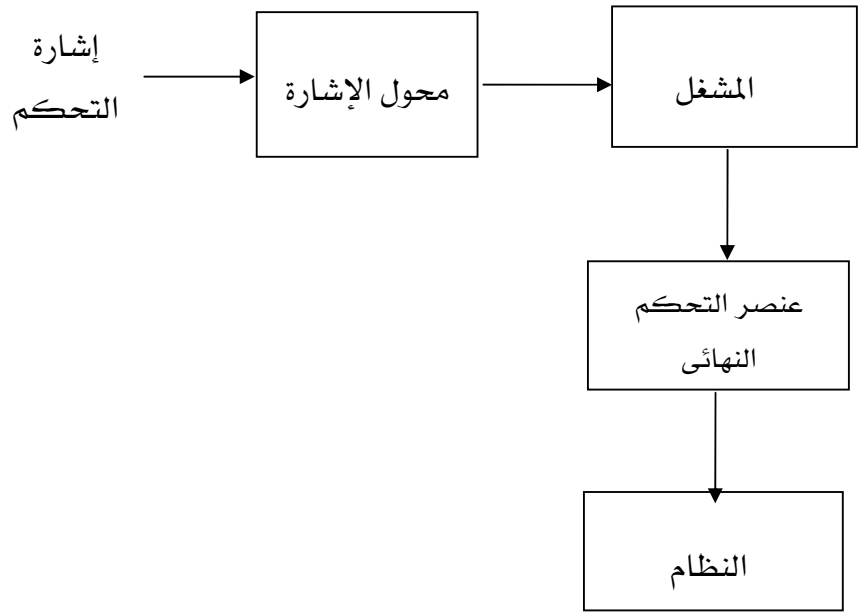
تمر عملية التحكم النهائي بالمراحل التالية كما هو واضح في الشكل ٥ -١:

- تحويل الإشارة (Signal Conversion) وهذه وظيفة محول الإشارة،
- تنفيذ الأوامر الصادرة عن الحاكم وذلك بترجمة إشارة التحكم إلى فعل يناسب العملية وهذه وظيفة المشغل،
- التأثير المباشر على العملية وهذه وظيفة عنصر التحكم النهائي الذي يكون في كثير من التطبيقات صمام تحكم (Control Valve).

٥ -٢ محولات الإشارة Transducers

الغرض من محولات الإشارة تحويل إشارات التحكم الصادرة عن الحاكم إلى إشارات تناسب المشغل المستخدم في العملية. تكون الإشارة الصادرة عن الحاكم على هيئة إحدى الصور الثلاث

- تيار كهربائي ذو شدة ٤□٢٠ mA
- إشارة هوائية (Pneumatic Signal) ذات ضغط ٣□١٥ psi
- إشارة رقمية ذات مستوى جهد منطقي TTL



الشكل ٥ -١ مراحل عملية التحكم النهائي

٥ -٣ **المشغلات** Actuators

تنقسم المشغلات المستخدمة في تكنولوجيا التحكم الآلي إلى ثلاثة أنواع رئيسية

- المشغلات الهوائية Pneumatic Actuators
- المشغلات الكهربية Electrical Actuators
- المشغلات الهيدروليكية Hydraulic Actuators

٥ -٣ -١ المشغلات الهوائية

المشغلات الهوائية تقوم بتحويل إشارة التحكم إلى قوة كبيرة أو عزم دوران ليناسب عنصر التحكم النهائي المستخدم في العملية. ومبدأ عملها يقوم على المعادلة الآتية

$$F=(P_1-P_2)A$$

حيث

(P_1-P_2): فرق الضغط مقاس بالباسكال (Pa)

A: مساحة الغشاء مقاسة (Diaphragm Area) ووحدة قياسه الـ m^2

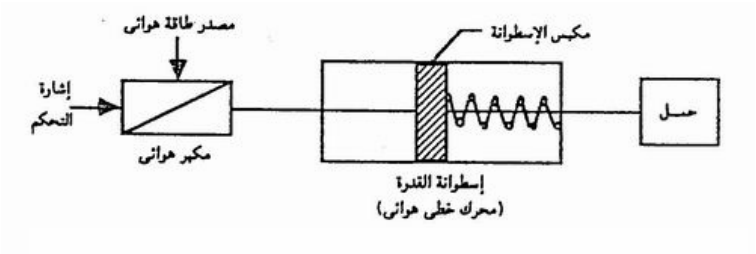
F: القوة ووحدة قياسها النيوتن (N)

وكمثال على ذلك، إذا أردنا مضاعفة القوة اللازمة لتحريك الصمام مع ثبات الضغط، يكفي مضاعفة مساحة الغشاء.هناك أنواع كثيرة من المشغلات الهوائية وأشهرها تلك التي تكون مرتبطة مع

صمام التحكم، وسنتناول دراسة هذا النوع عند تناولنا لعنصر التحكم النهائي. كما توجد مشغلات هوائية على شكل محركات هوائية Air Motors ، وفي ما يلي شرح لها.

