



المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تخصص تقنية التصنيع الغذائي

التحكم الآلي في التصنيع الغذائي

٢٥٥ صنع

طبعة ١٤٢٩ هـ

مقدمة

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

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني إلى تأهيل كوادر وطنية مدربة قادرة 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 التتموي لتصل بعون الله تعالى إلى مصاف 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 مطالب 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 و المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه مطالب سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق مطالبه الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " التحكم الآلي في التصنيع الغذائي - نظري " لمتدربي قسم " تقنية التصنيع الغذائي " 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 تساهم 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

تمهيد

لقد اضطلعت المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بدور كبير وريادي في تخريج نخبة من الطلبة المهرة بتقنيات محددة تلبية لرغبات القطاعين العام والخاص. وأظهرت عناية خاصة ببعض المجالات التي تهم شريحة كبيرة من المجتمع. ونظراً لحاجة سوق العمل وكثرة المنشآت التصنيعية التي تعنى بتطوير وتصنيع العديد من المنتجات الغذائية ومواكبتنا للتطور السريع في مجال التصنيع الغذائي كان لا بد من تصميم وإعداد حقائب تدريبية تتناسب مع المعايير المهنية للتخصص والتي تركز على أن يكون هناك معرفة وافية وشاملة بكيفية إدارة وتشغيل خطوط الإنتاج المتواجدة في تلك المنشآت. كما أنه يلزم الإطلاع على الوسائل الممكنة للتحكم بهذه الأجهزة وتشغيلها وتبسيط فكرة عملها بما يعود على المدرب بالفائدة والفهم والإدراك.

تغطي هذه الحقيبة النظرية الأساسيات المستخدمة في تطبيق نظريات التحكم الآلي في الوحدات التصنيعية الحديثة مع توضيحات خاصة عن كيفية تطبيق هذه المفاهيم النظرية. ولهذا سيغطي المقرر التغذية الخلفية، مخططات التحكم الآلي، التحكم التناسبي، التحكم التكاملي والتحكم التفاضلي. حيث تتطرق هذه الحقيبة إلى الجانب النظري للموضوعات المشار إليها. آمليين من الله العلي القدير أن يوفقنا في طرحنا هذا وان تعم الفائدة المرجوة منه لأبنائنا المتدربين.

التحكم الآلي في التصنيع الغذائي

تطور تقنية التحكم الآلي

تطور تقنية التحكم الآلي

اسم الوحدة: تطور تقنية التحكم الآلي.

الجدارة: التعرف على كيفية تطور تقنية التحكم الآلي.

الأهداف:

(١) تعريف التحكم الآلي

(٢) معرفة التطور التاريخي لاستخدام التحكم الآلي وشرح أمثلة لتطور تقنية التحكم الآلي في المجالات المختلفة.

(٣) معرفة مراحل تطور تقنية التحكم الآلي (التحكم اليدوي ، التحكم الآلي الميكانيكي ، التحكم الآلي الإلكتروني).

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪.

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: ساعتان.

الوسائل المساعدة: قاعه دراسية مهيأة لتوزيع المتدربين على شكل مجموعات لتحليل الرسومات و المنحنيات المختلفة .

متطلبات الجدارة: أن يكون لدى المتدرب القدرة على استيعاب الرسومات و المنحنيات البيانية الموجودة في هذه الوحدة.

تقنية التحكم الآلي

على الرغم من أن الأسس العلمية التي أنبى عليها التحكم الآلي لا تتغير إلا أن هناك ازدياداً مستمراً لمعرفةنا بهذه الأسس. كما أن هناك أيضاً اختلافاً في تطبيقات نظريات التحكم الآلي من صناعة إلى أخرى وتميل هذه الصناعات للتعلم من الأخرى. الماد العلمية التي شملتها هذه الحقبة التدريبية تميل إلى عرض أحدث تطبيقات التحكم الآلي بصورة عامة ثم تركّز على مفاهيم التحكم الآلي واستخداماته في تطبيقات التصنيع الغذائي ، مع عروض توضيحية في شكل مخططات ورسومات بيانية توضح ذلك.

ولهذا ستكون المادة العلمية والعملية المقدمة في هذه الحقبة مفيدة بإذن الله لمهندسي ومشغلي ومراقبي خطوط تصنيع الأغذية و في كثير من الحالات تكون الرياضيات إحدى العوائق الرئيسية التي تمنع عديد من المتدربين من فهم واستخدام نظريات التحكم الآلي . ولهذا على الرغم من أن هناك بعض العمليات الحسابية في هذه الحقبة التدريبية إلا أنه ليس بالضروري أن يكون المتدرب ملماً بهذه المعادلات الحسابية وكيفية اشتقاقها حتى يستطيع أن يستوعب المفاهيم العامة للتحكم الآلي في التصنيع الغذائي.

١,١ تعريف التحكم الآلي:

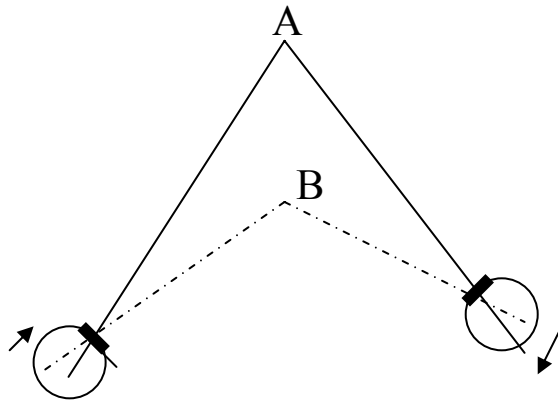
يمكن تعريف التحكم الآلي بأنه مجموعة من العمليات المنظمة الموجهة نحو تحقيق هدف محدد أو المحافظة عليه. فعندما يقوم الشخص بلمس سطح ساخن يتم إرسال إشارة إلى مركز النظام العصبي حيث يتم إصدار أمر فوري إلى العضلات المناسبة لتحريك اليد بعيداً عن السطح الساخن. هذا مثال للتحكم الطبيعي وفيه تتم سلسلة من العمليات المنظمة للمحافظة على هدف محدد وهو سلامة الإنسان. يشمل التحكم الآلي ، سواء كان في الأنظمة الهندسية أو البيولوجية أو الاجتماعية أو الاقتصادية ، على أمر حركي (نشط) وعلى تنظيم وتنسيق النظام لتحقيق الهدف المنشود بالطريقة الأكثر فعالية .

٢,١ نبذة تاريخية:

يرجع مفهوم التحكم واستخدام أجهزة التحكم إلى مرحلة بداية حياة الإنسان على الأرض. ويعتبر الإنسان نفسه أول جهاز للتحكم. وهناك عديد من الأمثلة الأخرى للتحكم موجودة في الطبيعة. فمثلاً تميل كثير من أوراق النباتات نحو الشمس وهذه الحركة يتم التحكم فيها بواسطة نظام تحكم معقد. وفي المملكة الحيوانية نجد أن الخفافيش تطير ليلاً نحو أهدافها وتتفادى العقبات التي تواجهها في طريقها . وهي تستخدم الصوت بدلاً من الضوء لإرشادها بنفس الطريقة التي يرشد بها الرادار السفينة أو الطائرة. مثال آخر للتحكم الآلي هو نظام التحكم في درجة حرارة الإنسان. يسمح هذا النظام بالمحافظة على درجة حرارة الجسم عند ٣٧ م مهما كانت درجة حرارة الهواء المحيط. فعندما يتعرض الجسم

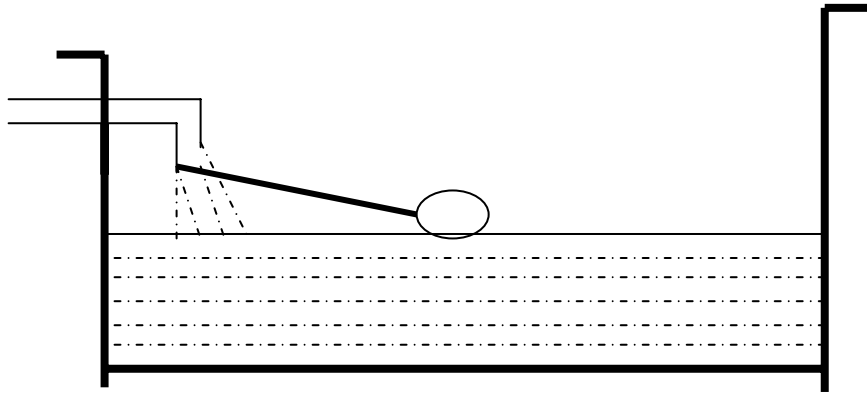
لأنخفاض سريع في درجة حرارة الهواء المحيط يقوم نظام التحكم بالمحافظة على الحرارة ويتم هذا بتقليل تدفق الدم إلى الشعيرات الموجودة في الجلد . ويصبح سطح الجلد بذلك بارداً ولكن تبقى أعضاء الجسم الداخلية عند ٣٧ م. ويتم تدعيم هذا الانخفاض في درجة الحرارة باهتزاز العضلات الذي يولد الطاقة الحرارية المطلوبة. يتم عكس هذه العملية عندما يتعرض الجسم فجأة إلى محيط حار. يزداد عندئذ تدفق الدم في الشعيرات وبذلك تزداد درجة حرارة سطح الجسم ويقل معدل انتقال الحرارة من المحيط. يتم عادة تدعيم هذا بإفرازات غزيرة للعرق مما يساعد في تبريد الجلد بالتبخير . يقل إفراز العرق ويقل تدفق الدم إلى الشعيرات عندما يتم تحقيق التبريد المطلوب أو عندما تنخفض درجة حرارة الهواء بدرجة كافية. ففي هذه الأمثلة فإن درجة الحرارة المطلوبة هي درجة الحرارة العادية (٣٧ م) ودرجة الحرارة المقاسة هي درجة حرارة الجسم الفعلية وهدف عملية التحكم هو التحكم في درجة حرارة الجسم بحيث تكون مساوية لدرجة الحرارة المطلوبة بقدر الإمكان .

المثال الآخر لنظام التحكم هو ضبط حركة العين مع حركة الجسم الذي تشاهده. فعندما نشاهد جسم متحرك ، تقوم العين بالتحرك مع الجسم من خلال نظام تحكم لضمان وقوع صورة الجسم المتحرك في مركز العينين (مركز العين هو منطقة صغيرة في شبكية العين لها قوة تحليل عالية تمكن العين من مشاهدة الجسم إذا وقعت صورته في هذه المنطقة). يوضح الشكل ١,١ العين وهي تشاهد جسماً في الموقع A. وفي هذا الموقع تقع صورة الجسم على مركز العينين . عندما يتحرك الجسم إلى الموقع B فإن صورته المشار إليها بالخطوط المنقطه لا تقع على مركز العينين ولكن تقع على يمين المركز في العين اليمنى وعلى يسار المركز في العين اليسرى ولهذا على منظم التحكم تحريك العين اليسرى في اتجاه عقرب الساعة وتحرك العين اليسرى في اتجاه عكس عقرب الساعة. تحدث هذه الاستجابة آلياً .



شكل ١,١ حركة العين

ولكن عندما يتحدث الناس عن التحكم فإنهم عادة يعنون التحكم الآلي أو التحكم الميكانيكي. وقد كان أول تطوير للتحكم الآلي هو ميكانيكية التنظيم بالعوامة في اليونان بين عامي ٠ و ٣٠٠ قبل الميلاد. تشتمل هذه الميكانيكية على جهاز للتحكم في مستوى الماء يشبه ذلك المستخدم في دورات المياه والموضح في الشكل ٢,١. فعندما يرتفع الماء في الحوض ترتفع العوامة ويرتفع بذلك الذراع المتصل بها مما يؤدي إلى القفل التدريجي لإمداد الماء الخارج من نظام التحكم output (وهو المتغير الذي يتم التحكم فيه) هو مستوى الماء . والإشارة التي تحرك هي فتح الصمام الذي يتم بواسطة ميل الذراع. والشكل ٢,١ يوضح جهاز مبسط للتحكم بنظام التغذية الخلفية.

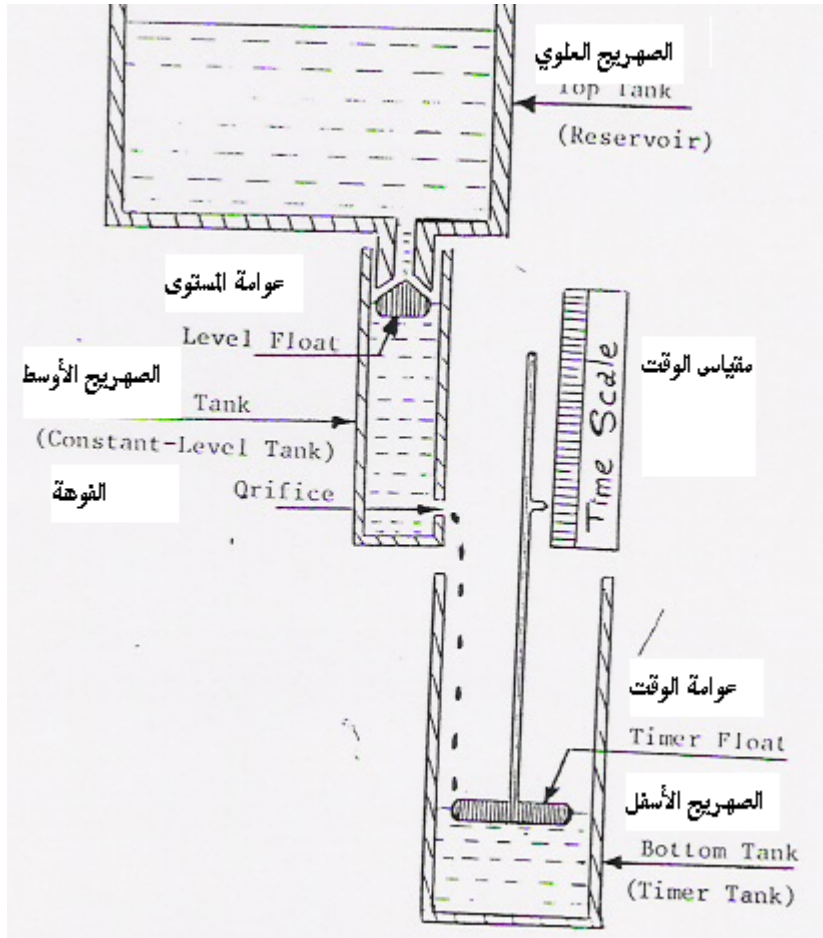


شكل ٢,١ منظم العوامة

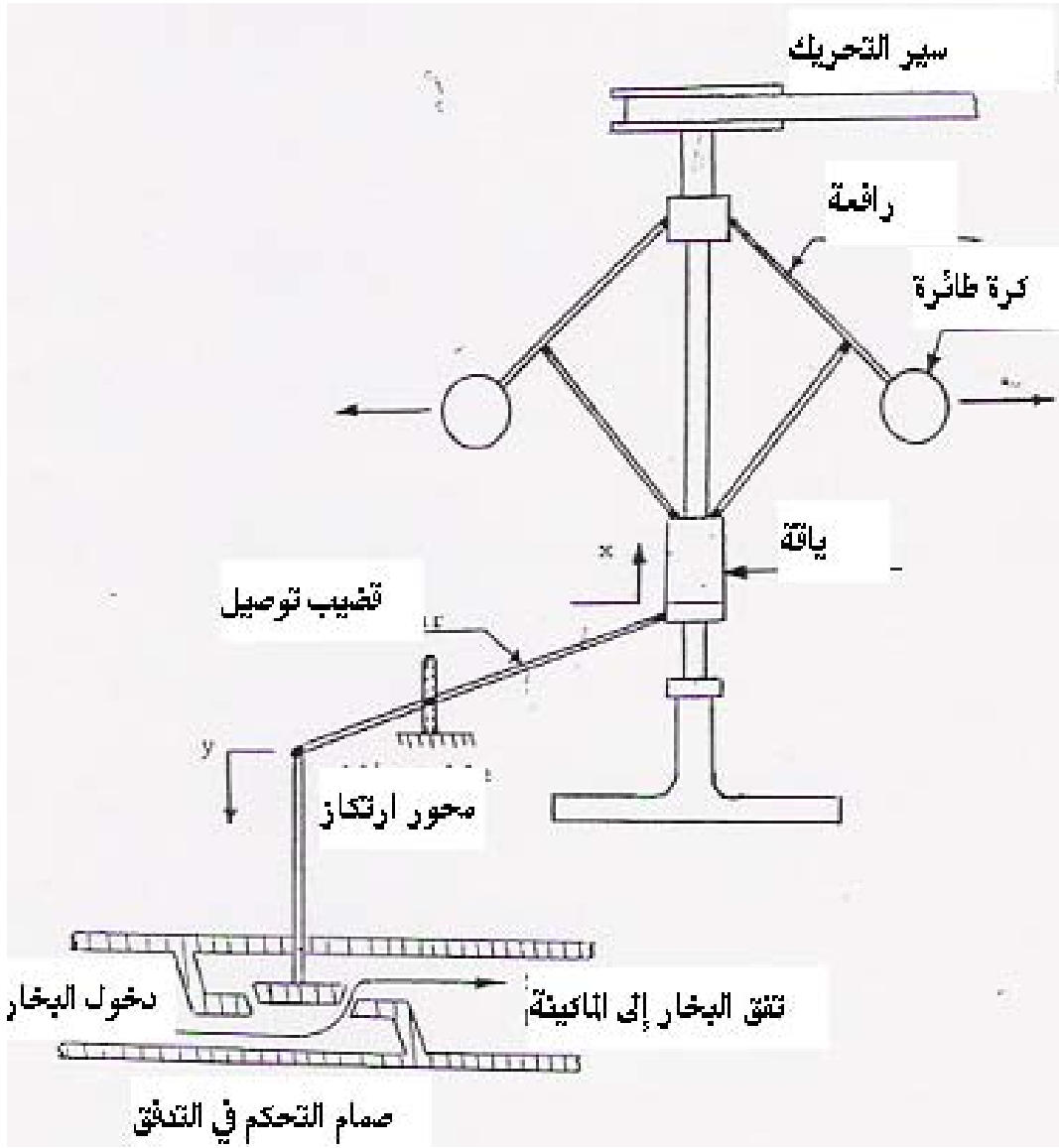
وتم استخدام ساعة الماء الموضحة في شكل ٣,١ في الشرق الأوسط منذ ما قبل المسيح وحتى القرن السابع عشر. وتعتمد ساعة الماء على قاعدة منظم العوامة . يتم المحافظة على مستوى ثابت للماء في الصهرج الأوسط مما ينتج عنه معدل تدفق ثابت خلال الفتحة في الصهرج الأوسط وارتفاع ثابت في المستوى في الصهرج الأسفل.

وقد كان أول جهاز تحكم آلي يستخدم في العمليات التصنيعية هو جهاز الكرة الطائرة الذي طوره جيمس واط في عام ١٧٦٩ م للتحكم في سرعة ماكينة البخار. والشكل ٤,١ يوضح نظام التحكم في السرعة باستخدام هذا الجهاز). ويحمل الجهاز زوجين من الكرات موضوعة على ذراعين مرنين ويتصل

مباشرة مع عمود الماكينة بواسطة سير أو ترس بحيث تكون سرعة الكرات متناسبة مع سرعة الماكينة



شكل ٣,١ ساعة الماء



شكل ٤,١ الكرات الطائرة للتحكم في السرعة

فعندما تزداد سرعة الماكينة ترتفع الكرات إلى أعلى وترفع الياقة التي تتصل بها X إلى أعلى والتي بدورها تحرك Y إلى أسفل. يؤدي هذا إلى قفل صمام التحكم مما يوقف إمداد البخار. ونتيجة لذلك تقل سرعة الماكينة. إذا انخفضت سرعة الماكينة تقل قوة الطرد المركزي للكرات ويؤدي ذلك إلى عملية عكسية. أي تنخفض X وترفع Y مما ينتج عنه انفتاح أكبر لصمام التحكم وإمداد أكثر للبخار مما يزيد السرعة حتى يتم الوصول إلى اتزان في السرعة.

يمكن ضبط السرعة المطلوبة باستخدام محور يمكن ضبطه لتغيير المسافة بين الكرات والصمام. يمكن تحريك القضيب الذي يوصل بينهما من خلال ثقب في محور الارتكاز مما يساعد في خفض أو

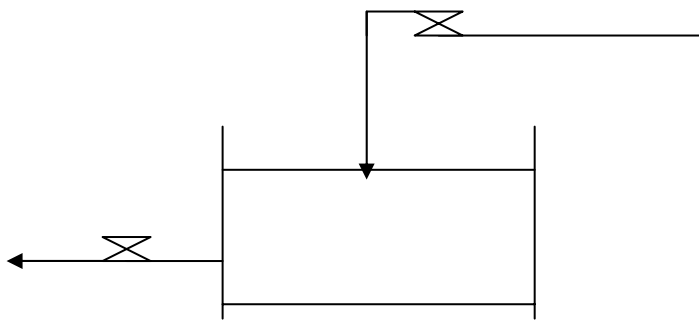
رفع نقطة الارتكاز. إذا تم رفع نقطة الارتكاز فإن السرعة المرغوبة ستزيد لأن الكرات في هذه الحالة يجب أن تدور للخارج أكثر حتى تتمكن من قفل البخار. في بداية القرن العشرين تم وضع الأسس الرياضية لنظرية التحكم بواسطة عدد من العلماء مثل لابلاس ، فورير ، راوث ومنورسكي.

أصبح من الضروري أثناء الحرب العالمية الثانية بناء أسلحة دفاعية وهجومية متطورة مثل الطائرات بدون طيار والمدافع الآلية المضادة للطائرات وأنظمة متكاملة لإرسال وتوجيه الصواريخ من خلال الرادار وأجهزة تحكم رقمية . ونتيجة لمجهودات المهندسين والعلماء من مختلف التخصصات حدث تطور كبير في نظرية وتطبيقات التحكم.

كان هناك دافع جديد لهندسة التحكم مع بداية عصر الفضاء حيث أصبح من الضروري تصميم أنظمة تحكم معقدة وعالية الدقة ولها مقدرات كبيرة وفي نفس الوقت خفيفة الوزن للصواريخ والسفن الفضائية.

ولكن في صناعة الأغذية كان أحد العوامل التي أخرت التطبيق الشامل للتحكم الآلي هو عدم وجود أجهزة القياس التي ترصد المتغيرات المهمة مثل جودة وتركيب المنتج. ولكن حالياً أصبحت مثل هذه الأجهزة متوفرة بجانب أجهزة الحاسب الرقمية مما ساعد في زيادة استخدام نظريات التحكم الحديثة بدرجة كبيرة .

٣,١ مراحل تطور تقنية التحكم الآلي :

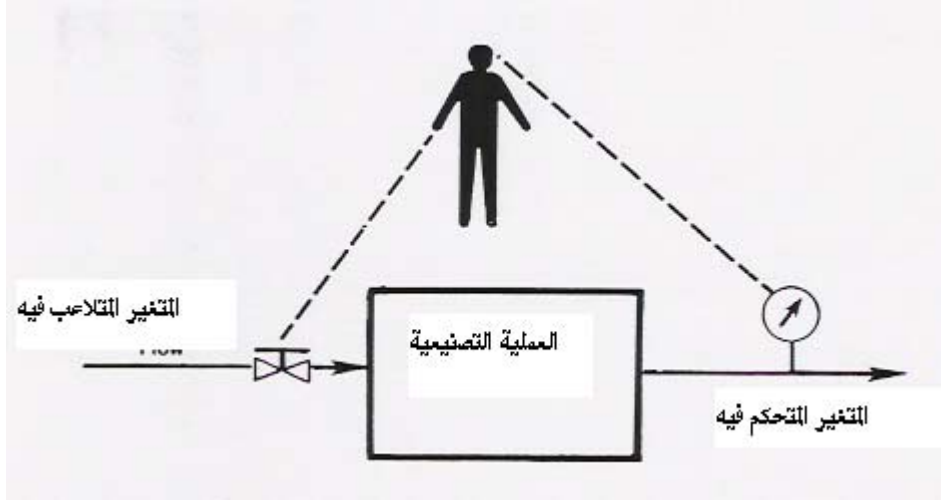


شكل ٥,١ التحكم في مستوى سائل في صهرج

لنأخذ مثال التحكم في مستوى سائل في صهرج (الشكل ٥,١) لنوضح المراحل التي مرت بها تقنية التحكم الآلي والتي نقسمها في ثلاث مراحل كما يلي :

أ. المرحلة الأولى : مرحلة التحكم اليدوي

للمشغل البشري في هذه المرحلة دور أساسي ، فهو يقوم بالتحكم في مستوى السائل في الصهريج بمتابعة مستوى السائل بعينه ويتخذ القرار المناسب بفتح الصمام أو قفله وينفذ ذلك بيده.



شكل ٦,١ التحكم اليدوي

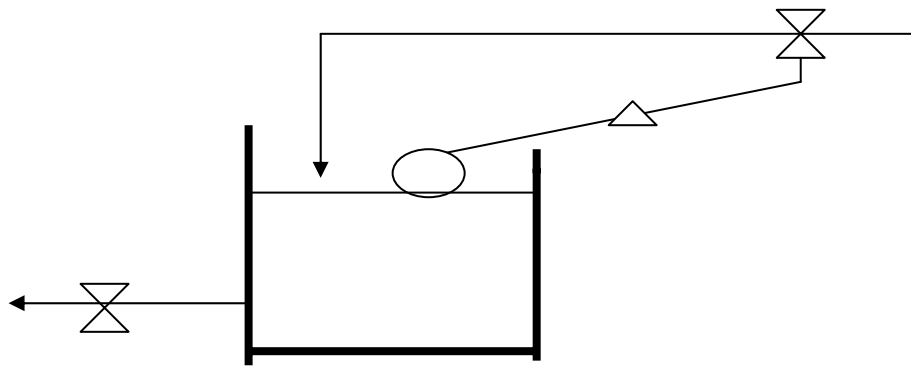
تتضح من هذا المثال العناصر الرئيسية التي تدخل في نظام التحكم وهي :

١. العملية التصنيعية: تشمل الصهريج والسائل المتدفق إلى داخل وخارج الصهريج
٢. عنصر الإحساس: وهو الذي يقوم باستشعار القيمة الفعلية للمتغير المتحكم فيه (وهو مستوى السائل في الخزان) وهو عين الإنسان في هذا المثال
٣. المقارن: ومهمته المقارنة بين القيمة الفعلية لمتغير المراد التحكم فيه مع القيمة المرغوبة لهذا المتغير ، ويمثل المقارن في هذا المثال مخ الإنسان
٤. عنصر التحكم: وظيفته معالجة البيانات المتعلقة بهذه العملية التصنيعية وإصدار الأوامر ويمثله أيضاً مخ الإنسان في هذا المثال.
٥. المشغل: وظيفته تنفيذ الأوامر الصادرة عن عنصر التحكم ويمثله يد الإنسان في هذا المثال.
٦. عنصر التحكم النهائي (عنصر التنظيم): وظيفته التأثير المباشر على العملية التصنيعية ويمثله الصمام في هذا المثال.

ب. المرحلة الثانية : التحكم الميكانيكي Mechanical control

يمكن الاستغناء عن المشغل البشري في المثال السابق باستخدام عوامة. تقوم العوامة بمثابة عنصر الإحساس ويقوم الذراع والمفصل بمثابة عنصر التحكم يقوم طرف الذراع بمهمة المشغل. يوصف هذا النوع

من التحكم بأنه تحكم آلي ميكانيكي Mechanical automatic control فهو آلي لعدم وجود العنصر البشري وهو ميكانيكي لأن القطع المستخدمة في عملية التحكم كلها ميكانيكية. وقد يستخدم الهواء المضغوط للتأثير على وضع الأجهزة ويسمى التحكم في هذه الحالة بالتحكم الهوائي Pneumatic control . أما إذا استخدمت الزيوت المضغوطة فيسمى بالتحكم الهيدروليكي Hydraulic control .

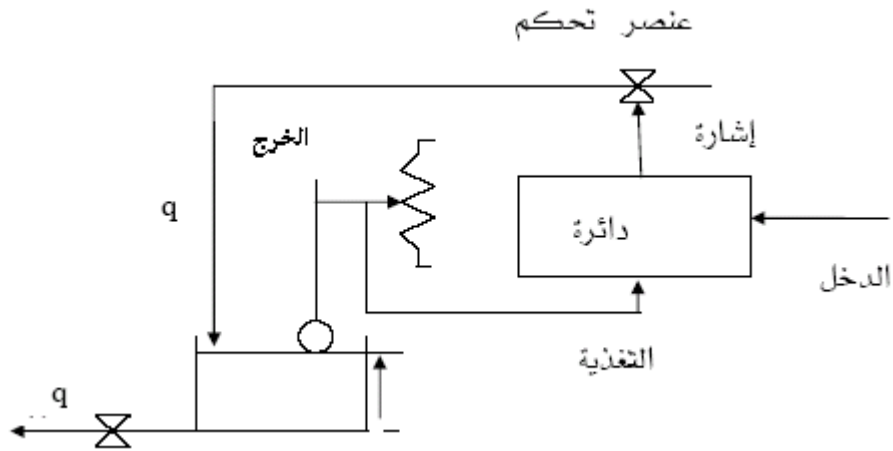


شكل ٧,١ التحكم الآلي الميكانيكي

ج. المرحلة الثالثة : التحكم الإلكتروني Electronic control

نتيجة للتقدم الهائل في مجال الصناعات الإلكترونية ، وجدت عناصر التحكم الإلكترونية انتشاراً واسعاً في مجال تقنية ونظم التحكم الآلي. كما تم تطوير عناصر الإحساس لتحويل المقادير الطبيعية إلى مقادير كهربائية مناظرة تستطيع عناصر التحكم معالجتها. وكذلك تم تطوير المشغلات التي تقوم بتحويل الأوامر الكهربائية الصادرة من عناصر التحكم إلى إجراءات عملية يمكن التأثير بواسطتها على قيمة المتغيرات المراد التحكم فيها في العمليات التصنيعية.

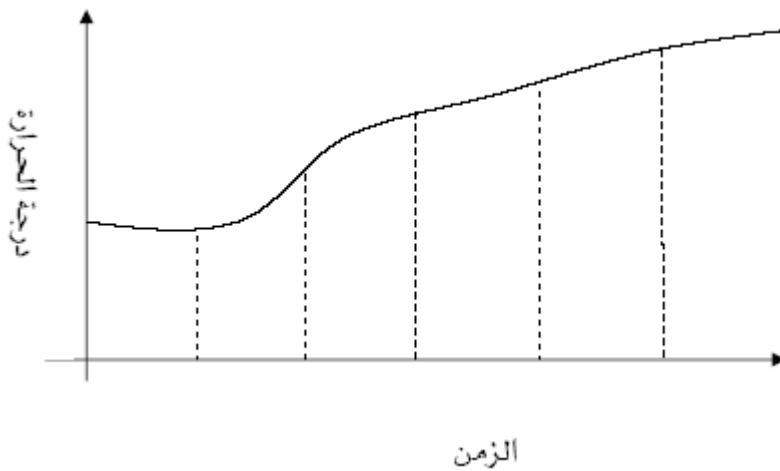
تستخدم في هذا المثال مقاومة متغيرة موصلة بجهد ثابت يتصل طرفها المتحرك بالعوامة التي تتأثر بمستوى السائل في الصهريج وتؤثر العوامة بدورها على موضع الطرف المتحرك على المقاومة المتغيرة ومن ثم على قيمة فرق الجهد بينه وبين الطرف الثابت. وهكذا يتم الحصول على جهد كهربائي يمثل مستوى السائل في الصهريج (الشكل ٨,١)



شكل ٨,١ التحكم الآلي الإلكتروني

يوجد نوعان من الإشارات الكهربائية :

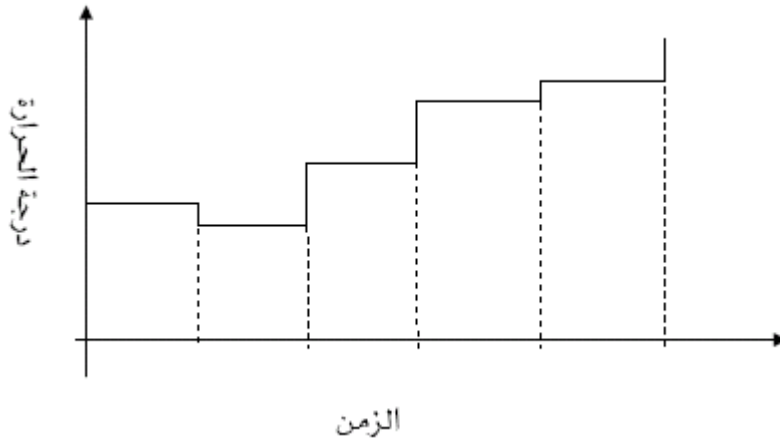
١. الإشارة الكهربائية التماثلية Analogue signal الإشارة الكهربائية التماثلية هي الإشارة التي تتغير بصورة مستمرة مع الزمن كما موضح في الشكل.



شكل ٩,١ الإشارة الكهربائية التماثلية

٢. الإشارة الكهربائية الرقمية Digital هي الإشارة التي تتغير بطريقة متقطعة مع الزمن كما في

الشكل ١٠,١



شكل ١٠,١ الإشارة الكهربائية الرقمية

وعلى هذا انقسم التحكم الإلكتروني إلى نوعين تبعاً لنوع الإشارات التي تتفاعل فيه :

١. أنظمة التحكم التماثلي Analogue control systems وهي أنظمة التحكم التي تتفاعل فيها إشارات تماثلية وقد تم تطوير هذا النوع أولاً.

٢. أنظمة التحكم الرقمي Digital control systems وهي أنظمة التحكم التي تتفاعل فيها لإشارات رقمية ومن أهمها أنظمة التحكم بواسطة الحاسب Computer control systems وهي آخر ما وصل إليه تطور تقنية أنظمة التحكم الإلكترونية.

ويمكن الإشارة في هذا الصدد إلى الأنواع التالية من نظم تقنية التحكم بواسطة الحاسب :

١. التحكم الرقمي المباشر Direct digital control DDC . للحاسب هنا دور أساسي في عملية التحكم فهو يقوم مقام دوائر التحكم بواسطة برامج تحكم خاصة.

٢. التحكم الإشرافي مع نظم كسب البيانات

Supervisory control and data acquisition SCADA

وللحاسب هنا دور إشراف ومتابعة monitoring لعملية التحكم. أما التحكم الفعلي فتقوم به دوائر تحكم تماثلية.

٣. نظم التحكم المنتشر Digital control systems DCS

٤. عناصر التحكم المنطقية القابلة للبرمجة Programmable logic controller PLC

تتم العديد من العمليات التصنيعية بطريقة متتابعة sequential ويقوم الحاسب في هذه الحالة بترتيب عملية التصنيع برمتها فيشغل السيور أو يوقفها ويفتح الصمامات أو يغلقها إلخ وذلك وفق تسلسل منطقي معين.

التحكم الآلي في التصنيع الغذائي

ديناميكا العملية التصنيعية

اسم الوحدة: ديناميكا العملية التصنيعية **process dynamics** والتحكم الآلي

الجدارة: التعرف على ديناميكا العملية التصنيعية

الأهداف:

- (١) تعريف العملية التصنيعية وارتباطها بالتحكم اليدوي أو الآلي
 - (٢) معرفة مزايا التحكم الآلي مقارنة بالتحكم اليدوي.
- مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪

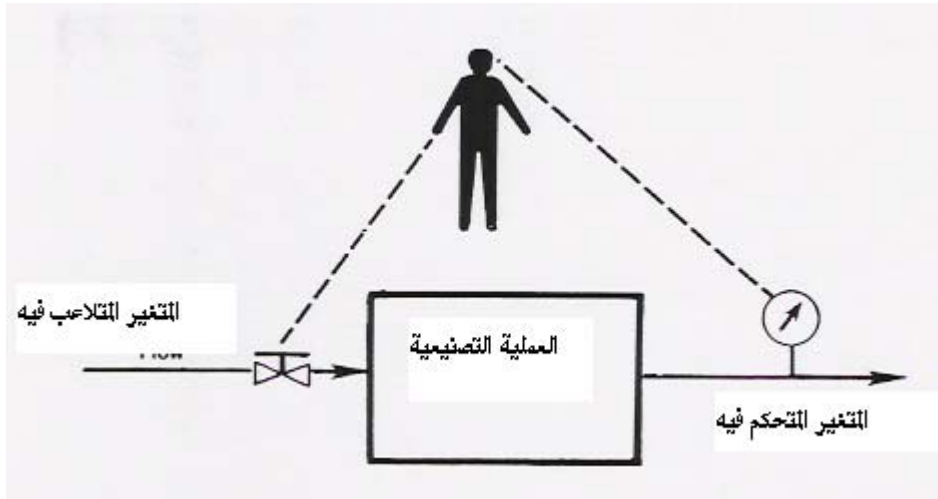
الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: ٤ ساعات.

الوسائل المساعدة: قاعه دراسية مهيأة لتوزيع المتدربين على شكل مجموعات لتحليل الرسومات و المنحنيات المختلفة .

متطلبات الجدارة: أن يكون لدى المتدرب القدرة على استيعاب الرسومات و المنحنيات البيانية الموجودة في هذه الوحدة.

١,٢ التحكم اليدوي Manual control

قبل التحدث عن التحكم الآلي يجب أولاً مراجعة عملية تحكم يدوية موضحة في شكل ١,٢ وهي عملية بها متغير واحد . يوجد في التيار الخارج من العملية التصنيعية مؤشر يعطي المشغل معلومات عن القيمة الحالية للمتغير المتحكم فيه . للمشغل القدرة على تقييم القيمة بالنظر إلى المؤشر ونتيجة لذلك يمكنه التلاعب في التدفق إلى العملية التصنيعية للوصول إلى القيمة المرغوبة للمتغير المتحكم فيه . وتوجد القيمة المرغوبة في ذاكرة المشغل وهو الذي يقوم بكافة قرارات التحكم . هناك العديد من المشاكل في هذا النظام من التحكم ولهذا فهو محدود الاستخدام في ضبط المتغيرات عند بدء التشغيل.



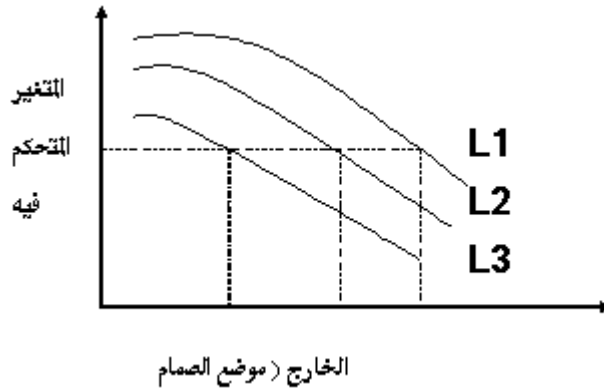
شكل ١,٢ تحكم يدوي نموذجي

٢,٢ العملية التصنيعية والتحكم الآلي :

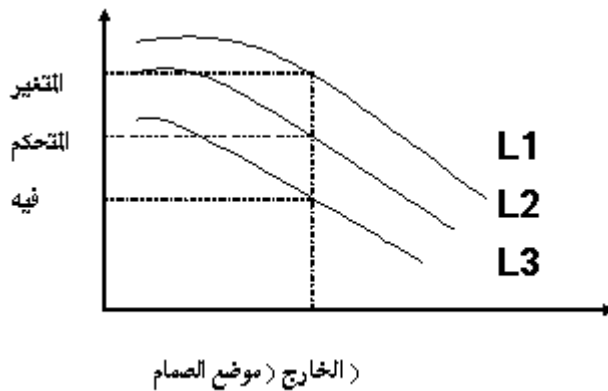
يمكن تعريف العملية التصنيعية بأنها سلسلة من الخطوات أو العمليات اللازمة لتحقيق هدف معين. وفي حالة التحكم الآلي فإن العملية التصنيعية يمكن أن تكون أي شيء يمكن التحكم فيه. ويمكن أن تكون العملية التصنيعية طبيعية أو ميكانيكية . تشتمل العملية الطبيعية على تفاعل العنصر الإنساني لتحقيق هدف معين . مثال لذلك تدريب عدد من الأشخاص لأداء مهمة معينة أو تعليم المتدربين بحيث يلاحظ إتباع نمط منسق أو سلسلة من العمليات لتحقيق الهدف المنشود. أما في صناعة الأغذية فإن العملية التصنيعية تشتمل على عدد من العمليات اللازمة لتحويل المواد الخام إلى الناتج النهائي وغالباً مع

إنتاج عدد من النواتج الثانوية والتي يجب فصلها عن المنتج المرغوب. يتعامل التحكم الآلي أساساً مع العمليات الميكانيكية فقط.

وفي أي عملية تصنيعية تحدث بعض التداخلات *disturbances* وتتغير المتغيرات مع الزمن ولهذا لا يمكن أن تستمر العملية في حالة اتزان دائم إلى ما لا نهاية . ويصبح التحكم الآلي غير ضروري إذا كان ذلك ممكناً. تؤدي هذه التداخلات (الأحمال *loads*) إلى ابتعاد العملية التصنيعية من الظروف المثالية ويعمل عنصر التحكم *controller* على إعادة المتغير الذي يتم التحكم فيه *controlled variable* إلى القيمة المرغوبة (*desired value (set point)* وذلك بتغيير الإشارة الخارجة من عنصر التحكم (شكل ٢,٢). أما إذا كانت الإشارة الخارجة من عنصر التحكم ثابتة ينتج عن ذلك تغيير في قيمة المتغير المتحكم فيه (شكل ٣,٢)

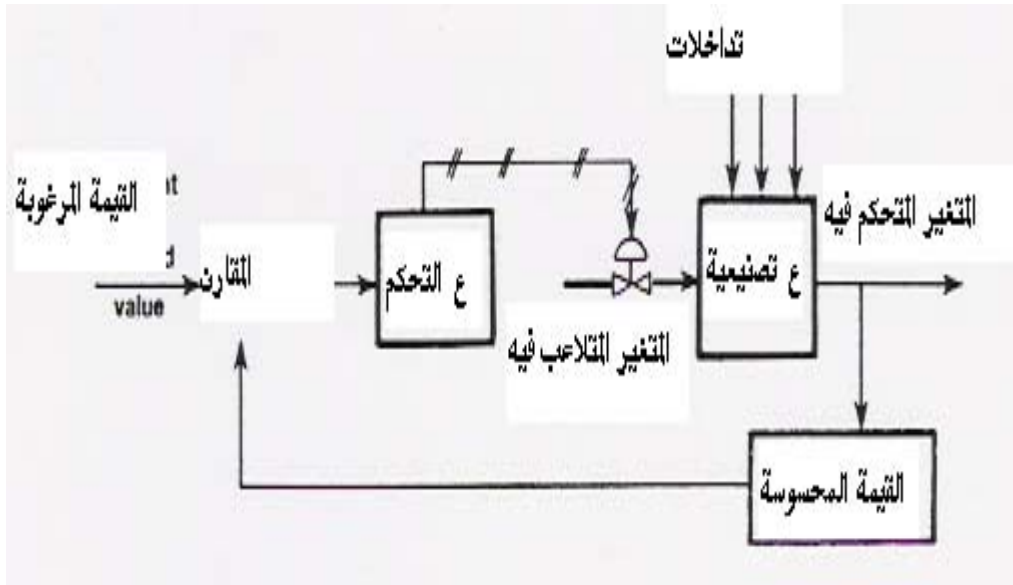


شكل ٢,٢ التلاعب في موضع الصمام للحفاظ على ثبات المتغير المتحكم فيه



شكل ٣,٢ تغيير في الحمل مع ثبات موضع الصمام

وهذا يعني أنه في حالة وجود تداخلات (يتغير الحمل) فإما يتغير المتغير المتحكم فيه أو يجب تغيير الخارج من عنصر التحكم (ويتغير وضع الصمام) للتعويض عن التغير في التداخلات. الديناميكا هي المادة التي تتعامل مع القوى وعلاقتها بحركة الأجسام. وهي تهتم بالعلاقات الرياضية التي تمثل التغيرات مع الزمن للعوامل في النظام الفيزيائي عند تعرضها لقوى أو إشارات forces or signals . والهدف من التحليل الديناميكي للعملية التصنيعية هو معرفة تغير المتغيرات مع الزمن وهو ضروري للوصول إلى فهم جيد للعملية التصنيعية وتطوير نموذج model لها. ولهذا فإن التحليل الديناميكي للعملية التصنيعية يعتبر مطلب أولي وأساسي للتحكم فيها. فمن المستحيل أن نتحكم فيما نجهله. توجد في أي عملية تصنيعية عدد من المتغيرات المتحكم فيها ولكل منها يجب اختيار متغير يتم التلاعب به . وهذا موضح في شكل ٤,٢ .



شكل ٤,٢ حلقة تغذية خلفية مفردة

يتم قياس المتغير المتحكم فيه بواسطة وسيلة مناسبة ويتم مقارنة قيمته مع القيمة المرغوبة . ويستخدم الفرق بين الاثنين (الخطأ) كإدخال لعنصر التحكم . يقوم هذا العنصر بحساب الإشارة اللازمة لضبط المتغير المتلاعب فيه . وبما أن المتغير المتلاعب فيه يكون عادة تدفقاً فإن الخارج من عنصر التحكم عادة يكون إشارة إلى صمام التحكم . يحدث هذا بصورة مستمرة ولكن قد تكون هناك تداخلات

disturbances إلى العملية التصنيعية تميل لتحريك المتغير المتحكم فيه ويقوم المتغير المتلاعب به بالتعويض عن هذه التداخلات.

٣,٢ مزايا التحكم الآلي the merits of automatic control

للتحكم الآلي مزايا عديدة مقارنة مع التحكم اليدوي ويمكن تلخيصها فيما يلي :

١. خلو المنظوم من القصور الإنساني:

يقوم التحكم الآلي بوضع قصور الأجهزة الميكانيكية مكان القصور الإنساني. فالنظام الذي يشغله الإنسان يكون معرضاً لقصور العنصر الإنساني وهي الإجهاد وتأخر رد الفعل عند الإنسان لمؤثر ما . وتتغير الكفاءة عند الإنسان من شخص لآخر ومن وقت لآخر اعتماداً على عدد من العوامل مثل :

أ. الصحة والظروف البيئية بجانب سيكولوجية الروح والمعنوية للمشغل

ب. حدوث الإجهاد . فليس هناك خلاف في أن المشغل الماهر يمكن أن يتحكم في عملية تصنيفه بنجاح لفترة زمنية محددة ولكن من الصعب المحافظة على التركيز لفترات طويلة ويحدث الإجهاد وتقل الكفاءة. وفي الجانب الآخر فإن جهاز التحكم الآلي لا يحدث له إجهاد ولكن مثل الإنسان يحتاج إلى صيانة دورية .

٢. زيادة أرباح الإنتاج :

يزيد التحكم الآلي من الإنتاجية والتي تعرف بأنها الناتج لكل عامل لكل ساعة تشغيل. ليس الهدف الأساسي من التحكم الآلي هو تقليل العمالة ولكن باستخدام هذه العمالة بطريقة أكثر كفاءة لزيادة الإنتاج بمساعدة التحكم الآلي. ولكن الاعتقاد الشائع في بعض الدوائر أن الهدف من التحكم الآلي هو تخفيض تكليف العمالة اليدوية . ولكن هذا ليس بصحيح نتيجة للأسباب التالية :

أ. نتيجة لاستخدام التحكم الآلي سيتم تحويل بعض العمال إلى أعباء أخرى أكثر أهمية وهي موجودة في المؤسسات التي يتم فيها التحكم آلياً.

ب. إن استخدام التحكم الآلي لن يحل بالكامل العنصر الإنساني والذي يلعب دائماً دوراً هاماً. فإن الإشراف الذي يقوم به المشغل سوف يظل أمراً هاماً لا يمكن تصميم الأجهزة للقيام به مثل توفير الخبرة التي تم الحصول عليها من أحداث سابقة والمقدرة على التصرف المستقل والذي تفتقده الأجهزة. وأيضاً ستستمر الحاجة للمشغلين لمعالجة أمور مثل التوقف المفاجئ للمصنع والأعطال والتسريبات وتوفير المادة الخام وإزالة النواتج النهائية ، الخ.

٣. تحسين معامل استخدام الآلة:

يؤدي استخدام أجهزة التحكم في توفير لعوامل التالية :

- أ. يضمن التحكم الآلي استخدام أفضل لأجهزة المصنع والذي يتمثل في معدل عالي للإنتاج .
- ب. يقلل التحكم الآلي من الفترات التي يتوقف فيها المصنع . التوقف قد يكون مكلفاً جداً لأن تكاليف الأصول الثابتة تستمر إذا كان المصنع متوقفاً أو مستمراً في الإنتاج.
- ت. يسمح التحكم الآلي بتحسينات في تشغيل وتصميم أجهزة التصنيع.

ولهذه الأسباب فإن زمن الدفع payout time للتكليف الإضافية لأجهزة التحكم سيكون سريعاً وربما أقل من سنة.

٤. كفاءة العملية التصنيعية :

يصبح التحكم ضرورياً في كل مرحلة للمحافظة على الكفاءة ولا يمكن في معظم الحالات ممارسة هذا التحكم بطرق يدوية صرفة تعتمد فقط على العنصر الإنساني. ولهذا يصبح التحكم الآلي ضرورياً. أشارت العديد من الدراسات الحديثة إلى أن أداء المصنع يمكن تحسينه بدرجة كبيرة باستخدام التحكم بالحاسب الآلي. ويمكن زيادة معدلات الإنتاج بيانات التصنيع الدقيقة الصحيحة. ويحرر التحكم الآلي العملية التصنيعية من القصور الإنساني مثل الإجهاد ومحدودية القدرة والاستجابة البطيئة ويضمن أداء منتظم عبر فترات طويلة . وبهذا يمكن المحافظة على متغيرات العملية التصنيعية مقارنة للظروف المثالية مع انحرافات في حدود ضيقة. وهذا يؤدي إلى المزايا التالية:

أ. تحسين الجودة :

يتوقع الحصول على أفضل جودة عندما تكون متغيرات العملية التصنيعية مقارنة للقيم المثالية.

ب. تحسين الإنتاجية :

يمكن أن يستخدم جهاز التحكم الآلي بيانات العملية التصنيعية الحديثة والصحيحة لتوجيه أداء المصنع ولزيادة إنتاجيته .

ج. توفير مدخلات التشغيل :

يقلل المحافظة على الظروف المثالية من استهلاك الطاقة والمواد ويقلل من تكاليف التشغيل.

د. توفير رأس المال:

يعمل عادة المصنع الذي يتم التحكم فيه آلياً في ظروف اقرب للمثالية ويقلل من القيم القصوى للمتغيرات مما يؤدي لتوفير رأس المال اللازم لتوفير الساعات الاحتياطية.

٥. الضرورة necessity

على الرغم من أن التحكم الآلي يقلل العمالة اللازمة في المصنع فإن هذا العامل ليس هو المبرر الوحيد لاستخدام التحكم الآلي. والحقيقة أن التحكم الآلي كثيراً ما يكون ضرورياً. وقد يكون التحكم الآلي الذي يدعمه الحاسب الآلي ضرورياً للأنظمة المعقدة التي يتم فيها قياس عديد من المتغيرات في وقت واحد والتحكم فيها. ففي بعض الحالات تتم العملية التصنيعية بسرعة تفوق مقدرات الإنسان في التحكم فيها.

٦. توفير الطاقة energy savings :

يساعد التحكم الآلي في حل مشاكل الطاقة وذلك بتقليل استهلاك الطاقة. أبسط مثال لذلك هو الثيرموستات في الثلاجة المنزلية والذي يسمح بتشغيل الثلاجة لفترات محددة بدلاً من التشغيل المستمر ويساعد ذلك في تقليل استهلاك الطاقة.

٧. السلامة safety :

في بعض الحالات تكون الحاجة للتحكم الآلي ملحة نتيجة الحاجة للسلامة. فكثير من العمليات التصنيعية البسيطة يمكن تشغيلها يدوياً ولكنها قد تكون أكثر أماناً إذا استخدم التحكم الآلي. مثال لذلك تداول كثير من المواد المشعة.

التحكم الآلي في التصنيع الغذائي

عناصر ومتغيرات حلقة التحكم

اسم الوحدة: عناصر ومتغيرات حلقة التحكم الآلي..

الجدارة: التعرف على ديناميكا العملية التصنيعية.

الأهداف:

- (١) معرفة عناصر ومتغيرات حلقة التحكم الآلي .
- (٢) معرفة طرق تمثيل حلقة التحكم الآلي (المخطط الفيزيائي ومخطط القالب).
- (٣) معرفة مكونات مخطط القالب .
- (٤) تعريف تحويل لابلاس.
- (٤) شرح الغرض من تحويلات لابلاس
- (٥) إيجاد تحويل لابلاس لبعض الإشارات الرئيسية مثل إشارة الخطوة
- (٦) شرح الغرض من دالة النقل
- (٧) إيجاد دالة النقل لبعض النظم البسيطة

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: ٤ ساعات.

الوسائل المساعدة: قاعه دراسية مهيأة لتوزيع المتدربين على شكل مجموعات لتحليل الرسومات و المنحنيات المختلفة .

متطلبات الجدارة: أن يكون لدى المتدرب القدرة على استيعاب الرسومات و المنحنيات البيانية الموجودة في هذه الوحدة.

عناصر حلقة التحكم الآلي elements of a control loop

١. العملية التصنيعية أو المصنع نفسه Process. وقد تكون مرحلة مفردة أو عديدة المراحل.

٢. عنصر التغذية الخلفية (عنصر الإحساس وإرسال الإشارة)

٣. عنصر التحكم (الحاكم) controller

٤. عنصر التنظيم أو عنصر التحكم الأخير actuator (الصمام)

وبصورة عامة تكوّن هذه العناصر الأربعة معظم أنظمة التحكم الآلي ولكن هناك أنظمة معقدة تستخدم فيها عناصر أكثر مثل بعض العمليات التصنيعية تحتاج إلى سلسلة من أنظمة التحكم تستخدم فيها عنصرين للتحكم أو عنصرين للتغذية الخلفية أو أكثر.

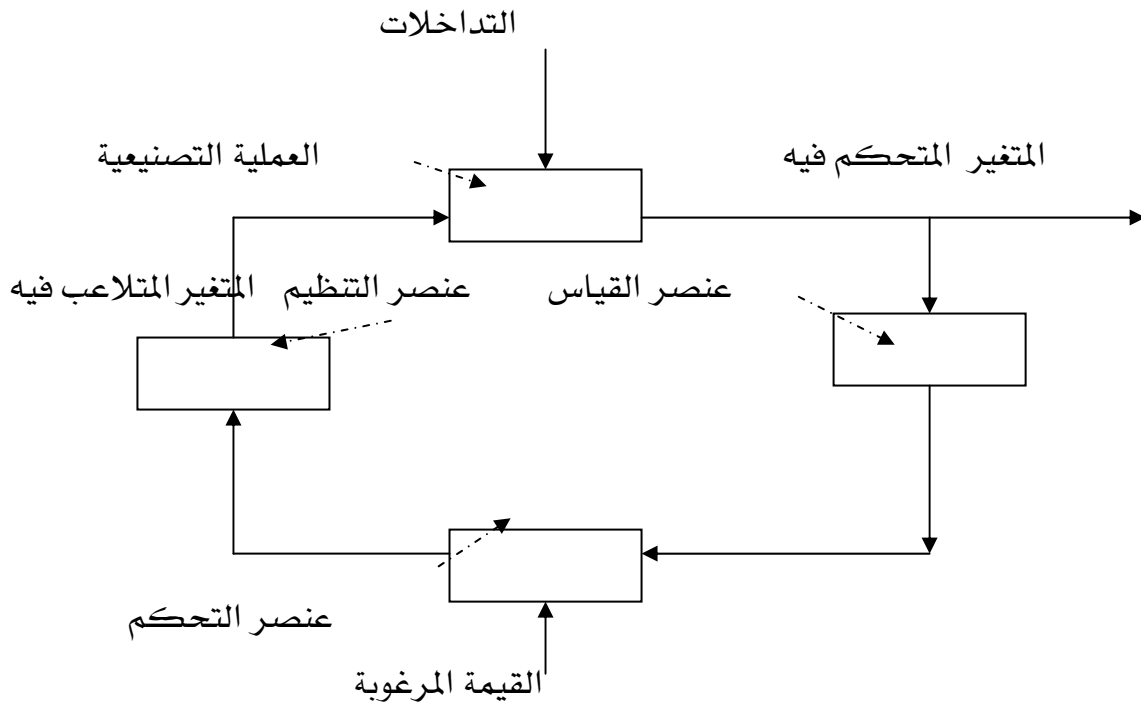
هناك عدد من المتغيرات في حلقة التحكم الآلي نذكر منها :

١. المتغير المتحكم فيه

٢. القيمة المرغوبة

٣. المتغير المتلاعب فيه

٤. التداخلات



الشكل ١,٣ يوضح عناصر ومتغيرات حلقة التحكم الآلي

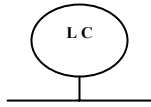
٢,٣ تمثيل نظم التحكم الآلي :

رسم حلقة التحكم :

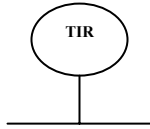
يمكن رسم حلقة التحكم باستخدام المخطط الفيزيائي physical diagram (وهو مخطط تصويري) أو مخطط القالب block diagram (وهو مخطط رمزي).

١,٢,٣ الرموز المستخدمة في المخطط الفيزيائي :

عنصر التحكم في المستوى

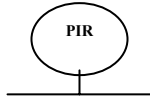


Level controller



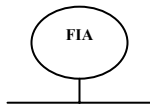
مقياس ومسجل درجة الحرارة

Temperature indication and recorder



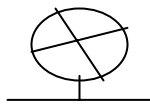
مقياس ومسجل الضغط

Pressure indication and recording



مقياس التدفق وإنذار

Flow indication and alarm



محول الطاقة

Transducer

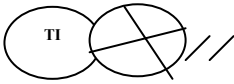
.....

خط كهربائي

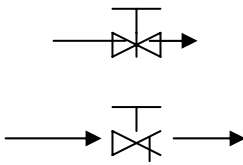
Electrical line

Pneumatic (pressure) line

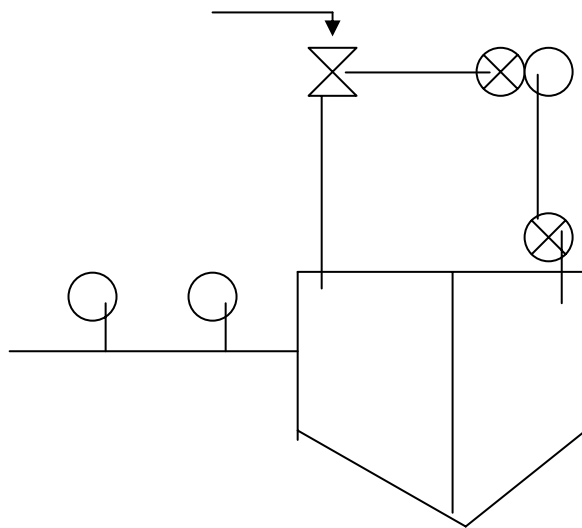
Hydraulic line



Transducer that converts electrical signal into pneumatic signal



Control valve with pneumatic signal



الشكل ٢,٣ يوضح مخطط فيزيائي لصهرنج مع بعض أجهزته

ملاحظة :

من الضروري في التحكم الآلي تحديد الطبيعة الفيزيائية للإشارة مثل إذا كانت إشارة ميكانيكية (حركة مؤشر) أو إشارة هوائية (قراءة ضغط الهواء) أو إشارة كهربائية (الفولت أو التيار) الخ . هذا بالإضافة إلى أنه ليس من الضروري معرفة كيفية انتقال الإشارة . ولكن من الضروري معرفة التأثير الذي يحدث على جودة الإشارة ومعرفة الزمن . أي ما هو الزمن الذي تأخذه الإشارة حتى تمر خلال عنصر معين أو مرحلة معينة وما هو الجزء الذي يفقد خلال ذلك ؟

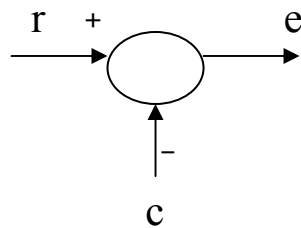
٢,٢,٣ مخطط القالب (الصندوق) Block diagram :

يعتبر مخطط القالب كما سنرى فيما بعد وسيلة مريحة ومبسطة لتمثيل أنظمة التحكم المعقدة . ويمكن التعبير عن أي نظام للتحكم بمخطط القالب والذي يوضح الترتيب العام للنظام والعلاقات الرياضية لمختلف مكوناته.

أ. التركيب :

يتكون مخطط القالب من قوالب blocks وتوصيلات linkages ونقاط جمع summing points . وكل قالب يمثل عنصر أو مكون للنظام (أي وحدة بناء) . تكتب داخل كل قالب العلاقة الرياضية للعنصر والتي تعطي الاستجابة الديناميكية للعنصر . المهم في هذا الجانب وهي العلاقة بين الإشارات التي تدخل القالب وتلك التي تخرج منه والطريقة التي تتدفق بها المعلومات حول المنظوم . تشير التوصيلات (الخطوط) إلى انتقال المعلومات أو تدفق الإشارات حول المنظوم ، وهو تحديد المسارات والاتجاهات التي تتبعها الإشارات . ولمخطط القالب رمزان أساسيان . الأول هو الدائرة وهي تمثل طريقة مبسطة لتمثيل الجمع أو الطرح الجبري والمخطط أدناه يمثل المعادلة الجبرية :

$$r - c = e$$



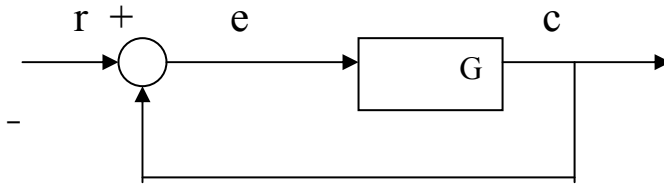
الرمز الآخر لمخطط القالب عبارة عن مربع به سهم واحد داخل وآخر خارج. وهو عبارة عن طريقة لتمثيل العمليات الجبرية في الضرب والقسمة ويكون الخارج من المربع مساوياً لما بداخل المربع ضرب الداخل.



المخطط أعلاه يمثل المعادلة :

$$p = Ge$$

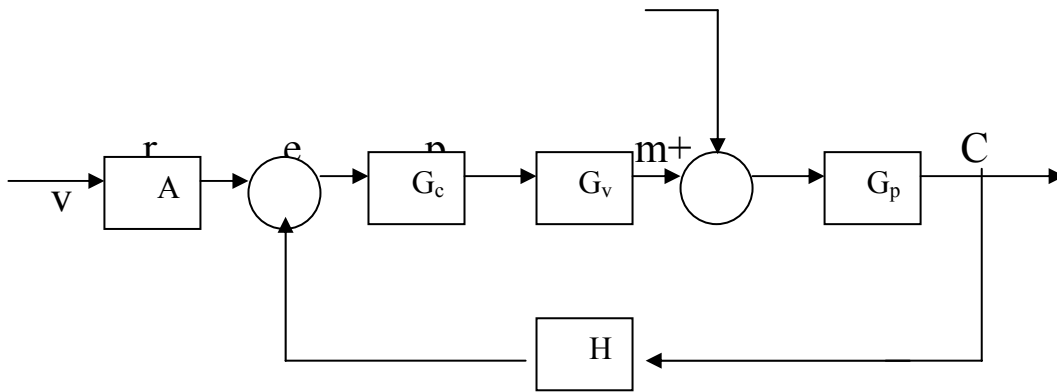
ويمكن تضمين رموز مخطط القالب في شبكات التحكم . الشكل ٣,٣ أدناه يمثل مخطط قالب لحلقة تغذية خلفية مبسطة :



شكل ٣,٣ مخطط قالب لحلقة تغذية خلفية مبسطة

تعريف الرموز على مخطط القالب :

مخطط القالب التالي (شكل ٤,٣) يوضح الرموز المتفق عليها عالمياً



شكل ٤,٣ رموز مخطط القالب

رموز المتغيرات	رموز دوال التغيير transfer functions
$V =$ القيمة المرغوبة	$A =$ دالة التغيير للداخل input
$r =$ القيمة المرجعية	$G_c =$ دالة التغيير للتحكم
$e =$ إشارة الخطأ أو الانحراف	$G_v =$ دالة التغيير لوحدة التنظيم (صمام)
$p =$ إشارة عنصر التحكم	$G_p =$ دالة التغيير للعملية التصنيعية
$m =$ المتغير الذي يتلاعب به	$H =$ دالة التغيير لقياس التغذية الخلفية
$c =$ المتغير الذي يمكن التحكم فيه	
$b =$ متغير التغذية الخلفية	

الاتفاق التالي هو الشائع الاستخدام :

1. تستخدم دالة التحويل G في حالة المسار الأمامي للحلقة. ويتكون المسار الأمامي من عدد من القوالب بين المقارن comparator والمتغير المراد التحكم فيه.
2. تستخدم دالة التحويل H في حالة المسار الخلفي للحلقة وهي توصل بين إشارة المتغير المتحكم فيه والمقارن. تشير H عادة إلى دالة التحويل لعنصر قياس . وعادة عنصر القياس عبارة عن اشتراك بين جهاز الأساس وجهاز التحويل.

Measuring element = sensor + transducer

3. تستخدم A لدوال التحويل لعنصر الإدخال Input . وعنصر الإدخال عادة ليس أكثر من مؤشر يمكن ضبطه على مقياس القيمة المرغوبة مع توليد إشارة خروج مناسبة إلى جهاز التعرف على الخطأ error discriminator.

يجب على عنصر الإدخال إعطاء القيمة المرغوبة V وتحويلها من قيمة المقياس إلى إشارة الإدخال القياسية r . ولهذا في الأساس يعتبر عنصر الإدخال محول إشارة يقوم بتحويل الضبط الميكانيكي للقيمة المرغوبة (بتحريك المؤشر على مقياس مناسب) إلى إشارة بنفس الطبيعة الفيزيائية كإشارة تغذية خلفية يوفرها عنصر القياس.

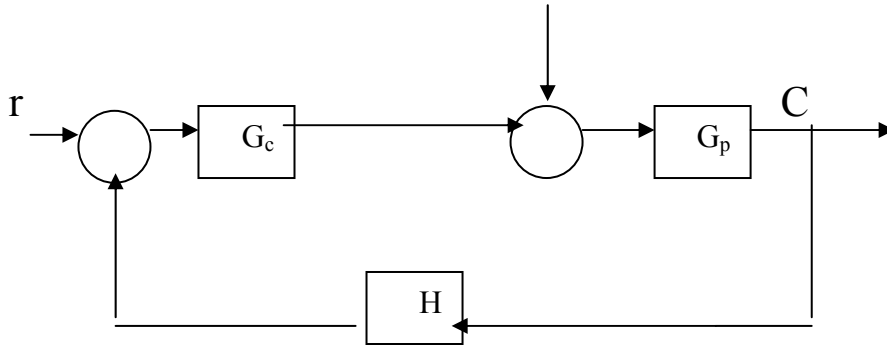
Input element = scale with a pointer + transducer

ملحوظات :

- يتم معايرة مقياس عنصر الإدخال لتناسب مع القيم الحقيقية للمتغير المتحكم فيه.
- يمكن أن تكون إشارة الإدخال الوضع الميكانيكي للمؤشر على مقياس كما سبق ذكره ولكن يمكن أيضاً أن تكون عبارة عن حمل هوائي (ضغط على حجاب مرن في جهاز تحريك هوائي أو يمكن أن تكون إشارة كهربائية مثل الفولت أو التيار في ماكينة كهربائية أو إلكترونية.
- يجب أن تكون الإشارة التي تصل إلى جهاز التعرف على الخطأ من عنصر الإدخال وتلك التي تصل من عنصر القياس أي الإشارة r والإشارة b ذات نفس الطبيعة الفيزيائية حتى يمكن طرح واحدة من الأخرى.
- يقوم جهاز التعرف على الخطأ بمقارنة إشارة التغذية الخلفية b مع إشارة الإدخال القياسية r ويرسل إشارة خطأ أو انحراف e إلى عنصر التحكم.

$$e = r - b$$

الشكل ٥,٣ يوضح مخطط القالب لنظام تحكم آلي :



شكل ٥,٣ مخطط القالب لنظام تحكم آلي

تعريفات :

١. المنظوم المتحكم فيه : هو عملية التصنيع أو الماكينة ..الخ
١. المتغير المتحكم فيه : هو الخارج من المنظوم المتحكم فيه

٢. التداخل : هو أي تغير خارجي (مثل درجة الحرارة ، الضغط ، ..) تميل إلى تغيير المتغير المتحكم فيه
٣. عنصر التغذية الخلفية : عادة عبارة عن جهاز قياس به وسيلة تولد تغيراً في الضغط (في حالة التحكم الهوائي) يناظر التغيرات في المتغير المتحكم فيه وقد يحتوي على مضخم.
٤. جهاز الخطأ : يقوم بتوليد إشارة تحريك عبارة عن الفرق بين القيمة المرغوبة والخارج من عنصر التغذية الخلفية.
٥. إشارة التحريك : تسمى أحياناً إشارة الخطأ وهي عبارة عن المعلومات التي تعطى لعنصر التحكم
٦. عنصر التحكم : وهو الجهاز الذي يقوم بإحداث التغيرات في الداخل للمنظوم والتي تقوم بإحداث التغيرات المطلوبة في المتغير المتحكم فيه.
٧. المتغير المتلاعب به : هو الداخل للمنظوم المتحكم فيه والذي يغير بواسطة عنصر التحكم ويؤدي إلى تغيرات في المتغير المتحكم فيه.

٣,٢,٣ أهمية مخطط القالب :

البساطة والدقة :

يعتبر مخطط القالب طريقة مبسطة ودقيقة لتمثيل حلقات التحكم الآلي المعقدة. وللأغراض الحسابية من المريح تمثيل أنظمة التحكم بواسطة مخطط القالب.

المقدرة على التصور

يشير مخطط القالب إلى تدفق المعلومات حول نظام التحكم ووظيفة كل جزء في المنظوم . وهو يعطى صورة متكاملة وجيدة للعلاقات بين المتغيرات في نظام التحكم ويجعل من تصور هذه العلاقات بين إشارات المتغيرات أمراً سهلاً.

يجب التأكيد على أن مخطط القالب عبارة عن وسيلة منظمة لكتابة المعادلات التي تشرح الأداء الديناميكي لمكونات المنظوم. وله أيضاً ميزة توضيح العلاقات بين المتغيرات وتشرح بوضوح علاقة التغذية الخلفية بين متغير القيمة المقاسة ومتغير القيمة المرغوبة وكيف يستخدم الفرق بين هذين المتغيرين (إشارة الخطأ e) للمحافظة على التحكم.

حل مبسط للمعادلات الآنية :

باستخدام العمليات الحسابية في مخطط القالب يمكن تبسيط القالب إلى مخطط قالب واحد مكافئ يعطي العلاقة بين المتغير الخارج (المتغير المتحكم فيه) مع متغير الإدخال (القيمة المرغوبة) . يعتبر هذا التخفيض في مخطط القالب مكافئاً لحل عدد من المعادلات الآنية والذي يعتبر عملاً شاقاً ومضيعة للوقت.

ولهذا فإن مخطط القالب لا يمثل فقط عدداً من المعادلات الآنية التي تشرح عناصر المنظوم ويوضح العلاقات بين المتغيرات ولكنه يعطي وسيلة مبسطة لحل هذه المعادلات للوصول إلى موديل حسابي لحلقة التحكم ككل وللإستجابة الديناميكية لنظام التحكم ككل.

٤,٢,٣ تحويلات لابلاس Laplace Transform

تعتبر تحويلات لابلاس من الأدوات الرياضية المساعدة لدراسة نظم التحكم الآلي وتتم بالانتقال من جال المتغير الزمني الذي هو عدد حقيقي إلى متغير لابلاس الذي هو عدد مركب على شكل $\sigma + j\omega$ وتعرف كالتالي :

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

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

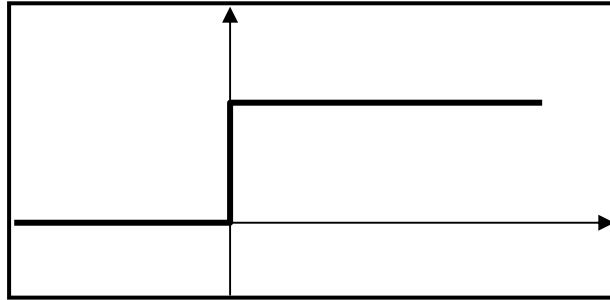
١. تحويلات لابلاس لبعض الإشارات الأساسية:

أ. تحويل لابلاس لإشارة الخطوة:

تعرف إشارة خطوة ارتفاعها A كالتالي :

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

يكون منحناها كالتالي:



لإيجاد تحويل لابلاس لإشارة الخطوة ، نستخدم تعريف تحويل لابلاس :

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

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

وعندما يكون ارتفاع الخطوة $A=1$ يستخدم رمز $u(t)$ للدلالة عليها وتسمى إشارة خطوة الوحدة ، ويكون تحويل لابلاس لخطوة الوحدة كما يلي :

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

ب. تحويل لابلاس للإشارة الأسية :

تعرف الإشارة الأسية كالآتي:

$$x(t) = \begin{cases} Ae^{at}; t \geq 0 \\ 0; t < 0 \end{cases}$$

لإيجاد تحويل لابلاس لإشارة الخطوة كالآتي :

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

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

٢. خواص تحويلات لابلاس :

لتحويل لابلاس عدد من الخواص المفيدة جداً في استنتاج تحويلات لابلاس لإشارات أعقد انطلاقاً من تحويلات لابلاس لإشارات معلومة:

أ. خاصية الخطية :

$$L(af(t) + bg(t)) = aF(s) + bG(s)$$

حيث إن:

$$L(g(t)) = G(s)$$

$$L(f(t)) = F(s)$$

وهذا ناتج عن الخاصية الخطية للتكامل نفسه.

ب. قانون الاشتقاق في مجال الزمن:

وهي علاقة تربط تحويل لابلاس مشتقة أي دالة بتحويل لابلاس الدالة نفسها

$$L(f'(t)) = sF(s) - f(0)$$

خلاصة هذه الخاصية هي أن الاشتقاق في مجال الزمن بمثابة الضرب في مجال لابلاس S

مثال :

أوجد تحويل لابلاس لإشارة الانحدار.

تعرف إشارة الانحدار كالآتي :

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

بما أن $t = \int_0^t 1 dt$ ، فإنه يمكن كتابة إشارة الانحدار باستخدام إشارة خطوة الوحدة كالتالي :

$$r(t) = \int_0^t u(\tau) d\tau$$

وبالتالي باستخدام قانون الاشتقاق تكون:

$$L(r(t)) = \frac{1}{s} L(u(t))$$

أو :

$$L(u(t)) = sL(r(t))$$

ومن ثم يكون تحويل لابلاس لإشارة الانحدار كالآتي :

$$L(r(t)) = \frac{1}{s^2}$$

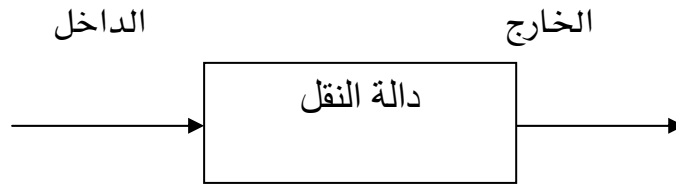
٥,٢,٣ دالة النقل **Transfer function** :

دالة النقل طريقة مهمة لدراسة نظم التحكم الآلي ، وتعرف كآتي :

دالة النقل = تحويل لابلاس الخرج

تحويل لابلاس الدخل

وتقترن دالة النقل غالباً بمخطط القالب ، حيث توضع داخل صندوق القالب الذي تمثله :



شكل ٦,٣ دالة النقل ومخطط القالب

التحكم الآلي في التصنيع الغذائي

قاعدة التحكم الخلفية

اسم الوحدة: قاعدة التغذية الخلفية وأنواع التحكم الآلي

الجدارة: التعرف على الطرق المختلفة من قواعد التغذية الخلفية وحلقات التحكم.

الأهداف:

- (١) معرفة طبيعة حلقة التحكم والتفريق بين حلقات التحكم المفتوحة والمغلقة مع تبيان بعض الأمثلة عليها.
- (٢) معرفة مفهوم التغذية الخلفية ومخططها الوظيفي ومكوناتها الديناميكية.
- (٣) معرفة أنواع التحكم الآلي وطرق إجراءه مع التفريق بين التحكم العكسي والمباشر.
- (٤) معرفة مفهوم تحكم الفتح - القفل .
- (٥) التفريق بين عملية التحكم التناسبي والتفاضلي والتكاملي وتطبيق هذه العمليات على موجة جيبيية.
- (٦) فهم عناصر التحكم النهائي ودورها ومكوناتها من محولات إشارة ومشغلات وغيرها.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪.

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: ٦ ساعات.

الوسائل المساعدة: قاعه دراسية مهيأة لتوزيع المتدربين على شكل مجموعات لتحليل الرسومات و المنحنيات المختلفة .

متطلبات الجدارة: أن يكون لدى المتدرب القدرة على استيعاب الرسومات و المنحنيات البيانية الموجودة في هذه الوحدة .

١,٤ حلقات التحكم :

الغرض من التحكم تحقيق جملة مواصفات في المنظوم المراد التحكم فيه ومن أهمها:

١. الاستقرار بحيث لا تنمو المقادير المراد التحكم فيها بلا حدود.
٢. الدقة بحيث يكون المتغير المتحكم فيه أقرب من القيمة المرغوبة
٣. سرعة الاستجابة بحيث تصل المقادير المراد التحكم فيها إلى القيمة المرغوبة في وقت مقبول
٤. التكلفة بحيث لا تكون تكاليف إنجاز عملية التحكم باهظة.

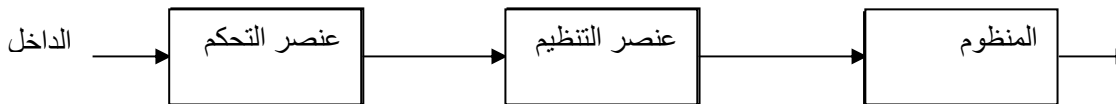
يوجد بصورة عامة نوعان من حلقات التحكم هما حلقات التحكم المفتوحة وحلقات التحكم المغلقة:

١,١,٤ حلقات التحكم المفتوحة Open loop control systems

المظهر العام لحلقات التحكم المفتوحة يكون كما هو موضح في الشكل ١,٤. تولّد إشارة التحكم في هذا النوع من نظم التحكم بمعزل عن المتغير المتحكم فيه فلا تتأثر به إطلاقاً، بل يتم تصميم عنصر التحكم تبعاً لمعلومات مسبقة عن المنظوم المراد لتحكم فيه وظروف تشغيله. فالداخل لعنصر التحكم هنا هو القيمة المرغوبة للنظام.

عندما تكون القيمة المرغوبة قيمة ثابتة تسمى نقطة الضبط set point

معظم الأنظمة التي تعتمد على دوائر توقيت timers كجزء أساسي من دوائر التحكم تستخدم طريقة التحكم المفتوح.



شكل ١,٤ مخطط القالب لنظام تحكم مفتوح

أمثلة لنظم التحكم المفتوحة :

أ. وحدات التكييف غير المجهزة بترموستات حيث إنها مصممة لدفع هواء بارد في الغرفة المراد تبريدها. ولمفتاح التحكم عدة أوضاع حسب درجة الحرارة المرغوبة. لكن استمرار عملية التبريد مستقل تماماً عن درجة الحرارة الفعلية في الغرفة.

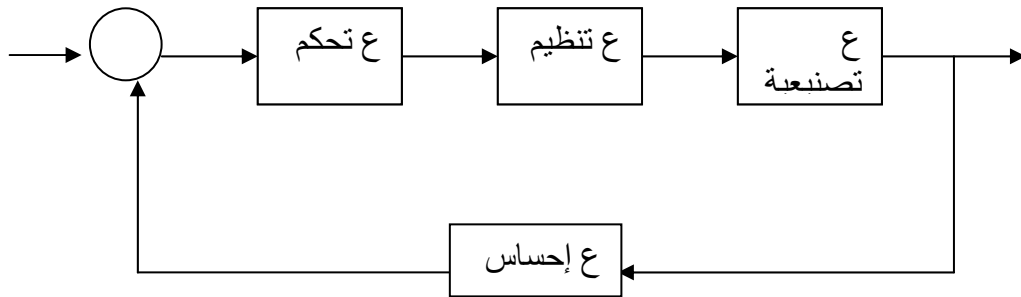
ب. جهاز تحميص الخبز حيث يصمم للحصول على درجات معينة لتحميص الخبز تتمثل في لونه. ووجد عدة أوضاع لمفتاح التحكم (بني غامق ، بني فاتح ...). فالقيمة المرغوبة أو نقطة الضبط هي وضع مفتاح التحكم والخارج هو درجة تحميص الخبز. فلو أعدنا إدخال قطعة محمصة أصلاً ، فالجهاز غير مجهز لأخذ ذلك بعين الاعتبار ، فيعيد تحميصها ثانية فتحترق.

ت. الغسالات الآلية فهي مصممة لغسل وشطف وعصر الثياب وفق تسلسل معين. وهناك أوضاع مختلفة لمفتاح التحكم حسب الوزن ونوع الأنسجة ولونها وخلافه. فالقيمة المرغوبة أو نقطة الضبط هي وضع مفتاح التحكم والخارج هو درجة نظافة الثياب. فلو أعدنا ثياباً نظيفة للغسالة وقمنا بتشغيلها ستمرق ثانية بنفس الدورة من غسل وشطف وعصر.

تعتبر نظم التحكم المفتوح سهلة التنفيذ فهي غير مكلفة وسهلة الصيانة. ولكنها حساسة جداً للتغيرات التي قد تطرأ على النظام بفعل التقادم أو على الظروف المحيطة.

٢,١,٤ حلقات التحكم المغلقة Closed loop control systems

وتسمى أيضاً نظم تحكم التغذية الخلفية Feedback control systems ويكون مظهرها العام كما هو موضح في الشكل ٢,٤



الشكل ٢,٤ مخطط القالب لنظام الحلقة المغلقة

تؤخذ القيمة الفعلية للمتغير المراد التحكم فيه بعين الاعتبار عند تصميم هذا النوع من نظم التحكم. ولذلك تستخدم إشارة الخطأ $e(t)$ كدخل لعنصر التحكم الذي يولد إشارة التحكم $p(t)$ بناء على قاعدة معينة. وتعمل إشارة التحكم هذه على تقليل الخطأ وتصحيح الانحراف الحاصل في قيمة المتغير المتحكم فيه عن القيمة المرغوبة.

يمكن الحصول على نظام تحكم مغلق بإضافة ترموستات إلى نظم تحكم الدائرة المفتوحة ، حيث يتم باستمرار مقارنة درجة الحرارة الفعلية بدرجة الحرارة المرغوبة. وطالما كانت درجة الحرارة الفعلية أكبر من أو تساوي القيمة المرغوبة يستمر وتتوقف عندما تزيد عن القيمة المرغوبة. وبفضل العوامل المحيطة ونوعية العازل المستخدمة ، تتسرب الحرارة إلى داخل الغرفة فترتفع درجة حرارة الغرفة إلى أن تزيد عن القيمة المرغوبة وعندها تستأنف عملية التبريد من جديد وهكذا.

تعتبر نظم التحكم المغلقة أقل حساسية للتغيرات التي تطرأ على النظام ومحيطه ولكنها أكثر تعقيداً وبذلك تكون كلفتها أعلى. هذا بالإضافة إلى أنها معرضة للاهتزازات لعدم الاستقرار.

٢,٤ قاعدة التغذية الخلفية:

تعتبر التغذية الخلفية قاعدة مهمة وهي تعطي تقنية تستخدم عالمياً للتحكم في أي عملية. يتم قياس الكمية المراد التحكم فيها بمقارنتها مع القيمة المرغوبة *desired value* . كما يستخدم تأثير الانحراف *disturbance* على المتغير المراد التحكم فيه (والذي يمثله الابتعاد عن القيمة المرغوبة أو الخطأ) لضبط المتغير وبذلك يتم تصحيح الانحراف.

١,٢,٤ الخطوات الأساسية :

١. قياس أحد المتغيرات الذي يمثل أداء العملية التصنيعية (وهو عادة المتغير الذي يراد التحكم فيه)
٢. مقارنة المتغير الذي يتم قياسه مع القيمة المرغوبة
٣. إذا كان هناك فرق يتم ضبط هذا المتغير لتصحيح الانحراف أو الخطأ

٢,٢,٤ الملامح الأساسية :

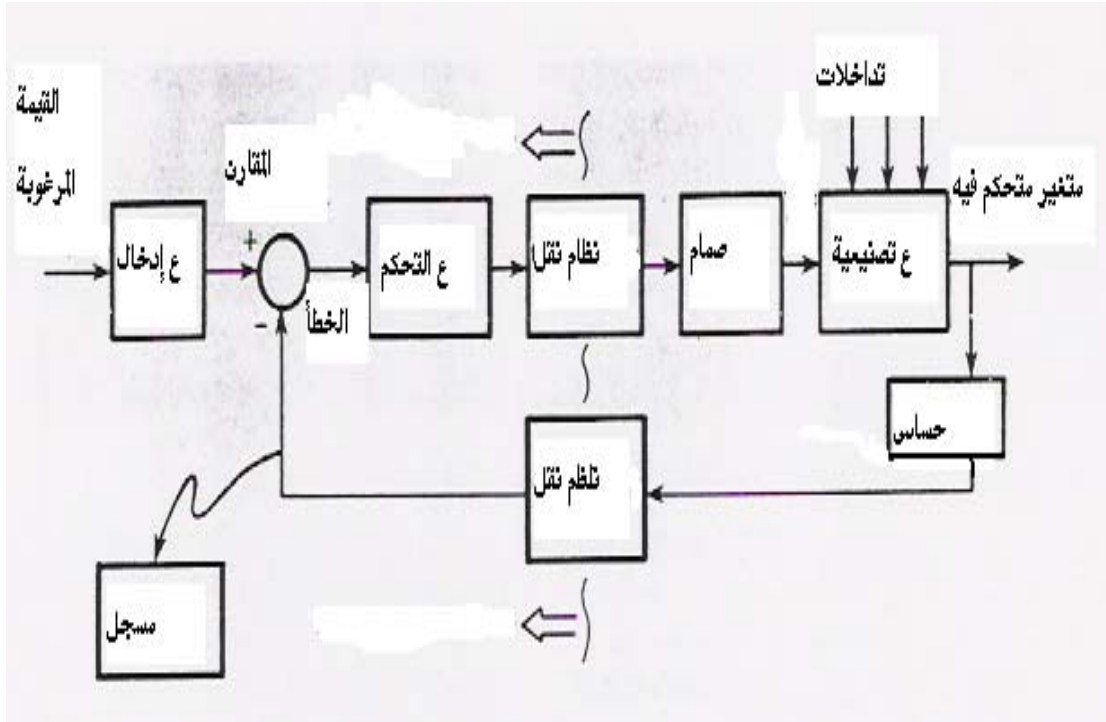
في حالة تحكم التغذية الخلفية ، يتم تجاهل مصدر أو مسبب الانحراف . وتم فقط اعتبار تأثيره عند تصحيح الانحراف. وبكلمات أخرى ، نسبةً لأن الانحرافات لا بد وأن تحدث ، لذا يسمح لها بالتأثير على العملية التصنيعية وبذلك إحداث التغيير في المتغير المراد التحكم فيه ولكن تستخدم هذه التغيرات (الانحراف عن القيمة المرغوبة) لضبط المتغير وتصحيح تأثير الانحراف.

٣,٢,٤ تعريف تحكم التغذية الخلفية :

يعرّف تحكم التغذية الخلفية بأنه النظام الذي يميل للمحافظة على العلاقة بين متغير في النظام مع آخر وذلك بمقارنة هذه المتغيرات واستخدام الفرق كوسيلة للتحكم.

٤,٢,٤ المخطط الوظيفي لحلقة التغذية الخلفية :

الشكل ٣,٤ يوضح هذا النوع من المخططات ويوضح بصورة أفضل كيفية استخدام تحكم التغذية الخلفية عملياً .

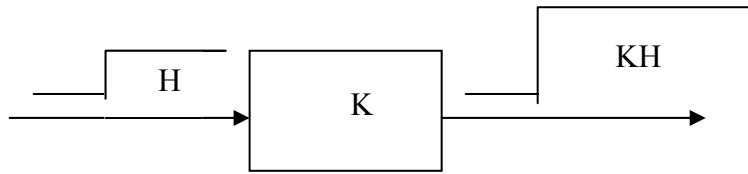


شكل ٣,٤ المخطط الوظيفي لحلقة تغذية خلفية

يجب أن تكون أبعاد القيمة المرغوبة نفس أبعاد المتغير المتحكم فيه. يوفر عنصر الإدخال وسيلة لتحويل إشارة الإدخال إلى أبعاد جهاز التحكم مثلاً ميلي فولت أو ميلي أمبير أو bar... الخ. يتم قياس المتغير المتحكم فيه بواسطة جهاز الإحساس ويتم نقل القيمة إلى جهاز المقارنة. يقوم هذا الجهاز بمقارنة (أخذ الفرق الجبري بين) القيمة المرغوبة وبين قيمة المتغير المتحكم فيه. تصبح إشارة الخطأ وهي الخارج من جهاز المقارنة إدخال إلى جهاز التحكم. وبناءً على إشارة الخطأ يقوم جهاز التحكم بحساب إشارة ويرسلها إلى عنصر التحكم النهائي (عادة صمام) وهو يقوم بدوره بالتحكم في المتغير المتلاعب به. يدخل المتغير المتلاعب به إلى العملية التصنيعية. وأيضاً يوجد في هذا المخطط مسجل يقوم بتسجيل المتغير المتحكم فيه وهو اختياري.

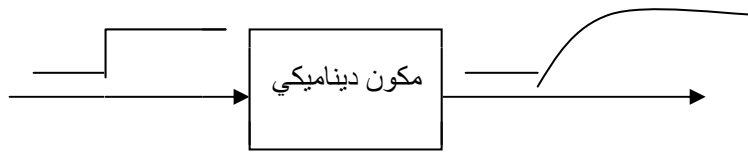
٥,٢,٤ المكونات الديناميكية **dynamic components** لحلقة التغذية الخلفية :

يختلف نوع الأداء الميكانيكي باختلاف القوالب في حلقة التغذية الخلفية. لا يوجد تخلف lag لعديد من مكونات حلقة التحكم. أي أن أداءها لا يعتمد على الزمن. ولهذا عندما يتغير الإدخال في المكون فإن الخارج يتغير لحظياً وهو ما موضح في شكل ٤,٤ أدناه.



شكل ٤,٤ حلقة تحكم بدون تخلف

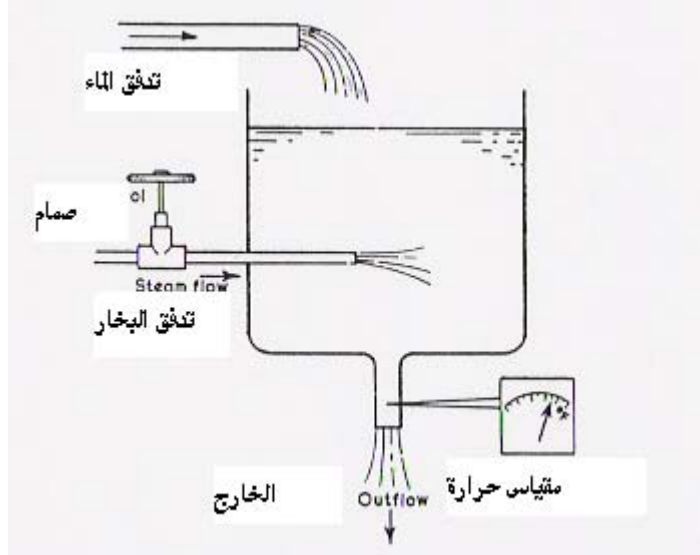
يعرف مثل هذا المكون بالمكون الديناميكي . وفيه يكون الخارج متناسباً طردياً مع الداخل ويعرف ثابت التناسب بالحساسية **sensitivity** أو الكسب **gain (K)** للمكون. للعديد من المكونات خصائص ديناميكية ويكون الخارج متخلفاً خلف الداخل كما موضح في شكل ٥,٤ أدناه.



شكل ٥,٤ حلقة تحكم بها تخلف

٣,٤ أنواع التحكم الآلي :

في الشكل ٦,٤ من المرغوب المحافظة على درجة حرارة الماء الخارج من الصهرج عند درجة حرارة ٤٠°م وذلك بالتحكم في كمية البخار المتدفق في الصهرج . إذا كان صمام البخار مفتوحاً بالكامل فإن درجة حرارة الماء الخارج تكون ٦٠°م أما إذا كان الصمام مغلقاً بالكامل فتكون درجة الحرارة ٢٠°م .



شك ٦,٤ المحافظة على درجة حرارة الماء الخارج من الصهرج

أفرض أنه لا يوجد تخلف في هذا المنظوم وأن كمية الماء المتدفق إلى داخل الصهرج متغيرة نتيجة لتأثيرات خارجية . في هذه الحالة يمكن تشغيل صمام البخار اعتماداً على درجة حرارة الماء الخارج بطرق عديدة منها :

١. قفل الصمام بالكامل عندما تزيد درجة حرارة الماء عن 40°C وفتح الصمام بالكامل عندما تقل درجة الحرارة عن 40°C . يسمى هذا النوع من التحكم بـ "فتح - قفل" **on off control** .

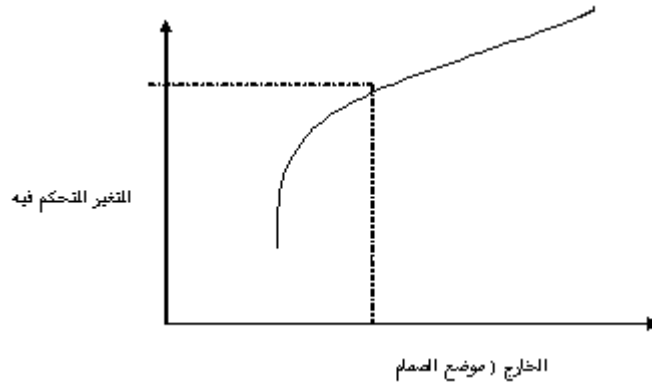
٢. فتح الصمام بدرجة تناسب كمية انحراف درجة حرارة الماء الخارج من لصهرج عن 40°C . فمثلاً إذا كان الصمام نصف مفتوح تحت ظروف الاتزان عند درجة حرارة الماء الخارج تعادل 40°C وتغيرت إلى 50°C فإن الصمام سيقفل حتى موضع ٢٥٪ . وبالمثل إذا انخفضت درجة حرارة الماء الخارج إلى 30°C فإن الصمام سيفتح إلى موضع ٧٥٪ . يسمى هذا النوع من التحكم بالتحكم التناسبي **proportional control** .

٣. فتح الصمام بسرعة تناسب انحراف درجة حرارة الماء الخارج عن القيمة المرغوبة وهو ما يعرف بالتحكم التكاملي **integral control** .

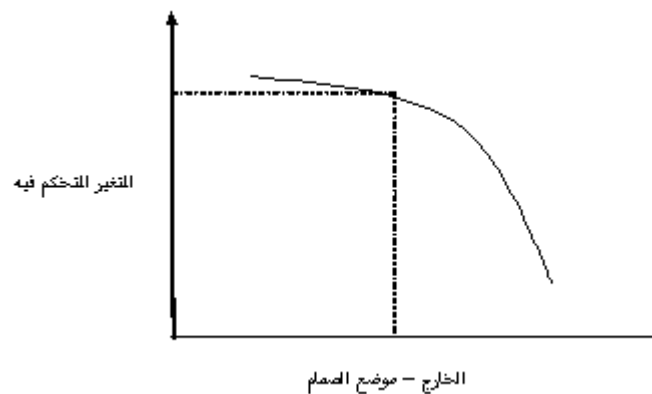
٤. فتح الصمام بتناسب مع معدل تغير المتغير المتحكم فيه وهو ما يعرف بالتحكم التفاضلي **differential control** .

الطريقة العكسية Reverse والطريقة المباشرة direct للتحكم الآلي :

اعتماداً على طريقة عمل الصمام فإن الزيادة في قيمة التغير المتحكم فيه قد تتطلب إما زيادة أو نقصاناً في قيمة الإشارة الخارجة من عنصر التحكم. وتعمل كل عناصر التحكم إما بالطريقة المباشرة أو الطريقة العكسية. تعنى الطريقة المباشرة أن الخارج من عنصر التحكم يزيد كلما زادت الإشارة من عنصر الإحساس (شكل ٧,٤) أما الطريقة العكسية فيقل الخارج من عنصر التحكم كلما زادت الإشارة من عنصر الإحساس (شكل ٨,٤).



شكل ٧,٤ الطريقة المباشرة للتحكم الآلي

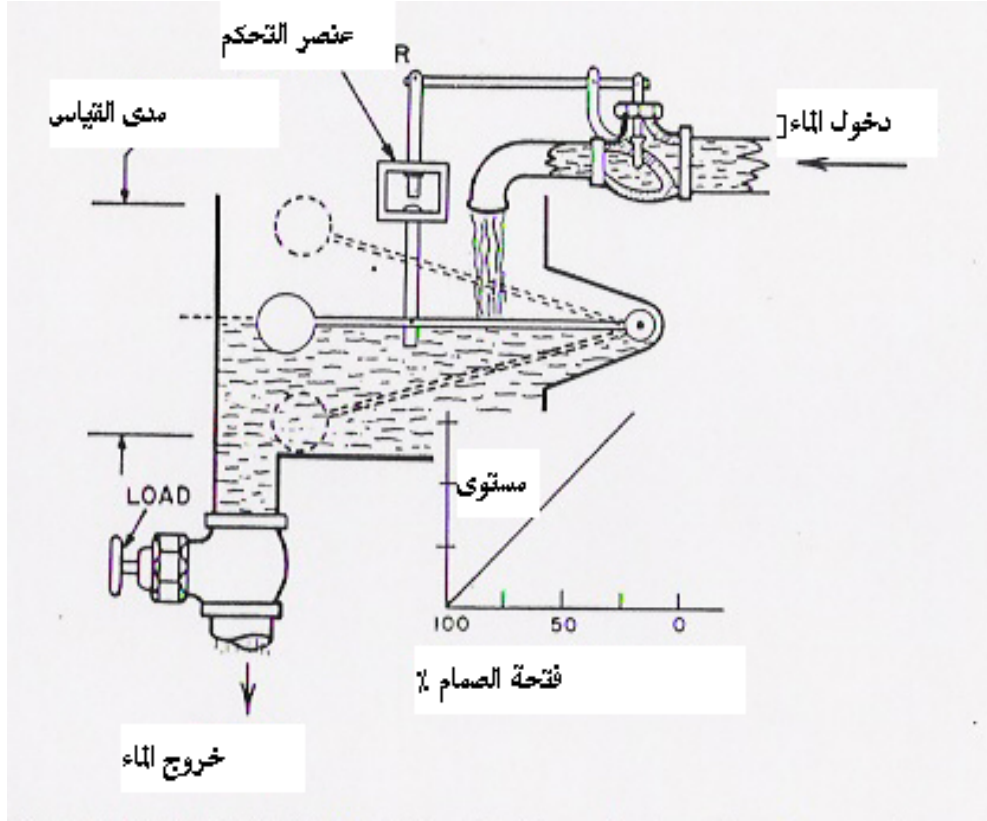


شكل ٨,٤ الطريقة العكسية للتحكم الآلي

لتحديد النوع المناسب يجب أولاً تحليل حلقة التحكم. والخطوة الأولى هي تحديد طريقة عمل الصمام. فمثلاً إذا كانت هناك دواعي سلامة بأن يكون الصمام مغلقاً إذا كان هناك توقف لإمداد الهواء نتيجة

عطل فإن هذا الصمام يجب أن يفتح في حالة وجود هواء ويفلق في حالة توقف إمداد الهواء . ثانياً يجب الأخذ في الاعتبار تأثير التغير في قيمة المتغير المتحكم فيه . فمثلاً إذا زادت درجة الحرارة عن القيمة المرغوبة يجب تقليل تدفق البخار على المبادل الحراري أي يجب قفل الصمام . ولقفل هذا الصمام يجب أن تقل الإشارة الخارجة من عنصر التحكم إلى الصمام . إذن عنصر التحكم في هذه الحالة تعمل بالطريقة المعاكسة إذا تم اختيار عنصر تحكم يعمل بالطريقة المباشرة فإن الزيادة في الإشارة الآتية من عنصر الإحساس يؤدي إلى تدفق أكثر للبخار مما يؤدي إلى زيادة درجة الحرارة أكثر ويحدث نفس الشيء إذا كان هناك انخفاض في درجة الحرارة مما يؤدي إلى زيادة الانخفاض في درجة الحرارة ولهذا فإن الاختيار غير الصحيح لطريقة عمل عنصر التحكم يؤدي إلى حلقة تحكم غير ثابتة .

عند القيام بالتحكم الآلي يقوم عنصر التحكم باستخدام الفرق بين إشارة القيمة المرغوبة وإشارة قيمة المتغير المتحكم فيه لتحديد الإشارة المرسله للصمام . إن دقة وسرعة الاستجابة في هذه الإشارات يحدد دقة عنصر التحكم في التحكم الآلي بدقة . إذا لم يقوم جهاز الإحساس بإرسال الإشارة الصحيحة أو كان هناك تخلف في إشارة القياس فإن مقدرة عنصر التحكم في التحكم في العملية التصنيعية تكون متدنية . وفي نفس الوقت يجب أن تصل إلى عنصر التحكم إشارة صحيحة بالقيمة المرغوبة . وفي حالة عناصر التحكم التي تستخدم إشارة قيمة مرغوبة هوائية أو إلكترونية فإن الخطأ في معايرة هذه الإشارات قد يؤدي إلى أخطاء كبيرة . وهناك قصور آخر وهو مقدرة عنصر التحكم على فتح أو قفل الصمام بدقة . وإذا كان هناك احتكاك في الصمام فإن عنصر التحكم قد لا يكون قادراً على تحريك الصمام لفتحة محددة لإعطاء تدفق محدد ويظهر هذا في صورة فرق بين القيمة المرغوبة وقيمة المتغير المتحكم فيه . كما أن عدم مقدرة عنصر التحكم في تحريك الصمام بسرعة قد ينتج عنه تدنٍ في عملية التحكم الآلي وللوصول إلى تحكم آلي جيد فإن التغير في الخارج من عنصر التحكم يجب أن يكون باتجاه يعاكس أي تغير في قيمة المتغير المتحكم فيه . الشكل ٩,٤ يوضح صمام متصل مباشرة للتحكم في مستوى الماء في صهرج .



شكل ٩,٤ التحكم في مستوى الماء في صهرج

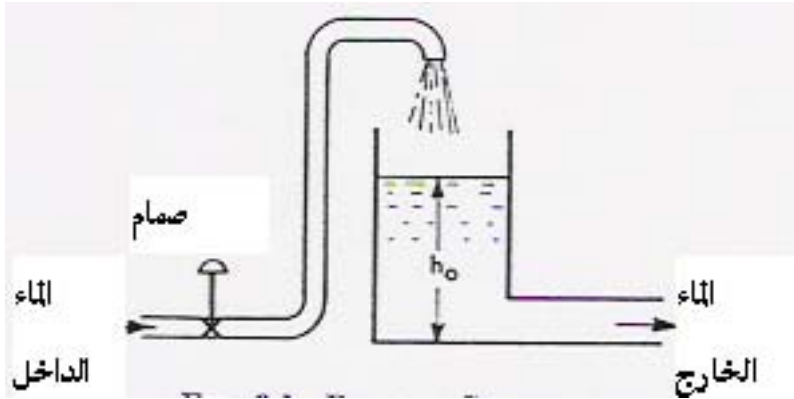
عندما يرتفع مستوى الماء في الصهرج فإن العوامة تقوم بخفض معدل تدفق الماء الداخل للصهرج . وبهذا كلما زاد مستوى السائل كلما انخفض معدل التدفق . وبنفس الطريقة كلما انخفض مستوى الماء فإن العوامة تقوم بفتح الصمام لإضافة كمية أكبر من الماء إلى الصهرج. أي إذا تحرك مستوى الماء من ٠ إلى ١٠٠٪ فإن الصمام يتحرك من مفتوح بالكامل إلى مغلق بالكامل كما هو موضح في الرسم البياني أعلاه . ووظيفة عنصر التحكم الآلي هو إحداث هذه الاستجابة العكسية بمدى متفاوت.

١,٣,٤ تحكم الفتح – القفل on off control :

عندما يكون للصمام موضعين فقط ، موضع الفتح الكامل أو موضع القفل الكامل فإن التحكم يعرف بتحكم الفتح - القفل .

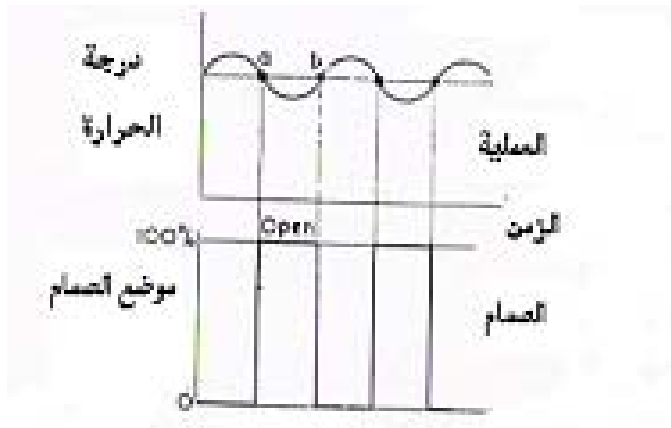
الشكل ١٠,٤ عبارة عن عملية مرغوب فيها للمحافظة على مستوى الماء في الصهرج عند h_0 مهما كان معدل التدفق الخارج Q_{out} و يمكن تحقيق ذلك بتغيير تدفق الماء الداخل للصهرج بواسطة الصمام .

وباستخدام تحكم الفتح - القفل وعندما يكون مستوى الماء أعلى من h_0 فإن عنصر التحكم يقوم بقفل الصمام بالكامل . وعندما يكون أقل من h_0 يقوم بفتح الصمام بالكامل .



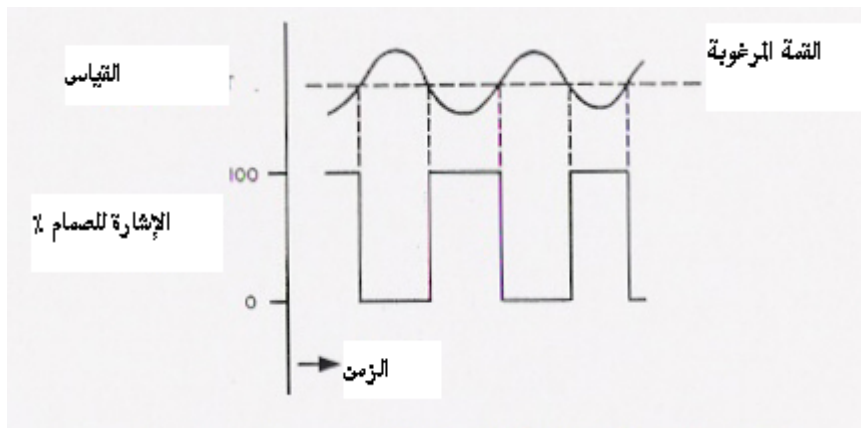
شكل ١٠،٤ تحكم الفتح - القفل في مستوى الماء في صهرج

إذا كانت استجابة كل عناصر هذا المنظوم فورية يمكن المحافظة على مستوى الماء في الصهرج عند h_0 بزيادة أو نقصان قليل جداً . وفي هذه الحالة سيكون الصمام في حركة مستمرة وينتج عن ذلك تآكل كبير في الصمام. مثل هذا النظام لا يمكن تحقيقه عملياً. فمثلاً عند التحكم في درجة حرارة غرفة عن طريق تدفق البخار إلى راديترفان التجريبية دلت على أن درجة حرارة الغرفة لا تتأثر لحظياً نتيجة التغير في تدفق البخار وأيضاً لا تنخفض درجة حرارة الراديترفان فوراً عندما يتوقف تدفق البخار. ولكن تستمر درجة حرارة الغرفة في الارتفاع حتى بعد قفل البخار. هذا النظام يمثله الشكل ١١،٤ .



شكل ١١،٤ تأثير التخلف الحراري على المتغير المتحكم فيه

وبالمثل الشكل ١٢,٤ يمثل تحكم فتح-قفل يستخدم عنصر تحكم يعمل بالطريقة العكسية ويستخدم صمام قفل بالهواء air-to-close valve . الخارج من عنصر التحكم في هذه الحالة إما حد أقصى بالكامل أو حد أدنى بالكامل . وفي هذا النظام إذا انخفضت قيمة المتغير المتحكم فيه إلى أقل من القيمة المرغوبة فإن الصمام يقفل لجعلها ترتفع . وبذلك كلما كانت الإشارة إلى عنصر التحكم أقل من القيمة المرغوبة يكون الخارج من عنصر التحكم ١٠٠٪ . وعندما تساوي قيمة المتغير المتلاعب فيه القيمة المرغوبة يكون الخارج من عنصر التحكم صفر٪ وهذا يؤدي في النهاية على انخفاض قيمة المتغير المتحكم فيه وعندما تساوي قيمة المتغير المتحكم فيه القيمة المرغوبة مرة أخرى يصبح الخارج من عنصر التحكم ١٠٠٪ . تستمر هذه الدورة على ما لا نهاية .

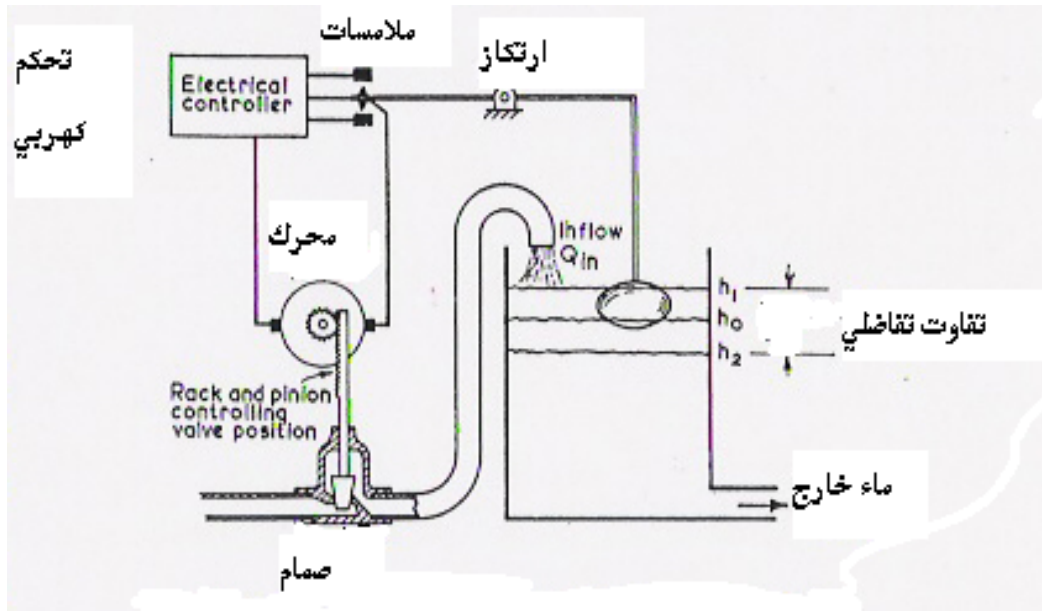


شكل ١٢,٤ تحكم فتح- قفل لتحكم عكسي وصمام قفل بالهواء

التفاوت التفاضلي differential gap والزمن الميت dead time :

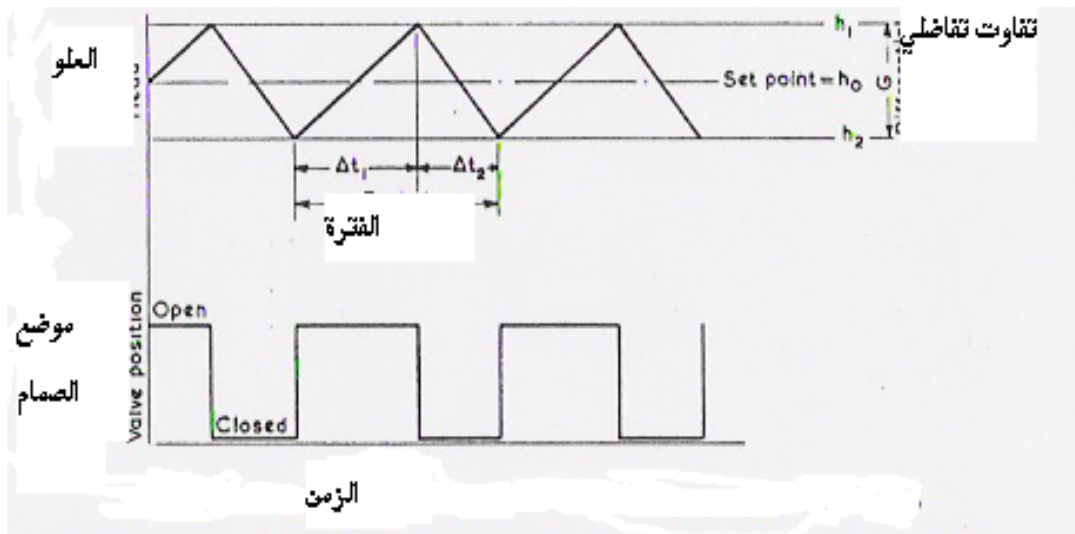
من المستحيل الحصول على استجابة فورية من الصمام للانحرافات عن المتغير المتحكم فيه كما هو موضح في الشكل ١١,٤ عند النقاط a و b . ولكن يوجد دائماً في عنصر التحكم إما تفاوت تفاضلي أو زمن ميت dead time أو أبهما . ويمكن تعريف التفاوت التفاضلي بأنه أقل تغيير في المتغير المتحكم فيه يحرك الصمام بين الوضعيين القصويين " وضع الفتح - ووضع القفل "

وبالإشارة إلى الشكل ١٣,٤ ونسبة للتفاوت التفاضلي في عنصر التحكم فإن الصمام سوف لن يقفل حتى يصل المستوى في الصهريج إلى h_1 وسوف لن يفتح حتى يصل المستوى إلى h_2 . تسمى h_1-h_2 التفاوت التفاضلي.



شكل ١٢,٤ ترتيبات نظام تحكم كهربائي نوع الفتح - القفل

والشكل ١٣,٤ يوضح التغير في مستوى السائل في الصهريج مع الزمن في وجود التفاوت التفاضلي.



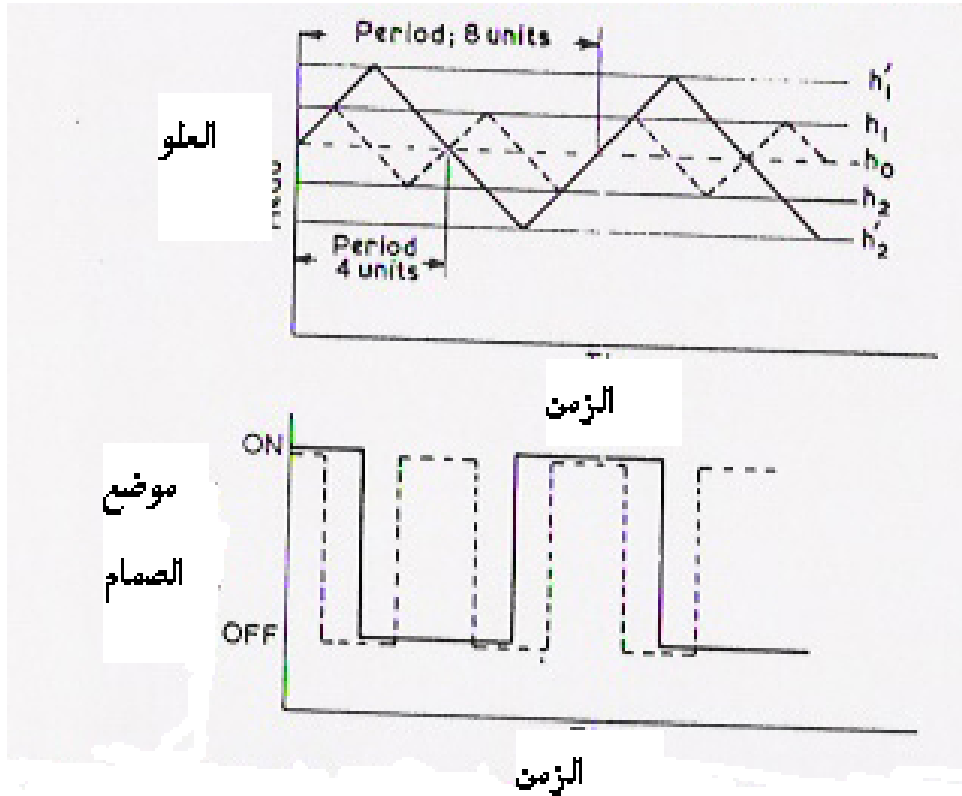
شكل ١٣,٤ تأثير التفاوت التفاضلي على تحكم الفتح - القفل

الشكل ١٤,٤ يوضح تأثير توسيع التفاوت التفاضلي على طبيعة تحكم الفتح - القفل الترددية وفيه تم مضاعفة التفاوت التفاضلي . نلاحظ في حالة التفاوت التفاضلي العريض ما يلي :

١. انخفضت فترة الدورة إلى نصف القيمة السابقة .

٢. تضاعف مدى الدورة

٣. يتحرك الصمام نصف عدد المرات السابقة.

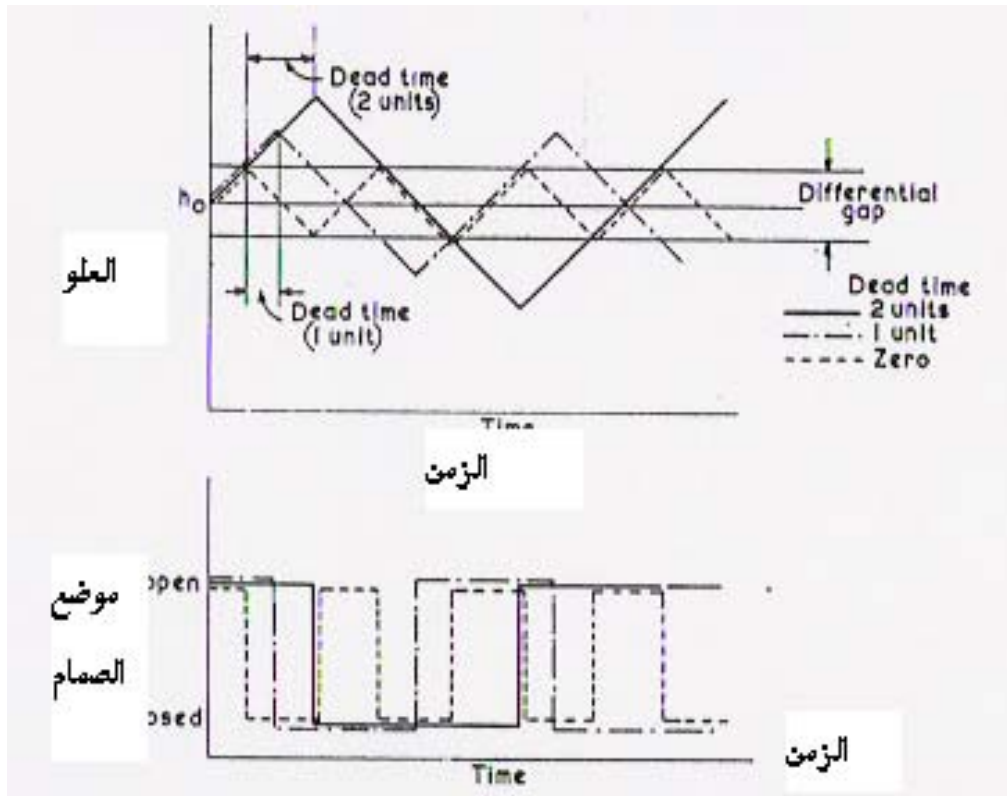


شكل ١٤,٤ تأثير التغير في التفاوت التفاضلي على فترة ومدى المتغير المتحكم فيه باستخدام تحكم الفتح القفل

التأثير الآخر الذي يجب أخذه في الاعتبار هو الزمن الميت . وهو يعرف بأنه التأخير في وسائل القياس ، والتأخير في استجابة عنصر التحكم أو التأخير في حركة الصمام نتيجة الاحتكاك مثلاً .

يمكن أن يكون الزمن الميت نتيجة للخطأ في وضع عناصر قياس درجة الحرارة أو الضغط مثلاً وضع مقياس درجة الحرارة في مسافة بعيدة عن مخرج الماء الساخن أو وضع مقياس الضغط عند نهاية أنبوب طويل.

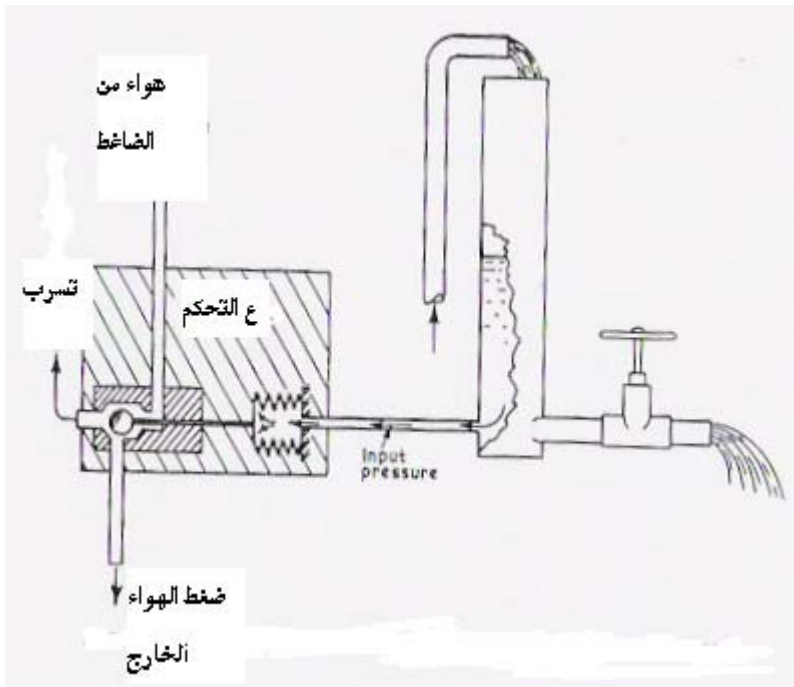
عندما يوجد زمن ميت في نظام تحكم الفتح - القفل يستمر المتغير المتحكم فيه إلى أكثر من حدود التفاوت التفاضلي لفترة تساوي الزمن الميت. من الشكل ١٥,٤ نلاحظ أثر الزمن الميت في نظام تحكم الفتح - القفل وذلك بزيادة فترة ومدى التردد في المتغير المتحكم فيه.



شكل ١٥,٤ تأثير الزمن الميت على فترة ومدى المتغير المتحكم فيه باستخدام تحكم الفتح - القفل

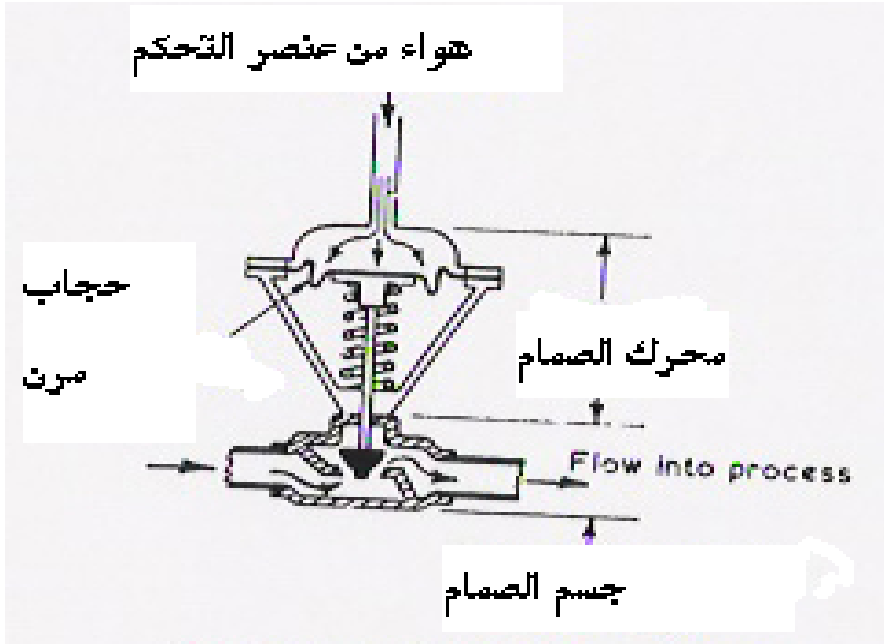
٢,٣,٤ التحكم التناسبي proportional control :

الشكل ١٦,٤ يوضح نظام تحكم عن طريق صمام ثلاثي الاتجاهات يتم تحريكه بواسطة حجاب مرن . يقوم عنصر التحكم بإخراج ضغط هواء يتناسب مع ضغط الهواء الداخل للحجاب المرن . وهذا الضغط بدوره يتناسب مع مستوى الماء في الصهرج . إذا كان الضغط عالياً في الحجاب يقل التسرب إلى الغلاف الجوي ويصبح ضغط الهواء الخارج مساوياً لضغط الإمداد تقريباً . أما في حالة الضغط المنخفض في الحجاب يصبح الضغط الخارج مساوياً للضغط الجوي تقريباً . ونلاحظ في عنصر التحكم هذا أنه يمكن زيادة الضغط الخارج بزيادة الضغط الداخل لعنصر التحكم . وفي هذه الحالة يعتبر عنصر التحكم ذو تأثير مباشر direct acting أما في عنصر التحكم ذو التأثير العكسي reverse acting فيزيد الضغط الخارج مع نقصان الضغط في الحجاب . وإذا فرضنا أنه يمكن التحكم في ضغط الإمداد لعنصر التحكم فإذا كان ضغط الإمداد عالي فغن التغيرات الصغيرة للضغط في الحجاب (أي تغيرات صغيرة في المستوى في الصهرج) ستعطي تغيرات كبيرة في الضغط الخارج وفي هذه الحالة يقال أن لعنصر التحكم كسب gain كبير . وسيعطي ضغط الإمداد المنخفض كسباً منخفضاً . ويعرّف الكسب في هذه الحالة بأنه نسبة التغير في الضغط الخارج إلى التغير في المستوى .



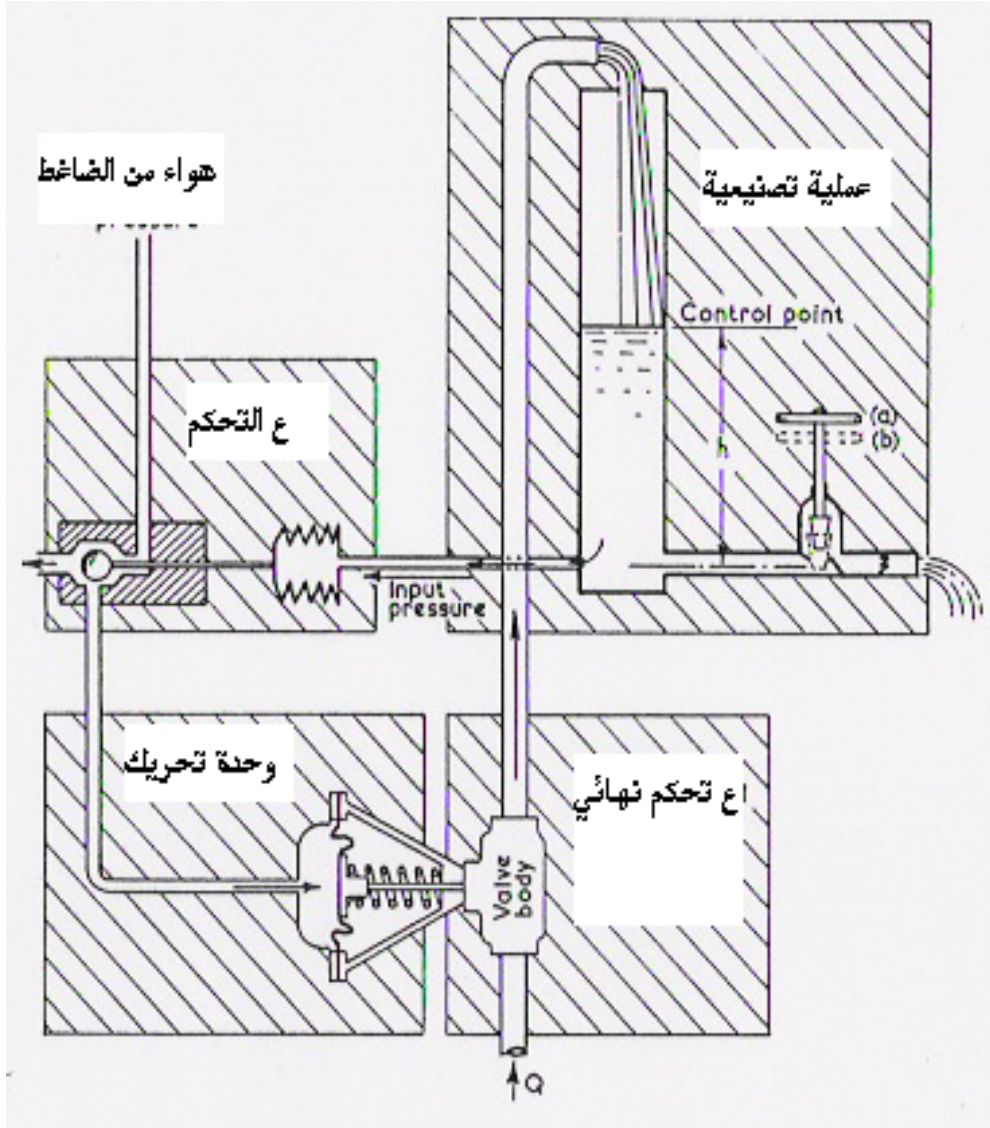
شكل ١٦,٤ نظام تحكم عن طريق صمام ثلاثي الاتجاهات

يمكن أن يستخدم الضغط الخارج من عنصر التحكم في تحريك عنصر التنظيم (الصمام) بواسطة وسيلة مناسبة . فقد يكون الخارج من عنصر التحكم إشارة كهربائية تقوم بتحريك محرك يحرك الصمام وقد يكون الخارج ضغط هواء يقوم بتحريك الصمام كما موضح في الشكل ١٧,٤ .



شكل ١٧,٤ صمام تحكم هوائي

يتكون هذا الصمام من جزأين الأول عبارة عن محرك الصمام والثاني هو جسم الصمام. ويتكون محرك الصمام من حجاب مرث يتصل بساق الصمام . ويعارض حركة الصمام النابض .
الشكل ١٨,٤ يوضح تركيب العناصر المختلفة لهذا المنظوم للتحكم



شكل ١٨,٤ العناصر المختلفة لمنظوم تحكم هوائي

يعتبر التحكم التناسبي أكثر طرق التحكم الآلي شيوعاً وفيه يتناسب الخارج من جهاز التحكم طردياً مع إشارة الخطأ الداخلة لجهاز التحكم . الشكل ١٩,٤ المبسط أدناه يوضح مخطط القالب لجهاز التحكم التناسبي.



شكل ١٩,٤ مخطط قالب لتحكم تناسبي

وفي هذه الحالة يتم حساب الخارج من جهاز التحكم من المعادلة التالية :

$$m = Kc e$$

$Kc =$ كسب جهاز التحكم وهو يشير إلى التغير في المتغير المتلاعب به لكل وحدة تغير في إشارة الخطأ. وهو في الحقيقة عبارة عن تضخيم وهو يمكن ضبطه بواسطة المشغل باليد أو كرقم يغير في الحاسب الآلي.

في كثير من أجهزة التحكم الصناعية لا يتم التعبير عن ميكانيكية ضبط الكسب بدلالة الكسب ولكن بدلالة عرض التناسب (PB) proportional band. وهو يعرف بأنه عرض قيم الإدخال التي تناظر التغير الكامل في الخارج ويعبر عنه عادة كنسبة وتمثله المعادلة :

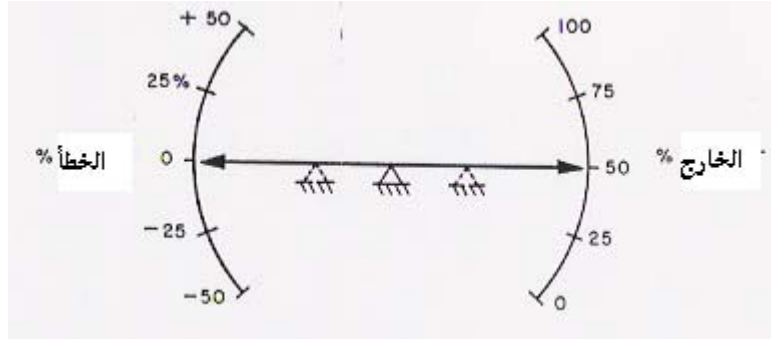
وبما أن لكل عناصر التحكم تدرج يشير إلى قيمة المتغير المتحكم فيه فيمكن التعبير عن عرض

$$PB = \frac{1}{K_c} 100$$

التناسب بمدى قيم المتغير فيه والتي تناظر مدى التشغيل الكلي لصمام التحكم الأخير. وهي تمثل تشغيل صمام التحكم الأخير من خلال شوط كامل.

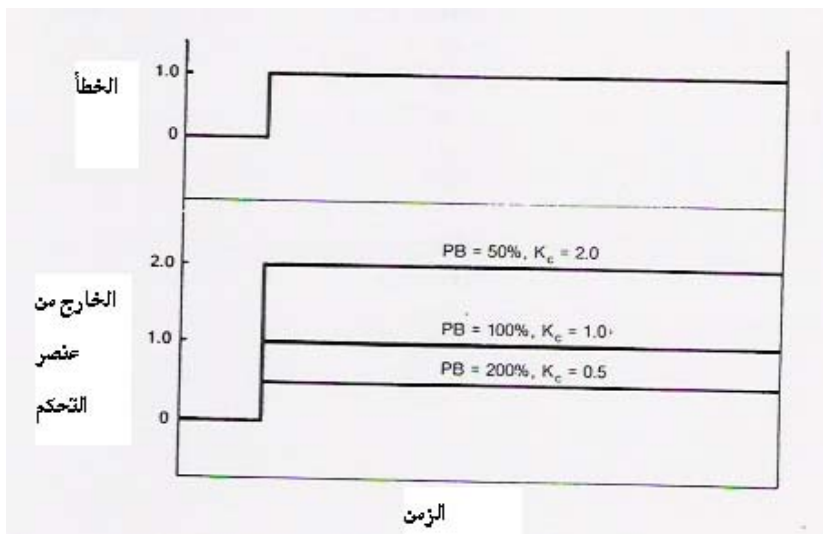
وفي الحقيقة فإن عرض التناسب الكبير (نسبة عالية من PB) تناظر حساسية أقل والعكس صحيح.

الشكل ٢٠,٤ يوضح التغير في استجابة عنصر تحكم تناسبي لثلاث قيم من عرض التناسب.

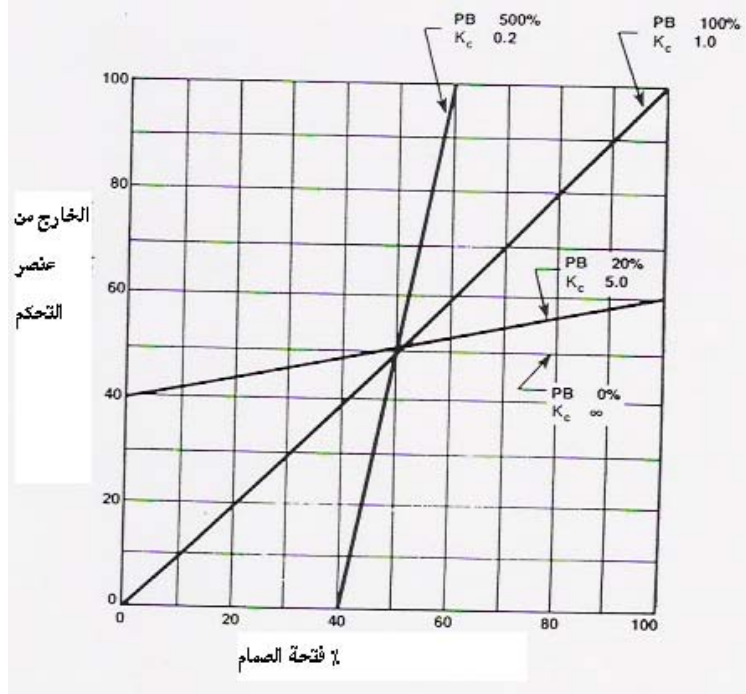


شكل ٢٠,٤ التحكم التناسبي وتغير قيم عرض التناسب

ففي حالة أن يكون محور الارتكاز في الوسط بين الداخل والخارج فإن تغير ١٠٠٪ في القيمة المقاسة يحتاج إحداث تغير ١٠٠٪ في الخارج من عنصر التحكم . وعنصر التحكم الذي يتم ضبطه بهذه الطريقة يكون عرض التناسب له ١٠٠٪ . عندما يتم تحريك محور الارتكاز إلى الموضع على اليمين فإن القيمة المقاسة يجب أن تتغير ٢٠٠٪ للحصول على تغير في الخارج من ١٠٠٪ وهذا يسمى عرض تناسب ٢٠٠٪ . وأخيراً إذا تم تحريك محور الارتكاز إلى الموضع على اليسار وإذا تحركت القيمة المقاسة عبر ٥٠٪ من تدريج القياس فإن الخارج يتغير عبر ١٠٠٪ من تدريج القياس ويسمى هذا عرض تناسب ٥٠٪ . ومن هذا نستنتج أنه كلما قل عرض التناسب كلما قل التغير في القيمة المقاسة لإحداث تحرك كامل للصمام . وبكلمات أخرى كلما صغر عرض التناسب كلما زاد التغير في الخارج لنفس التغير في القيمة المقاسة . هذه العلاقة توضحها الأشكال ٢١,٤ و ٢٢,٤ .

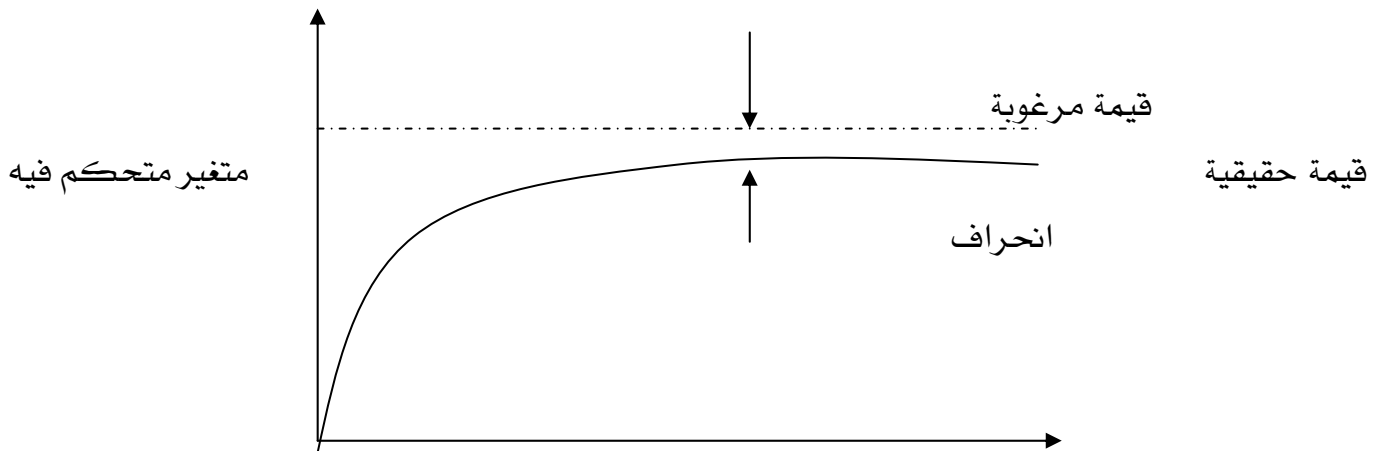


شكل ٢١,٤ تأثير التحكم التناسبي على خارج جهاز التحكم



شكل ٢٢,٤ تأثير عرض التناسب على فتحة الصمام

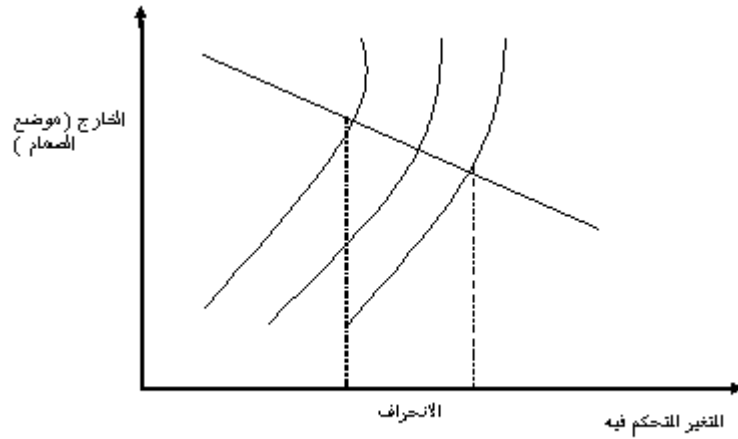
يعتبر تحكم التناسب مبسطاً جداً وأسهل طرق التحكم المستمرة من ناحية الضبط (tuning) لأن هناك متغيراً واحداً يحتاج للضبط. وهو يوفر أيضاً ثباتاً جيداً واستجابة سريعة جداً. ومن عيوب هذا النوع من التحكم أنه في حالة الاتزان يعطي انحرافاً offset أي يكون هناك في حالة الاتزان فرق بين القيمة المرغوبة والقيمة الحقيقية للمتغير المتحكم فيه وهو ما يوضحه شكل ٢٣,٤ .



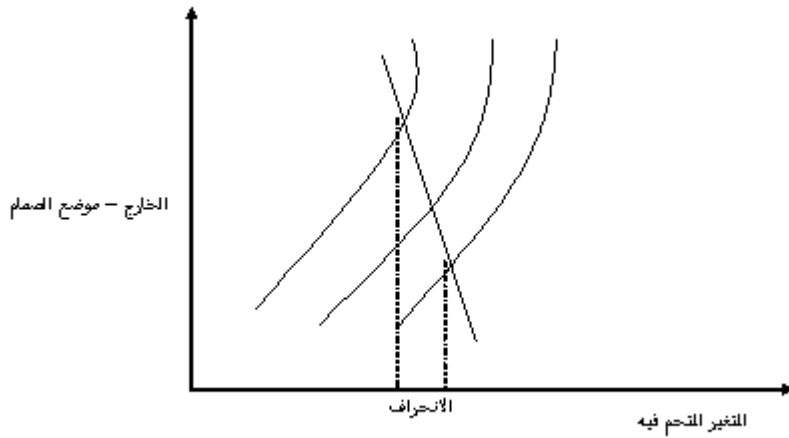
شكل ٢٣,٤ الإنحراف التناسبي لحلقة تغذية خلفية

يمكن تقليل الإنحراف بزيادة الكسب. الشكل ٢٤,٤ يوضح تحكم تناسبي باستخدام كسب منخفض. والشكل ٢٥,٤ يمثل تحكم تناسبي باستخدام كسب أعلى ويلاحظ انخفاض قيمة الإنحراف

كلما زاد الكسب ولكن يجب أن تصل قيمة الكسب إلى ما لا نهاية (خط تحكم رأسي) إذا أردنا أن يكون الإنحراف صفراً . وهذا يستحيل عملياً .



شكل ٢٤.٤ تحكم تناسبي وكسب منخفض



شكل ٢٥.٤ تحكم تناسبي وكسب مرتفع

٣.٣.٤ التحكم التكاملي reset (integral) control action

يعتبر التحكم التكاملي تكاملاً لإشارة الخطأ e . وهذا يعني أنه في حالة التحكم التكاملي تتغير قيمة المتغير المتلاعب به m بمعدل يتناسب مع الخطأ e . وهذا يعني أنه إذا تضاعف الخطأ عبر قيمة ما فإن عنصر التحكم النهائي يتحرك بضعف السرعة. وعندما يكون المتغير المتحكم فيه عند القيمة المرغوبة (الخطأ يكون صفراً) فإن عنصر التحكم النهائي يبقى ثابتاً. وهذا يعني أنه في حالة الاتزان

وعندما يكون التحكم تكاملياً لا يكون هناك انحراف offset أي أن الخطأ في حالة الاتزان يجب أن يكون صفراً.

يعرّف تحكم التكامل بالمعادلة التالية :

$$P_I = \frac{k_C}{\tau_I} \int_0^T e dt$$

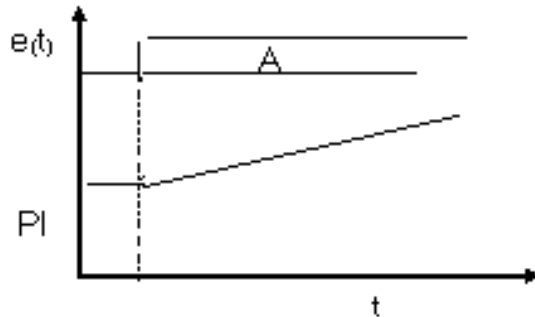
تحكم التكامل في حالة تغير الخطوة للخطأ :

$$e(t) = A$$

$$P_I = \frac{K_c}{\tau_i} \int_0^t A dt$$

$$P_I = \frac{K_c A}{\tau_i} t$$

انظر الشكل ٢٦,٤ أدناه.



شكل 26.4 الخارج من تحكم التكامل في حالة خطأ نوع تغير الخطوة

تحكم التكامل في حالة تغير الانحدار ramp :

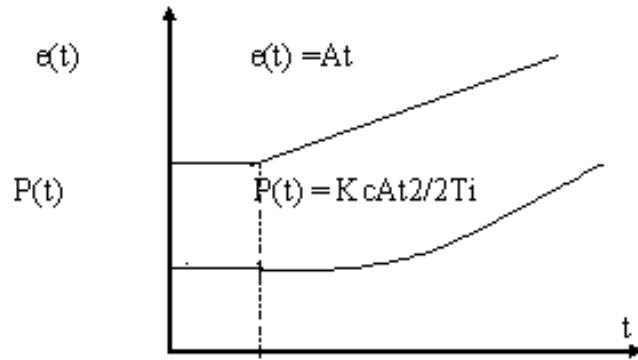
في هذه الحالة :

$$e(t) = At$$

$$P_I = \frac{K_c}{\tau_i} \int_0^t Atdt$$

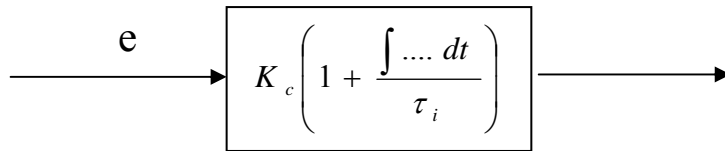
$$P_I = \frac{K_c A}{2\tau_i} t^2$$

انظر الشكل ٢٧,٤ أدناه.



شكل 27.4. تحكم تكاملي لخطا نو الاتسار.

من النادر استخدام تحكم التكامل لوحده وعادة يتم إشراك التحكم التكاملي مع التحكم التناسبي ويسمى تحكم PI. يفضل هذا الاشتراك بحيث يستفاد من مزايا النوعين. ويمثل هذا الاشتراك في الشكل ٢٨,٤ التالي :



شكل ٢٨,٤ تحكم تناسبي مع تكاملي

يتم اشتراك النوعين بالإضافة للحصول على PI كما يلي :

$$P_p = K_c e$$

$$P_I = \frac{K_c}{\tau_i} \int_0^t e dt$$

$$P = P_p + P_I = K_c e + \frac{K_c}{\tau_i} \int_0^t e dt$$

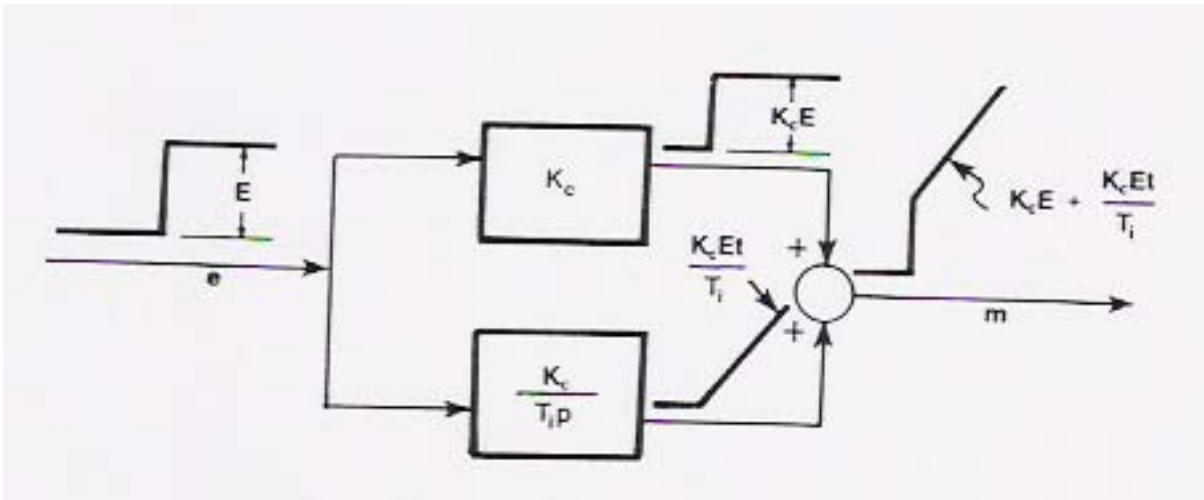
حيث :

Kc = الكسب التناسبي proportional gain

integral time = الزمن التكاملي T_i

e = إشارة الخطأ

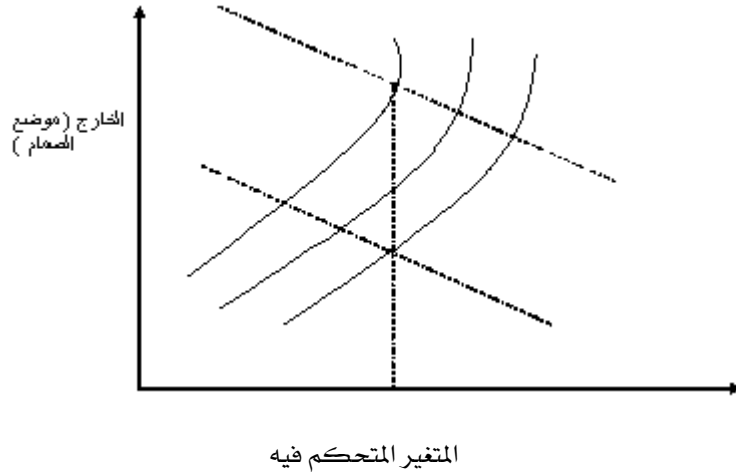
يمكن إعطاء تفاصيل أكثر للمخطط أعلاه الذي يمثل تحكم PI كما موضح في شكل ٢٩,٤ وهو يفصل وظائف تحكم PI.



شكل ٢٩,٤ تحكم تناسبي وتكاملي لتغيير خطوة في الخطأ

وفي هذه الحالة نجد أنه مقسم إلى جزأين . يمثل الجزء العلوي تحكم تناسبي ويمثل السفلي تحكم تكاملي . هناك إدخال خطوة لعنصر التحكم ولكل نوع من نوعي التحكم خارج له خصائصه . الخارج الكلي من عنصر التحكم عبارة عن جمع الخارج من النوعين وهو أيضاً موضح في شكل ٢٩,٤ . ميزة إشراك تحكم التكامل مع تحكم التناسب هو أن تحكم التكامل يزيل الانحراف offset . وهذا يمكن توضيحه فيما يلي :

يمكن إزالة الانحراف باستخدام إعادة الضبط اليدوي manual reset كما هو موضح في الشكل ٣٠,٤



شكل ٣٠,٤ إزالة الانحراف بإعادة الضبط اليدوي

ويمكن استخدام إعادة الضبط آلياً automatic reset بدلاً من التحكم اليدوي لإزالة الانحراف وهو ما يعرف بالتحكم التكاملي ولهذا يسمى التحكم التكاملي بـ reset control . ولكن هناك عادة انخفاض في الثبات stability نتيجة وجود تحكم التكامل . هناك استثناء لهذه القاعدة وهو في حالة تحكم تدفق السوائل . عادة ما تكون حلقات التحكم في تدفق السوائل سريعة جداً وتميل لأن تكون مزعجة جداً . ونتيجة لذلك يضاف تحكم التكامل لإعطاء تأثير damping ومرشح filtering للحلقة.

ويكون ضبط عنصر التحكم tuning بواسطة PI أكثر صعوبة من ضبط عنصر تحكم التناسب لأنه يوجد عنصر ضبط وكل منهما يعتمد على الآخر. وهذان العنصران هما الحساسية أو الكسب Kc وزمن التكامل Ti . يؤثر Kc على كل من التحكم التناسبي والتكامل . عندما يتم إبعاد التحكم التكامل وذلك بضبط Ti لتكون ما لا نهاية فإن تحكم PI يصبح تحكماً P فقط .

استجابة تحكم PI :

بالنسبة لتغير خطوة في الخطأ $e(t) = A$

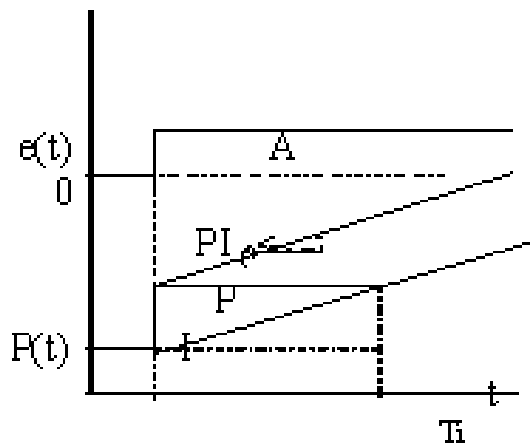
فإن :

$$p(t) = K_c A + \frac{K_c}{\tau_i} \int_0^t A dt$$

$$P(t) = K_c A + \frac{K_c A}{\tau_i} t$$

من الشكل ٣١,٤ يلاحظ أنه إذا كان هناك خطأ ثابت $e = A$ منذ زمن صفر فإن تحكم التناسب يعطي استجابة خطوة فورية تعادل $Kc A$ بينما يبدأ تحكم التكامل في تكامل الخطأ بالنسبة للزمن وبذلك يجعل الخارج يتزايد بمعدل ثابت يعادل $A Kct/Ti$.

يلاحظ من الشكل أن معادلة خط تحكم التكامل $P = A Kc t/Ti$ ولهذا يحتاج تحكم التكامل لزمن $t = Ti$ لإعطاء خارج يعادل الاستجابة الأولية لتحكم التناسب أي $P = A Kc$.



شكل ٣١.٤ تحكم تناسبي مع تكاملي

ولهذا يمكن تعريف زمن التكامل Ti بأنه الزمن اللازم لكي يولد تحكم التكامل تغيراً في الخارج يعادل ذلك الحاصل من تحكم التناسب عندما يكون الإنحراف ثابتاً.

٤,٣,٤ التحكم التفاضلي rate control action :

النوع الثالث من أنواع التحكم الآلي هو التحكم التفاضلي . فبينما يستجيب التحكم التناسبي لحجم الخطأ ويستجيب التحكم التكاملي لحجم وفترة الخطأ فإن التحكم التفاضلي يستجيب لسرعة تغير الخطأ.

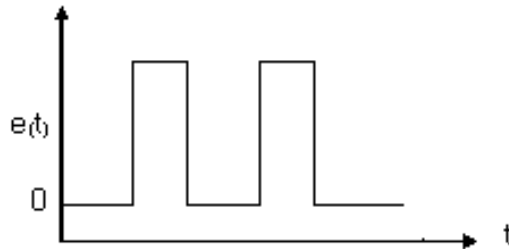
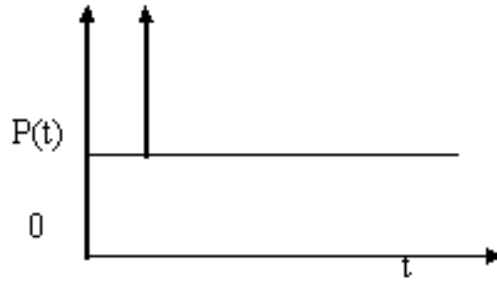
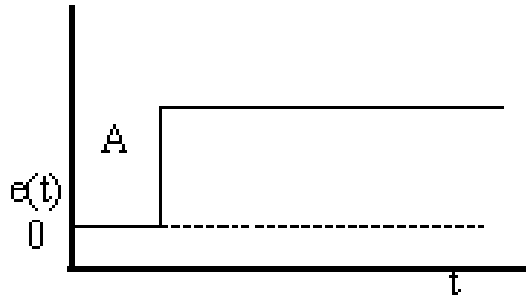
أي من الممكن الحصول على تحكم يعتمد أساساً على معدل التغير في إشارة الخطأ e . وتمثله هذه المعادلة :

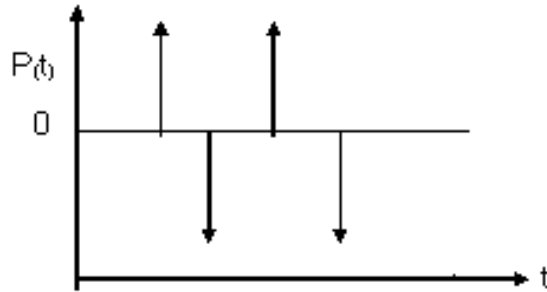
$$P_D = K_c \tau_d \frac{de}{dt}$$

استجابة تحكم التفاضل لتغير الخطوة في الانحراف:

$$e(t) = A$$

وتمثله الأشكال ٣٢,٤ التالية :



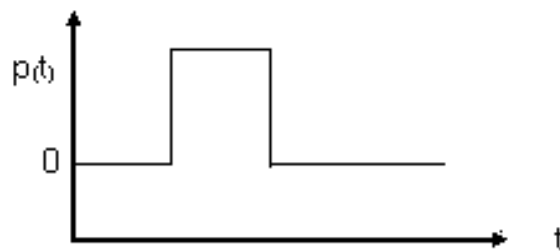
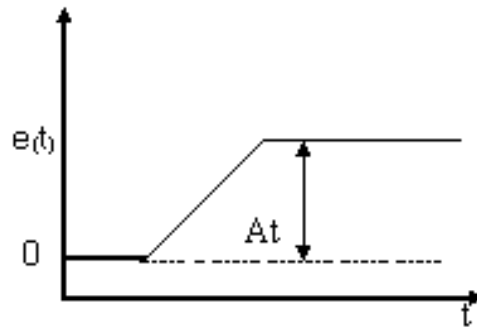


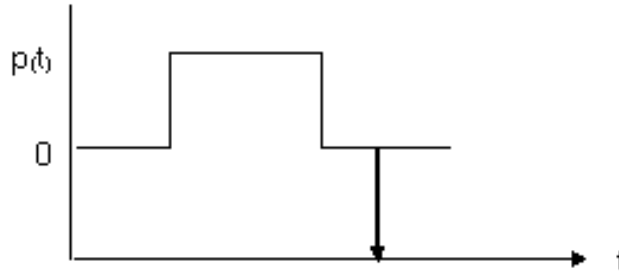
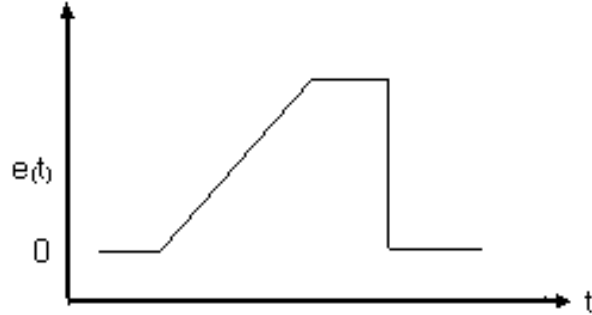
شكل ٣٢,٤ استجابة تحكم التفاضل مع تغير الخط نوع الخطوة

استجابة تحكم التفاضل لتغير الانحدار ramp :

في هذه الحالة يكون $e(t) = At$

وتمثله الأشكال ٣٣,٤ التالية :





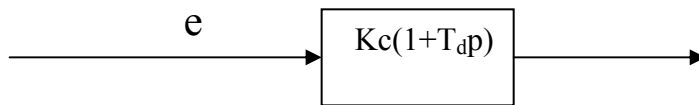
شكل ٣٣,٤ استجابة تحكم التفاضل مع الخطأ نوع الانحدار

يلاحظ من هذه الأشكال ما يلي :

١- عندما يكون هناك تغير حاد في الإدخال (مثل تغير الخطوة في الإنحراف) يكون الخارج عالياً جداً ، أي تصبح $P(t)$ ما لا نهاية ولهذا يجب تفادي تحكم التفاضل عندما تكون هناك تغيرات حادة في الإدخال.

٢- بينما نجد أن تحكم التفاضل ممكن نظرياً إلا أنه غير عملي وذلك لأنه عندما يكون الخطأ كبيراً ولا يكون متغيراً فإن الخارج من عنصر التحكم يكون صفراً . ولهذا عادة يشترك تحكم التفاضل مع تحكم التناسب ويمثله PD .

الشكل ٣٤,٤ أدناه يمثل عنصر تحكم PD .

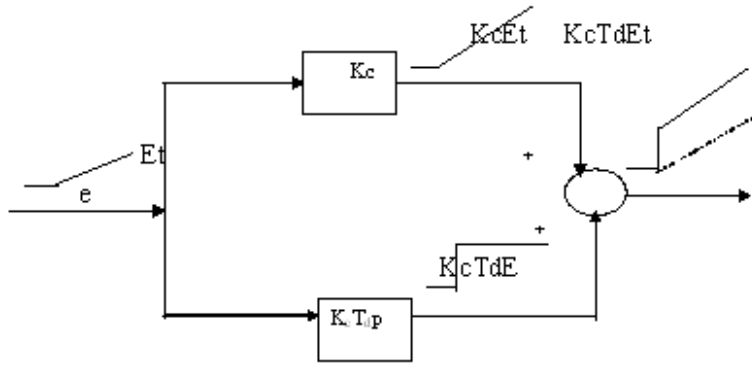


شكل ٣٤,٤ تحكم تناسبي مع تفاضلي

حيث :

$Td =$ زمن التفاضل.

بإضافة تحكم التفاضل إلى عنصر التحكم يضاف تقدم $lead$ إلى عنصر التحكم الكلي لتعويض التخلف الموجود حول الحلقة. ويوجد في أي عملية تحكم تخلف حول الحلقة. ولهذا توجد ميزة نظرية لهذا النوع من التحكم. ولكن هذا النوع من التحكم صعب التطبيق والضبط وينحصر استخدامه في الحالات التي يكون فيها تخلف كبير مثلاً في حالات التحكم في درجة الحرارة. الشكل ٣٥,٤ يعطي تفاصيل للتحكم التفاضلي مع التحكم التناسبي PD.

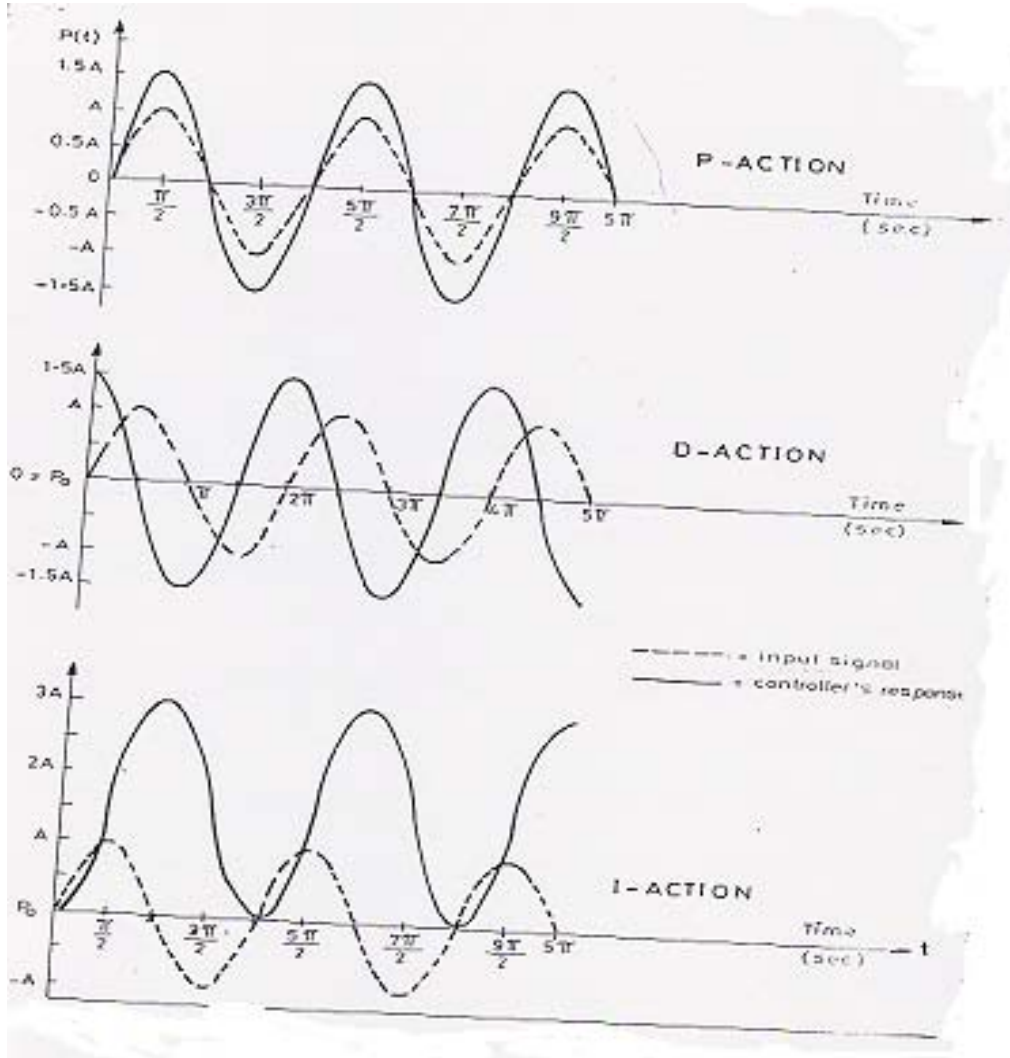


شكل ٣٥,٤ تفاصيل للتحكم التناسبي مع التفاضلي

في هذه الحالة يلاحظ أن الإدخال إلى عنصر التحكم هو تغير الإنحراف $ramp$ في إشارة الخطأ. ويفحص الخارج المشترك من طريقتي التحكم يمكن ملاحظة أن زمن التفاضل Td والذي يتم ضبطه في عنصر التحكم هو في الحقيقة عبارة عن ضبط كمية التقدم التي أضيفت إلى عنصر التحكم. إن إضافة تحكم التفاضل إلى عنصر التحكم يجعل الحلقة أكثر ثباتاً إذا تم ضبطها بصورة جيدة. وبما أن الحلقة ثابتة يمكن أن يكون كسب التناسب عالياً وبذلك يمكن أن يقلل الإنحراف $offset$ مقارنة مع تحكم التناسب لوحدة (ولكنه لا يزيله بالكامل).

استجابة التحكم التناسبي والتفاضلي والتكاملي لإدخال موجة جيبيية :

الأشكال ٣٦,٤ التالية توضح استجابة التحكم التناسبي والتفاضلي والتكاملي لإدخال موجة جيبيية :

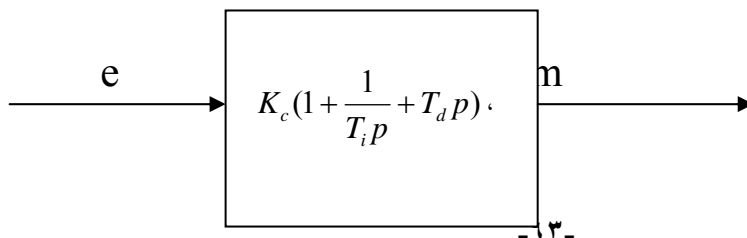


شكل ٣٦,٤ استجابة تحكم PID لإدخال موجة جيبية

٥,٣,٤ التحكم التناسبي + التكاملي + التفاضلي PID :

وهو ما يعرف بالتحكم الثلاثي وهو أكثر وسائل التحكم المستمرة تقدماً.

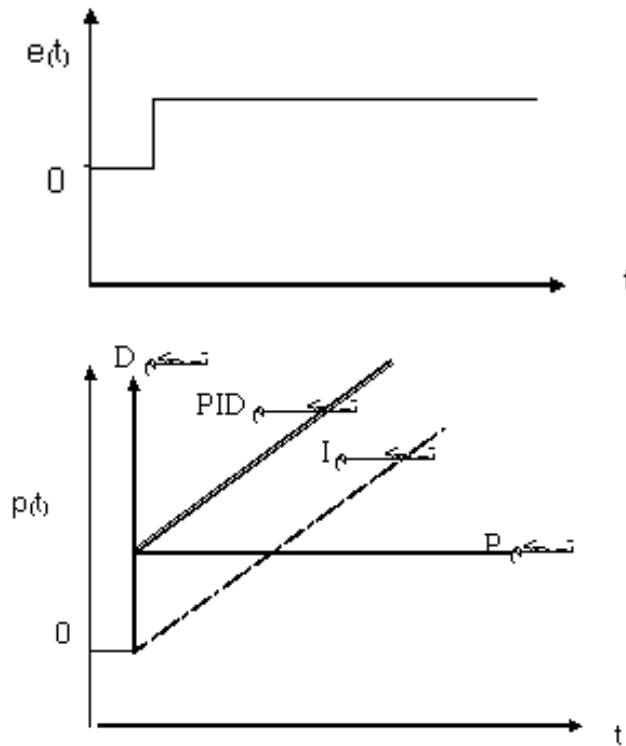
الشكل ٣٧,٤ يوضح مخطط القالب النموذجي لعنصر التحكم بواسطة PID .



شكل ٣٧,٤ مخطط قالب لتحكم تناسبي مع تكاملي مع تفاضلي

هذا النوع من التحكم يعطي استجابة سريعة ولا يوجد به انحراف offset ولكنه صعب الضبط tune لأنه توجد فيه ثلاث مفاتيح للضبط . ونتيجة لذلك يستخدم في عدد قليل من التطبيقات . وهو يعطي تحكماً ناعماً جداً عندما يتم الضبط جيداً.

الشكل ٣٨,٤ التالي يوضح استجابة عنصر تحكم PID لتغير خطوة في الخطأ (الإدخال)



شكل ٣٨,٤ استجابة عنصر تحكم PID لتغير خطوة في الخطأ

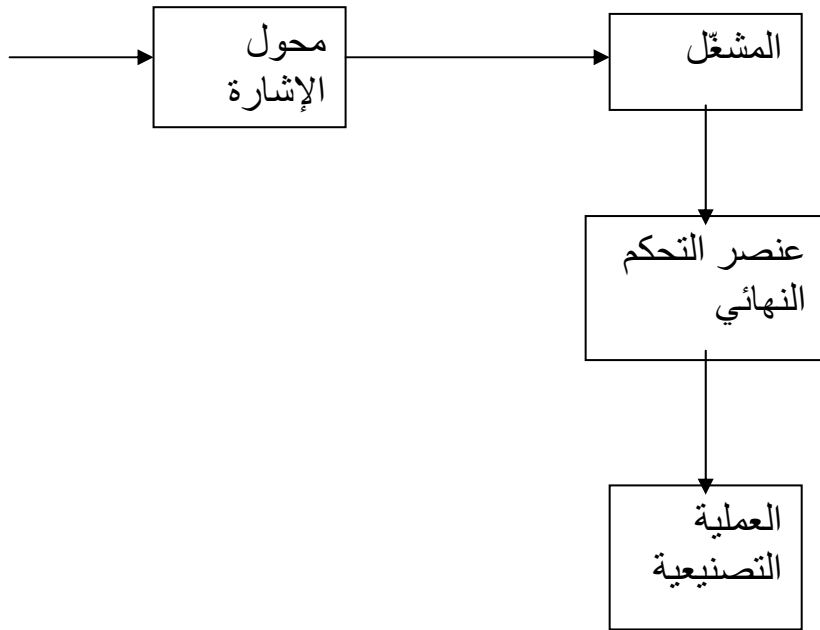
١. عنصر التحكم النهائي Final control element

يعتبر عنصر التحكم النهائي هو العنصر الذي يتعامل مباشرة مع العملية التصنيعية إذا أنه يتلقى إشارة من عنصر التحكم يستطيع أن يتحكم وسيطر على معدل انسياب الطاقة إلى العملية التصنيعية وبالتالي يستطيع أن يسيطر على متغيرات العملية التصنيعية المراد التحكم فيها.

تمر عملية التحكم النهائي بالمراحل التالية كما هو موضح في الشكل ٣٩,٤ :

١. تحويل الإشارة وهذه وظيفة محوّل الإشارة.

٢. تنفيذ الأوامر الصادرة من عنصر التحكم وذلك بترجمة إشارة عنصر التحكم إلى فعل يناسب العملية التصنيعية وهذه وظيفة المشغل
٣. التأثير المباشر على العملية التصنيعية وهذه وظيفة عنصر التحكم النهائي والذي يكون في كثير من التطبيقات صمام تحكم.



شكل ٣٩,٤ مراحل عملية التحكم النهائي

١. محولات الإشارة Transducers :

الغرض من محولات الإشارة هو تحويل إشارات التحكم الصادرة من عنصر التحكم إلى إشارات تناسب المشغل. ويمكن أن تكون الإشارة الصادرة عن عنصر التحكم على هيئة إشارة كهربائية أو إشارة هوائية أو إشارة رقمية

٢. المشغلات Actuators :

تنقسم المشغلات المستخدمة في تقنية التحكم الآلي إلى ثلاثة أنواع رئيسية هي : المشغلات الهوائية والمشغلات الكهربائية والمشغلات الهيدروليكية.

أ. المشغلات الهوائية Pneumatic actuators

تقوم المشغلات الهوائية بتحويل إشارة التحكم إلى قوة عزم كبيرة أو عزم دوران ليناسب عنصر التحكم النهائي ويقوم مبدأ عملها على المعادلة الآتية :

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

حيث :

(P1-P2) هو فرق الضغط مقاس بالباسكال

A هي مساحة الغشاء بالمتر المربع.

F هي القوة بالنيوتن.

وكمثال على ذلك إذا أردنا مضاعفة القوة اللازمة لتحريك الصمام مع ثبات الضغط يكفي مضاعفة مساحة الغشاء.

ب. المشغلات الكهربائية Electric actuators

تستخدم المشغلات الكهربائية بكثرة في نظم التحكم الآلي مثل التحكم في وضع حمل معين وتنقسم إلى نوعين هما : المشغلات الكهربائية ذات التيار المستمر والمشغلات الكهربائية ذات التيار المتردد.

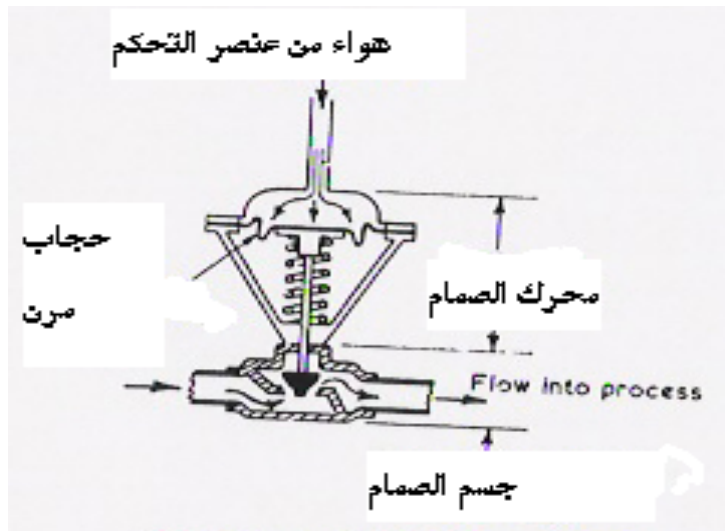
ج. المشغلات الهيدروليكية Hydraulic actuators:

تعتبر المشغلات الهيدروليكية عناصر تكبير لحركة ميكانيكية انتقالية صغيرة إلى حركة ميكانيكية أكبر بطاقة ذات مستوى عال، وذلك باستخدام زيت غير قابل للانضغاط من خلال تدفق الزيت. وهذه المشغلات قد تكون خطة أو دورانية.

٣. عنصر التحكم النهائي

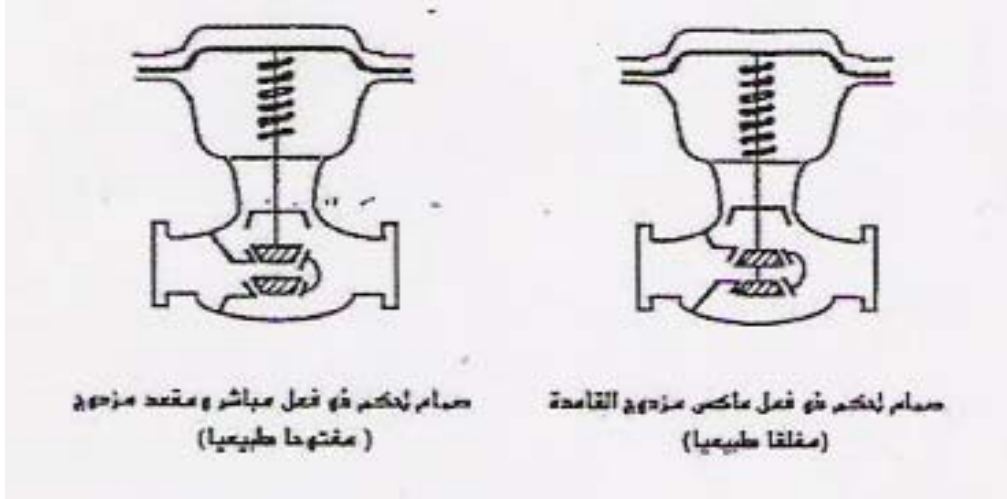
يقوم عنصر التحكم النهائي بالتأثير المباشر على المنظوم المراد التحكم فيه ، وفي كثير من الحالات يكون المشغل وعنصر التحكم النهائي مدمجين في تركيبة واحدة ، وخاصة تلك التي تعمل بالهواء

المضغوط. والشكل ٤٠,٤ يبين صمام تحكم نهائي هوائي. وكما هو واضح من الرسم فإن صمام التحكم النهائي يتكوّن من جزأين رئيسيين هما : المشغل وجسم الصمام valve body. يقوم المشغل بتحويل إشارة ضغط الهواء إلى حركة عمودية ويتحكم جسم المشغل في فتحة الصمام ومن ثم في مقدار معدل تدفق السائل أو الغاز عبر الصمام.



شكل ٤٠,٤ صمام التحكم الهوائي

وما هو مبين في الشكل ٤١,٤ تنقسم صمامات التحكم الهوائية إلى نوعين رئيسيين هما :
 أ. صمامات ذات فعل مباشر Direct action valves وهي التي تقفل مع زيادة ضغط الهواء
 ب. صمامات ذات فعل عاكس reverse action valves وهي التي تفتح مع زيادة الضغط.



شكل ٤١,٤ نوعي صمامات التحكم الهوائي

٤.٤ طريقة نموذجية لضبط A typical tuning method :

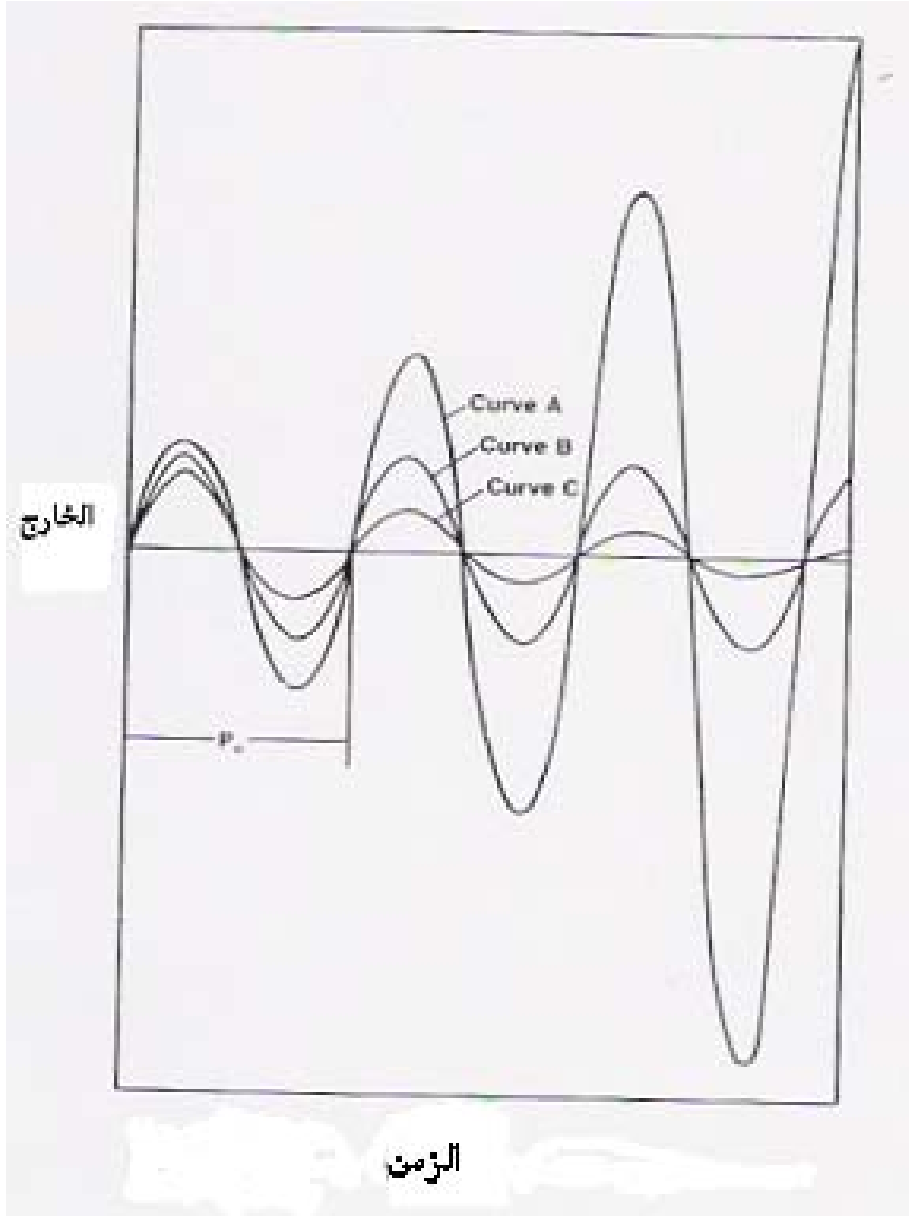
يمكن أن تكون التقنيات المستخدمة لضبط عناصر التحكم من نوع الحلقة المفتوحة أو الحلقة المغلقة. وكانت أول الطرق المستخدمة لضبط عناصر تحكم التغذية الخلفية هي الطريقة النهائية ultimate method . واستخدم هذا التعبير " النهائي " لأن استخدام هذه الطريقة يتطلب تحديد الكسب النهائي ultimate gain والفترة النهائية ultimate period للحلقة . والكسب النهائي هو القيمة القصوى المسموح بها للكسب (وهو يكون في عنصر التحكم بواسطة التحكم التناسبي فقط) والذي يكون فيه نظام الحلقة المغلقة ثابتاً.

وبالنسبة لأي نظام تحكم تغذية خلفية إذا كانت الحلقة مغلقة (أي أن عنصر التحكم آلياً) يمكن زيادة كسب عنصر التحكم وأثناء ذلك فإن الخارج من الحلقة يميل إلى التردد oscillation أكثر فأكثر . وإذا استمرت زيادة الكسب أكثر يلاحظ تردد مستمر في المتغير المتحكم فيه . هذا هو أقصى كسب يمكن أن يعمل عليه النظام قبل أن يصبح غير ثابت. وهو ما يعرف بالكسب النهائي. وفترة هذه الترددات هي الفترة النهائية وإذا زاد الكسب أكثر يصبح النظام غير ثابت . الشكل ٤٢,٤ يوضح ذلك .

اتباع الخطوات التالية لتحديد الكسب النهائي والفترة النهائية :

١. أبعد كل من التحكم التكاملي والتحكم التفاضلي من عنصر التحكم واترك التحكم التناسبي فقط . أي أضبط T_i مساوية لما لا نهاية و T_d مساوية صفراً (أو أقرب ما يمكن لهذه القيم في عنصر التحكم) .

٢. أجعل عنصر التحكم آلياً . أي أجعل الحلقة مغلقة.



شكل ٤٢,٤ الاستجابات التي توضح الكسب النهائي والفترة النهائية

التحكم الآلي في التصنيع الغذائي

تحكم التغذية الأمامية

تحكم التغذية الأمامية

٥

اسم الوحدة: تحكم التغذية الأمامية والتحكم المشترك.

الجدارة: التعرف على طرق التحكم الآلي واليدوي بالتغذية الأمامية.

الأهداف:

- (١) معرفة وفهم عناصر التحكم اليدوي بالتغذية الأمامية
- (٢) معرفة وشرح التحكم الآلي بالتغذية الأمامية.
- (٣) معرفة كيفية تعيين حلقة التحكم الآلي بالتغذية الأمامية.
- (٤) معرفة آلية التحكم الآلي المشترك.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪.

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: ٤ ساعات.

الوسائل المساعدة: قاعه دراسية مهيأة لتوزيع المتدربين على شكل مجموعات لتحليل الرسومات و المنحنيات المختلفة .

متطلبات الجدارة: أن يكون لدى المتدرب القدرة على استيعاب الرسومات و المنحنيات البيانية الموجودة في هذه الوحدة وكذلك أن يتعرف على كيفية تعيين حلقة التحكم الآلي بالتغذية الأمامية.

تحكم التغذية الأمامية :

١,٥ قاعدة تعويض التغير في الحمل Load-change compensation principle

حسب هذه القاعدة يتم ضبط المتغير المراد التحكم فيه كلما تغير الحمل وذلك للمحافظة على القيمة المطلوبة للمتغير المراد التحكم فيه.

تعطي قاعدة تعويض التغير في الحمل حلقة مفتوحة للتحكم في العملية التصنيعية والتي لا يتم فيها قياس المتغير الخارج أو تضمينه في نظام التحكم. ويمكن تطبيق هذا النظام للمتغيرات التي تحدث في مصدر واحد للانحراف ويجب تطبيق هذا النظام بصورة منفصلة على كل متغير داخل العملية التصنيعية ويمكن أن يؤثر فيها.

٢,٥ مزايا وعيوب تحكم التغذية الأمامية :

أ. مزايا تحكم التغذية الأمامية :

يقوم نظام تحكم التغذية الأمامية بإجراء التصحيح الفوري عندما يحدث تغير في المتغير الداخل للعملية التصنيعية مما ينتج عنه تحكم سريع.

ب. عيوب تحكم التغذية الأمامية :

١. تحكم التغذية الأمامية تحكم حلقة مفتوحة حيث لا يتم قياس المتغير الخارج من العملية التصنيعية أو تضمينه في نظام التحكم.

٢. يستجيب نظام تحكم التغذية الأمامية مع المتغير الداخل للعملية التصنيعية فقط (متغير الحمل) والذي يتم قياسه. ولهذا فهو يتعامل مع مصدر واحد فقط للانحراف أو يستخدم نظام معقد.

٣. هناك حاجة لعلاقات حسابية دقيقة . تشير مثل هذه العلاقات الحاسوبية إلى تأثير الانحرافات في المتغير المراد التحكم فيه والعملية التصحيحية المطلوبة في كل حالة.

ملاحظة :

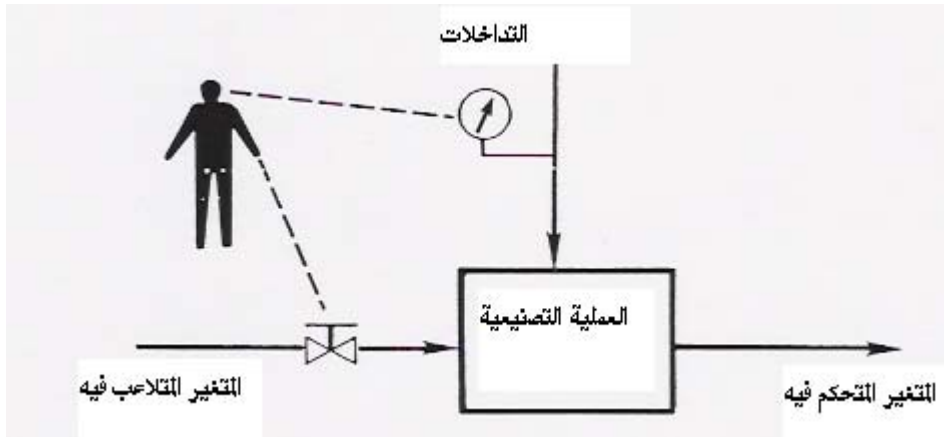
عملياً يندر استخدام قاعدة تحكم التغذية الأمامية أو التغذية الخلفية بصورة منفردة. ولكن يتم استخدام النظامين معاً بصورة متزايدة.

الجدول ١,٥ يوضح مقارنة بين تحكم التغذية الأمامية وتحكم التغذية الخلفية

التغذية الأمامية	التغذية الخلفية	
<p>الحلقة المفتوحة</p> <p>تحكم التغذية الأمامية عبارة عن نظام حلقة مفتوحة حيث لا يتم قياس قيمة المتغير الخارج أو تضمينه في نظام التحكم .</p> <p>وهي تعتمد على قاعدة تعويض التغير في العبء</p> <p><u>الاستحابة: نوع الانحراف - المصدر</u></p> <p>يتعامل تحكم التغذية الأمامية مع مصدر أو سبب الانحراف.</p> <p>يحتاج إلى عنصر تحكم منفصل لكل مصدر للانحراف . وعندما يكون هناك عدد كبير من مصادر الانحراف نحتاج إلى نظام معقد.</p>	<p>الحلقة المغلقة</p> <p>تحكم التغذية الخلفية حلقة مغلقة حيث يتم إرجاع القيمة المقاسة للمتغير المراد التحكم فيه إلى عنصر التحكم أو المقارنة .</p> <p>وهي تعتمد على قاعدة التغذية الخلفية</p> <p><u>الاستحابة: نوع الانحراف - التأثير</u></p> <p>في حالة تحكم التغذية الخلفية يتم بالكامل تجاهل مصدر أو سبب الانحراف ويتم الأخذ في الاعتبار تأثيرها على المتغير المراد التحكم فيه فقط.</p> <p>يستخدم هذا التأثير (أي انحراف المتغير المراد التحكم فيه من القيمة المرغوبة) لتحديد التصحيح المطلوب</p>	<p>الملامح الأساسية</p>
<p>يعتبر تحكم التغذية الأمامية أسرع واستخدام الحاسب الآلي جعله أكثر أهمية</p>	<p>يعتبر تحكم التغذية الخلفية تقنية مبسطة نسبياً للتعامل مع مشكلة الانحرافات الخارجية وبصورة خاصة عندما يكون هناك عدد من مصادر الانحراف</p>	<p>المزايا</p>

٣.٥ تحكم التغذية الأمامية اليدوي :

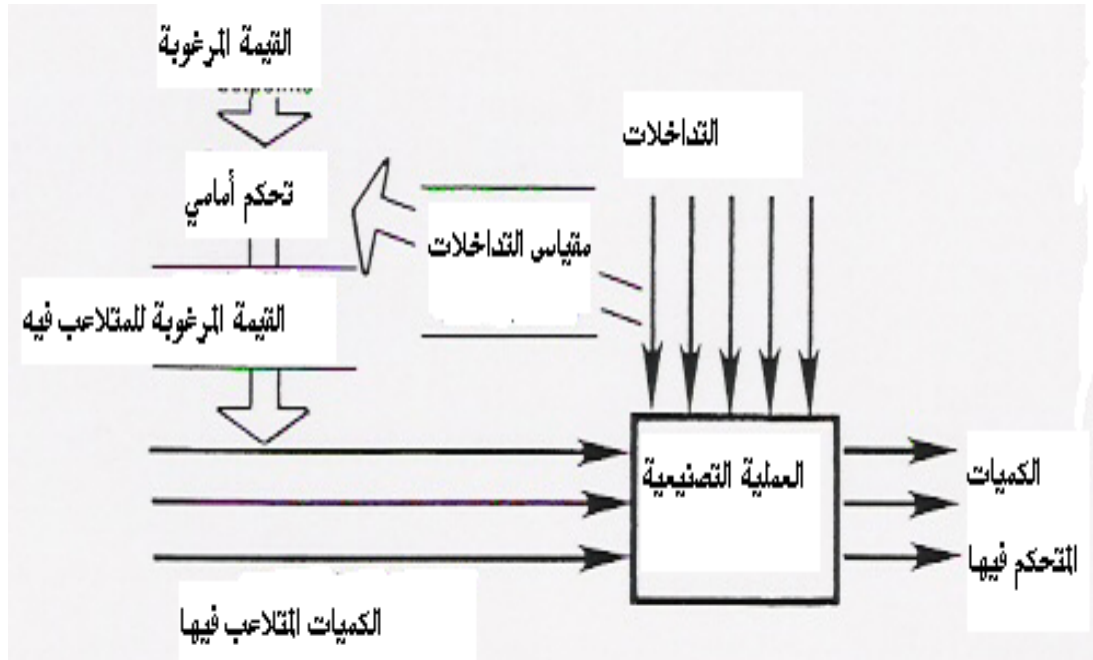
الشكل ١,٥ يوضح تطبيق لتحكم التغذية الأمامية اليدوي . وفي هذه الحالة عندما يدخل أي تداخل إلى العملية التصنيعية يلاحظ المشغل طبيعة التداخل ويقوم بضبط المتغير المتلاعب فيه بطريقة تمنع أي تغير نهائي في المتغير المتحكم فيه نتيجة هذا التداخل. التحسن باستخدام هذه الطريقة من التحكم واضحة . فبينما يعمل تحكم التغذية الخلفية على التخلص من الأخطاء إلا أن تحكم التغذية الأمامية يعمل على منع حدوث هذه الأخطاء في المقام الأول. ولهذا جاذبية هذا النوع من التحكم واضحة. ولكن يحتاج تحكم التغذية إلى مطالب عالية في المشغل . فهو يجب أن يعرف مقدماً التداخلات التي تدخل إلى العملية التصنيعية وأن تكون هناك وسيلة مناسبة لقياس هذه التداخلات . هذا بالإضافة إلى أن على المشغل معرفة متى وكيف يضبط المتغير المتلاعب فيه لتعويض آثار التداخلات بدقة. إذا كان المشغل يملك هذه القدرة فإن المتغير المتحكم فيه سوف لن يتغير عن القيمة المرغوبة . وإذا قام المشغل بأي خطأ أو لم يتوقع كل التداخلات التي تؤثر على العملية التصنيعية ، فإن المتغير المتحكم فيه سينحرف عن القيمة المرغوبة وسيكون هناك خطأ مستمر لا يتم تصحيحه.



شكل ١,٥ تحكم تغذية أمامية يدوي

٤,٥ تحكم التغذية الأمامية الآلي Automatic feedforward control :

الشكل ٢,٥ يوضح الإطار العام لتحكم التغذية الأمامية الآلي . تظهر التداخلات إلى العملية التصنيعية وهناك عناصر إحساس لقياس هذه التداخلات. وبناءً على هذه القيم المحسوسة أو المقاسة تقو عناصر تحكم التغذية الأمامية بحساب القيم المرغوبة للمتغيرات المتحكم فيها . يتم إدخال القيم المرغوبة للمتغيرات المطلوب التحكم فيها إلى عناصر تحكم التغذية الأمامية .



شكل ٢,٥ مفهوم تحكم التغذية الأمامية

من الواضح أن على عناصر تحكم التغذية الأمامية القيام بعمليات حسابية معقدة . يجب أن تعكس هذه العمليات الحسابية الوعي وفهم التأثيرات التي تسببها التداخلات على المتغيرات المتحكم فيها. وبهذا الفهم يمكن لعناصر تحكم التغذية الأمامية أن تكون قادرة على حساب الكميات المحددة المتلاعب فيها اللازمة لتعويض تأثير التداخلات . وهذه الحسابات تتطلب أيضاً فهماً لتأثيرات المتغيرات المتلاعب فيها على المتغيرات المتحكم فيها . إذا كانت هذه الحسابات متوفرة يمكن لعناصر تحكم التغذية الأمامية حساب التغير المطلوب في المتغير المتلاعب فيه لتعويض التغيرات في التداخلات .

ومن هذا يتضح أن تحكم التغذية الأمامية على الرغم من أنه جذاب إلا أنه يتطلب مطالب تقنية وهندسية عالية للمهندس والمشغل. ونتيجة لذلك يستخدم تحكم التغذية الأمامية فقط لحلقات التحكم الأكثر أهمية في المصنع.

يندر جداً استخدم تحكم التغذية الأمامية ولكن الحالة العامة هي استخدام اشتراك لتحكم التغذية الأمامية مع تحكم التغذية الخلفية .

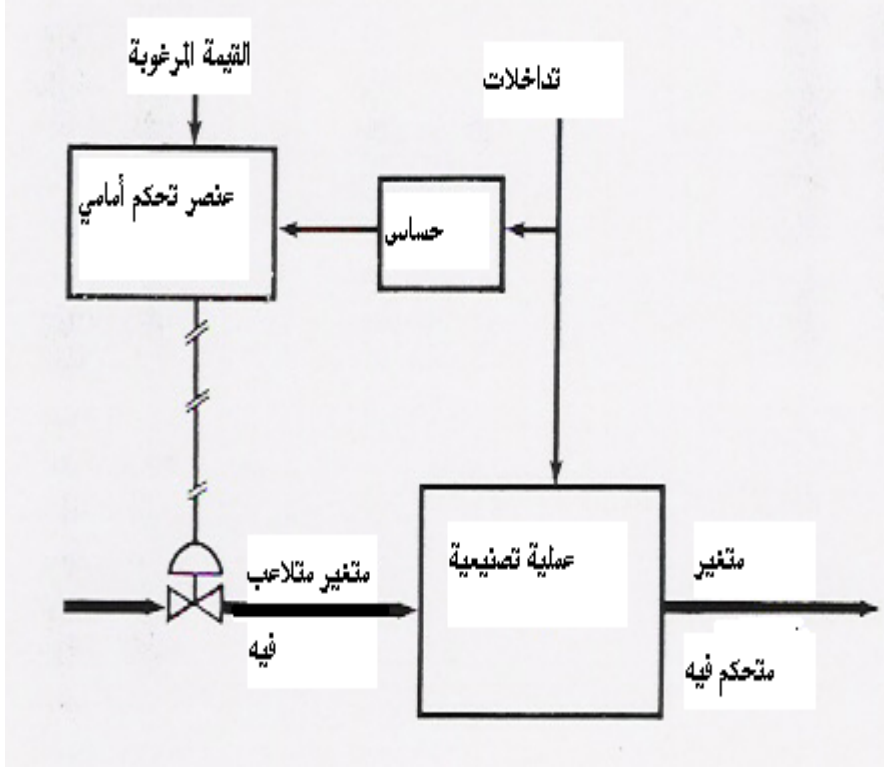
٥,٥ تحكم التغذية الأمامية Feedforward control :

هناك طرفان مهمان يجعلان من أن يكون تأثير تحكم التغذية الخلفية غير مرضٍ. وأحدها منها هو حدوث تداخلات كبيرة والثاني هو حدوث تخلفات كبيرة lags داخل العملية التصنيعية. ولكل منهما تأثيرات اقتصادية كبيرة على العملية التصنيعية. ويمكن استخدام تحكم التغذية الأمامية لمعالجة هذه العيوب الموجودة في تحكم التغذية الخلفية.

الشكل ٣,٥ يوضح حلقة تحكم تغذية أمامية لمتغير متحكم فيه مفرد في عملية تصنيعية تتعرض لتداخل مفرد . ويتم اختيار متغير متلاعب فيه وهذا الاختيار يخضع لنفس القواعد المستخدمة في تحكم التغذية الخلفية.

ويستخدم في حالة تحكم التغذية الأمامية عنصر إحساس لقياس كل التداخلات التي تدخل العملية التصنيعية . ويقوم عنصر الإحساس بإرسال هذه المعلومات إلى عنصر تحكم التغذية الأمامية و يقوم عنصر تحكم التغذية الأمامية بتحديد التغير المطلوب في المتغير المتلاعب فيه بحيث يتحد تأثير التداخل مع تأثير التغير في المتغير المتلاعب فيه ولن يكون هناك تغير في المتغير المتحكم فيه.

ومن الصعوبة الوصول إلى هذا التعويض بدقة مع أنه الهدف الذي صمم من أجله تحكم التغذية الأمامية . وكما هو الحال مع تحكم التغذية الخلفية من الضروري إرسال قيم مرغوبة للمتغير المتحكم فيه إلى عنصر التحكم.



شكل ٣,٥ حلقة تحكم التغذية الأمامية

هناك صعوبات عديدة في تحكم التغذية الأمامية منها:

١. يفترض تركيب تحكم التغذية الأمامية أن التداخلات معروفة مسبقاً.
٢. يفترض تحكم التغذية الأمامية لأن لكل تداخل عنصر إحساس مرتبط به
٣. يفترض تحكم التغذية الأمامية عدم وجود تداخلات معتبرة أخرى لا يتم الإحساس بها .
٤. توجد هناك مطالب عالية للمعلومات اللازمة في مناشط الحسابات التي يقوم بها عنصر التحكم .
فبينما في حالة تحكم التغذية الخلفية يمكن استخدام علاقات عامة مثل PID , PI , P إلا أنه يجب تصميم معادلة خاصة لكل عنصر تحكم ولكل عملية تحكم في حالة تحكم التغذية الأمامية. وهذا يشمل حساب التغير اللازم في المتغير المتلاعب فيه المناظر للتداخل المعين.
٥. هناك شئ آخر وهام يتضح من الشكل ٣,٥ وهو أنه لا توجد أي تغذية خلفية ، بمعنى إذا انحرف المتغير المتحكم فيه عن القيمة المرغوبة يكون نظام التحكم غير مدرك لهذا ولا يقوم بأي

إجراءات تصحيحية لإزالة هذا الانحراف . وهذا ما يجعل استخدام تحكم التغذية الأمامية غير عملي ونادر الاستخدام في التطبيقات العملية التصنيعية .

مثال لتحكم التغذية الأمامية :

الشكل ٤,٥ يوضح مبادل حراري مبسط . يتدفق في هذا المبادل الحراري سائل ويسخن بواسطة البخار الذي يتكثف بعد ذلك أن . درجة حرارة السائل الخارج من المبادل الحراري هي المتغير المتحكم فيه . والبخار الداخل إلى المبادل الحراري هو المتغير المتلاعب فيه وله حلقة تحكم التغذية الخلفية الخاصة به . ونحتاج لتحكم التغذية الأمامية لحساب القيمة المرغوبة لتدفق البخار المتلاعب فيه . والتداخلات الهامة في العملية التصنيعية تشمل درجة حرارة السائل الداخل ومعدل تدفق السائل خلال المبادل الحراري .

اتزان الطاقة حول المبادل الحراري في حالة الاتزان يعطي المعادلة التالية :

$$WC_p(T_0 - T_i) = F\Delta H$$

حيث : W = معدل تدفق السائل kg/h

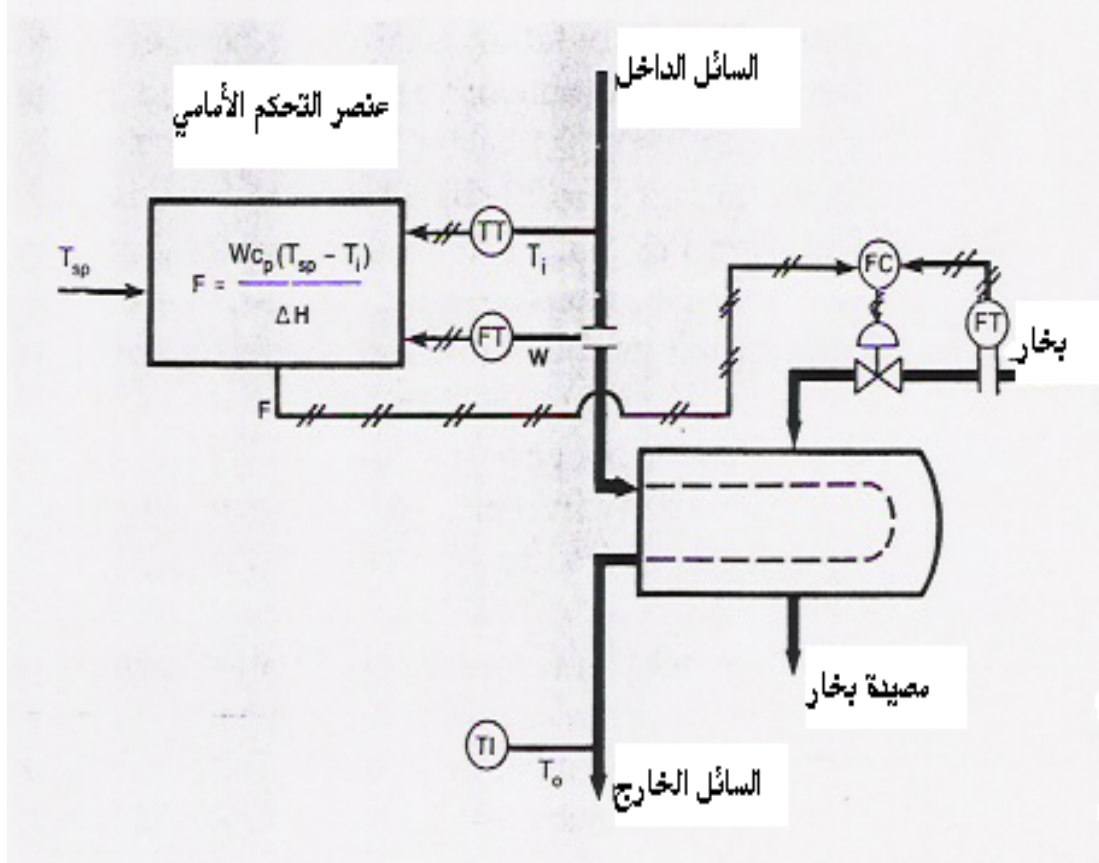
Cp = السعة الحرارية للسائل kJ/kg K

Ti = درجة حرارة السائل الداخل C

T0 = درجة حرارة السائل الخارج C

F = معدل تدفق البخار kg/h

H = الحرارة التي يحررها البخار kJ/kg



شكل ٤,٥ تحكم التغذية الأمامية للمبادل الحراري

من المعادلة أعلاه نحصل على المعادلة التالية :

$$F = \frac{WC_p(T_0 - T_i)}{\Delta H}$$

في هذه المعادلة يظهر المتغير المتحكم فيه T_0 . باستبدال T_0 بالقيمة المرغوب فيها T_{sp} نحصل على

معادلة تعطي معدل تدفق البخار اللازم للحصول على درجة الحرارة الخارجة المرغوبة :

$$F = \frac{WC_p(T_{sp} - T_i)}{\Delta H}$$

في هذه المعادلة تقاس W ودرجة حرارة السائل الداخل T_i وترسل إلى عنصر التحكم بالتغذية الأمامية .

يجب أن تتوفر قيم لكل من C_p و H ويتم إدخالها بواسطة المشغل. من هذه المعلومات وبالإضافة إلى

قيمة درجة حرارة السائل الخارج المرغوبة T_{sp} و يمكن حساب معدل تدفق البخار F ويمكن تطبيق

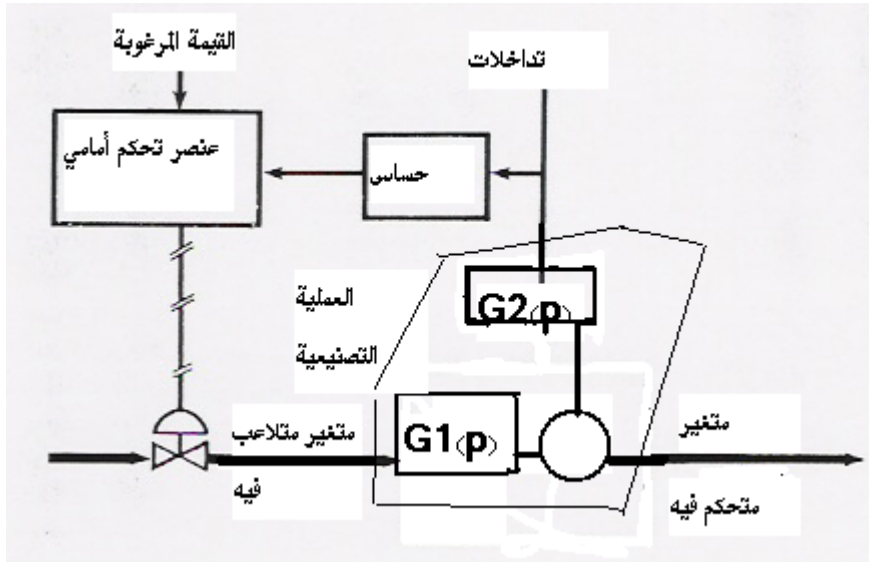
تحكم التغذية الأمامية كما هو موضح في شكل ٤,٥ .

يوضح هذا المثال أنه يجب تصميم معادلة تحكم تغذية أمامية خاصة بحلقة التحكم المعينة. بينما نلاحظ في حالة تحكم التغذية الخلفية أنه يمكن استخدام معادلات قياسية وهي عادة اشتراك لنظم تحكم التغذية الثلاث. وهذا يعنى أنه في حالة تحكم التغذية الأمامية لا بد للمصمم من فهم تام لحلقة التحكم ولا بد من استخدام عنصر تحكم خاص لكل حالة .

بفحص الشكل ٤,٥ نلاحظ أنه إذا كانت هناك أخطاء في الحسابات أو إذا كانت هناك تداخلات في العملية التصنيعية لم تكن متوقعة فإن عنصر التحكم لن يكون قادراً على الإحساس بالتغير في درجة حرارة السائل الخارج ونتيجة لذلك لن يتم أي إجراء تصحيحي للخطأ .

٦,٥ تحكم التغذية الأمامية العام General feed forward control :

من الممكن مناقشة تحكم التغذية الأمامية بصورة عامة أكثر مما سبق ذكره. ويتضح من الشكل ٥,٥ والذي يوضح عملية تصنيعية يتم التحكم فيها بالتغذية الأمامية ، انه يمكن التعبير عن المتغير المتحكم فيه بدلالة قوتين تؤثران على العملية التصنيعية وهما التداخل d والمتغير المتحكم فيه m كما يلي :



شكل ٥,٥ مخطط القالب لتحكم التغذية الأمامية العام

يشير الرمز G_p إلى العلاقة الديناميكية بين الداخل للقالب والخارج منه ، تشير p إلى تحكم تفاضلي وهي تساوي d/dt

$$c = G1(p) m + G2(p) d$$

من هذه المعادلة يمكن الحصول على المعادلة التالية :

$$m = \frac{c - G_2(p)d}{G_1(p)}$$

ولكن في كل حالة من حالات تحكم التغذية الأمامية لا يتم قياس المتغير المتحكم فيه C ولكن يتم استبداله بالقيمة المرغوب فيها I مما ينتج عنه المعادلة التالية :

هذه هي الصورة العامة لمعادلة تحكم التغذية الأمامية . يتم قياس d ويتم توفير القيمة المرغوبة I . يجب

$$m = \frac{r - G_2(p)d}{G_1(p)}$$

من البداية تحديد العلاقات $G_1(p)$ و $G_2(p)$. وتتم عملية حسابية مستمرة بعد ذلك لقيمة m التي تجعل I مساوية C . ولهذا لا بد لمصمم هذا المنظوم للتحكم المعرفة التامة للعملية التصنيعية حتى يكون قادراً على التحديد الكمي للعلاقة الحسابية بين d و c وهي $G_2(p)$ والعلاقة الحسابية بين المتغير المتلاعب فيه m والتغير المتحكم فيه c وهي $G_1(p)$. ومن هذا يتضح أهمية الفهم الجيد النظري اللازم في تطبيق تحكم التغذية الأمامية .

ومن هنا نفهم أنه إذا كان هناك تداخلان في العملية التصنيعية فيجب أن تكون هناك معادلة تحكم تغذية أمامية لكل منهما . ولهذا فإن الصعوبات التي تواجه نتيجة التعامل مع العديد من التداخلات يجعل تحكم التغذية الأمامية غير عملي التطبيق.

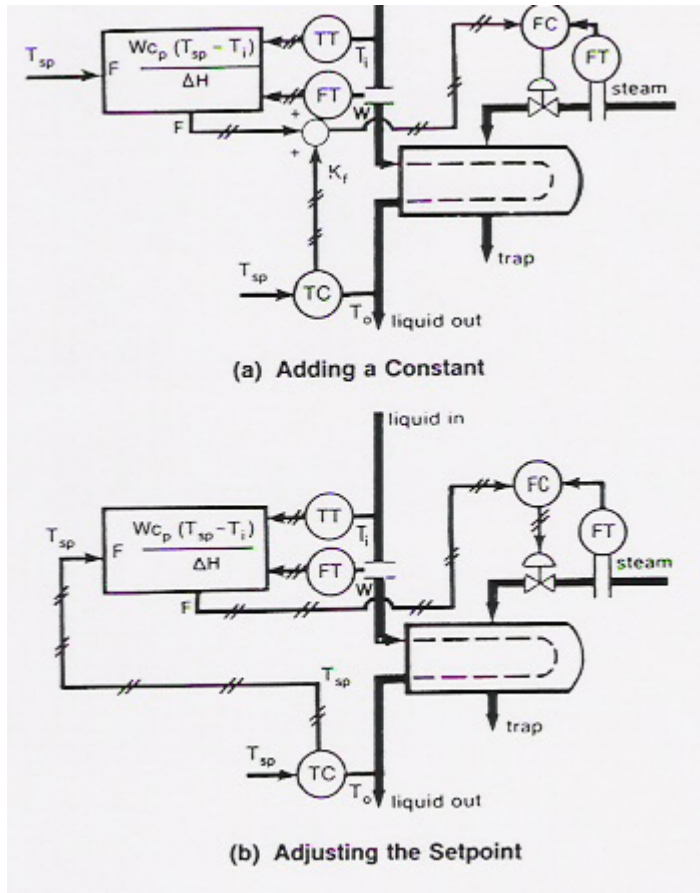
٧,٥ تحكم التغذية الأمامية والتغذية الخلفية المشترك Combined feedforward and feedback contro

مما سبق يتضح أن استخدام تحكم التغذية الأمامية فقط له عيوب كثيرة وذلك للعمليات الحسابية المعقدة والتي يجب أن تأخذ في الاعتبار عديد من التأثيرات . وعندما يحدث أي خطأ في هذه الحسابات لا يكون هناك إجراء تصحيحي لها . هذا بالإضافة إلى إذا كانت هناك تداخلات أخرى غير التي تم قياسها واعتبارها في عنصر تحكم التغذية الأمامية فإن نظام التحكم الآلي يتجاهلها وبذلك تتراكم الأخطاء . ونتيجة لهذه المشاكل فإن تحكم التغذية الأمامية لا يستخدم لوحده وهناك دائماً إضافة لنوع من تحكم التغذية الخلفية . الأمثلة التالية توضح ذلك .

الشكل ٦,٥ يوضح المبادل الحراري المبسط والذي ورد في شكل ٤,٥ ويوضح طريقتين لإشراك تحكم التغذية الأمامية مع تحكم التغذية الخلفية . في الشكل ٦,٥ أ استخدم عنصر تحكم تغذية خلفية لإحداث انحياز bias في الخارج من عنصر تحكم التغذية الأمامية . ونتيجة لذلك يمكن إضافة ثابت Kf على معادلة تدفق البخار لتصبح :

$$F = W C_p (T_{sp} - T_i) / H + K_f$$

في الشكل ٦,٥ أ يقوم عنصر تحكم التغذية الخلفية بالتلاعب بقيمة K_f اللازمة لجعل $T_0 = T_{sp}$.
 الشكل ٦,٥ ب يوضح طريقة بديلة لاستخدام تحكم تغذية أمامية لدعم تحكم التغذية الأمامية للمبادل
 الحراري. وفي هذه الحالة يستخدم الخارج من عنصر تحكم التغذية الخلفية لضبط النقطة المحددة set
 point لعنصر تحكم التغذية الأمامية.



(شكل ٦,٥) هناك طريقتان لاستخدام عنصر تحكم التغذية الخلفية مع تحكم التغذية الأمامية للمبادل
 الحراري

المراجع

- ١- حسان زيدان: الأمن الصناعي(السلامة والصحة المهنية في المؤسسات الصناعية)
- ٢- احمد زكى حلمي، عبد المنعم محمد العفشول: السلامة والصحة المهنية.
- ٣- أ.د / إبراهيم صالح المعتاز: السلامة في المختبرات والمصانع الكيميائية.
- ٤- مازن عبد الكريم الخراشة: السلامة المهنية.
- ٥- عميد مهندس/ احمد ضياء الدين فراج: الأمان الصناعي.
- ٦- د/ياسر مختار الحديدي:الأمان الصناعي (الوقاية من الحوادث الصناعية)

المراجع الأجنبية

- 1-Kessler, H. G. (1981). Food Engineering and Dairy Technology, Veriag A. Kessler, Germany
- 2-Besser, C.; Kupke, E. and Gniza, E. (1975). Industrial accident prevention technical 3-fundamentals. The Dresden Central Institute for Industrial Safety and Protection.
- 4-Foda, Y. H. (1973). Quality Control and Sanitation for the Food Industry. (Arabic).

المحتويات

	المقدمة
١٧ - ١	الوحدة الأولى: ظروف العمل الآمنة
٣٨ - ١٨	الوحدة الثانية: تداول المواد
٤٨ - ٣٩	الوحدة الثالثة: مخاطر الكهرباء
٧٠ - ٤٩	الوحدة الرابعة: المخاطر الصحية
٩٢ - ٧١	الوحدة الخامسة: الإسعافات الأولية
١٠٠ - ٩٣	الوحدة السادسة: عمل وقراءة لوحات الأمان الصناعي
١٠١	المراجع:
	المحتويات:

