CI-2 : Modéliser et simuler les systèmes linéaires continus invariants.

CI-2-1 : Modéliser et décrire les performances des SLCI

Lycée Carnot - Dijon, 2023 - 2024

Germain Gondor

Sommaire

1 Introduction à l'automatique

2 Système de commande continu

3 Système asservi

4 Différents types de systèmes

5 Modélisation des systèmes linaires continus invariants

6 Modèles multi-physique

Objectifs

ANALYSER-MODELISER

A l'issue de la séquence , l'élève doit être capable :

- **A3** Analyser l'organisation fonctionnelle et structurelle
  - Identifier la structure d'un système asservi.
- **B2** Proposer un modèle de connaissance et de comportement
  - Compléter un modèle multi-physique.
  - Associer un modèle aux composants des chaines fonctionnelles.
  - Modéliser un système par schéma-blocs.
  - Simplifier un modèle.
- **B3** Valider un modèle
  - Préciser les limites de validité d'un modèle.
- **C2** Mettre en œuvre une démarche de résolution analytique
  - Déterminer les performances d'un système asservi.

Sommaire

1. Introduction à l'automatique
   - Système automatique
   - Différents types d'automatismes
2. Système de commande continu
3. Système asservi
4. Différents types de systèmes
5. Modélisation des systèmes linaires continus invariants
6. Modèles multi-physique

Définitions

Définition : Système automatique

Système assurant des fonctions avec peu ou sans intervention humaine.

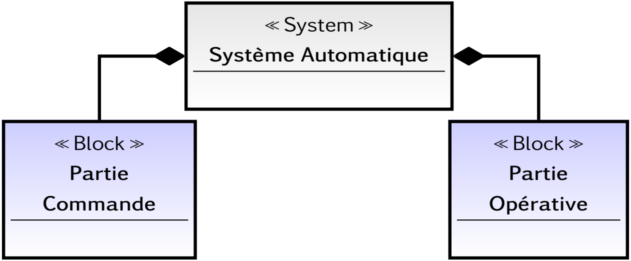
Définitions

DÉFINITION : Système automatique

> *Système assurant des fonctions avec peu ou sans intervention humaine.*

Il est constitué généralement d'une partie commande (appelée aussi système de commande) et d'une partie opérative.

Décomposition du système automatisé



DÉFINITION : L'automatique

> *Discipline scientifique traitant, d'une part, de la caractérisation des systèmes automatisés et d'autre part du choix, de la conception, et de la réalisation du système de commande.*

DÉFINITION : L'automatique

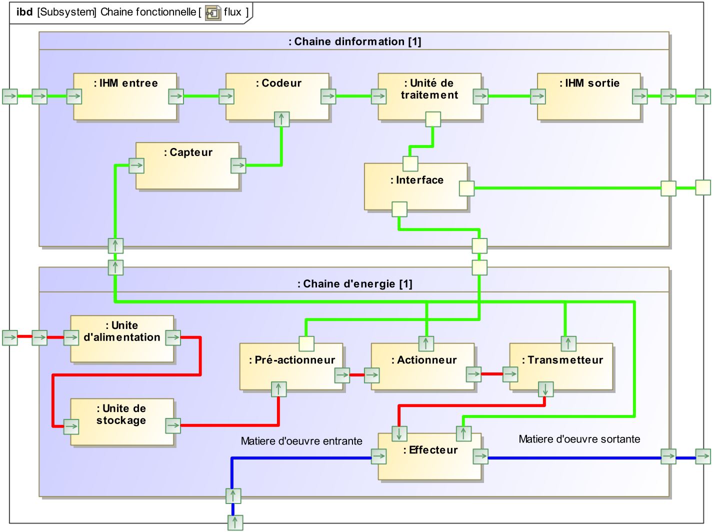
> *Discipline scientifique traitant, d'une part, de la caractérisation des systèmes automatisés et d'autre part du choix, de la conception, et de la réalisation du système de commande.*

Il s'agit donc de modéliser le comportement complexe des systèmes :

- réalisant leurs fonctions en relative autonomie,
- assurant un contrôle des performances par la mise en place possible d'une chaîne d'acquisition (boucle de retour).

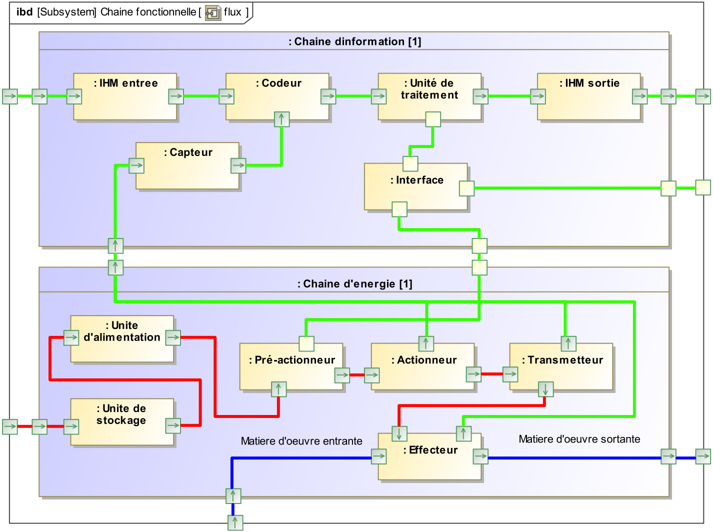
Représentation d'une chaîne fonctionnelle

Par un **ibd** - entrée d'énergie sur unité d'alimentation (ex : gyropode)



Représentation d'une chaîne fonctionnelle

Par un **ibd** - entrée d'énergie sur unité de stockage (ex : véhicule thermique)



Quelques exemples caractéristiques

Conducteur au volant de son véhicule (non automatique)

Le système que l'homme commande, est sa voiture dans son environnement (route, vent, élément extérieur, ...). Les actions sur la direction, le freinage, l'accélération sont issues de la réflexion de l'homme à partir de l'observation, de mesures effectuées par l'oeil.

Quelques exemples caractéristiques

Conducteur au volant de son véhicule (non automatique)

Le système que l'homme commande, est sa voiture dans son environnement (route, vent, élément extérieur, ...). Les actions sur la direction, le freinage, l'accélération sont issues de la réflexion de l'homme à partir de l'observation, de mesures effectuées par l'oeil.

Ce n'est pas à proprement parler un système automatique car il intègre des composants naturels et manufacturés. Cependant ce système présente une structure de bouclage par l'analyse qu'effectue le conducteur à chaque instant.

Quelques exemples caractéristiques

Pilote automatique de bateau

Le pilote automatique est un dispositif permettant d'actionner la barre d'un bateau de façon à lui permettre de suivre un cap, quelles que soient les perturbations dues aux vagues, aux courants. Le système est le bateau, la commande automatique est réalisée par les éléments du pilote automatique.

Quelques exemples caractéristiques

Pilote automatique de bateau

Le pilote automatique est un dispositif permettant d'actionner la barre d'un bateau de façon à lui permettre de suivre un cap, quelles que soient les perturbations dues aux vagues, aux courants. Le système est le bateau, la commande automatique est réalisée par les éléments du pilote automatique.

Les actions sur la barre sont issues du traitement algorithmique effectué par la carte électronique comparant les informations de cap choisi et de cap réel (observation/boussole). Ces actions sont exercées par un autre élément du pilote appelé actionneur (vérin).

Quelques exemples caractéristiques

Machine à laver

Le système est la machine commandée par un dispositif automatique : le programmateur. Les systèmes programmés n'ont pas nécessairement une structure bouclée et l'automatisation porte sur un nombre fini d'opérations prédéterminées. A la différence des exemples précédents, le déroulement du processus est figé.

Différents types d'automatismes

Système instantané ou dynamique

Lorsqu'un système est soumis à une variation brusque de la grandeur d'entrée, il peut réagir de façon :

- **Instantané :** la sortie est directement donnée par l'entrée sans aucune notion de temps (système instantané).
- **Dynamique :** la sortie dépend des valeurs présentes et passées des grandeurs d'entrée (système dynamique).

Différents types d'automatismes

Système instantané ou dynamique

Lorsqu'un système est soumis à une variation brusque de la grandeur d'entrée, il peut réagir de façon :

- **Instantané :** la sortie est directement donnée par l'entrée sans aucune notion de temps (système instantané).
- **Dynamique :** la sortie dépend des valeurs présentes et passées des grandeurs d'entrée (système dynamique).

En réalité, il n'existe que peu de systèmes instantanés car tout effet présente une certaine « inertie » ou « mémoire ». L'appellation « système instantané » relève donc souvent de l'approximation.

Différents types d'automatismes

Système binaire, système continu

Dans le cadre du programme, deux principales sources d'informations conduisant à des parties commandes différentes et pour lesquelles, des modélisations différentes seront étudiées :

Différents types d'automatismes

Système binaire, système continu

Dans le cadre du programme, deux principales sources d'informations conduisant à des parties commandes différentes et pour lesquelles, des modélisations différentes seront étudiées :

- **à partir d'informations binaires (tout ou rien) :** on appelle ces systèmes des systèmes logiques combinatoires ou logiques séquentiels. Ils ne contrôlent pas la manière dont l'ordre a été exécuté. Par ailleurs le nombre d'opérations est fini et prédéterminé.

Différents types d'automatismes

Système binaire, système continu

Dans le cadre du programme, deux principales sources d'informations conduisant à des parties commandes différentes et pour lesquelles, des modélisations différentes seront étudiées :

- **à partir d'informations binaires (tout ou rien) :** on appelle ces systèmes des systèmes logiques combinatoires ou logiques séquentiels. Ils ne contrôlent pas la manière dont l'ordre a été exécuté. Par ailleurs le nombre d'opérations est fini et prédéterminé.
- **à partir d'informations continues :** ce sont des systèmes continus. C'est l'objet de ce cours.

Sommaire

1 Introduction à l'automatique

2 Système de commande continu
- Système de commande en chaîne directe
- Perturbation
- Système de commande en Boucle fermée (chaîne fermée)

3 Système asservi

4 Différents types de systèmes

5 Modélisation des systèmes linaires continus invariants

6 Modèles multi-physique

Système de commande continu

Les systèmes étudiés dans ce cours sont constitués de grandeurs physiques continues. La grandeur de sortie (mettant en jeu généralement des énergies importantes) est pilotée par la grandeur d'entrée ou commande (faible énergie). Il est alors possible de définir une relation entrée-sortie.

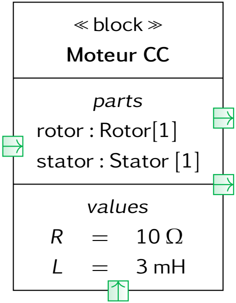
Système de commande continu

Les systèmes étudiés dans ce cours sont constitués de grandeurs physiques continues. La grandeur de sortie (mettant en jeu généralement des énergies importantes) est pilotée par la grandeur d'entrée ou commande (faible énergie). Il est alors possible de définir une relation entrée-sortie.

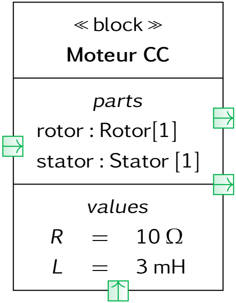
L'énergie nécessaire à la grandeur de sortie ne provient pas directement de la commande. Elle est apportée dans le système via un préactionneur (ou amplificateur).

Vision SysML

Vision SysML

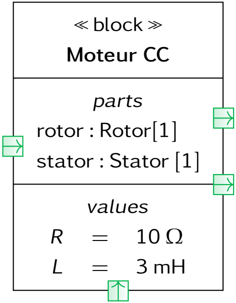


Vision SysML

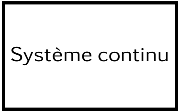


Vision schéma blocs

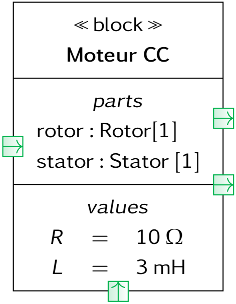
Vision SysML



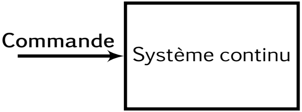
Vision schéma blocs



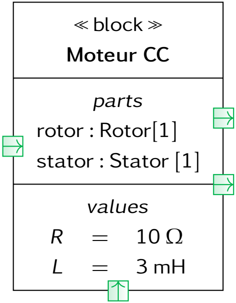
Vision SysML



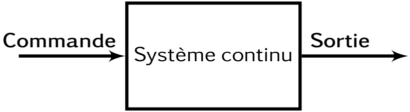
Vision schéma blocs



Vision SysML



Vision schéma blocs



Système de commande en chaîne directe

Définition : Chaîne directe :

> *Un système fonctionne en chaîne directe s'il n'y a pas de contrôle sur la manière dont la consigne a été exécutée.*

Système de commande en chaîne directe

Définition : Chaîne directe :

> *Un système fonctionne en chaîne directe s'il n'y a pas de contrôle sur la manière dont la consigne a été exécutée.*

Système de commande en chaîne directe

Définition : Chaîne directe :

> *Un système fonctionne en chaîne directe s'il n'y a pas de contrôle sur la manière dont la consigne a été exécutée.*

Ainsi le remplissage du réservoir constitue un système en chaîne directe. Lorsque la relation entre l'ouverture d'un robinet et le débit est connue, il suffit d'appliquer toujours la même consigne (ouverture du robinet durant un temps donné) pour obtenir le même niveau d'eau dans un réservoir au remplissage.

Système de commande en chaîne directe

Définition : Chaîne directe :

> *Un système fonctionne en chaîne directe s'il n'y a pas de contrôle sur la manière dont la consigne a été exécutée.*

Ainsi le remplissage du réservoir constitue un système en chaîne directe. Lorsque la relation entre l'ouverture d'un robinet et le débit est connue, il suffit d'appliquer toujours la même consigne (ouverture du robinet durant un temps donné) pour obtenir le même niveau d'eau dans un réservoir au remplissage.

Lorsque l'utilisateur souhaite un niveau d'eau précis, cette commande n'est pas idéale car une légère variation de pression dans le réseau d'eau ou quelques fuites peuvent perturber le système.

Perturbation

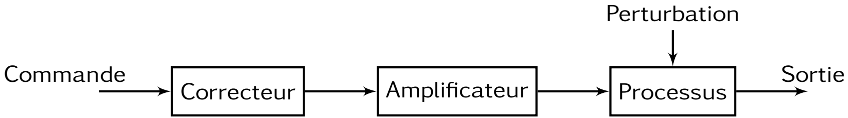
DÉFINITION : Perturbation

> *Autre cause agissant sur le système en plus de la consigne. C'est une grandeur d'entrée qui n'est pas contrôlée.*

Perturbation

DÉFINITION : Perturbation

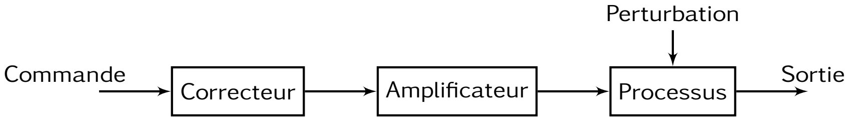
Autre cause agissant sur le système en plus de la consigne. C'est une grandeur d'entrée qui n'est pas contrôlée.



Perturbation

Définition : Perturbation

> *Autre cause agissant sur le système en plus de la consigne. C'est une grandeur d'entrée qui n'est pas contrôlée.*

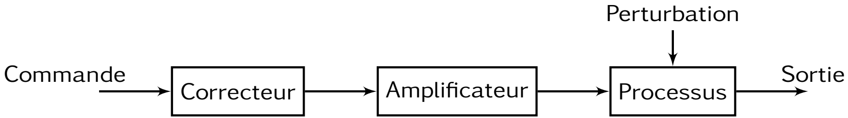


Exemple : Les fuites, l'évaporation ou la pression du réseau sont des sources de perturbations du réservoir. Pour un avion, les vents extérieurs sont des perturbations agissant sur sa direction.

Perturbation

Définition : Perturbation

> *Autre cause agissant sur le système en plus de la consigne. C'est une grandeur d'entrée qui n'est pas contrôlée.*



Exemple : Les fuites, l'évaporation ou la pression du réseau sont des sources de perturbations du réservoir. Pour un avion, les vents extérieurs sont des perturbations agissant sur sa direction.

En pratique, pour obtenir un niveau d'eau précis, il suffit de mesurer le niveau et fermer le robinet lorsque le niveau (la sortie) correspond à la consigne.

Système de commande en Boucle fermée (chaîne fermée)

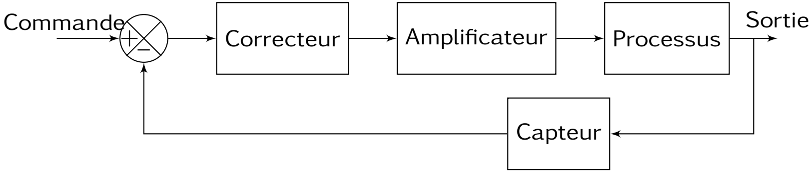
DÉFINITION : Système en boucle fermée

Un système fonctionne en boucle fermée si une mesure de la sortie est réalisée afin de la comparer à la consigne et d'agir en conséquence.

Système de commande en Boucle fermée (chaîne fermée)

Définition : Système en boucle fermée

Un système fonctionne en boucle fermée si une mesure de la sortie est réalisée afin de la comparer à la consigne et d'agir en conséquence.



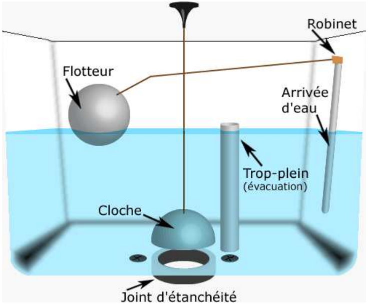
L'asservissement du système de commande consiste à mesurer la sortie et à utiliser cette information pour corriger la grandeur d'entrée du processus qui est auparavant amplifiée. Dans beaucoup d'exemples de la vie courante, l'homme réalise lui même l'asservissement. Mais il est possible de le faire automatiquement.

L'asservissement du système de commande consiste à mesurer la sortie et à utiliser cette information pour corriger la grandeur d'entrée du processus qui est auparavant amplifiée. Dans beaucoup d'exemples de la vie courante, l'homme réalise lui même l'asservissement. Mais il est possible de le faire automatiquement.

Chaîne fermée réalisée par l'homme

L'asservissement du système de commande consiste à mesurer la sortie et à utiliser cette information pour corriger la grandeur d'entrée du processus qui est auparavant amplifiée. Dans beaucoup d'exemples de la vie courante, l'homme réalise lui même l'asservissement. Mais il est possible de le faire automatiquement.

Chaîne fermée réalisée par l'homme



Contrôle du niveau de réservoir

Sommaire

1 Introduction à l'automatique

2 Système de commande continu

3 Système asservi
- Définition d'un système asservi
- Système régulateur ou suiveur
- Performances d'un système asservi

4 Différents types de systèmes

5 Modélisation des systèmes linaires continus invariants

6 Modèles multi-physique

Définition d'un système asservi

DÉFINITION : Système asservi

> *Système bouclé dans lequel la grandeur de retour est comparée à la grandeur d'entrée par élaboration d'un signal, appelé écart. Ce signal écart est adapté et amplifié afin de commander la partie opérative.*

Définition d'un système asservi

DÉFINITION : Système asservi

> *Système bouclé dans lequel la grandeur de retour est comparée à la grandeur d'entrée par élaboration d'un signal, appelé écart. Ce signal écart est adapté et amplifié afin de commander la partie opérative.*

Un système asservi est un système :

- à amplification de puissance
- en boucle fermée

Définition d'un système asservi

DÉFINITION : Système asservi

> *Système bouclé dans lequel la grandeur de retour est comparée à la grandeur d'entrée par élaboration d'un signal, appelé écart. Ce signal écart est adapté et amplifié afin de commander la partie opérative.*

Un système asservi est un système :

- à amplification de puissance
- en boucle fermée

REMARQUE :

Définition d'un système asservi

Définition : Système asservi

> *Système bouclé dans lequel la grandeur de retour est comparée à la grandeur d'entrée par élaboration d'un signal, appelé écart. Ce signal écart est adapté et amplifié afin de commander la partie opérative.*

Un système asservi est un système :

- à amplification de puissance
- en boucle fermée

Remarque : l'amplification de puissance n'est pas forcément liée à un amplificateur au sens propre, transformant une grandeur physique donnée en une grandeur physique de même nature plus importante.

Définition d'un système asservi

Définition : Système asservi

> *Système bouclé dans lequel la grandeur de retour est comparée à la grandeur d'entrée par élaboration d'un signal, appelé écart. Ce signal écart est adapté et amplifié afin de commander la partie opérative.*

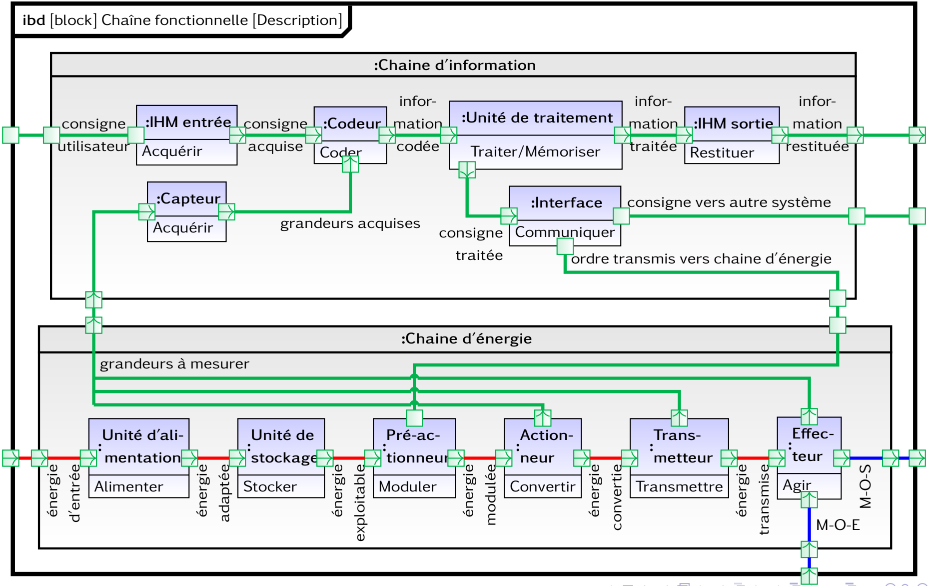
Un système asservi est un système :

- à amplification de puissance
- en boucle fermée

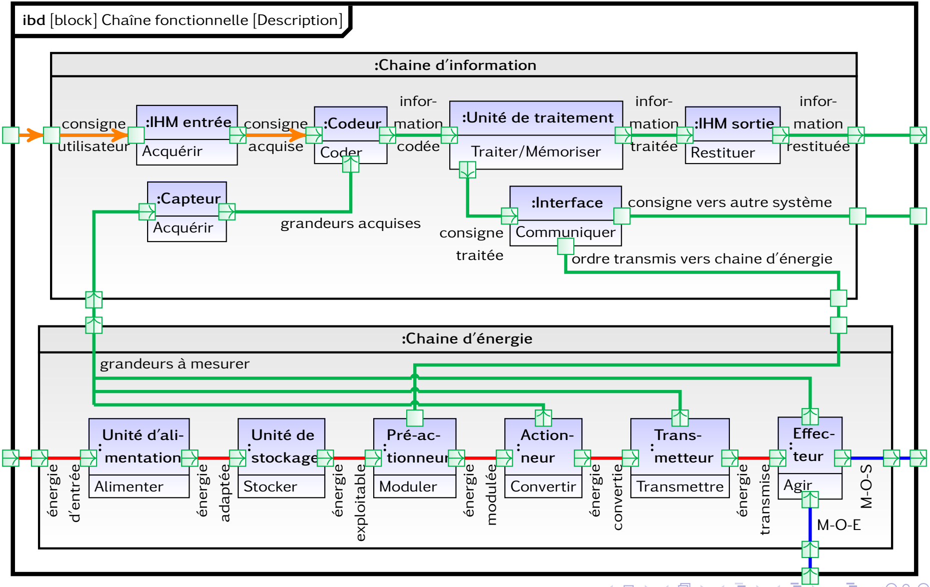
Remarque : l'amplification de puissance n'est pas forcément liée à un amplificateur au sens propre, transformant une grandeur physique donnée en une grandeur physique de même nature plus importante.

L'amplification se fait en passant du signal de commande élaborée par la chaine d'information à l'énergie modulée en sortie du préactionneur.

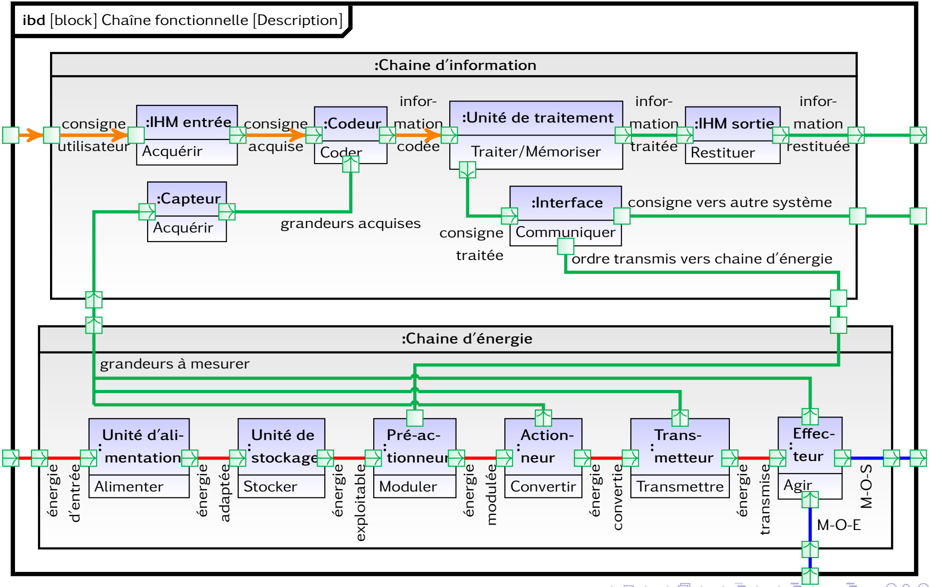
Système asservi - version SysML



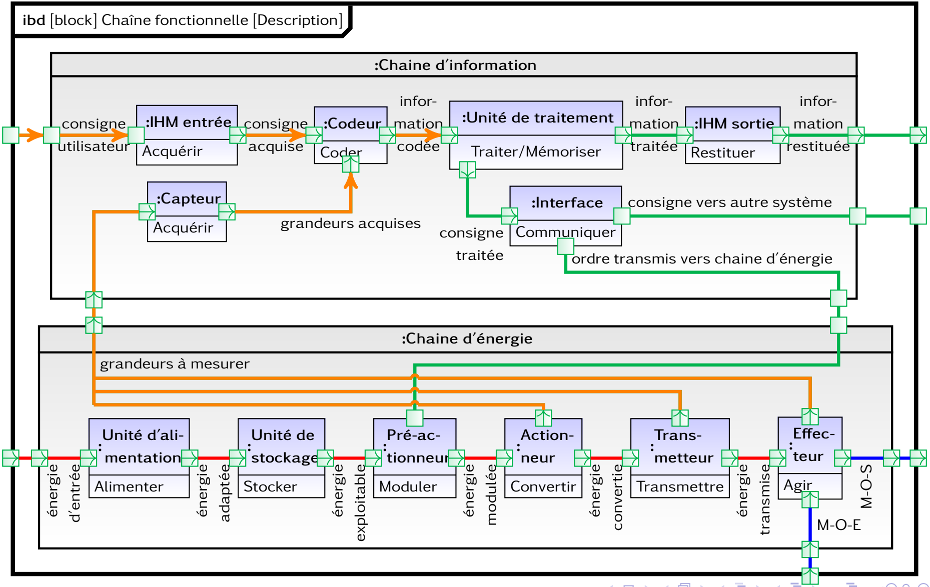
Système asservi - version SysML



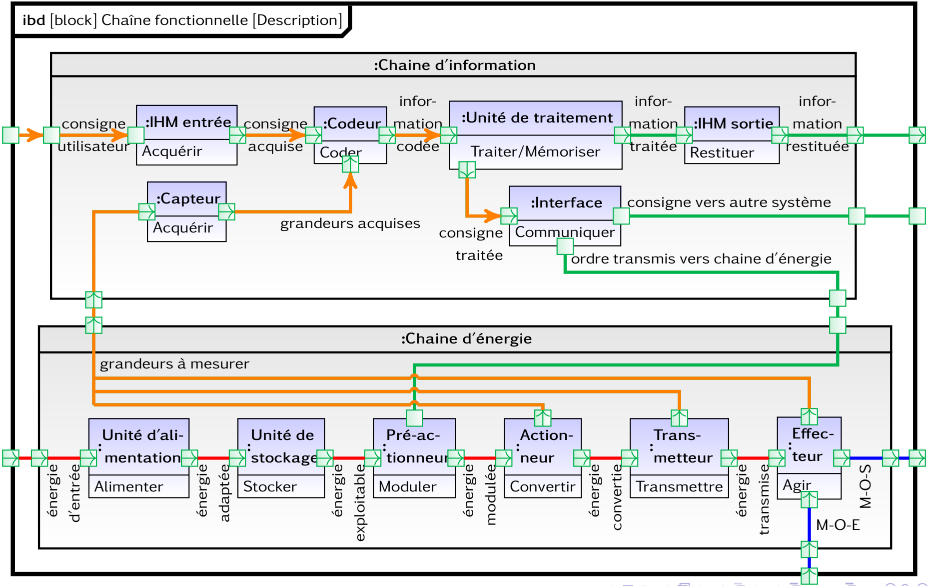
Système asservi - version SysML



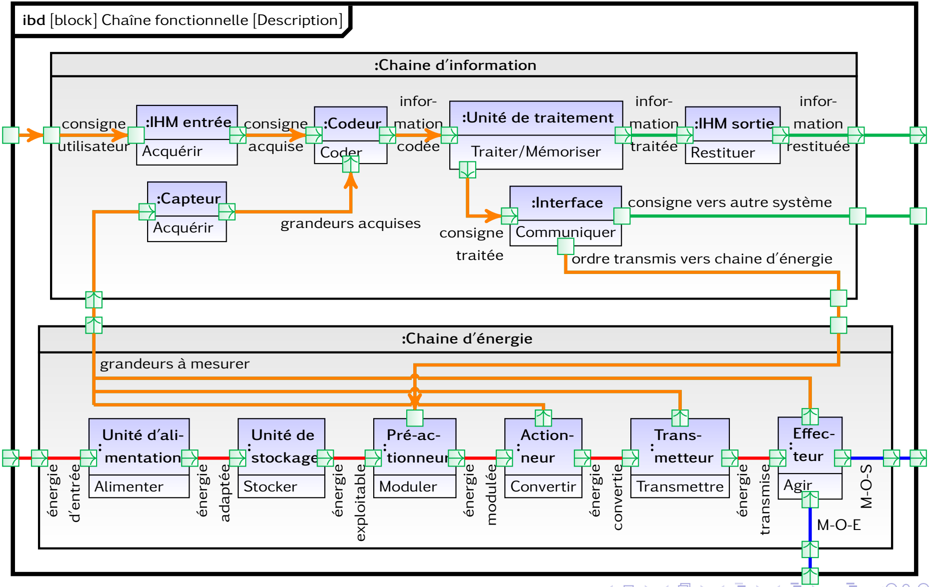
Système asservi - version SysML



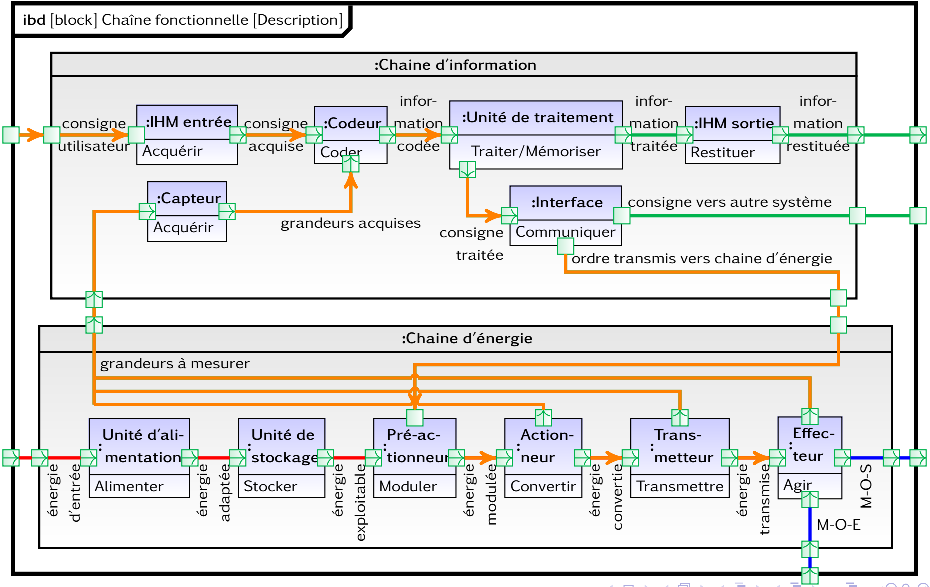
Système asservi - version SysML



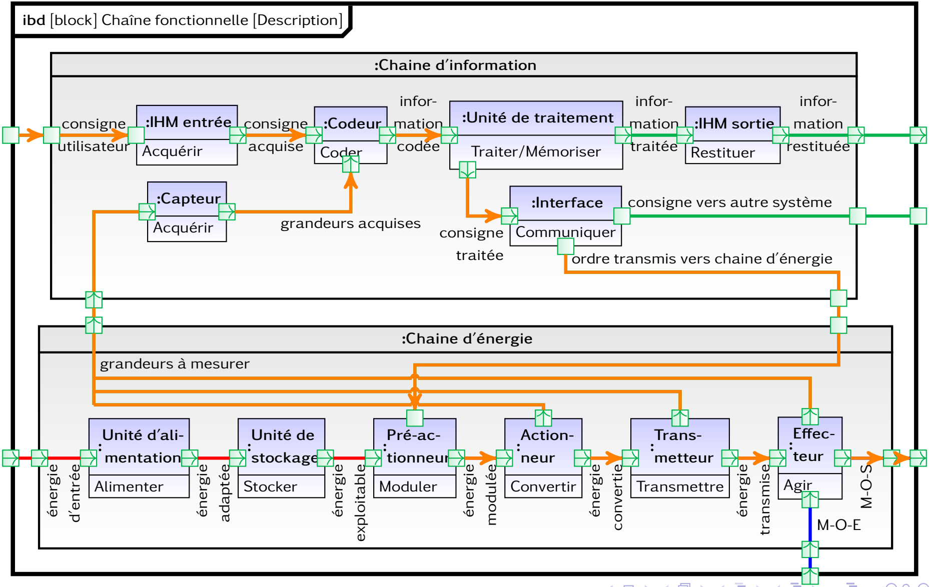
Système asservi - version SysML



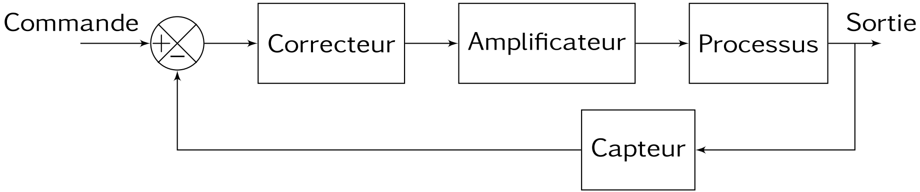
Système asservi - version SysML



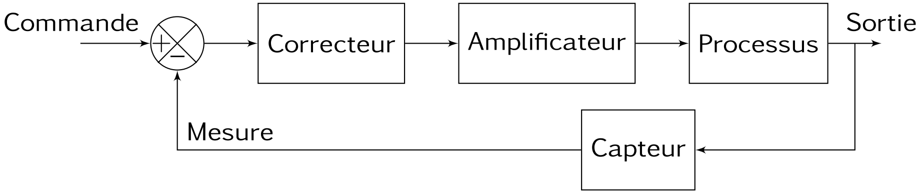
Système asservi - version SysML



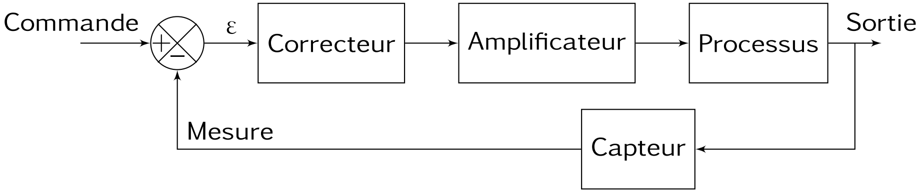
Système asservi - version schéma bloc



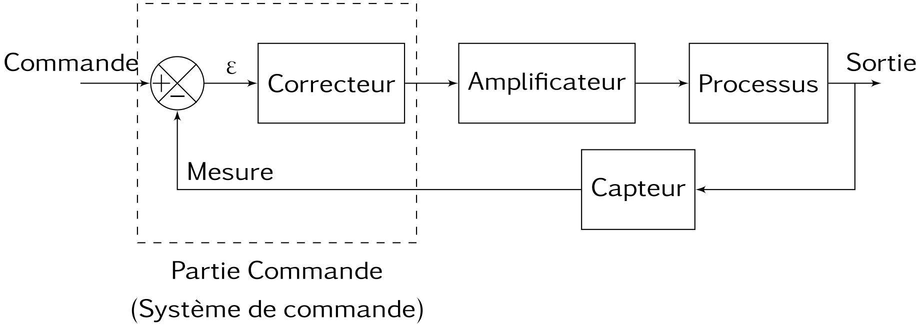
Système asservi - version schéma bloc



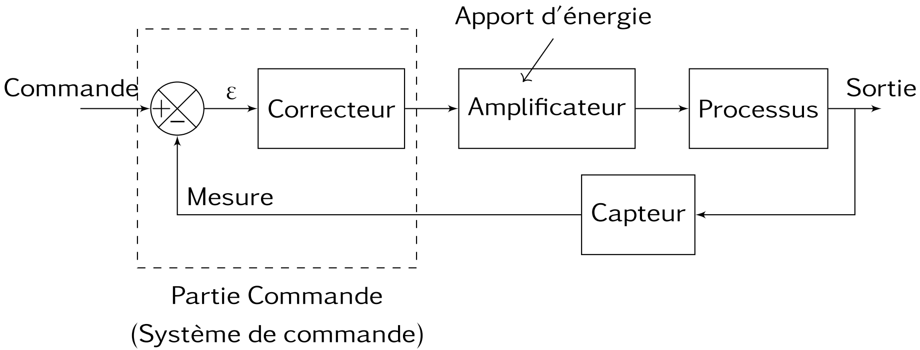
Système asservi - version schéma bloc



Système asservi - version schéma bloc



Système asservi - version schéma bloc



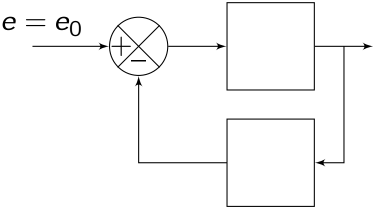
On distingue généralement les systèmes régulateurs où la consigne est constante (l'asservissement corrige les effets des perturbations) et les systèmes suiveurs où la consigne évolue continûment (l'asservissement suit la consigne).

On distingue généralement les systèmes régulateurs où la consigne est constante (l'asservissement corrige les effets des perturbations) et les systèmes suiveurs où la consigne évolue continûment (l'asservissement suit la consigne).

Exemple : Un réfrigérateur est constitué d'un système régulateur tandis que la fusée Ariane possède un système suiveur.

On distingue généralement les systèmes régulateurs où la consigne est constante (l'asservissement corrige les effets des perturbations) et les systèmes suiveurs où la consigne évolue continûment (l'asservissement suit la consigne).

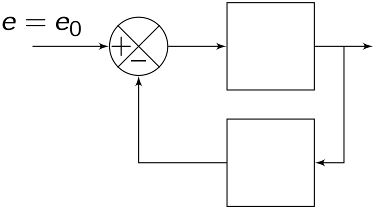
Exemple : Un réfrigérateur est constitué d'un système régulateur tandis que la fusée Ariane possède un système suiveur.



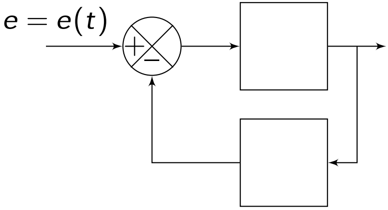
Système régulateur

On distingue généralement les systèmes régulateurs où la consigne est constante (l'asservissement corrige les effets des perturbations) et les systèmes suiveurs où la consigne évolue continûment (l'asservissement suit la consigne).

Exemple : Un réfrigérateur est constitué d'un système régulateur tandis que la fusée Ariane possède un système suiveur.



Système régulateur



Système suiveur

Performances d'un système asservi

Définition : Régime permanent

Moment où le signal de sortie est établi (temps longs).

Performances d'un système asservi

Définition : Régime permanent

Moment où le signal de sortie est établi (temps longs).

En fonction du régime du système (transitoire ou permanent), il est possible de définir quatre critères permettant de mesurer les performances d'un système asservi.

Critère en régime permanent

Précision

DÉFINITION : Précision

La précision qualifie l'aptitude du système à atteindre la valeur visée.

Critère en régime permanent

Précision

Définition : Précision

> *La précision qualifie l'aptitude du système à atteindre la valeur visée.*

Elle est mesurée par l'écart entre la consigne souhaitée et la valeur effectivement atteinte par la grandeur de sortie.

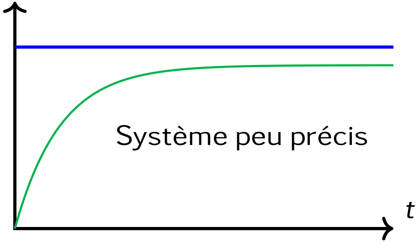
Critère en régime permanent

Précision

DÉFINITION : Précision

> *La précision qualifie l'aptitude du système à atteindre la valeur visée.*

Elle est mesurée par l'écart entre la consigne souhaitée et la valeur effectivement atteinte par la grandeur de sortie.



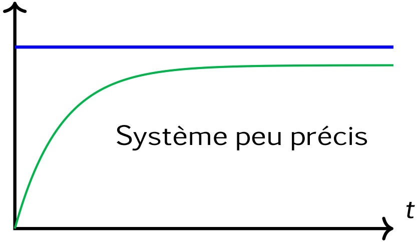
Critère en régime permanent

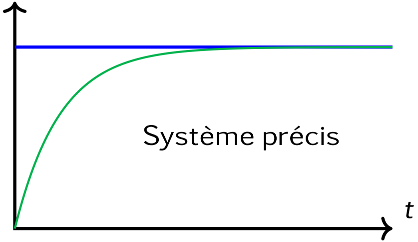
Précision

DÉFINITION : Précision

> *La précision qualifie l'aptitude du système à atteindre la valeur visée.*

Elle est mesurée par l'écart entre la consigne souhaitée et la valeur effectivement atteinte par la grandeur de sortie.





Critère en régime permanent

Stabilité

Définition : Stabilité

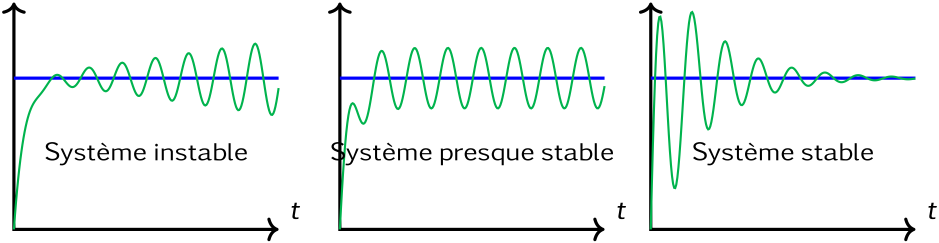
> *Un système est stable si à une entrée bornée correspond une sortie bornée.*

Critère en régime permanent

Stabilité

Définition : Stabilité

Un système est stable si à une entrée bornée correspond une sortie bornée.



Critère en régime transitoire

Rapidité

La rapidité est caractérisée par le temps que met le système à réagir à une variation brusque de la grandeur d'entrée. Cependant la valeur finale étant le plus souvent atteinte de manière asymptotique on retient alors comme principal critère d'évaluation de la rapidité d'un système, le temps de réponse à n%.

Critère en régime transitoire

Rapidité

La rapidité est caractérisée par le temps que met le système à réagir à une variation brusque de la grandeur d'entrée. Cependant la valeur finale étant le plus souvent atteinte de manière asymptotique on retient alors comme principal critère d'évaluation de la rapidité d'un système, le temps de réponse à n%.

En pratique, on utilise le temps de réponse à 5%.

Critère en régime transitoire

Rapidité

La rapidité est caractérisée par le temps que met le système à réagir à une variation brusque de la grandeur d'entrée. Cependant la valeur finale étant le plus souvent atteinte de manière asymptotique on retient alors comme principal critère d'évaluation de la rapidité d'un système, le temps de réponse à n%.

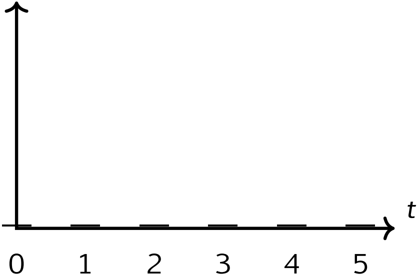
En pratique, on utilise le temps de réponse à 5%.

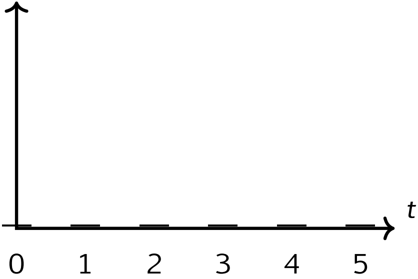
Définition : Temps de réponse à n%

> *Temps mis par le système pour atteindre et rester dans une zone définie à $\pm$ n % de sa valeur de régime permanent.*

Critère en régime transitoire

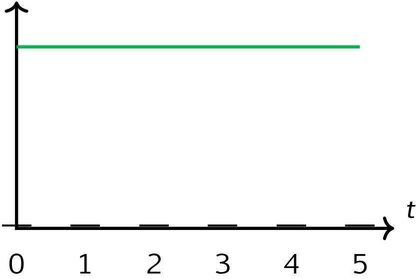
Rapidité

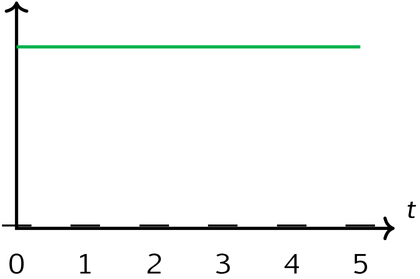




Critère en régime transitoire

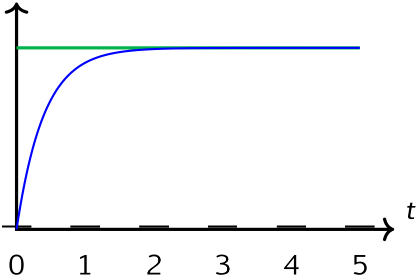
Rapidité

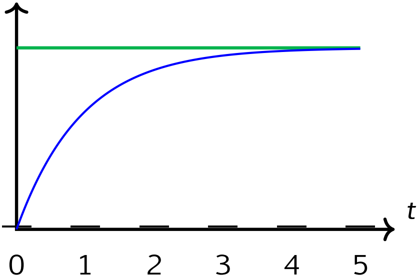




Critère en régime transitoire

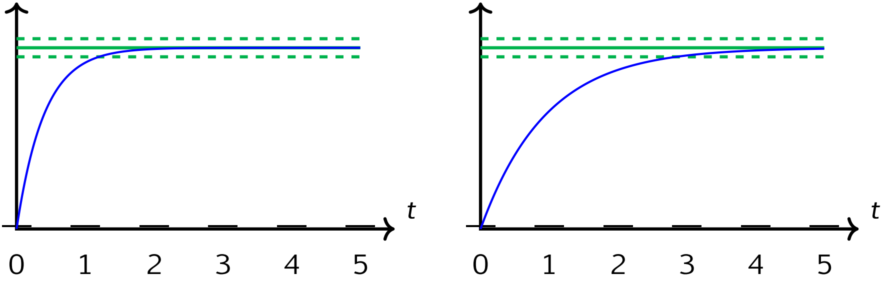
Rapidité





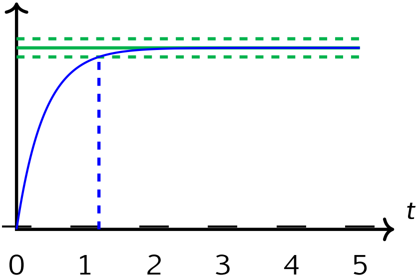
Critère en régime transitoire

Rapidité



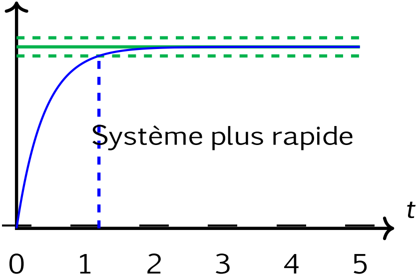
Critère en régime transitoire

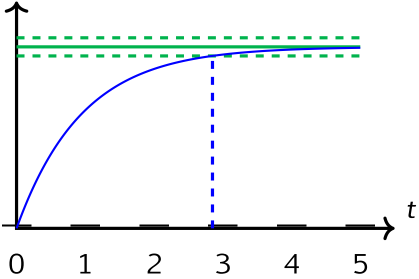
Rapidité



Critère en régime transitoire

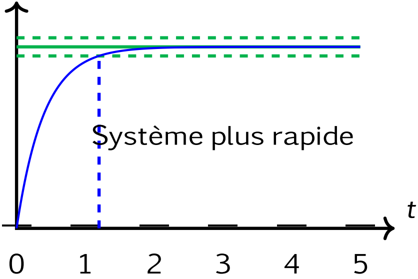
Rapidité

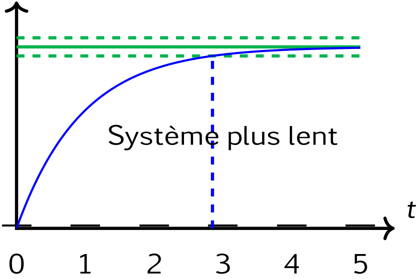




Critère en régime transitoire

Rapidité





Critère en régime transitoire

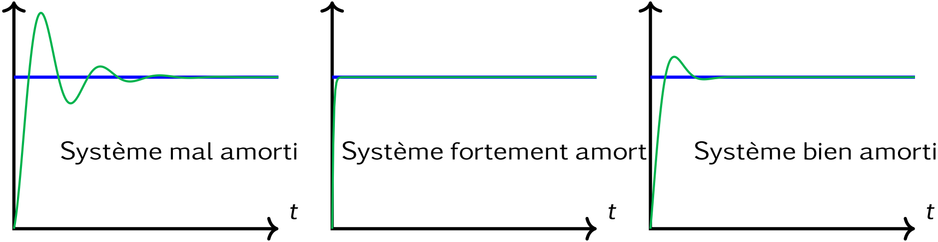
Amortissement

L'amortissement est caractérisé par le rapport entre les amplitudes successives des oscillations de la sortie. Plus ces oscillations s'atténuent rapidement, plus le système est amorti.

Critère en régime transitoire

Amortissement

L'amortissement est caractérisé par le rapport entre les amplitudes successives des oscillations de la sortie. Plus ces oscillations s'atténuent rapidement, plus le système est amorti.



Critère en régime transitoire

Dépassement

Pour caractériser la qualité de l'amortissement on peut retenir deux critères :

Critère en régime transitoire

Dépassement

Pour caractériser la qualité de l'amortissement on peut retenir deux critères :

- le taux de dépassement (D), qui caractérise l'amplitude maximale des oscillations,

Critère en régime transitoire

Dépassement

Pour caractériser la qualité de l'amortissement on peut retenir deux critères :

- le taux de dépassement (D), qui caractérise l'amplitude maximale des oscillations,
- le temps de réponse à 5% $(t_{5\%})$

Critère en régime transitoire

Dépassement

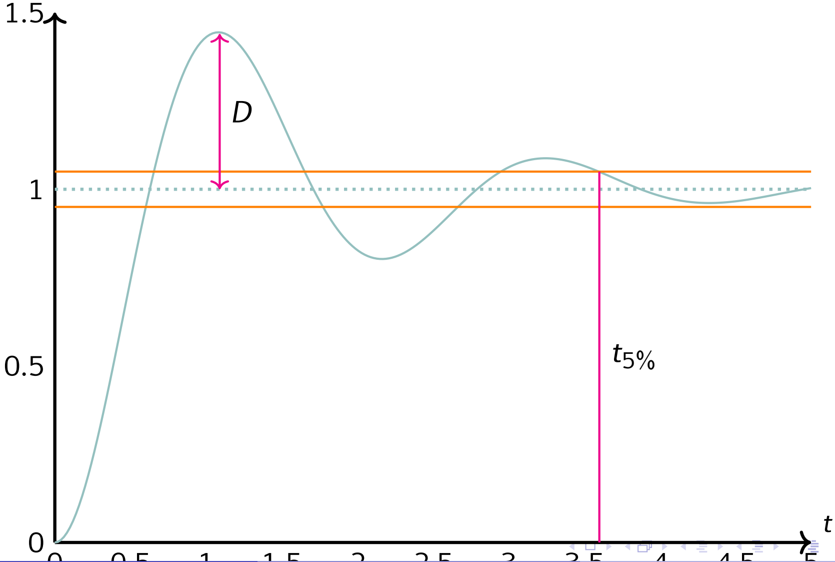
Pour caractériser la qualité de l'amortissement on peut retenir deux critères :

- le taux de dépassement (D), qui caractérise l'amplitude maximale des oscillations,
- le temps de réponse à 5% $(t_{5\%})$

Il est à noter que pour certaines applications (l'usinage par exemple) un comportement oscillant n'est pas autorisé et tout dépassement est inacceptable.

Critère en régime transitoire

Caractérisation de l'amortissement



Sommaire

1. Introduction à l'automatique
2. Système de commande continu
3. Système asservi
4. Différents types de systèmes
   - Système monovariable
   - Système invariant
   - Système continu
   - Système linéaire
5. Modélisation des systèmes linaires continus invariants
6. Modèles multi-physique

Système monovariable

DÉFINITION : Système monovariable

> *Système ne possédant qu'une seule entrée et une seule sortie.*

Système monovariable

Définition : Système monovariable

> *Système ne possédant qu'une seule entrée et une seule sortie.*

Bien que les systèmes automatisés puissent gérer plusieurs sorties en fonction de plusieurs entrées principales, nous nous limiterons, pour des raisons de simplicité, aux systèmes monovariables.

Système monovariable

DÉFINITION : Système monovariable

> *Système ne possédant qu'une seule entrée et une seule sortie.*

Bien que les systèmes automatisés puissent gérer plusieurs sorties en fonction de plusieurs entrées principales, nous nous limiterons, pour des raisons de simplicité, aux systèmes monovariables.

Si le système doit obligatoirement fonctionner avec plusieurs entrées (ou une entrée et des perturbations), il sera possible, dans certains cas, d'étudier séparément la relation entre la sortie et chacune des entrées, puis de superposer, dans un second temps, les effets de chaque entrée (par linéarité).

Système invariant

DÉFINITION : Système invariant

> *Système dont les caractéristiques de comportement ne se modifient pas dans le temps (″le système ne vieillit pas ″).*

Système invariant

Définition : Système invariant

Système dont les caractéristiques de comportement ne se modifient pas dans le temps ("le système ne vieillit pas ").

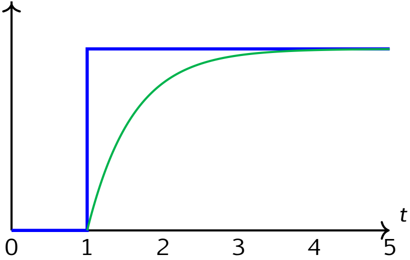
Ce n'est pas le cas de tous les systèmes physiques à cause notamment de l'usure ou de la fatigue. Par exemple, moteur thermique s'altère avec le temps. Son comportement s'en trouve modifié.

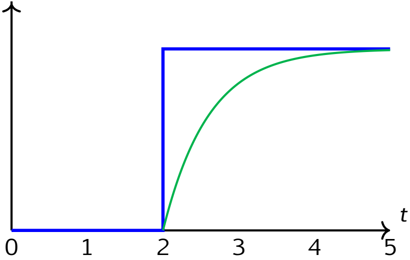
Système invariant

Définition : Système invariant

> *Système dont les caractéristiques de comportement ne se modifient pas dans le temps ("le système ne vieillit pas ").*

Ce n'est pas le cas de tous les systèmes physiques à cause notamment de l'usure ou de la fatigue. Par exemple, moteur thermique s'altère avec le temps. Son comportement s'en trouve modifié.





Système continu

Définition : Système continu

Système où les variables d'entrée et de sortie sont définies pour tout instant t.

Système continu

DÉFINITION : Système continu

> *Système où les variables d'entrée et de sortie sont définies pour tout instant t.*

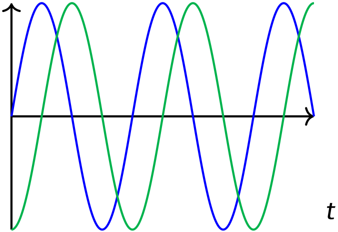
Les signaux sont alors dits analogiques. En revanche, dans les systèmes de commande modernes, l'information est traitée de façon informatique ce qui nécessite un échantillonnage des signaux. Ce sont des systèmes et des signaux discrets.

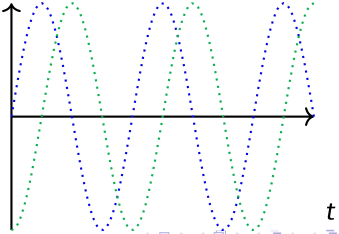
Système continu

Définition : Système continu

> *Système où les variables d'entrée et de sortie sont définies pour tout instant t.*

Les signaux sont alors dits analogiques. En revanche, dans les systèmes de commande modernes, l'information est traitée de façon informatique ce qui nécessite un échantillonnage des signaux. Ce sont des systèmes et des signaux discrets.





Système linéaire

DÉFINITION : Système linéaire

Système où l'effet (signal de sortie) sera toujours proportionnel à la cause (signal d'entrée).

Système linéaire

Définition : Système linéaire

> *Système où l'effet (signal de sortie) sera toujours proportionnel à la cause (signal d'entrée).*

La relation de comportement d'un système linéaire peut se mettre sous la forme d'une équation différentielle linéaire à coefficients constants. Cette propriété sera à la base des développements ultérieurs (cf passage dans le domaine symbolique de Laplace).

Principe de superposition

Le système étant linéaire, le principe de superposition peut être appliqué. Soient deux entrées $e_1(t)$ et $e_2(t)$ donnés et F une fonction linéaire telle que $F(e_1(t)) = s_1(t)$ et $F(e_2(t)) = s_2(t)$ avec $s_i(t)$, sorties correspondantes. Alors par linéarité de F, $\forall\ (\lambda, \mu) \in \mathbb{R}^2$:

Principe de superposition

Le système étant linéaire, le principe de superposition peut être appliqué. Soient deux entrées $e_1(t)$ et $e_2(t)$ donnés et F une fonction linéaire telle que $F(e_1(t)) = s_1(t)$ et $F(e_2(t)) = s_2(t)$ avec $s_i(t)$, sorties correspondantes. Alors par linéarité de F, $\forall\ (\lambda,\mu) \in \mathbb{R}^2$:

$$F(\lambda.e_1(t) + \mu.e_2(t)) = \lambda.s_1(t) + \mu.s_2(t)$$

Traitement des non linéarités

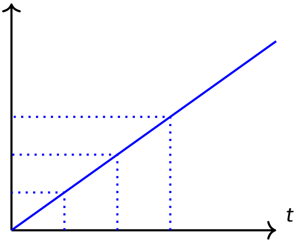
La plupart des systèmes physiques ne sont pas linéaires sur toute la totalité de leur domaine d'application. Cependant dans de nombreux cas, ils ne sont utilisés que sur une plage réduite de leur domaine. Sous ces conditions, il est possible en général d'approcher le comportement par un modèle linéaire. On dit alors que le système est linéarisé.

Traitement des non linéarités

La plupart des systèmes physiques ne sont pas linéaires sur toute la totalité de leur domaine d'application. Cependant dans de nombreux cas, ils ne sont utilisés que sur une plage réduite de leur domaine. Sous ces conditions, il est possible en général d'approcher le comportement par un modèle linéaire. On dit alors que le système est linéarisé.

Traitement des non linéarités

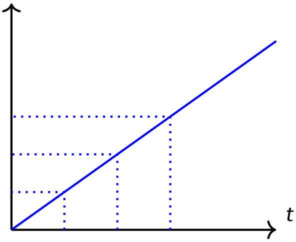
La plupart des systèmes physiques ne sont pas linéaires sur toute la totalité de leur domaine d'application. Cependant dans de nombreux cas, ils ne sont utilisés que sur une plage réduite de leur domaine. Sous ces conditions, il est possible en général d'approcher le comportement par un modèle linéaire. On dit alors que le système est linéarisé.



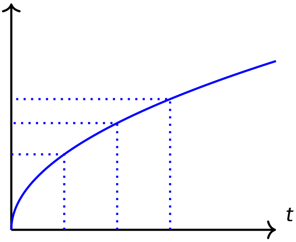
Système linéaire

Traitement des non linéarités

La plupart des systèmes physiques ne sont pas linéaires sur toute la totalité de leur domaine d'application. Cependant dans de nombreux cas, ils ne sont utilisés que sur une plage réduite de leur domaine. Sous ces conditions, il est possible en général d'approcher le comportement par un modèle linéaire. On dit alors que le système est linéarisé.



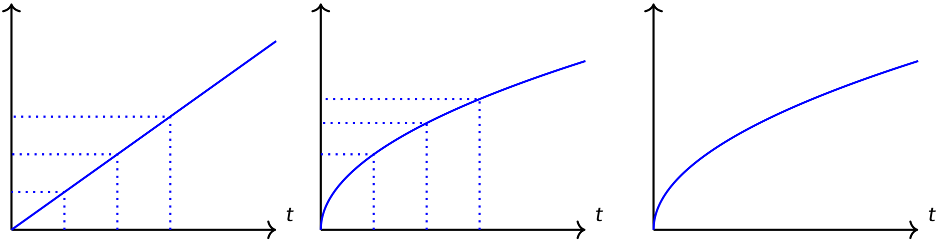
Système linéaire



Système non linéaire

Traitement des non linéarités

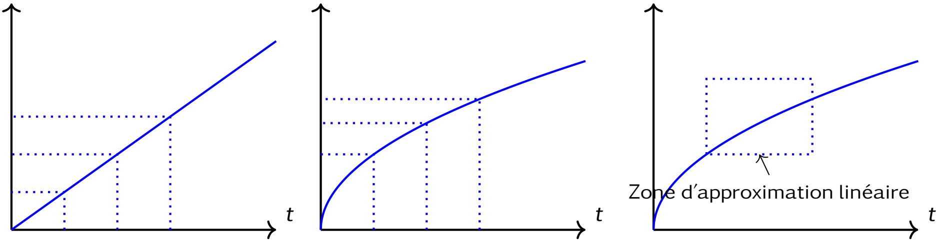
La plupart des systèmes physiques ne sont pas linéaires sur toute la totalité de leur domaine d'application. Cependant dans de nombreux cas, ils ne sont utilisés que sur une plage réduite de leur domaine. Sous ces conditions, il est possible en général d'approcher le comportement par un modèle linéaire. On dit alors que le système est linéarisé.



Système linéaire | Système non linéaire | Système linéarisé

Traitement des non linéarités

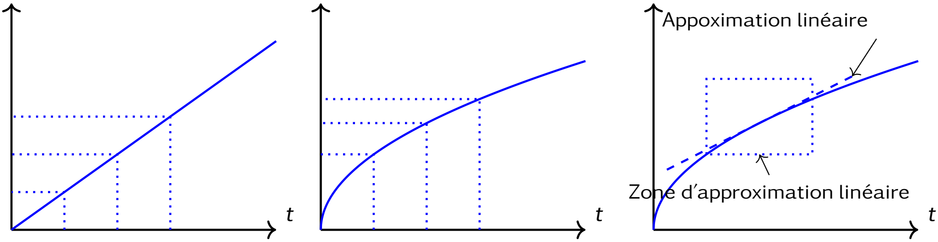
La plupart des systèmes physiques ne sont pas linéaires sur toute la totalité de leur domaine d'application. Cependant dans de nombreux cas, ils ne sont utilisés que sur une plage réduite de leur domaine. Sous ces conditions, il est possible en général d'approcher le comportement par un modèle linéaire. On dit alors que le système est linéarisé.



Système linéaire — Système non linéaire — Système linéarisé

Traitement des non linéarités

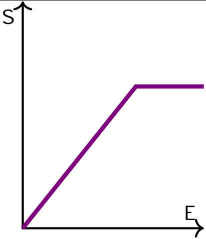
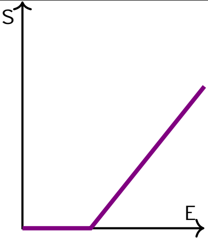
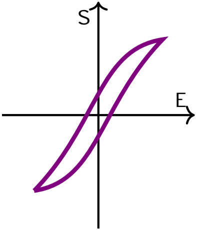
La plupart des systèmes physiques ne sont pas linéaires sur toute la totalité de leur domaine d'application. Cependant dans de nombreux cas, ils ne sont utilisés que sur une plage réduite de leur domaine. Sous ces conditions, il est possible en général d'approcher le comportement par un modèle linéaire. On dit alors que le système est linéarisé.



Système linéaire — Système non linéaire — Système linéarisé

Quelques non linéarités remarquables

Les systèmes réels présentent des non linéarités. Voici quelques cas très couramment observés :

Dénomination	Saturation	Seuil	Hystérésis
Schéma			
Exemples	Butée mécanique, aimantation, moteur électrique	frottement	Jeux mécaniques, matériaux (élastomère)

Sommaire

1. Introduction à l’automatique
2. Système de commande continu
3. Système asservi
4. Différents types de systèmes
5. Modélisation des systèmes linaires continus invariants
   - Notion de modélisation
   - Représentation par schémas blocs
   - Fonction de transfert associée à un système
   - Opérations sur les schémas blocs
   - FTBO et FTBF
   - Dénominations complémentaires
6. Modèles multi-physique

Notion de modélisation

On distingue trois phases dans la modélisation :

Notion de modélisation

On distingue trois phases dans la modélisation :

1. Isoler le système étudié en positionnant la frontière

Notion de modélisation

On distingue trois phases dans la modélisation :

1. Isoler le système étudié en positionnant la frontière
2. Effectuer une décomposition en sous-systèmes plus facilement exploitable.

Notion de modélisation

On distingue trois phases dans la modélisation :

1. Isoler le système étudié en positionnant la frontière
2. Effectuer une décomposition en sous-systèmes plus facilement exploitable.
3. Établir un modèle de connaissance ou modèle de comportement pour chaque sous-système.

Notion de modélisation

On distingue trois phases dans la modélisation :

1. Isoler le système étudié en positionnant la frontière
2. Effectuer une décomposition en sous-systèmes plus facilement exploitable.
3. Établir un modèle de connaissance ou modèle de comportement pour chaque sous-système.

Définition : Modèle de connaissance

Modèle obtenu à partir de lois physiques. Cette modélisation est analytique et possède un sens physique fort.

Notion de modélisation

On distingue trois phases dans la modélisation :

1. Isoler le système étudié en positionnant la frontière
2. Effectuer une décomposition en sous-systèmes plus facilement exploitable.
3. Établir un modèle de connaissance ou modèle de comportement pour chaque sous-système.

DÉFINITION : Modèle de connaissance

> *Modèle obtenu à partir de lois physiques. Cette modélisation est analytique et possède un sens physique fort.*

DÉFINITION : Modèle de comportement

> *Modèle dans lequel le sous-système est remplacé par une boîte noire. Le comportement réel est identifié au mieux à partir de résultats expérimentaux.*

Modélisation des systèmes linaires continus invariants

Afin de prévoir le comportement du système, il s'agit d'être capable de proposer une équation reliant l'entrée et la sortie.

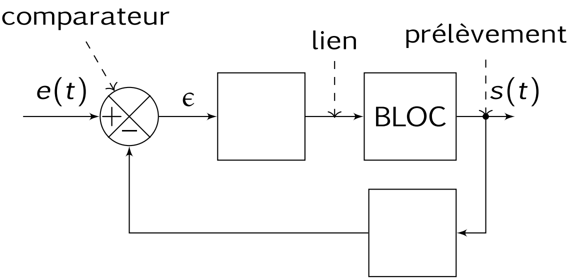
Les systèmes industriels étant par nature complexes, il s'agit de décomposer le système en sous-systèmes plus facilement modélisable par un modèle de comportement ou un modèle de connaissance. Par assemblage des différents modèles, il s'agit de déduire le comportement global.

Représentation par schémas blocs

Un système sera représenté par un schéma bloc ou (schéma bloc fonctionnel), dans lequel on pourra distinguer :

Représentation par schémas blocs

Un système sera représenté par un schéma bloc ou (schéma bloc fonctionnel), dans lequel on pourra distinguer :



Les blocs :

Chaque sous-système est représenté par une boîte noire (bloc fonctionnel). Chaque bloc fonctionnel possède une seule entrée et une seule sortie (système monovariable).

Les blocs :

Chaque sous-système est représenté par une boîte noire (bloc fonctionnel). Chaque bloc fonctionnel possède une seule entrée et une seule sortie (système monovariable).

A chaque bloc fonctionnel correspond une équation différentielle linéaire à coefficients constants :

Les blocs :

Chaque sous-système est représenté par une boîte noire (bloc fonctionnel). Chaque bloc fonctionnel possède une seule entrée et une seule sortie (système monovariable).

A chaque bloc fonctionnel correspond une équation différentielle linéaire à coefficients constants :

$$\boxed{a_n.\frac{d^{(n)}.s(t)}{dt^n}+\ldots+a_1.\frac{ds(t)}{dt}+a_0.s(t)=b_m.\frac{d^{(m)}e(t)}{dt^m}+\ldots+b_1.\frac{de(t)}{dt}+b_0.e(t)}$$

Les blocs :

Suivant la représentation envisagée, on indiquera à l'intérieur du bloc pour :

Les blocs :

Suivant la représentation envisagée, on indiquera à l'intérieur du bloc pour :

- **un schéma bloc fonctionnel :** le nom du composant ou l'opérateur mathématique associé à un composant particulier (exemple : l'opérateur $\int$ pour un intégrateur).

Les blocs :

Suivant la représentation envisagée, on indiquera à l'intérieur du bloc pour :

- **un schéma bloc fonctionnel :** le nom du composant ou l'opérateur mathématique associé à un composant particulier (exemple : l'opérateur $\displaystyle\int$ pour un intégrateur).
- **un schéma bloc :** l'équation mathématique issue de la transformation de Laplace de l'équation différentielle ou appelée encore fonction de transfert.

Les liens :

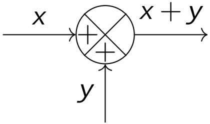
Ils représentent les grandeurs physiques véhiculées dans le système.
Ils sont orientés.

Sommateur ou comparateur

Un sommateur se représente par un cercle, éventuellement barré d'une croix, auquel aboutissent plusieurs flèches affectées d'un signe « + » ou « - » suivant l'entrée considérée et d'où part un seul arc représentant la somme algébrique des entrées.

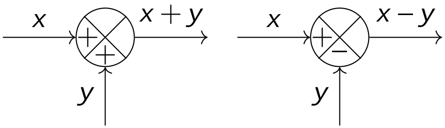
Sommateur ou comparateur

Un sommateur se représente par un cercle, éventuellement barré d'une croix, auquel aboutissent plusieurs flèches affectées d'un signe « + » ou « - » suivant l'entrée considérée et d'où part un seul arc représentant la somme algébrique des entrées.



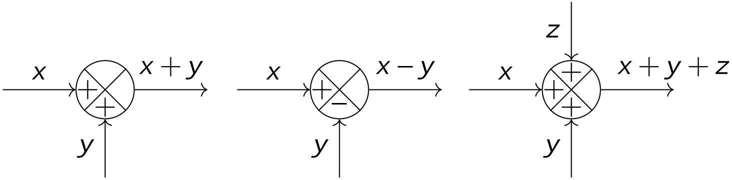
Sommateur ou comparateur

Un sommateur se représente par un cercle, éventuellement barré d'une croix, auquel aboutissent plusieurs flèches affectées d'un signe « + » ou « - » suivant l'entrée considérée et d'où part un seul arc représentant la somme algébrique des entrées.

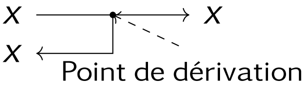


Sommateur ou comparateur

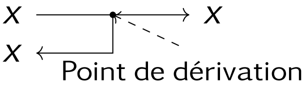
Un sommateur se représente par un cercle, éventuellement barré d'une croix, auquel aboutissent plusieurs flèches affectées d'un signe « + » ou « - » suivant l'entrée considérée et d'où part un seul arc représentant la somme algébrique des entrées.



Point de dérivation ou de jonction :

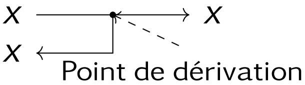


Point de dérivation ou de jonction :



Un point de dérivation est un point où l'on prélève un signal à destination d'un ou plusieurs organes du système de commande.

Point de dérivation ou de jonction :



Un point de dérivation est un point où l'on prélève un signal à destination d'un ou plusieurs organes du système de commande.

Le signal dans la branche de prélèvement est le même que celui qui existe dans la branche principale.

Fonction de transfert associée à un système

Le modèle mathématique (ou modèle dynamique) de comportement d'un système monovariable, linéaire, continu et invariant peut être décrit une équation différentielle à coefficients constants :

Fonction de transfert associée à un système

Le modèle mathématique (ou modèle dynamique) de comportement d'un système monovariable, linéaire, continu et invariant peut être décrit une équation différentielle à coefficients constants :

$$\boxed{a_n.\frac{d^{(n)}s(t)}{dt^n}+\ldots+a_1.\frac{ds(t)}{dt}+a_0.s(t)=b_m.\frac{d^{(m)}e(t)}{dt^m}+\ldots+b_1.\frac{de(t)}{dt}+b_0e(t)}$$

Fonction de transfert associée à un système

Le modèle mathématique (ou modèle dynamique) de comportement d'un système monovariable, linéaire, continu et invariant peut être décrit une équation différentielle à coefficients constants :

$$\boxed{a_n.\frac{d^{(n)}s(t)}{dt^n}+\ldots+a_1.\frac{ds(t)}{dt}+a_0.s(t)=b_m.\frac{d^{(m)}e(t)}{dt^m}+\ldots+b_1.\frac{de(t)}{dt}+b_0e(t)}$$

avec $n \geq m$

Supposons que le système soit initialement au repos et que pour t négatif, l'entrée $e(t)$ et ses dérivées successives soient toutes nulles. Cette remarque est également vraie pour la sortie $s(t)$ (conditions initiales nulles de Heaviside).

Supposons que le système soit initialement au repos et que pour t négatif, l'entrée $e(t)$ et ses dérivées successives soient toutes nulles. Cette remarque est également vraie pour la sortie $s(t)$ (conditions initiales nulles de Heaviside).

Les transformées de Laplace permettent alors de travailler aisément avec ce type d'équation. En effet, nous verrons que pour un système respectant les conditions d'Heaviside:

Supposons que le système soit initialement au repos et que pour t négatif, l'entrée $e(t)$ et ses dérivées successives soient toutes nulles. Cette remarque est également vraie pour la sortie $s(t)$ (conditions initiales nulles de Heaviside).

Les transformées de Laplace permettent alors de travailler aisément avec ce type d'équation. En effet, nous verrons que pour un système respectant les conditions d'Heaviside:

$$\boxed{\mathcal{L}\left[\frac{\mathrm{d}^n f(t)}{\mathrm{d}t^n}\right] = p^n.F(p)}$$

Supposons que le système soit initialement au repos et que pour t négatif, l'entrée $e(t)$ et ses dérivées successives soient toutes nulles. Cette remarque est également vraie pour la sortie $s(t)$ (conditions initiales nulles de Heaviside).

Les transformées de Laplace permettent alors de travailler aisément avec ce type d'équation. En effet, nous verrons que pour un système respectant les conditions d'Heaviside:

$$\boxed{\mathcal{L}\left[\frac{\mathrm{d}^n f(t)}{\mathrm{d}t^n}\right] = p^n.F(p)}$$

Ainsi l'équation différentielle précédente devient:

Supposons que le système soit initialement au repos et que pour t négatif, l'entrée $e(t)$ et ses dérivées successives soient toutes nulles. Cette remarque est également vraie pour la sortie $s(t)$ (conditions initiales nulles de Heaviside).

Les transformées de Laplace permettent alors de travailler aisément avec ce type d'équation. En effet, nous verrons que pour un système respectant les conditions d'Heaviside:

$$\boxed{\mathcal{L}\left[\frac{\mathrm{d}^n f(t)}{\mathrm{d}t^n}\right] = p^n.F(p)}$$

Ainsi l'équation différentielle précédente devient:

$$\boxed{(a_n.p^n + \ldots + a_1.p + a_0).S(p) = (b_m.p^m + \ldots + b_1.p + b_0).E(p)}$$

Définition : Fonction de transfert ou transmittance

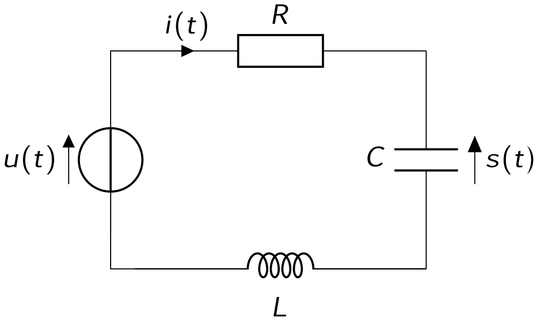
On appelle fonction de transfert ou transmittance la fonction H(p) définie par le rapport fonction de sortie $S(p)$ sur fonction d'entrée $E(p)$ pris dans le domaine symbolique de Laplace.

DÉFINITION : Fonction de transfert ou transmittance

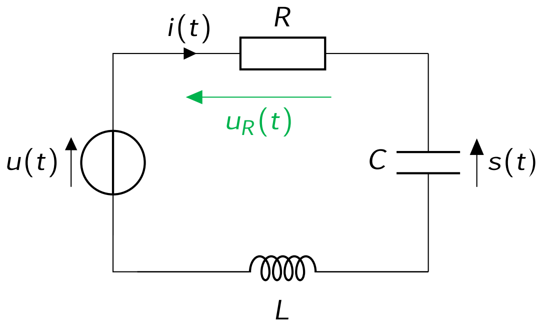
On appelle fonction de transfert ou transmittance la fonction H(p) définie par le rapport fonction de sortie $S(p)$ sur fonction d'entrée $E(p)$ pris dans le domaine symbolique de Laplace.

$$\boxed{H(p) = \frac{S(p)}{E(p)} = \frac{\sum_{j=0}^{m} b_j.p^j}{\sum_{i=0}^{n} a_i.p^i} = \frac{b_m.p^m + \ldots + b_1.p + b_0}{a_n.p^n + \ldots + a_1.p + a_0}}$$

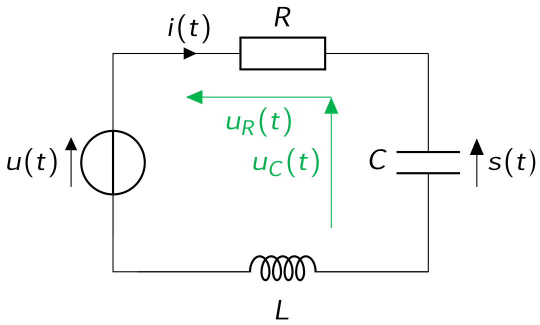
Circuit RLC série



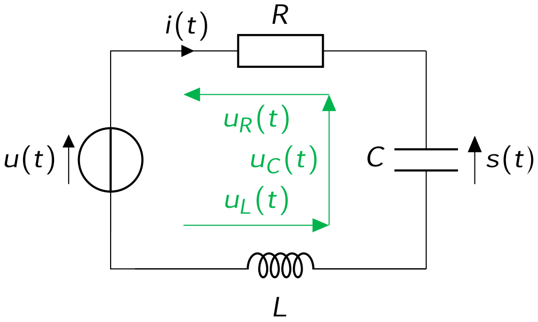
Circuit RLC série



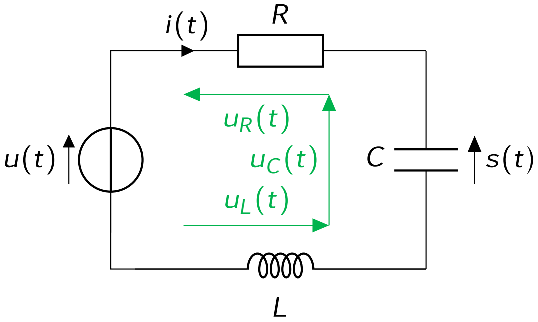
Circuit RLC série



Circuit RLC série

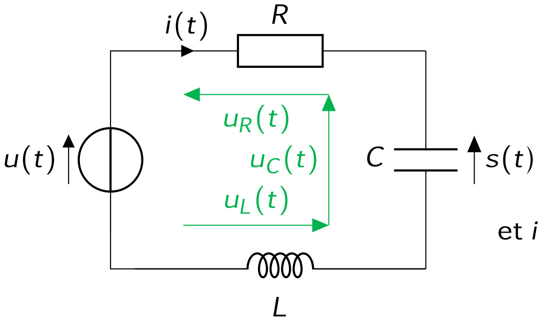


Circuit RLC série



$$u(t) = R.i(t) + s(t) + L.\frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t}$$

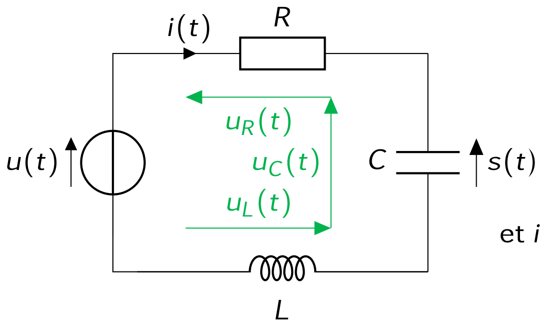
Circuit RLC série



$$u(t) = R.i(t) + s(t) + L.\frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{dt}}$$

$$\text{et } i(t) = c.\frac{\mathrm{d}s(t)}{\mathrm{dt}}$$

Circuit RLC série

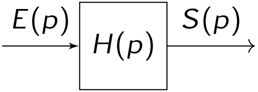


$$u(t) = R.i(t) + s(t) + L.\frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t}$$

et $i(t) = c.\dfrac{\mathrm{d}s(t)}{\mathrm{d}t}$

$$\boxed{L.C.\frac{d^2s}{dt^2} + R.C.\frac{ds}{dt} + s(t) = u(t) \qquad \Rightarrow \qquad \left[L.C.p^2 + R.C.p + 1\right].S(p) = U(p)}$$

La transmittance du système est une fraction rationnelle en p. $H(p)$ représente le comportement du système indépendamment du signal d′entrée. Le schéma bloc dans le domaine de Laplace, définit le modèle mathématique du système :



La transmittance du système est une fraction rationnelle en p. $H(p)$ représente le comportement du système indépendamment du signal d'entrée. Le schéma bloc dans le domaine de Laplace, définit le modèle mathématique du système :

$$E(p) \longrightarrow \boxed{H(p)} \longrightarrow S(p)$$

$$U(p) \longrightarrow \boxed{H(p) = \frac{1}{L.C.p^2 + R.C.p + 1}} \longrightarrow S(p)$$

La relation entrée-sortie du système se met sous la forme

$$\boxed{S(p) = H(p).E(p)}$$

La relation entrée-sortie du système se met sous la forme

$$\boxed{S(p) = H(p).E(p)}$$

En ordonnant les deux polynômes suivant les puissances croissantes de p, on obtient l'écriture suivante, encore appelée forme canonique de

la fonction de transfert :

La relation entrée-sortie du système se met sous la forme

$$\boxed{S(p) = H(p).E(p)}$$

En ordonnant les deux polynômes suivant les puissances croissantes de p, on obtient l'écriture suivante, encore appelée forme canonique de la fonction de transfert :

$$\boxed{H(p) = \frac{S(p)}{E(p)} = \frac{K}{p^\alpha}\frac{1 + b'_1.p + \ldots + b'_m.p^m}{1 + a'_1.p + \ldots + a'_n.p^n}}$$

La relation entrée-sortie du système se met sous la forme

$$\boxed{S(p) = H(p).E(p)}$$

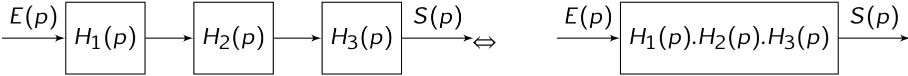
En ordonnant les deux polynômes suivant les puissances croissantes de p, on obtient l'écriture suivante, encore appelée forme canonique de la fonction de transfert :

$$\boxed{H(p) = \frac{S(p)}{E(p)} = \frac{K}{p^{\alpha}} \frac{1 + b'_1.p + \ldots + b'_m.p^m}{1 + a'_1.p + \ldots + a'_n.p^n}}$$

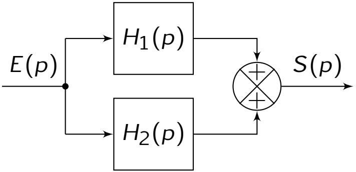
On définit :

- **les pôles :** les racines du dénominateur
- **les zéros :** les racines du numérateur
- **le gain:** K
- **la classe du système :** si $\alpha > 0$ alors $p = 0$ est un pôle du dénominateur. On dit que le système comporte α intégrateurs.

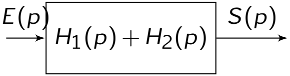
Transmittances en série



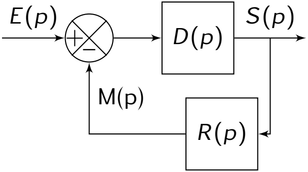
Transmittances en parallèle



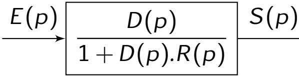
$\Leftrightarrow$



Structure en boucle fermée



$\Leftrightarrow$

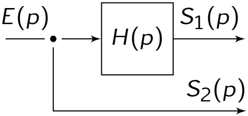


Déplacement des points de jonction et des sommateurs

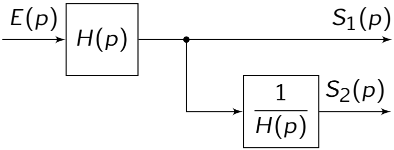
Les schémas blocs peuvent subir des modifications en vu de les simplifier. La figure montre quelques schémas équivalents.

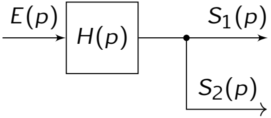
La modification de la structure du schéma a pour inconvénient de perdre le lien entre les entrées/sorties du schéma et les grandeurs physiques du système étudié.

Déplacement des points de jonction

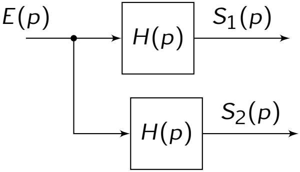


$\Leftrightarrow$

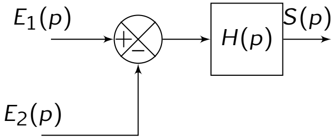




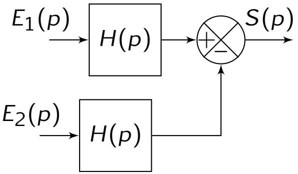
$\Leftrightarrow$

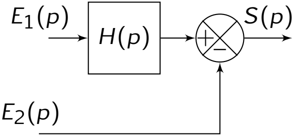


Déplacement des sommateurs

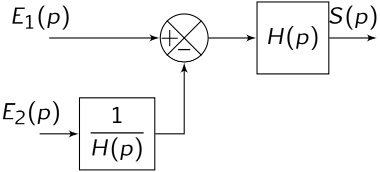


$\Leftrightarrow$





$\Leftrightarrow$



FTBO et FTBF

Système en boucle ouverte

La Fonction de Transfert en Boucle Ouverte ($FTBO$) est le rapport entre la mesure $M(p)$ et l'écart $\varepsilon(p)$:

FTBO et FTBF

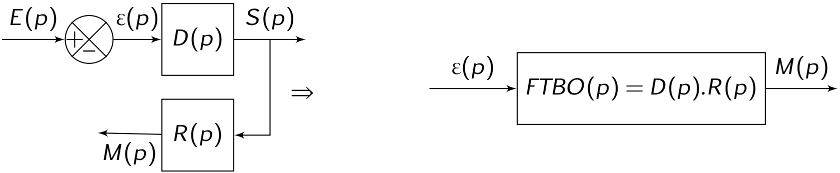
Système en boucle ouverte

La Fonction de Transfert en Boucle Ouverte ($FTBO$) est le rapport entre la mesure $M(p)$ et l'écart $\varepsilon(p)$:

$$\boxed{FTBO(p) = \frac{M(p)}{\varepsilon(p)} = \frac{\text{mesure}}{\text{écart}} = D(p).R(p)}$$

FTBO et FTBF

Système en boucle ouverte



FTBO et FTBF

Système en boucle fermée

La Fonction de Transfert en Boucle Fermée ($FTBF$) est le rapport entre la sortie $S(p)$ et l′entrée $E(p)$:

FTBO et FTBF

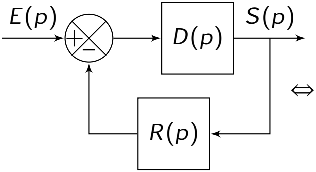
Système en boucle fermée

La Fonction de Transfert en Boucle Fermée ($FTBF$) est le rapport entre la sortie $S(p)$ et l'entrée $E(p)$:

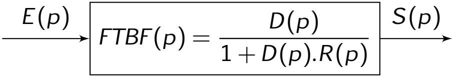
$$\boxed{FTBF(p) = \frac{S(p)}{E(p)} = \frac{\text{Sortie}}{\text{Entrée}} = \frac{D(p)}{1 + D(p).R(p)}}$$

FTBO et FTBF

Système en boucle fermée



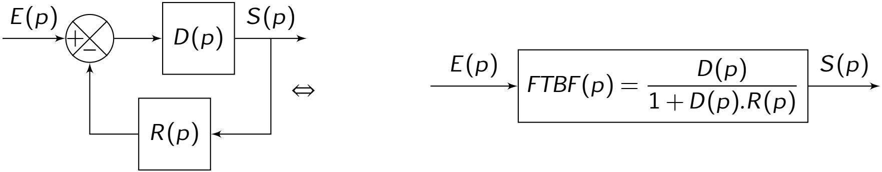
$\Leftrightarrow$



$$FTBF(p) = \frac{D(p)}{1 + D(p).R(p)}$$

FTBO et FTBF

Système en boucle fermée

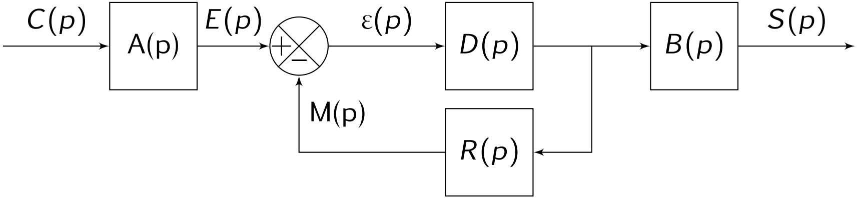


$$\boxed{FTBF(p) = \frac{D(p)}{1 + D(p).R(p)}}$$

pour un retour non unitaire

Dénominations complémentaires

Schéma bloc



Erreur

On appelle erreur, la différence entre la consigne $C(p)$ et la sortie $S(p)$.

Erreur

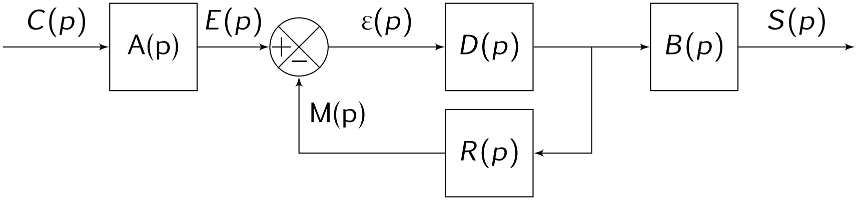
On appelle erreur, la différence entre la consigne $C(p)$ et la sortie $S(p)$.

$$\boxed{\begin{aligned} & e_{rr}(t) = c(t) - s(t) \\ \Rightarrow \quad & E_{rr}(p) = C(p) - S(p) \end{aligned}}$$

Erreur vs Ecart

Erreur	Ecart
$E_{rr}(p) = C(p) - S(p)$	$\varepsilon(p) = E(p) - M(p)$

Schéma bloc

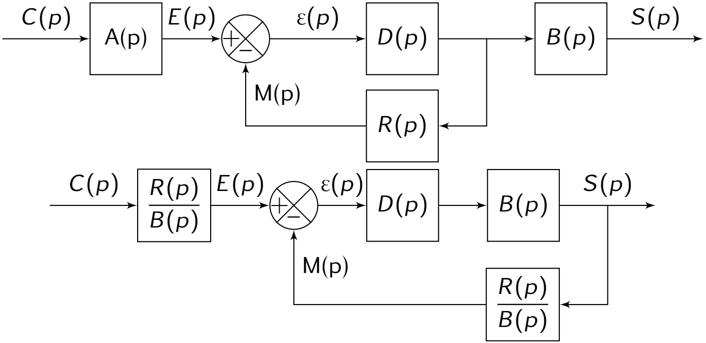


FTBO - FTBF - FTCD

FTBO	FTBF	FTCD
$FTBO(p) = \dfrac{M(p)}{\varepsilon(p)} = D(p).R(p)$	$\dfrac{S(p)}{C(p)} = FTBF(p) = \dfrac{A(p).D(p).B(p)}{1+D(p).R(p)}$	$FTCD(p) = A(p).D(p).B(p)$
Fonction de Transfert en Boucle Ouverte	Fonction de Transfert en Boucle Fermée	Fonction de Transfert en Chaîne Directe

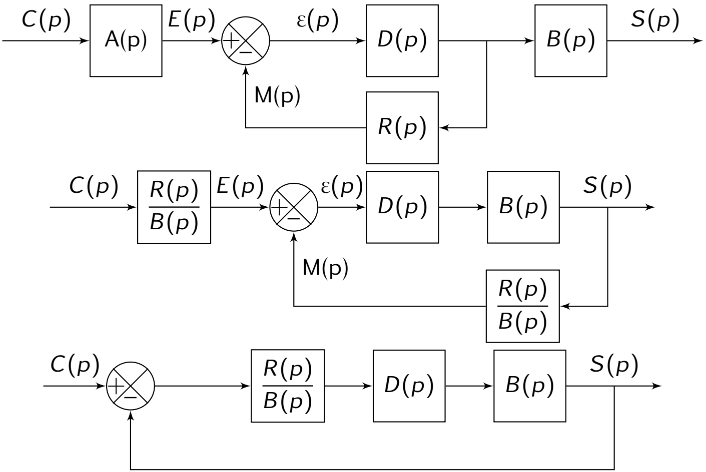
Système bouclé à retour unitaire

Remarque : Le système bouclé peut être transformé en un système à retour unitaire si $A(p) = R(p)/B(p)$:



Système bouclé à retour unitaire

Remarque : Le système bouclé peut être transformé en un système à retour unitaire si $A(p) = R(p)/B(p)$:



Sommaire

1 Introduction à l'automatique

2 Système de commande continu

3 Système asservi

4 Différents types de systèmes

5 Modélisation des systèmes linaires continus invariants

6 Modèles multi-physique

- Puissance - grandeurs flux et grandeurs potentielles
- Dualité - moteur/récepteur
- Modèle causal
- Modèle acausal

Puissance - grandeurs flux et grandeurs potentielles

La puissance P fournie, transmise ou reçue par un système est liée à sa variation d'énergie E fournie, transmise ou reçue par unité de temps t : $P = \dfrac{\mathrm{d}E}{\mathrm{dt}}$.

Puissance - grandeurs flux et grandeurs potentielles

La puissance P fournie, transmise ou reçue par un système est liée à sa variation d'énergie E fournie, transmise ou reçue par unité de temps t : $P = \dfrac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}t}$.

Si la puissance d'un système s'exprime, c'est que des grandeurs physiques qui lui sont attachées influent sur d'autres grandeurs physiques.

Puissance - grandeurs flux et grandeurs potentielles

La puissance P fournie, transmise ou reçue par un système est liée à sa variation d'énergie E fournie, transmise ou reçue par unité de temps t : $P = \dfrac{\mathrm{d}E}{\mathrm{dt}}$.

Si la puissance d'un système s'exprime, c'est que des grandeurs physiques qui lui sont attachées influent sur d'autres grandeurs physiques.

Les premières sont des grandeurs d'effort (ou potentielles notée e) et les secondes, des grandeurs flux (ou cinétiques notées f). La puissance P est le produit d'une grandeur d'effort e et d'une grandeur flux f : $P = e \times f$.

Puissance - grandeurs flux et grandeurs potentielles

La puissance P fournie, transmise ou reçue par un système est liée à sa variation d'énergie E fournie, transmise ou reçue par unité de temps t : $P = \dfrac{\mathrm{d}E}{\mathrm{dt}}$.

Si la puissance d'un système s'exprime, c'est que des grandeurs physiques qui lui sont attachées influent sur d'autres grandeurs physiques.

Les premières sont des grandeurs d'effort (ou potentielles notée e) et les secondes, des grandeurs flux (ou cinétiques notées f). La puissance P est le produit d'une grandeur d'effort e et d'une grandeur flux f : $P = e \times f$.

L'influences des grandeurs d'effort sur les grandeurs flux est due à la causalité des processus : pas de cause implique pas d'effet. Ainsi, par exemple, lorsqu'on applique le PFD, ce sont les efforts extérieurs qui génèrent l'accélération et non l'inverse.

Dualité - moteur/récepteur

Si un système moteur fournit de l'énergie à un système récepteur, l'un impose une grandeur effort et l'autre une grandeur flux.

Dualité - moteur/récepteur

Si un système moteur fournit de l'énergie à un système récepteur, l'un impose une grandeur effort et l'autre une grandeur flux.

Un système ne peut imposer en même temps la grandeur flux et la grandeur effort pour un même transfert d'énergie. Ainsi, si un système moteur impose la vitesse de déplacement, la charge réceptrice imposera l'effort correspondant.

Dualité - moteur/récepteur

Si un système moteur fournit de l'énergie à un système récepteur, l'un impose une grandeur effort et l'autre une grandeur flux.

Un système ne peut imposer en même temps la grandeur flux et la grandeur effort pour un même transfert d'énergie. Ainsi, si un système moteur impose la vitesse de déplacement, la charge réceptrice imposera l'effort correspondant.

On dresse alors le tableau des dualités effort/flux pour différents types de puissance.

Dualité - moteur/récepteur

Puissance	Effort e	Flux f

Dualité - moteur/récepteur

Puissance	**Effort** e	**Flux** f
Mécanique de translation	Force F (en N)	Vitesse v (en m/s)

Dualité - moteur/récepteur

Puissance	**Effort** e	**Flux** f
Mécanique de translation	Force F (en N)	Vitesse v (en m/s)
Mécanique de rotation	Couple C (en N.m)	Vitesse angulaire ω (en rad/s)

Dualité - moteur/récepteur

Puissance	**Effort** e	**Flux** f
Mécanique de translation	Force F (en N)	Vitesse v (en m/s)
Mécanique de rotation	Couple C (en N.m)	Vitesse angulaire ω (en rad/s)
Électrique	Tension U (en V)	Intensité i (en A)

Dualité - moteur/récepteur

Puissance	**Effort** e	**Flux** f
Mécanique de translation	Force F (en N)	Vitesse v (en m/s)
Mécanique de rotation	Couple C (en N.m)	Vitesse angulaire ω (en rad/s)
Électrique	Tension U (en V)	Intensité i (en A)
Hydraulique	Pression P (en Pa)	Débit q (en m^3/s)

Dualité - moteur/récepteur

Puissance	**Effort e**	**Flux f**
Mécanique de translation	Force F (en N)	Vitesse v (en m/s)
Mécanique de rotation	Couple C (en N.m)	Vitesse angulaire ω (en rad/s)
Électrique	Tension U (en V)	Intensité i (en A)
Hydraulique	Pression P (en Pa)	Débit q (en m^3/s)
Thermique	Température T (en K)	Flux de chaleur ϕ (en W/K)

Dualité - moteur/récepteur

Puissance	**Effort** e	**Flux** f
Mécanique de translation	Force F (en N)	Vitesse v (en m/s)
Mécanique de rotation	Couple C (en N.m)	Vitesse angulaire ω (en rad/s)
Électrique	Tension U (en V)	Intensité i (en A)
Hydraulique	Pression P (en Pa)	Débit q (en m^3/s)
Thermique	Température T (en K)	Flux de chaleur ϕ (en W/K)

Remarque : pour parler des puissances moyennes, on utilise parfois le CV (cheval vapeur) tel qu'un 1 CV = 730 W. Pour les plus grosses puissances, on utilise le kW, le MW et le GW.

Modèle causal

Les systèmes physiques sont modélisables par des relations mathématiques liées à des équations différentielles linéaires ou non à coefficients constants ou non, d'un ordre de dérivation naturellement plus élevé sur les sorties que sur les entrées.

Dans le cas le plus simple, prenons l'exemple suivant : $\dfrac{\mathrm{d}s(t)}{\mathrm{d}t} = e(t)$ avec s la sortie et e l'entrée.

S'il est possible de connaître à tout instant la sortie $s(t)$ par intégration :

$$s(t) = \int_{t_0}^{t} e(\tau).\mathrm{d}\tau + s(t_0)$$

connaitre l'entrée $e(t)$ à partir de la sortie s est plus délicat car on ne connait pas l'évolution future de s :

$$\text{avec } h \geq 0 \quad e(t) = \lim_{h\to 0} \frac{s(t)-s(t-h)}{h} \quad \textit{Ok} \quad \text{on parle alors de dérivée arrière}$$

$$e(t) = \lim_{h\to 0} \frac{s(t+h)-s(t)}{h} \quad \textit{Pb} \quad \text{dérivée avant non déterminable}$$

Les équations différentielles linéaires à coefficients constants sont traitées en physique via la recherche de la solution du système homogène ou du système en régime forcé (passage aux grandeurs complexes) :

$$\underline{S}(t) = \underline{A}.e^{j.(\omega.t+\phi)} \quad \Rightarrow \quad s(t) = \mathfrak{Re}\left(\underline{A}.e^{j.(\omega.t+\phi)}\right)$$

Les équations différentielles linéaires à coefficients constants sont traitées en physique via la recherche de la solution du système homogène ou du système en régime forcé (passage aux grandeurs complexes) :

$$\underline{S}(t) = \underline{A}.e^{j.(\omega.t+\phi)} \quad \Rightarrow \quad s(t) = \mathfrak{Re}\left(\underline{A}.e^{j.(\omega.t+\phi)}\right)$$

Ces mêmes équations différentielles sont traitées en SI grâce au passage dans le domaine de Laplace (cf prochain cours...) :

$$s(t) = \mathcal{L}^{-1}\left[S(p)\right]$$

Les équations différentielles linéaires à coefficients constants sont traitées en physique via la recherche de la solution du système homogène ou du système en régime forcé (passage aux grandeurs complexes) :

$$\underline{S}(t)=\underline{A}.e^{j.(\omega.t+\phi)} \quad \Rightarrow \quad s(t)=\mathfrak{Re}\left(\underline{A}.e^{j.(\omega.t+\phi)}\right)$$

Ces mêmes équations différentielles sont traitées en SI grâce au passage dans le domaine de Laplace (cf prochain cours...) :

$$s(t)=\mathcal{L}^{-1}\left[S(p)\right]$$

Les équations différentielles linéaires ou non à coefficients constants ou non sont traitées d'un point de vu numérique avec la méthode d'Euler (et ses dérivées) en ramenant le problème différentiel à un problème de Cauchy :

$$\left\{\begin{array}{ccc} \dfrac{\mathrm{d}s(t)}{\mathrm{d}t} & = & F(s(t),t) \\ s(t_0) & = & s_0 \end{array}\right.$$

Les équations différentielles linéaires à coefficients constants sont traitées en physique via la recherche de la solution du système homogène ou du système en régime forcé (passage aux grandeurs complexes) :

$$\underline{S}(t) = \underline{A}.e^{j.(\omega.t+\phi)} \quad \Rightarrow \quad s(t) = \mathfrak{Re}\left(\underline{A}.e^{j.(\omega.t+\phi)}\right)$$

Ces mêmes équations différentielles sont traitées en SI grâce au passage dans le domaine de Laplace (cf prochain cours...) :

$$s(t) = \mathcal{L}^{-1}\left[S(p)\right]$$

Les équations différentielles linéaires ou non à coefficients constants ou non sont traitées d'un point de vu numérique avec la méthode d'Euler (et ses dérivées) en ramenant le problème différentiel à un problème de Cauchy :

$$\left\{\begin{array}{lcl} \dfrac{\mathrm{d}s(t)}{\mathrm{d}t} & = & F(s(t),t) \\ s(t_0) & = & s_0 \end{array}\right.$$

C'était au programme d'informatique de tronc commun au S2 avant la rentrée 2021 et c'est maintenant au programme de SI au S3 (et aux programmes physique et chimie).

Les équations différentielles linéaires à coefficients constants sont traitées en physique via la recherche de la solution du système homogène ou du système en régime forcé (passage aux grandeurs complexes) :

$$\underline{S}(t) = \underline{A}.e^{j.(\omega.t+\phi)} \quad \Rightarrow \quad s(t) = \mathfrak{Re}\left(\underline{A}.e^{j.(\omega.t+\phi)}\right)$$

Ces mêmes équations différentielles sont traitées en SI grâce au passage dans le domaine de Laplace (cf prochain cours...) :

$$s(t) = \mathcal{L}^{-1}\left[S(p)\right]$$

Les équations différentielles linéaires ou non à coefficients constants ou non sont traitées d'un point de vu numérique avec la méthode d'Euler (et ses dérivées) en ramenant le problème différentiel à un problème de Cauchy :

$$\left\{\begin{array}{rcl} \dfrac{\mathrm{d}s(t)}{\mathrm{d}t} & = & F(s(t),t) \\ s(t_0) & = & s_0 \end{array}\right.$$

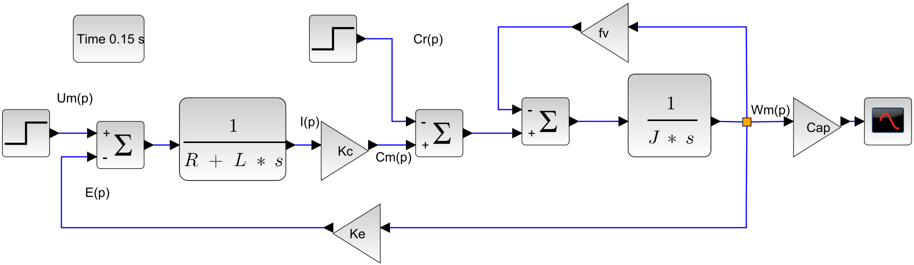
C'était au programme d'informatique de tronc commun au S2 avant la rentrée 2021 et c'est maintenant au programme de SI au S3 (et aux programmes physique et chimie). Patience !

Le traitement des équations différentielles linéaires à coefficients constants dans le domaine symbolique de Laplace peut se faire à l'aide de logiciels comme Matlab/Simulink ou Scilab/Xcos. Le système est alors représenté sous forme de schéma bloc.

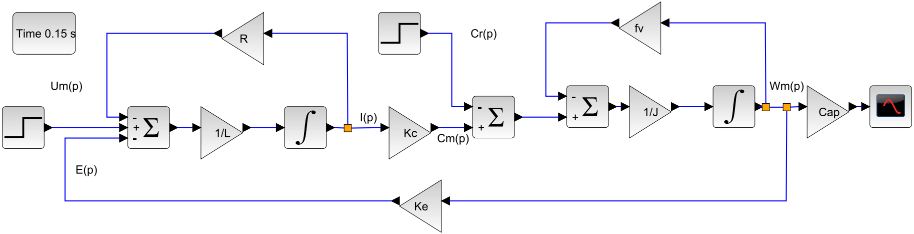
Les grandeurs sont soit de type effort, soit de type flux. Les blocs sont des opérateurs mathématiques (gain, somme, intégrateur, dérivateur, ...).

Le traitement des équations différentielles linéaires à coefficients constants dans le domaine symbolique de Laplace peut se faire à l'aide de logiciels comme Matlab/Simulink ou Scilab/Xcos. Le système est alors représenté sous forme de schéma bloc.

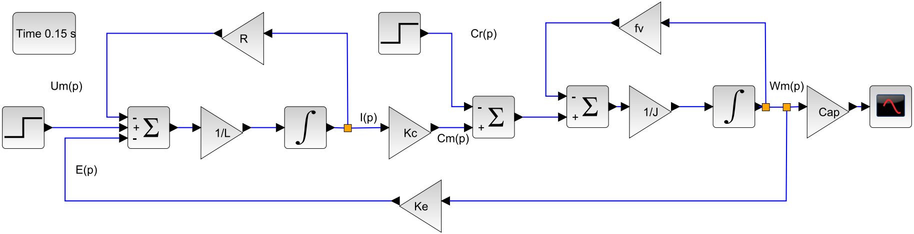
Les grandeurs sont soit de type effort, soit de type flux. Les blocs sont des opérateurs mathématiques (gain, somme, intégrateur, dérivateur, . . .).



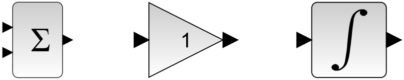
Modèle causal d'un moteur électrique sans transformées de Laplace



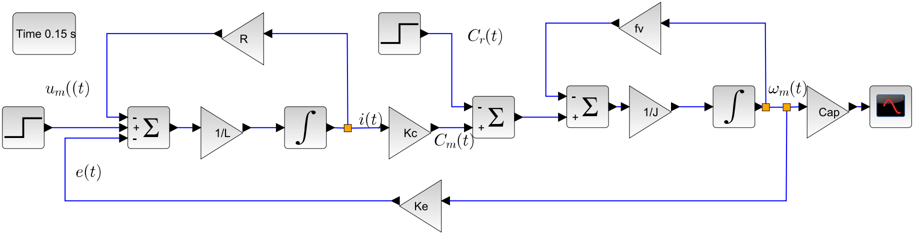
Modèle causal d'un moteur électrique sans transformées de Laplace



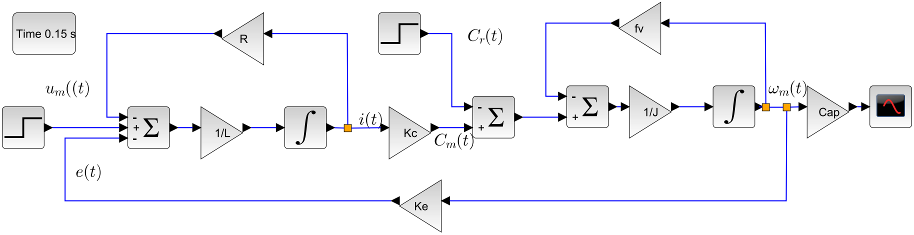
Opérateurs causaux



Addition Multiplication Intégration

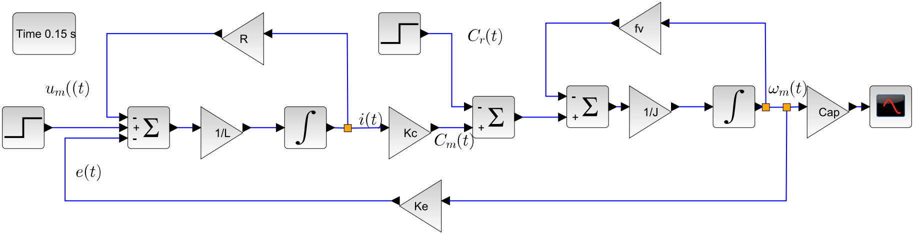


Time 0.15 s
$u_m((t)$
R
$C_r(t)$
fv
$\omega_m(t)$
Σ
1/L
$i(t)$
Kc
$C_m(t)$
1/J
Cap
$e(t)$
Ke



$$\begin{cases} i(t) = \int \frac{1}{L}.(u_m(t) - e(t) - R.i(t)).\mathrm{d}t \\ \omega_m(t) = \int \frac{1}{J}.(C_m(t) - C_r(t) - f_v.\omega_m(t)) \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} u_m(t) = R.i(t) + L\frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t} + e(t) \\ J.\frac{\mathrm{d}\omega_m(t)}{\mathrm{d}t} = C_m(t) - C_r(t) - f_v.\omega_m(t) \end{cases}$$



$$\begin{cases} i(t) = \int \frac{1}{L}.(u_m(t) - e(t) - R.i(t)).\mathrm{d}t \\ \omega_m(t) = \int \frac{1}{J}.(C_m(t) - C_r(t) - f_v.\omega_m(t)) \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} u_m(t) = R.i(t) + L\frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t} + e(t) \\ J.\frac{\mathrm{d}\omega_m(t)}{\mathrm{d}t} = C_m(t) - C_r(t) - f_v.\omega_m(t) \end{cases}$$

et les équations de couplages électromécanique $e(t) = K_e.\omega_m(t)$ et $C_m(t) = K_c.i(t)$.

Modèle acausal

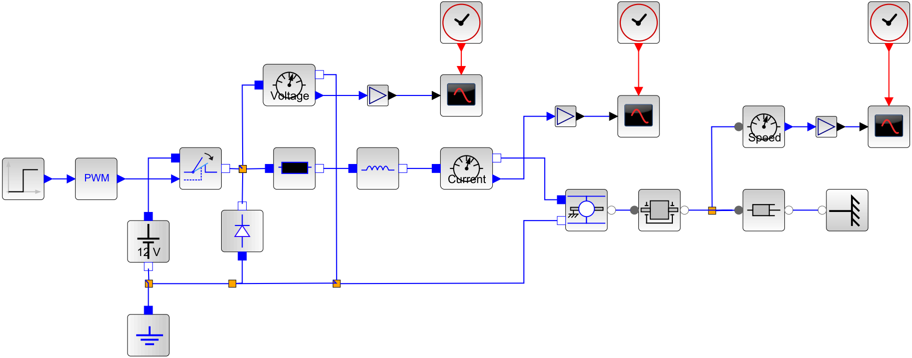
La représentation d'un système par un modèle causal est purement mathématique et on perd l'architecture matérielle.

Modèle acausal

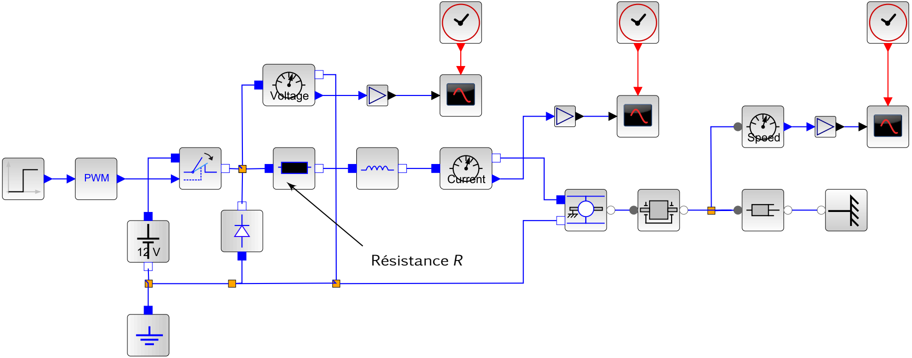
La représentation d'un système par un modèle causal est purement mathématique et on perd l'architecture matérielle.

Un autre représentation plus récente est le modèle acausal dans lequel les blocs sont les composants du système. Les liens entre les blocs traduisent les grandeurs flux et/ou effort qui transitent sans préciser l'orientation. Les équations différentielles sont résolues à partir de solveurs (Matlab/Simulink/Simscape ou Scilab/Xcos/SIMM).

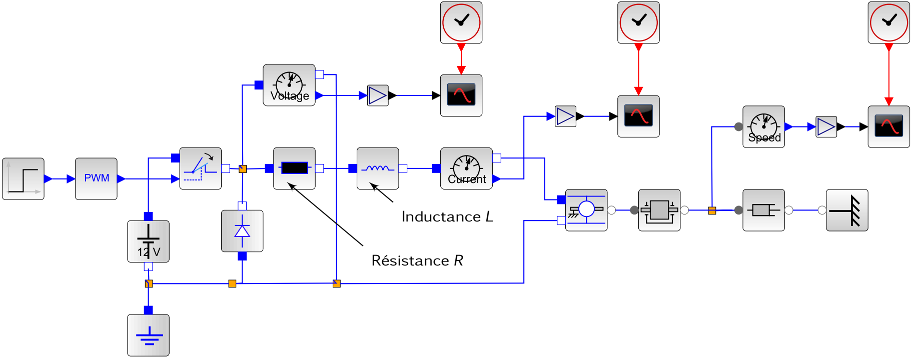
Modèle acausal



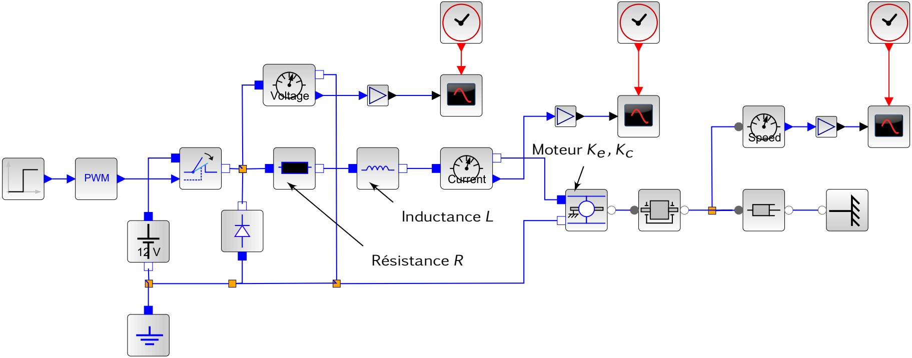
Modèle acausal



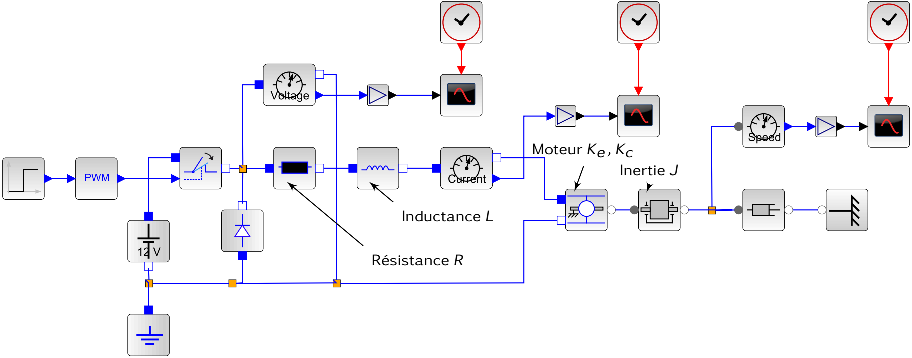
Modèle acausal



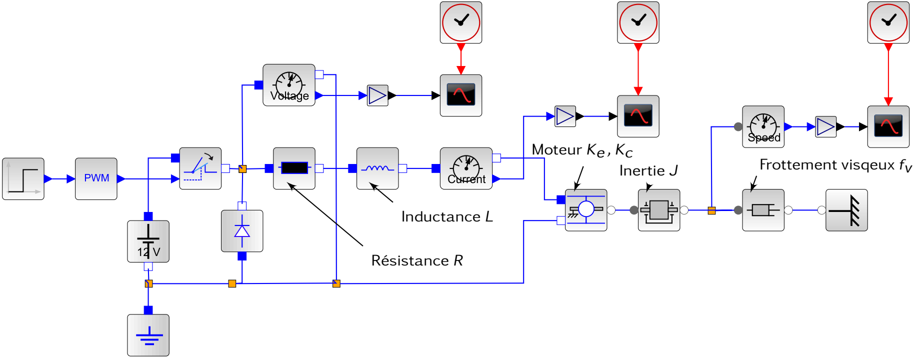
Modèle acausal



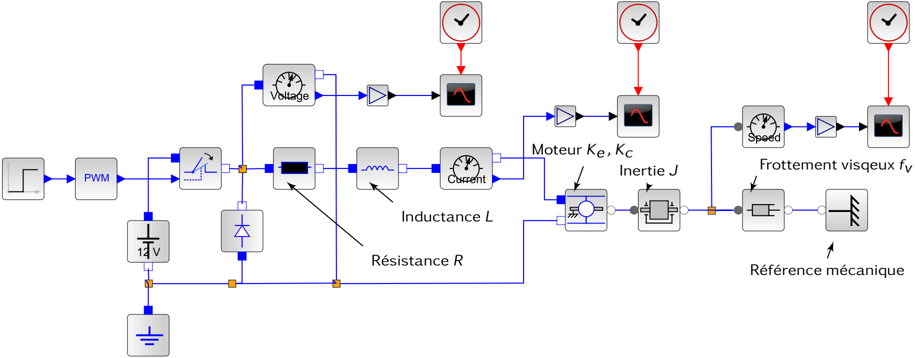
Modèle acausal



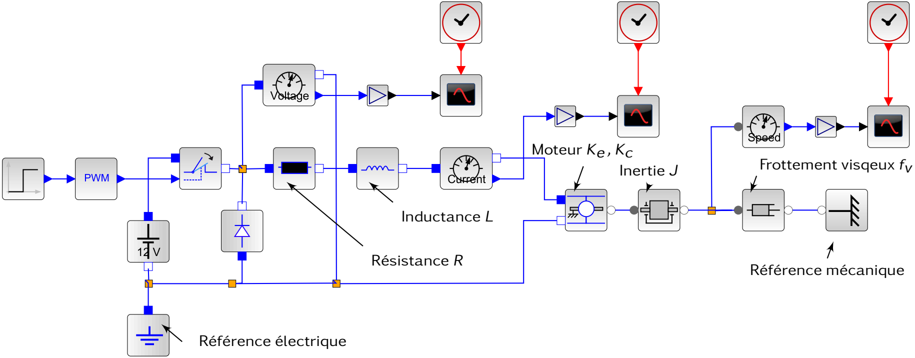
Modèle acausal



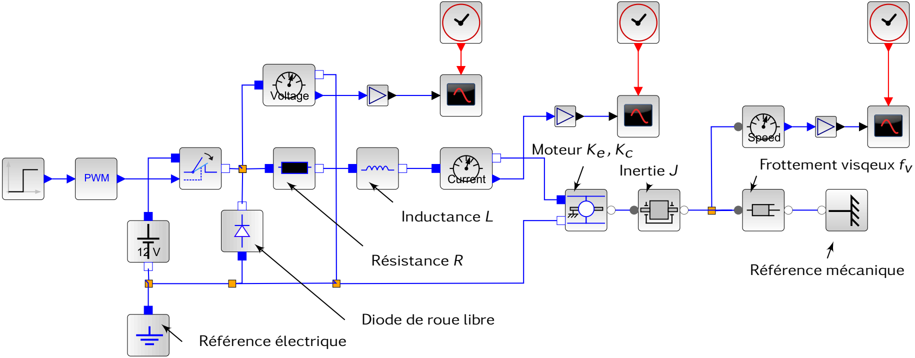
Modèle acausal



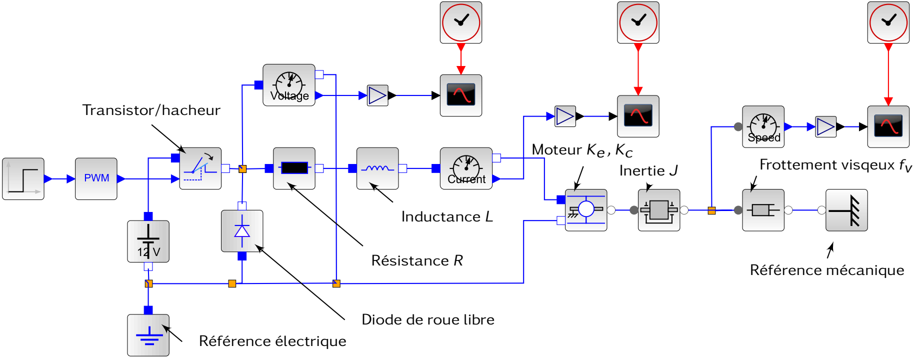
Modèle acausal



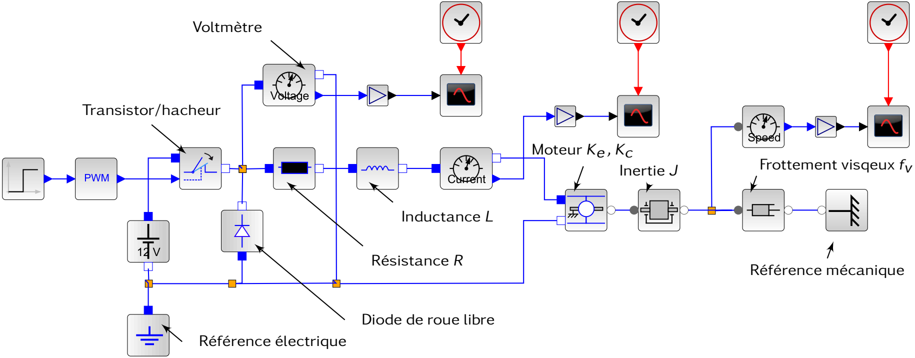
Modèle acausal



Modèle acausal



Modèle acausal



Modèle acausal