محركات التحكم الهوائية Air Motors:

تعتبر المحركات الهوائية من وحدات التشغيل التي تستخدم بكثرة في تكنولوجيا التحكم الآلي، تعتمد في عملها على الهواء المضغوط. ويبين الشكل ٥ -٤ محرك هوائي يتحكم في وضع حمل معين، وهو عبارة عن أسطوانة ذات مكبس يعمل بضغط الهواء، ويتم التحكم في وضع المكبس وبالتالي في وضع الحمل. وقد يصل ضغط التشغيل إلى مائة بار.



الشـــكل ٥ -٤ محـــرك هـــوائي يـــتحكم في وضـــع

٥ -٣ -٢ المشغلات الكهربية Electric Actuators

تستخدم المشغلات الكهربية بكثرة في نظم التحكم الآلي مثل التحكم في وضع حمل معين. وتنقسم إلى نوعين هما:

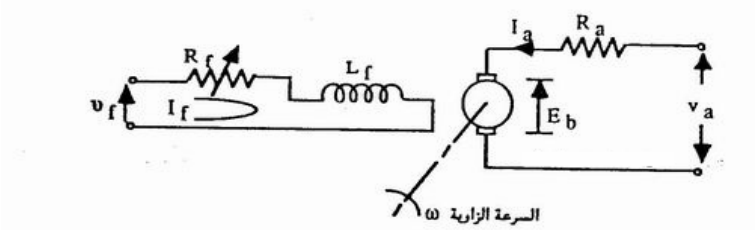
- مشغلات كهربية ذات تيار مستمر DC Motor Actuators .
- مشغلات كهربية ذات تيار متردد AC Motor Actuators .

٥ -٣ -٢ -١ المشغلات الكهربية ذات التيار المستمر:

وهي عبارة عن محركات تعمل بالتيار المستمر و هناك نوعان منها:

- محرك تيار مستمر ذو تحكم مجالي Filed-Controlled DC Motor

يبين الشكل ٥ -٦ محرك تيار مستمر ذو تحكم مجالي

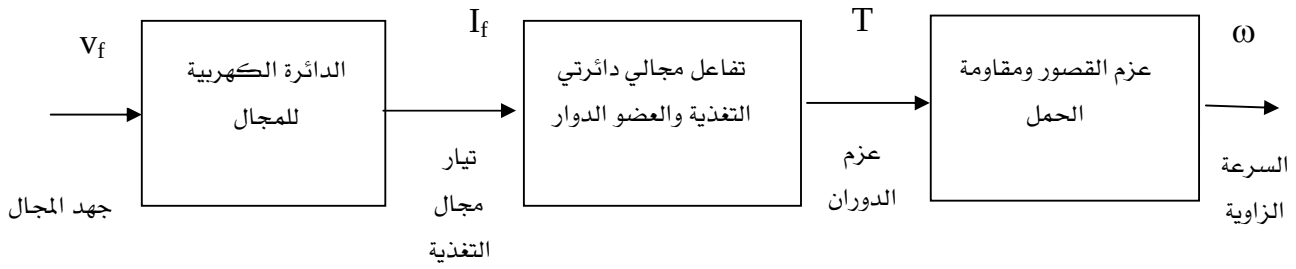


الشكل ٥ -٦ محرك تيار مستمر ذو تحكم مجالي

يتكون محرك التيار المستمر ذو التحكم المجالي من العضو الثابت الذي به دائرة المجال والعضو الدوار وعليه ملفات عضو الإنتاج (armature winding) الذي يغذى كهربياً من مصدر جهد ثابت ، ويتصل محور عضو الدوار بالحمل المراد تحريكه لوضع معين أو بسرعة معينة. توصل دائرة المجال التي على العضو الثابت بجهد المجال "v_f" الذي يمرر تيار المجال "I_f" في الدائرة، وينتج عن هذا التيار فيض مجال مغناطيسي (magnetic field flux) يتفاعل هذا الفيض المجالي مع فيض العضو الدوار (armature flux) الناتج من مرور تيار "I_a" فيه، وينتج عن ذلك عزم دوران (Torque) الذي يؤثر على محور المحرك الذي يقوم بتحريك الحمل ودورانه بزاوية معينة أو بسرعة زاوية معينة طبقاً للتطبيق المستخدم.

مما سبق نجد أن عزم الدوران "T" يتناسب طرديا مع تيار المجال "I_f" وتيار العضو الدوار "I_a"

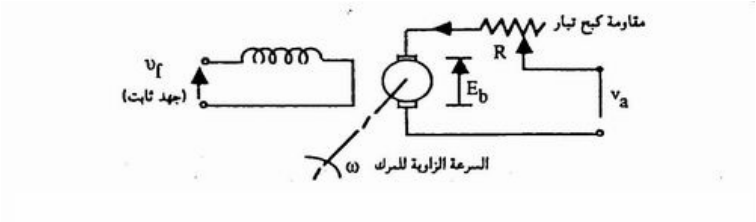
وحيث إن التيار "I_a" ثابت نستنتج أن عزم دوران وبالتالي سرعة المحرك "ω" تتناسب مع تيار المجال "I_f" تتغير سرعة المحرك ، أي أن جهد دائرة المجال يتحكم في سرعة المحرك من خلال تيار المجال "I_f" ، ومن ثم فإن ملف المجال يسمى أيضاً ملف التحكم وذلك لتحكمه في سرعة المحرك من خلال الجهد "v_f" والتيار "I_f" . والشكل ٥ -٧ يبين المخطط الصندوقي لمحرك تيار مستمر ذي تحكم مجالي



الشكل ٥ -٧ المخطط الصندوقي لمحرك تيار مستمر ذي تحكم مجالى

- محرك تيار مستمر ذو تحكم بواسطة العضو الدوار
Armature-Controlled DC Motor

تغذى دائرة المجال في هذا النوع من المحركات بجهد ثابت v_f يولد تيارا ثابتاً I_f، أما العضو الدوار فإنه يُغذَّى بجهد يتم التحكم في قيمته بواسطة مقاومة موصلة على التوالي، كما هو موضح الشكل ٥ -٨.



الشكل ٥ -٨محرك تيار مستمر ذو تحكم بواسطة العضو

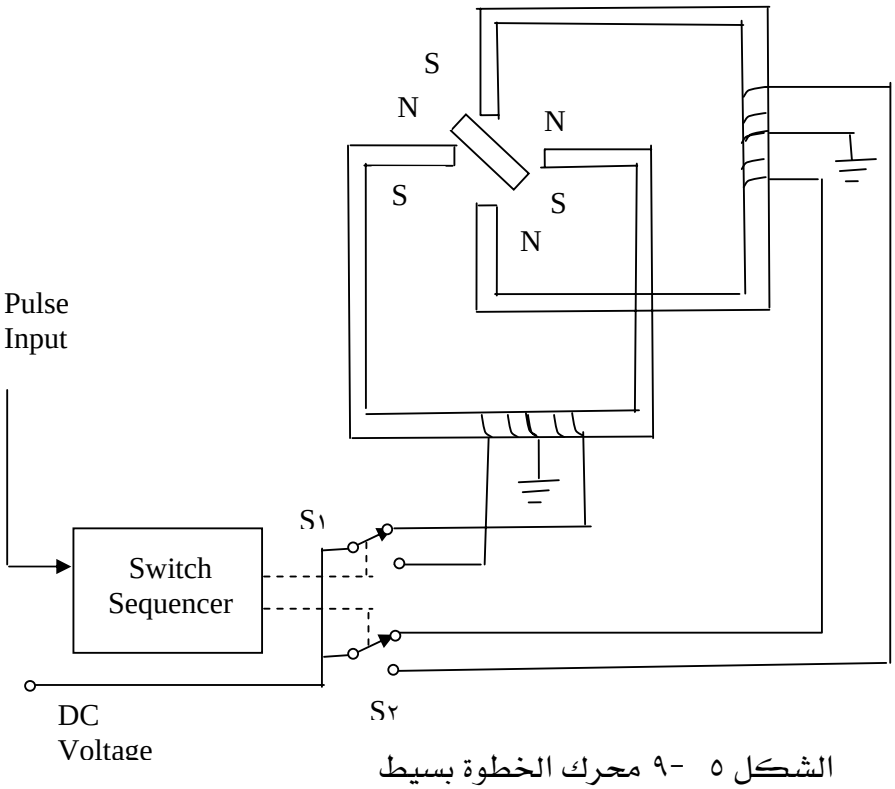
يستخدم هذا النوع من محركات التيار المستمر في التطبيقات التي تحتاج إلى قدرة كبيرة.

٥ -٣ -٢ -٢ وحدات تشغيل كهربية ذات تيار متردد AC Electrical Actuators

وهي محركات تعمل بالتيار المتردد. ويوجد منها أنواع متعددة نذكر منها محرك التيار المتردد المتزامن (Synchronous AC Motor) ومحرك التيار المتردد غير المتزامن (Asynchronous AC Motor).

٥ -٣ -٢ -٣ محرك الخطوة

وهو عبارة عن آلة دوارة تكمل دورة كاملة من خلال سلسلة من الخطوات المنفصلة. كل خطوة لها وضع استقرار خاص. حيث يبقى العضو الدوار في الموقع الذي وصلت إليه آخر خطوة. ويتحقق الدوران المستمر لمحرك الخطوة بواسطة سلسلة نبضات تؤدي كل واحدة منها إلى خطوة إضافية، مع ملاحظة أن الحركة في واقع الأمر ليست حركة دوران مستمر بل هي حركة دوران متقطعة، يُحدَّد معدل الدوران بعدد الخطوات في الدورة الواحدة ومعدل النبضات المستخدمة. ويمثل الشكل ٥ -٩ محرك الخطوة بسيط



الشكل ٥ -٩ محرك الخطوة بسيط

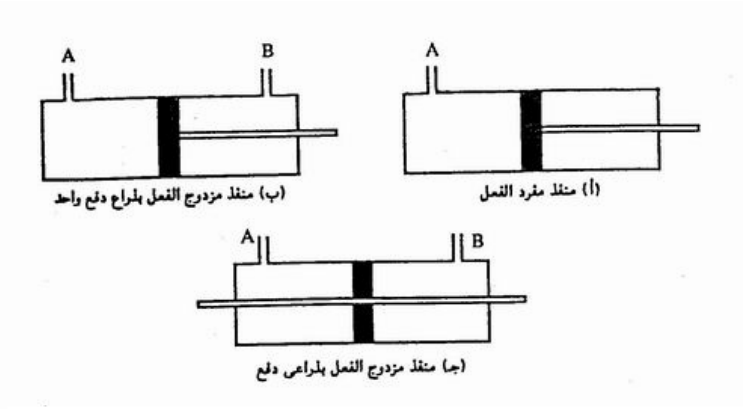
٥ -٣ -٣ المشغلات الهيدروليكية Hydraulic Actuators

تعتبر المشغلات الهيدروليكية من المشغلات الهامة جداً وخاصة في القدرات العالية، وتنقسم إلى مشغلات هيدروليكية خطية (Linear Hydraulic Actuators) ومشغلات هيدروليكية دورانية (Rotary Hydraulic Actuators).

المشغلات الهيدروليكية الخطية

تعتبر المشغلات الهيدروليكية الخطية عناصر تكبير لحركة ميكانيكية انتقالية صغيرة إلى حركة ميكانيكية أكبر بطاقة ذات مستوى عال، وذلك باستخدام زيت غير قابل للانضغاط من خلال تدفق الزيت. ويوجد ثلاثة أنواع من هذه المشغلات.

- المشغل أحادي الفعل (Single-Acting Actuator) (شكل ٥ -١٠ -أ) ويشمل المكبس (Piston) الذي يتحرك داخل أسطوانة ويتصل بذراع دفع (Push Rod) الذي يقوم بنقل حركة المكبس من بداية الشوط إلى نهايته. عند التشغيل يمرر الوسط التشغيلي (الزيت) Operating Medium من خلال الفتحة "A" إلى الجانب الأسفل للمكبس لدفعه إلى الأمام ، وعند تحرر الضغط عند النقطة "A" فإن حركة المكبس تكون في عكس الاتجاه من خلال نابض ترجيع.
- المشغل المزدوج الفعل بذراع دفع واحد Double Acting Actuator with Single Rod (شكل ٦ -١٠ -ب)، في هذه الحالة يمر الوسط التشغيلي من خلال فتحتين "A" أو "B" للحصول على حركة أمامية أو خلفية (Forward or Reverse Motion).
- المشغل مزدوج الفعل بذراعي دفع Double Acting Actuator with Double Rod يتميز هذا النوع بالمكبس ذي المساحة الفعالة الثابتة على جانبي الأسطوانة ، كما هو مبين بشكل (٦ -١٠ -جـ)، ويمكن للأحمال أن توصل على أي جانب من ذراع الدفع.

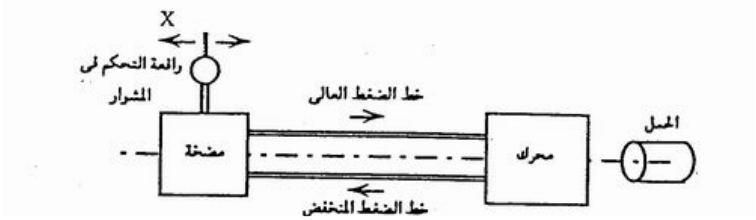


الشكل ٥ -١٠ المشغلات الهيدروليكية الخطية

٥ -٣ -٣ -١ المشغلات الهيدروليكية الدورانية Rotary Hydraulic Actuator

تعتبر المشغلات الهيدروليكية الدورانية من الآلات الواسعة الاستخدام في أنظمة التحكم الآلي التي تعطي عزم دوراني كبير وزمن استجابة صغير، . وتقوم بتحويل الضغط إلى حركة دورانية.ومن مميزاته حجمه الصغير الذي قد يصل إلى عشر حجم المحرك الكهربي الذي يعطي نفس القدرة الميكانيكية، لذا كان الاهتمام كبير بمثل هذه المحركات لتطويرها في نظم التحكم في آلات التصنيع الميكانيكي Machine-Tool Control Systems.

وكما يبين شكل ٥ -١١ فالمحرك الهيدروليكي مكون من مضخة هيدروليكية متغيرة الشوط Variable Stroke Pump ومحرك هيدروليكي ثابت الشوط Fixed-Stroke Hydraulic Motor ، ويمكن التحكم في المحرك بتغيير معدل تدفق الزيت من المضخة.



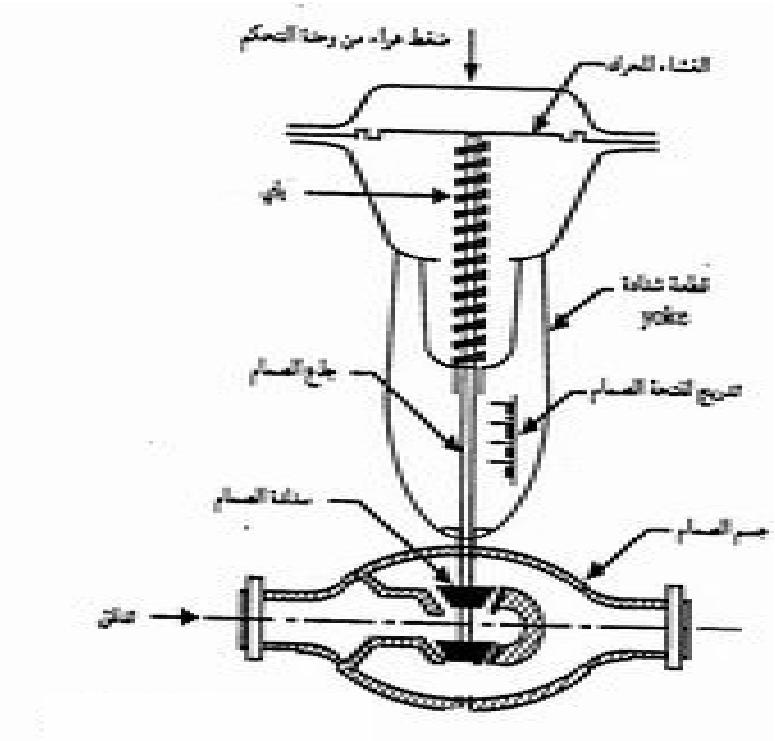
الشكل ٥ -١١ مشغل هيدروليكى دورانى

٥ -٤ عنصر التحكم النهائي

يقوم عنصر التحكم النهائي بالتأثير المباشر على النظام المراد التحكم فيه. وفي كثير من التطبيقات يكون المشغل وعنصر التحكم النهائي مدمجين في تركيبة واحدة، وخاصة تلك التي تعمل بالهواء المضغوط. وسنتناول فيما يلي صمامات التحكم الهوائية Pneumatic Control Valves

والشكل ٥ -١٢ يبين صمام تحكم هوائي، وكما هو واضح من ارسم فإن صمام التحكم الهوائي يتكون من جزأين رئيسيين هما:

- المشغل
- جسم الصمام Valve Body

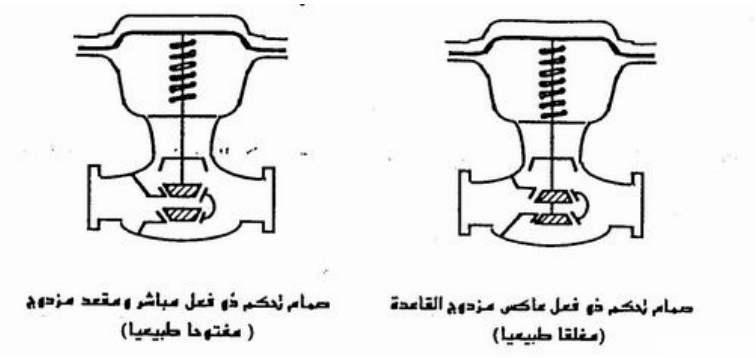


الشكل ٥ -١٢ صمام التحكم الهوائي

فالمشغل يقوم بتحويل إشارة ضغط الهواء إلى حركة عمودية، وجسم الصمام يتحكم في فتحة الصمام ومن ثم مقدار معدل تدفق السائل أو الغاز عبر الصمام.

وكما هو مبين في الشكل ٥ -١٣ تنقسم صمامات التحكم الهوائية إلى نوعين رئيسيين هما

- صمامات ذات فعل مباشر Direct Action Valves وهي التي تقفل مع زيادة ضغط الهواء
- صمامات ذات فعل عاكس Reverse Action Valves وهي التي تفتح مع زيادة الضغط



الشكل ٥ -١٣ يبين نوعي صمامات التحكم الهوائي

٥ -٥ **تحديد الحجم الأمثل لصمام التحكم** Control Valve Sizing

تحديد الحجم الأمثل لصمام التحكم طريقة هندسية متبعة لإيجاد الحجم الصحيح لصمام التحكم اللازم لغرض محدد. و"معامل تدفق الصمام" الذي هو عبارة عن كمية السائل التي تمر في الدقيقة عبر الصمام في الوضع المفتوح كاملا مع فرق ضغط ١psi. وكمثال على ذلك إذا كان معامل تدفق الصمام $C_v=٥$ فإن ذلك يعني أنه يتدفق خمسة قالونات في الدقيقة من الماء عندما يكون الصمام كاملا، وفرق الضغط ١psi.

ويوضح الجدول ٥ -١ قيم معامل تدفق الصمام التقريبية لصمامات تحكم ذات أحجام شائعة.

الجدول ٥ -١ حجم الصمام بدلالة معامل التدفق

حجم الصمام	معامل تدفق الصمام C_v
٠٢٥	٠,٣
٠,٥	٣
١	١٤
١,٥	٣٥
٢	٥٥
٣	١٠٨
٤	١٧٤
٦	٤٠٠
٨	٧٢٥
١٠	١١٠٠

ويتم تحديد الحجم الأمثل لصمام التحكم حسب نوع المائع كالتالي:

- للسوائل: $Q_L = C_v\sqrt{\frac{P_1 - P_2}{G_L}}$
- للغازات: $Q_G = 960C_v\sqrt{\frac{(P_1 + P_2)(P_1 - P_2)}{G_R(T + 460)}}$
- للبخار: $W = 90C_v\sqrt{\frac{P_1 - P_2}{V_1 + V_2}}$

حيث:

C_V: معامل تدفق الصمام Valve Flow Coefficient

G_R: معامل الجاذبية للغاز Gas Specific Gravity

G_L: معامل الجاذبية للسوائل Liquid Specific Gravity

W: معدل تدفق البخار Steam Flow Rate (lb/hour)

P_1: الضغط عند مدخل الصمام Valve Inlet Pressure (psi)

P_2: الضغط عند مخرج الصمام Valve Outlet Pressure(psi) (psi)

Q_G: معدل تدفق الغاز Gas Flow Rate (ft^3/hour at ١٤,٧psia and ٦٠°F)

Q_L: معدل تدفق السائل Liquid Flow Rate (Gallon/min)

T: درجة حرارة الغاز Gas Temperature (Degree F)

V_1: الحجم النوعي للبخار عند مدخل الصمام Steam Specific Volume at the Valve Inlet (ft^3/lb)

V_2: الحجم النوعي للبخار عند مخرج الصمام Steam Specific Volume at the Valve Outlet (ft^3/lb)

مثال:

أوجد حجم صمام التحكم اللازم للتحكم في تدفق سائل إذا علمت أن G_L= ٠,٩٢، $Qmax$= ٣٢٠$Galon/lmin$، P١-P٢=٦٠psi، معامل الأمان Safety Factor=٠,٢٥ بمعنى أن QL=١,٢٥Qmax

الحل

من المعادلة : $Q_L = C_v\sqrt{\frac{P_1 - P_2}{G_L}}$

نحصل على $C_v = Q_L\sqrt{\frac{G_L}{P_1 - P_2}}$

وبالتعويض عن P١-P٢ و QL نحصل على Cv=٤٩,٥، ومن الجدول ٥ -١ يكون حجم الصمام يساوي ٢ inches

الخلاصة

تناولنا في هذه الوحدة موضوع التحكم النهائي ومكانته في حلقة التحكم وحددنا المراحل التي تمر بها عملية التحكم النهائي. كما شرحنا وظيفة محول الإشارة، وذكرنا وظيفة المشغلات وأنواعها المختلفة من هوائية وكهربية وهيدروليكية. ثم قمنا بشرح وظيفة العنصر النهائي في حلقة التحكم، مع كيفية حساب الحجم الأمثل لصمام التحكم.

أسئلة وتمارين

٥ -١ إشرح دور التحكم النهائي ومكانته في حلقة التحكم

٥ -٢ أرسم المخطط الصندوقي الذي يوضح عملية التحكم النهائي

٥ -٣ حدد وظيفة محول الإشارة

٥ -٤ أذكر وظيفة المشغل في حلقة التحكم

٥ -٥ أذكر أنواع المشغلات

٥ -٦ أذكر أنواع المشغلات الكهربية

٥ -٧ أذكر أنواع المشغلات الهيدروليكية

٥ -٨ تحديد وظيفة العنصر النهائي في حلقة التحكم

٥ -٩ أرسم شكلا يوضح صمام التحكم الهوائي مع تحديد مكوناته

٥ -١٠ أوجد حجم صمام التحكم اللازم للتحكم في تدفق سائل إذا علمت أن G_L=٠,٩٢ ، $Qmax$=٦٤٠Galon/lmin ، P١-P٢=٣٠psi ، معامل الأمان Safety Factor=٠,٢٥ بمعنى أن QL=١,٢٥Qma

الإجابات

إجابات لبعض تمارين الوحدة الثانية

٢ -١ (أ) $\frac{10}{s}$ ، (ب) $\frac{-10}{s}$ ، (ج) $\frac{-3}{s^2}$ ، (د) $\frac{2}{s^2}$ ، (هـ) ــــــــــــــ) $\frac{1}{s-5}$ ، (و) $\frac{10}{s+7}$ ، (ز) $\frac{6}{s^2+9}$ ، (ح) $\frac{10s}{s^2+25}$

(ط) $\frac{s+a}{(s+a)^2+\omega^2}$ ، (ي) $\frac{\omega}{(s+a)^2+\omega^2}$

٢ -٤ (أ) $\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{1}{s(s+3)}$ ، (ب) $\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{5.2s+12}{(0.1s+1)(0.5s+1)}$

٢ -٦ $\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{s+1}{s^2+6s+6}$

٣ -٤ $0.2v'(t)+v(t)=e(t)$

٣ -٥ $R=8.3K\Omega$

٣ -٦ $0.2\times10^{-6}i'(t)+i(t)=0.2e(t)$

٣ -٧ (أ) $\tau=10$ ، (ب) $G=2$ ، (ج) $y(t)=2(1-e^{-10t})$

٣ -٨ $\omega_0=2500$ ، $\alpha=1250$

٣ -٩ (أ) $\omega_0=2500$ ، $\alpha=1250$ $\alpha<\omega_0$ $\Leftarrow$ إخماد ناقص (ب) $R=100\Omega$

٣ -١١ $9\times10^4h''(t)+600h(t)+h(t)=100q(t)$

٢ -١٢ (أ) $G(s)=\frac{2}{s^2+2s+2}$ ، (ب) $\omega_0=1.414$ ، $\alpha=1.414$

إجابات لبعض تمارين الوحدة الرابعة

٤ -٧ (أ) $Kp = -0.2$ ، (ب) $p(t) = -0.2e(t0$ ، $G_c(s) = 0.2$

٤ -٨ $R_2 = 70K\Omega$

٤ -١٠ (أ) $Ki = -100$ ، (ب) $p(t) = -100\int_0^t e(\tau)d\tau$ ، $G_c(s) = -\frac{100}{s}$

٣ -١١ (أ) $Kd = -0.01$ ، (ب) $p(t) = -0.01e'(t)$ ، $G_c(s) = -0.01s$

٢ -١٢ (أ) $Kp = 2, \quad Ki = 100$ ، (ب) $p(t) = -0.01e'(t)$ ، $G_c(s) = \frac{2s + 100}{s}$

إجابة لتمرين الوحدة الخامسة

٥ -١٠ حجم الصمام ٢inches

المصطلحات

AC Motor	محرك تيار متردد
Actuator	مشغل
Analog	تماثلي
Armature	عضو دوار
Automation	الآلية
Block Diagram	مخطط صندوقي
Bode Diagram	مخطط بودي
Cascade	تعاقب
Characteristic Equation	المعادلة المميزة
Characteristics	خصائص
Chart Recorder	مسجل
Closed Loop	حلقة مغلقة
Compensator	معوض
Control system	نظام تحكم
Control Valve	صمام تحكم
Controlled Variable	المتغير المراد التحكم فيه
Controller	حاكم
Critical Damping	إخماد حرج
Cutoff Frequency	تردد الانكسار
Damping	إخماد
DC Motor	محرك تيار مستمر
Delay Time	زمن التأخير
Derivative	تفاضلي
Derivative Controller	حاكم تفاضلي
Design	تصميم

Digital	رقمي
Disturbance	اضطراب
Dynamic	حركي، ديناميكي
Error	خطأ
Feedback	تغذية خلفية
Feedback Path	مسار خلفي
Final Control Element	عنصر التحكم النهائي
Flow Meter	مقياس معدل تدفق
Flow rate	معدل تدفق
Forward Path	مسار أمامي
Frequency Response	استجابة ترددية
Gain	كسب
Gain Crossover Frequency	تردد عبور الكسب
Gain Margin	هامش الكسب
Hydraulic	هايدرولوكي
Input	دخل
Integral	تكاملي
Integral Controller	حاكم تكاملي
Lag Compensator	معوض تأخير
Laplace Transform	تحويل لابلاس
Lead Compensator	معوض تقديم
Level	مستوى
Magnitude	قيمة
Manual Control	تحكم يدوي
Matrix	مصفوفة
Motor	محرك
Open Loop	حلقة مفتوحة

راسم ذبذبات	Oscilloscope
خرج	Output
إخماد زائد	Over Damping
تجاوز	Overshoot
توازي	Parallel
زمن الذروة	Peak Time
أداء	Performance
استجابة دائمة	Permanent Response
تردد عبور الطور	Phase Crossover Frequency
هامش الطور	Phase Margin
إزاحة الطور	Phase Shift
هوائي، نوماتي	Pneumatic
كثير الحدود	polynomial
مجزأ الجهد	Potentiometer
عملية	Process
الحاكمات القابلة للبرمجة	Programmable Logic Control
تناسبي	Proportional
حاكم تناسبي	Proportional Controller
دخل مرجعي	Reference Input
تردد الرنين	Resonance Frequency
استجابة	Response
منحنى الاستجابة	Response Curve
زمن الصعود	Rise Time
جذر	Root
حساس	Sensor
توالي	Series
نقطة الضبط، نقطة التشغيل	Set Point

Settling Time	زمن الاستقرار
Signal Conditioning	معالج الإشارة
Signal Conversion	محول الإشارة
Simulation	محاكاة
Specification	مواصفات
Stability	استقرار
Stability Criteria	معيار الاستقرار
Step Input	دخل الخطوة
Stepper Motor	محرك الخطوة
Summing Junction	وصلة تجميع
System	نظام
Tachometer	مقياس دوران، تاكوميتر
Take off Point	نقطة تفريع
Time Constant	الثابت الزمني
Time Domain Response	استجابة زمنية
Transducer	محول طاقة
Transfer Function	دالة نقل
Transient response	استجابة عابرة
Two Position Control	حاكم ذو الوضعين
Underdamping	إخماد ناقص
Unit step	خطوة الوحدة
Unity Feedback	تغذية خلفية أحادية

المراجع

١. Johnson, C. D. *Process Control Instrumentation Technology*, Prentice Hall, ٢٠٠٢
٢. Bateson, R. N. *Introduction to Control Systems Technology*, Prentice Hall, ٢٠٠٢
٣. Ogata, K. *Modern control Engineering*, Prentice Hall, ١٩٩٧
٤. Dorf, R. C. and Bishop, R. H. *Modern Control Systems*, Addisson Wesley, ١٩٩٨
٥. **أحمد فؤاد محمد عامر**، هندسة التحكم الآلي، مطبوعات الأكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا والنقل البحري، ١٩٩١

المحتويات

الوحدة الأول: مقدمة لتكنولوجيا نظم التحكم الآلي ١
الأهداف ١
مقدمة ٢
١ -١ مراحل تطور تكنولوجيا التحكم الآلي على مدى العصور ٣
١ -١ -١ المرحلة الأولى: التحكم اليدوي ٣
١ -١ -٢ المرحلة الثانية: التحكم الميكانيكي ٤
١ -١ -٣ المرحلة الثالثة: التحكم الإلكتروني ٥
١ -٢ تعريفات ٨
١ -٢ -١ تعريف النظام ٨
١ -٢ -٢ تعريف نظام التحكم ٨
١ -٢ -٣ تعريف الدخل ٨
١ -٢ -٤ تعريف الخرج ٨
الخلاصة ٩
أسئلة وتمارين ١٠
الوحدة الثانية: تمثيل النظم ١١
الأهداف ١١
مقدمة ١٢
٢ -١ المخطط الصندوقي ١٢
٢ -٢ تحويلات لابلاس ١٥
٢ -٢ -١ تحويلات لابلاس لبعض الإشارات الأساسية ١٦
٢ -٢ -٢ خواص تحويلات لابلاس ١٧
٢ -٣ دالة النقل ١٨
٢ -٣ -١ دالة نقل النظم الأساسية ١٩
٢ -٣ -٢ توصيل النظم ٢٥
الخلاصة ٣١

أسئلة وتمارين ٣٢
الوحدة الثالثة: نظم الرتبة الأولى والثانية ٣٥
الأهداف ٣٥
مقدمة ٣٦
٣ -١ نظم الرتبة الأولى ٣٦
٣ -١ -١ الصيغة العامة لنظم الرتبة الأولى ٣٨
٣ -١ -٢ دالة النقل لنظم الرتبة الأولى ٣٨
٣ -١ -٣ استجابة نظم الرتبة الأولى لدخل على هيئة إشارة الخطوة ٣٨
٣ -١ -٤ خواص نظم الرتبة الأولى ٣٩
٣ -٢ نظم الرتبة الثانية ٤٤
٣ -٢ -١ الصيغة العامة لنظم الرتبة الثانية ٤٥
٣ -٢ -٢ دالة النقل لنظم الرتبة الثانية ٤٦
٣ -٢ -٣ استجابة نظم الرتبة الثانية لإشارة الخطوة ٤٦
الخلاصة ٥٤
أسئلة وتمارين ٥٥
الوحدة الرابعة: طرق وحلقات التحكم ٥٧
الأهداف ٥٧
مقدمة ٥٨
٤ -١ حلقات التحكم ٥٨
٤ -١ -١ حلقات التحكم المفتوحة ٥٨
٤ -١ -٢ حلقات التحكم المغلقة ٦٠
٤ -٢ أنماط التحكم ٦١
٤ -٢ -١ الحاكم ذو الوضعين ٦١
٤ -٢ -٢ الحاكم التناسبي ٦٤
٤ -٢ -٣ الحاكم التكاملي ٦٦
٤ -٢ -٤ الحاكم التفاضلي ٦٧

٤ -٢ -٥ الحاكم التناسبي التكاملي ٦٩
٤ -٢ -٦ الحاكم التناسبي التفاضلي ٧٠
٤ -٢ -٧ الحاكم التناسبي التكاملي التفاضلي ٧٢
الخلاصة ٧٤
أسئلة وتمارين ٧٥
الوحدة الخامسة: التحكم النهائي ٧٧
الأهداف ٧٧
مقدمة ٧٨
٥ -١ عملية التحكم النهائي ٧٨
٥ -٢ محولات الإشارة ٧٨
٥ -٣ المشغلات ٧٩
٥ -٣ -١ المشغلات الهوائية ٧٩
٥ -٣ -٢ المشغلات الكهربية ٨٠
٥ -٣ -٣ المشغلات الهيدروليكية ٨٤
٥ -٤ عنصر التحكم النهائي ٨٦
٥ -٥ تحديد الحجم الأمثل لصمام التحكم ٨٧
الخلاصة ٨٩
أسئلة وتمارين ٩٠
الإجابات لبعض التمارين ٩٢
مصطلحات ٩٣
المراجع ٩٧

تقدر المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم

المالي المقدم من شركة بي آيه إي سيستمز (العمليات) المحدودة

GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS