Module: MECA 301

MODÉLISATION ET DIAGNOSTIC DES SYSTÈMES MÉCATRONIQUE

Spécialité Mécatronique

LABORATOIRE D 'AUTOMATIQUE ET PRODUCTIQUE

Chapitre II

LES BOND GRAPHS

SOMMAIRE

I.-. INTRODUCTION

Que ce soit pour créer un nouveau produit ou améliorer un produit existant, la démarche de l'ingénieur chargé de la réalisation de ce projet passe par une première phase incontournable: **la modélisation**.

Et suite à la pluridisciplinarité des nouveaux produits, combinant la mécanique, l'hydraulique, l'électronique… ce qui rend difficile la communication entre spécialistes de domaines différents qui doivent collaborer de plus en plus.

Car, chaque domaine physique comporte ses traditions et habitudes en termes de notations, de méthodologies et conventions, De plus les procédés énergétiques possèdent un comportement fortement non linéaire dû principalement à l'interaction mutuelle de plusieurs phénomènes de natures diverses et associant des composants technologiques qui mettent en œuvre des énergies de natures différentes (mécanique, chimique, thermodynamique, etc.).

Cependant le principe de fonctionnement de n'importe quelle système physique s'explique par un échange d'énergie.

Ainsi l'énergie est un (pour ne pas dire « le ») concept essentiel dans la description de l'évolution des systèmes technologiques. On le retrouve dans tous les domaines : il constitue le lien entre ceux-ci.

Fort de cette constatation, Henry M. Paynter (1923-2002), a introduit le concept de « bond graph » (BG) (graphe de liaisons) en 1961.

Père des bond graphs: Henry Paynter(MIT Boston)

1er ouvrage : 1961

Arrivée en Europe : fin des 70s
–Pays-Bas (TwenteUniv.)
–France (Alsthom)

II.-.QU'EST-CE QU'UN BOND GRAPH ?

Le bond graphs est outil graphique de modélisation des systèmes multi-physique basé sur l'échange d'énergie. Il permet de modéliser n'importe quel système physique avec le même langage.

La conception d'un BG ou graph de liens repose sur l'échange d'énergie entre les éléments du système étudié et s'appuie sur la notion de causalité.

NOTION DE CAUSALITÉ

En Mécanique

Pour une masse en mouvement, la force constitue la cause et la vitesse l'effet.

En électronique

L'évolution de la tension aux bornes d'un condensateur est la conséquence du courant la traversant.

La méthodologie des BG suppose que le système soit à paramètres localisés. Dans ce cas, il est possible de décomposer l'ensemble étudié en éléments appelés **PORTS**.

Entre ces ports l'énergie est transmise, celle-ci se décomposant entre **EFFORT** et **FLUX**. Ces dénominations générales d'**EFFORT** et **FLUX** peuvent se décliner dans plusieurs domaines de la physique.

Cette dernière remarque constitue un atout majeur de la représentation d'un système par BG.

En effet, il sera possible avec le même formalisme, de représenter des phénomènes électriques, mécaniques, thermiques, chimiques, hydraulique, etc.

III.-.PRÉSENTATION DE LA MÉTHODOLOGIE BOND GRAPHS

III.1.-. Notions fondamentales

Considérons le système représenté par la figure 1 Il se compose d'un moteur à courant continu, qui entraîne par l'intermédiaire d'un arbre élastique, dans un mouvement en rotation, un pignon; celui-ci est couplé à une crémaillère qui entraîne dans son mouvement de translation un piston qui comprime l'air contenu dans un cylindre, l'amenant à s'échapper par un orifice.

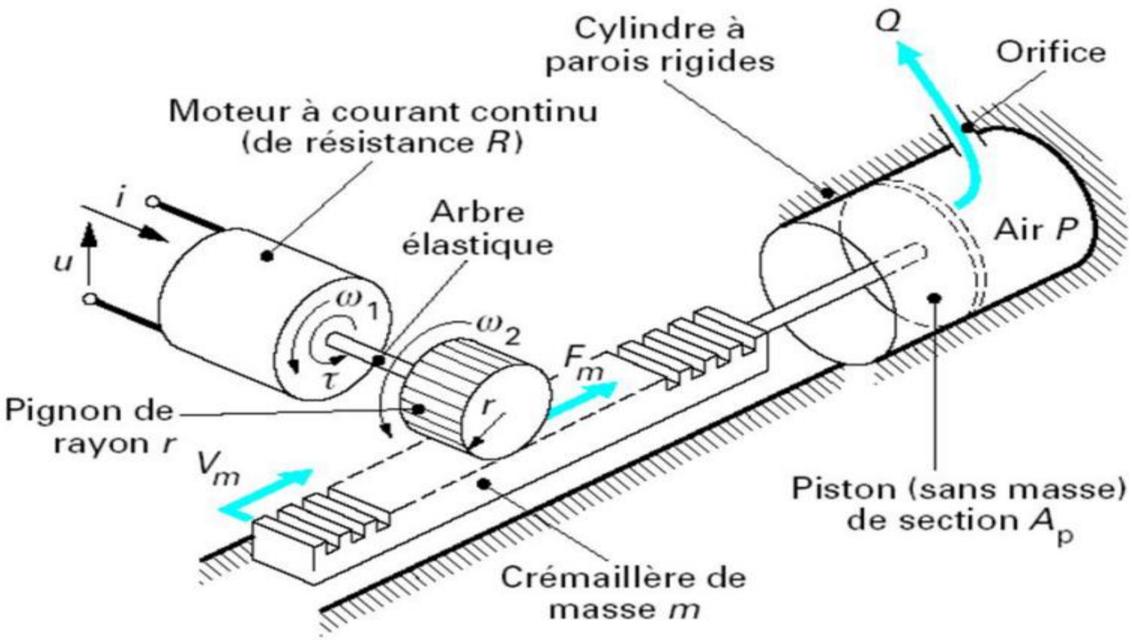


Figure 1: Exemple de système dynamique multi-phsique

Dans ce système plusieurs domaines de la physique apparaissent et échangent de la puissance :

- électrique,
- mécanique de rotation et de translation,
- et pneumatique

Dans le système global composé des sous-systèmes, il y a conservation de l'énergie et continuité de puissance.

la puissance instantanée échangée se calcule,

- en mécanique par FV ou Cw,
- en électricité par UI,
- en pneumatique par PQ.

Le flux d'énergie échangé entre deux sous-systèmes est représenté par un lien de puissance, caractérisé par une demi-flèche qui correspond au « **bond** » (ou lien) du bond graph

Le schéma physique de la figure **1** conduit à une représentation sous forme de **bond graph à mots** présentée figure **2**.

Le lien porte les variables mises en jeu dans le calcul de la puissance, et le sens de la demi-flèche est celui correspondant au sens positif de la puissance et de la variable V, w, i ou Q.

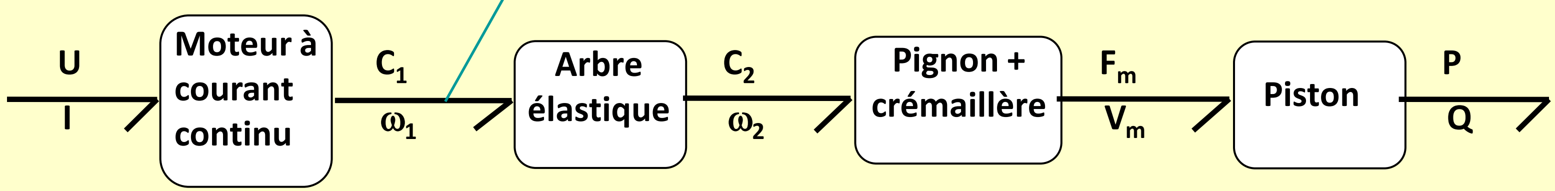


Figure 2 : Bond Graphs à mots associé au schéma de la figure 1

Comme second exemple pour illustrer cette approche, une analyse par BG à mots pour un véhicule électrique, donne la décomposition suivante :

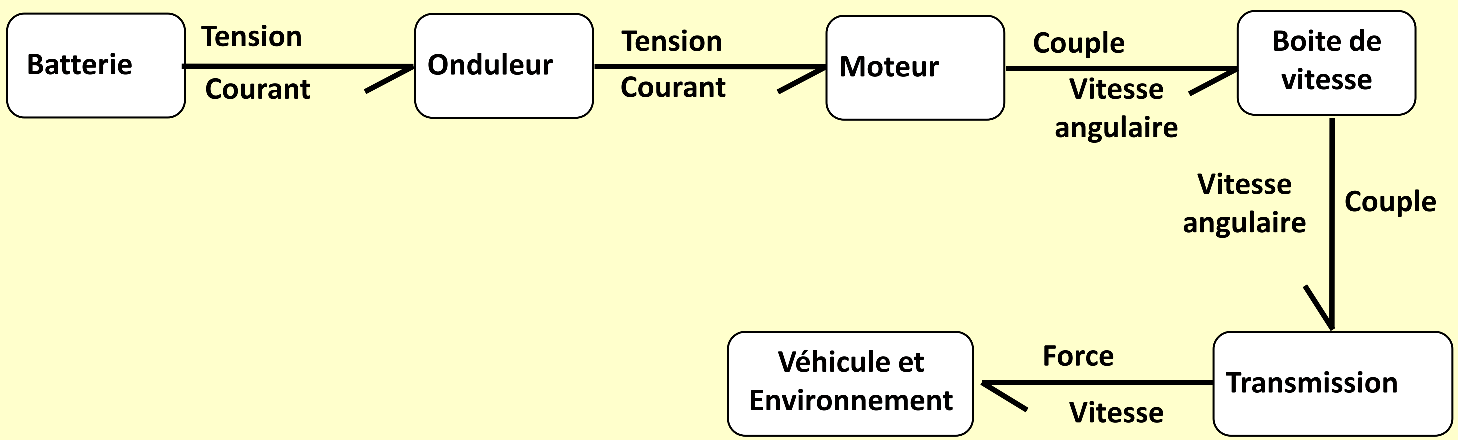


Figure 3 : Bond Graphs à mots d'un véhicule électrique

Le lien comportera deux grandeurs

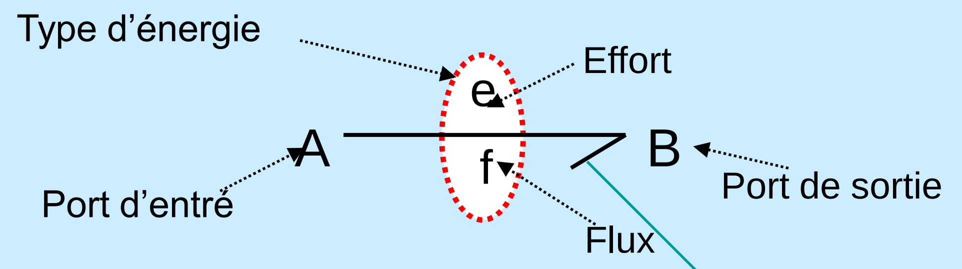
la variable de flux notée f

C'est une variable extensive et correspond à un nombre de particules par unité de temps.

La variable d'effort, notée e

C'est une variable intensive indépendante de toute quantité de matière.

Un modèle bond graphs est une représentation graphique basé sur la possibilité de décomposition du système en un ensemble de sous systèmes élémentaires échangeant de la puissance entre eux. Le transfert de puissance (ou flux d'énergie) entre deux sous-systèmes est représenté par une demi flèche qui correspond au «bond » du bond graph.



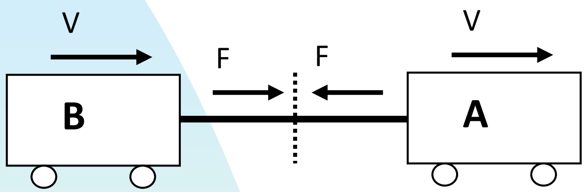
Représentations d'un lien entre deux ports

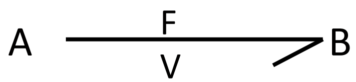
Le sens de la demi flèche et celui correspondant au sens positif de la puissance

III.2.-. Définitions

Entraînement Mécanique

Si le véhicule A entraîne la charge B, la force de traction F sera l'effort et la vitesse V le flux ; ainsi la demi flèche donne alors le sens de passage de l'énergie.

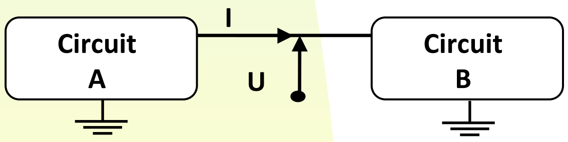


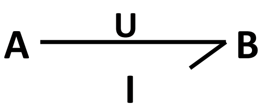


Bond graph

Systèmes Électriques

Dans le domaine électrique, lorsque le circuit A alimente le circuit B, la tension U représente l'effort et le courant i le flux (au sens Bond Graphs).





Bond graph

III.3.-. *Variables mise en jeu*

Deux types de variables sont utilisées dans la théorie bond graphs

La variable de puissance

associées à chaque lien par les variables l'effort *e*(*t*) et le flux *f*(*t*)

les variables d'énergie

Qui sont le moment généralisé p(t) et le déplacement généralisé q(t)

III.3.1.-. La variable de puissance P

La puissance échangée résulte du produit d'un flux par un effort.

$$P(t) = e(t) \cdot f(t)$$

Exemples

En électricité

P = U.I

- Effort : e = U la tension en Volts
- Flux: f = I le courant en Ampère

En mécanique de rotation

P = C.ω

- Effort : e = C le couple en N/m
- Flux: f = ω la vitesse angulaire rad/s

III.3.2.-. La variable du moment généralisé p(t)

Le moment généralisé noté p(t) correspond à l'intégrale de l'effort

$$p(t) = \int_0^t e(\tau)d\tau + p(0)$$

Exemples

En électricité

$$p(t) = \int_0^t U(\tau)d\tau + p(0)$$

Mais d'après les relations en électricité on a :

$$u(t) = \frac{d\varphi}{dt} \quad \Rightarrow \quad \varphi = \int_0^t u(t)dt$$

Donc pour un système **électrique le moment** généralisé **c'est le flux P(t) = φ(t)**

En mécanique de translation

$$p(t) = \int_0^t F(\tau)d\tau + p(0)$$

Le moment généralisé représente en mécanique de translation, l'impulsion en Ns.

En mécanique de rotation

$$p(t) = \int_0^t C(\tau)d\tau + p(0)$$

Le moment généralisé représente, en mécanique de rotation, l'impulsion angulaire en Nms.

III.3.3.-. La variable de déplacement généralisé q(t)

Cette notion de déplacement est la grandeur duale du moment généralisé noté q(t) elle s'exprime par l'intégrale du flux

$$q(t) = \int_0^t f(\tau)d\tau + q(0)$$

Exemples

En électricité

$$q(t) = \int_0^t I(\tau)d\tau + q(0)$$

or: $Q = C.U$

De plus: $U = \frac{1}{C}\int_0^t I(t)dt$

$$Q = \int_0^t I(t)dt \Rightarrow q = Q$$

Dans le domaine électrique le déplacement représente <u>la charge en Coulomb: q(t) = Q</u>.

En mécanique de translation

$$q(t) = \int_0^t V(\tau)d\tau + q(0)$$

Mais l'intégrale de la vitesse est ici le déplacement exprimé en m

$$x(t) = x_0 + \int_{t_0}^t V(\tau)d\tau \quad \Rightarrow \quad x = q$$

C'est de la particularité, de cette variable dans le domaine mécanique, que vient la dénomination de déplacement.

En mécanique de rotation

$$q(t) = \int_0^t \omega(\tau)d\tau + q(0)$$

$$\theta(t) = \theta_0 + \int_{t_0}^t \omega(\tau)d\tau \quad \Rightarrow \quad \theta = q$$

III.3.4.-. La variable d'énergie E(t)

Dans un système l'énergie est

stockée

ou dissipée

Les mécanismes de dissipation sont multiples mais aboutissent tous à une transformation en chaleur. C'est par exemple ; l'effet joule pour les courants électriques, les frottements mécanique aux interfaces des déplacements.

La variable d'énergie s'exprime par:

$$E(t) = \int_0^t e(\tau) f(\tau) d\tau + E(0)$$

Exemples

En électricité

$$E(t) = \int_0^t U(\tau)I(\tau)d\tau + E(0)$$

En mécanique de translation

$$E(t) = \int_0^t F(\tau)V(\tau)d\tau + q(0)$$

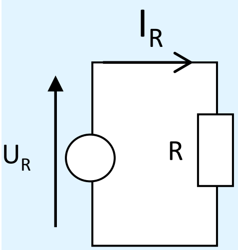
III.4.-. Variables de flux et d'effort en fonction du domaine

Domaine	Effort E	Flux F	Moment P	Déplacement
Électrique	La tension U en Volts	Le courant I en Ampère	Flux θ en V.s	Charge Q en coulomb
Mécanique Translation	La force en Newton	La vitesse en m/s	moment p en N.s	Déplacement x en mètre
Mécanique Rotation	Le couple C en Nm	La vitesse ω en rad/s	moment angulaire p en N. m s	Angle en rad
Magnétique	La force magnétomotrice	La dérivée du flux magnétique		Le flux magnétique
Hydraulique	Pression en Pascal	Débit Q en m^3/s	Impulsion égale à l'intégrale de la pression $N.s/m^2$	Volume en m^3
Thermique	Température en degré Celsius	Dérivée de l'entropie S (taux d'échange thermique	Non utilisée	Entropie S (Quantité de chaleur)
Chimique	Potentiel chimique μ	Flux molaire	Non utilisée	Nombre de moles

RAPPEL SUR LES RELATIONS FONDAMENTALES EN ÉLECTRICITÉ ET MÉCANIQUE

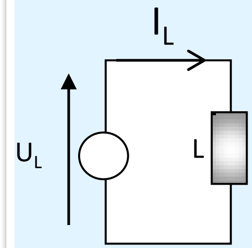
DOMAINE ÉLECTRICITÉ

Résistance Pure



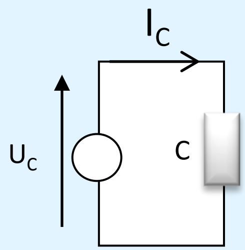
$$U_R(t) = R.\, I_R(t)$$

Inductance Pure



$$U_l(t) = L\,\frac{dI_L(t)}{dt}$$

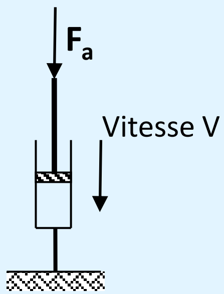
Capacité Pure



$$U_C(t) = \frac{1}{C}\int_0^t I_C(t)\,dt$$

DOMAINE MÉCANIQUE

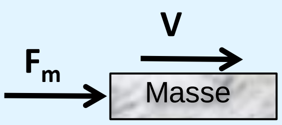
Amortisseur



$$F_a(t) = b.\,V(t)$$

b: Coefficient d'amortissement

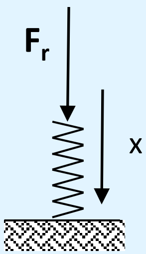
Masse



$$F_m(t) = M\frac{dv(t)}{dt}$$

M : Masse

Ressort



$$F(t) = k.\,x(t) = k\int_0^t v(t)\,dt$$

k: Coefficient de raideur

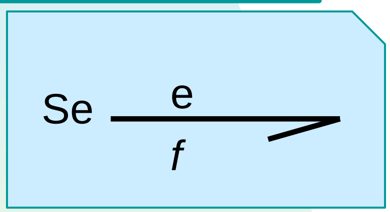
IV.-. ÉLÉMENTS DU LANGAGE BOND GRAPHS

IV.1.-. Les éléments actifs

Au nombre de deux: une source d'éffort (Se) et une source de flux (Sf). Elles sont dites actives car elles fournissent l'énergie au système.

IV.1.1.-. Sources d'effort

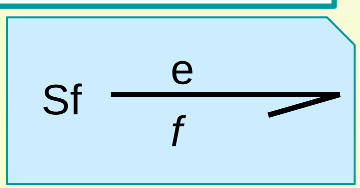
Représentation par BG



La variable effort est supposée indépendante du flux fourni par la source.

IV.1.2.-. Sources de flux

Représentation par BG

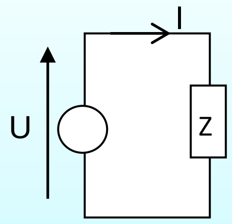


Cette source est la duale de la source d'effort.

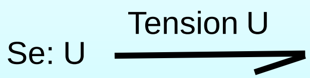
Exemples

Source d'éffort

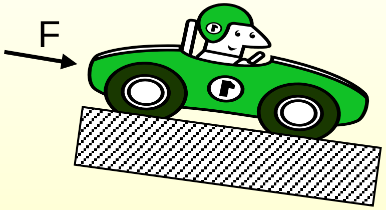
En électricité



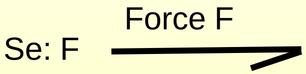
Source d'éffort = Source de tension d'alimentation d'impédance nulle



En mécanique de translation

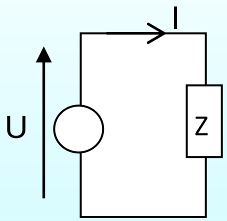


Source d'éffort: Moteur d'entrainement ayant des pertes nulles et fournissant une force de propulsion F



Source de flux

En électricité



Source de flux = Source de courant d'impédance infinie

Sf: I

Courant I

En mécanique de translation

Source de flux = Moteur d'entrainement ayant une inertie infinie et fournissant une vitesse constante V

Sf: V

Vitesse V

IV.2.-. Les éléments passifs

Ils sont dits éléments passifs car ils transforment la puissance qui leur est fournie en énergie.

Aux nombre de trois

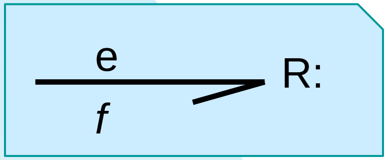
- **Élément R** : Transforment la puissance qui leur est fournie en énergie dissipée sous forme de chaleur .
- **Élément I** : Transforment la puissance qui leur est fournie en énergie stockée
- **Élément C** : Transforment la puissance qui leur est fournie en énergie stockée

La puissance est fournie aux éléments, ce qui impose d'orienter le sens de la demi flèche du lien vers l'élément.

IV.2.1.-. Élément résistif R

L'élément R est utilisé pour modéliser tout phénomène physique liant la variable d'effort à la variable flux dans le domaine physique considéré.

Représentation par BG

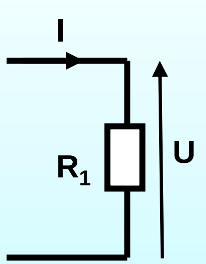


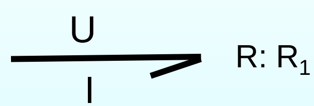
Équation

$$e(t) = R.\, f(t)$$

Exemples

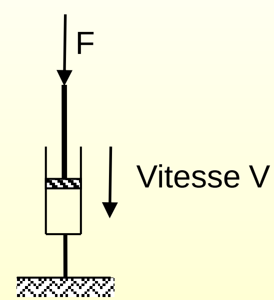
En électricité

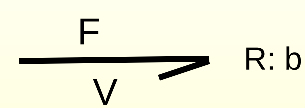




La puissance dissipée
$P = U.I = R_1 I^2$

En mécanique de translation



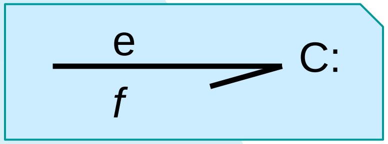


La puissance dissipée
$P = V.F = b.V^2$

IV.2.2.-. Élément C (Stockage de type potentiel)

L'élément C est utilisé pour modéliser tout phénomène physique liant la variable effort e à la variable déplacement q(t). Cet élément prend en compte le stockage d'un effort. On parle d'un stockage de type potentiel.

Représentation par BG



Équation

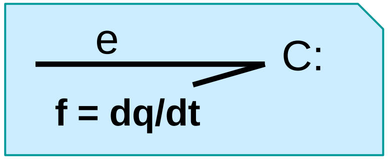
$$\boldsymbol{q(t) = C \cdot e(t)}$$

Compte tenu de la définition de q(t) l'expression précédente peu se mettre sous la forme

$$e(t) = \frac{1}{C}\int_0^t f(\tau)d\tau$$

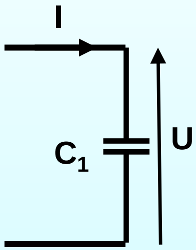
$$f(t) = C\frac{de}{dt} = \frac{dq(t)}{dt} = \dot{q}$$

Nous pouvons adopter pour la représentation de l'élément I le graphisme suivant :



Exemples

En électricité

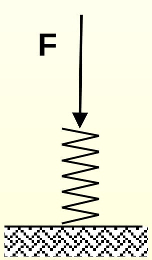


$$\overbrace{u(t)}^{\text{Effort: } e(t)} = \overbrace{\frac{1}{C}}^{1/C}\int_0^t \overbrace{i(\tau)}^{\text{Flux: } f(t)}\,d\tau$$

Par identification il vient que l'élément C dans un système électrique est la capacité: C : C_1

$$\xrightharpoonup[I]{U} \; \textbf{C: } \mathbf{C_1}$$

En mécanique de translation



$$F(t) = k.\,x(t) = k\int_0^t v(\tau)\,d\tau$$

Par identification, il vient que l'élément C dans un système mécanique de translation est l'inverse de la raideur C : 1/k.

$$\xrightharpoonup[V]{F} \; \textbf{C: 1/k}$$

Calcul de de l'énergie emmagasinée

L'énergie stockée peut s'exprimer par :

$$E(t) = \int_0^t e(\tau)f(\tau)d\tau + E(0)$$

Ou encore en fonction du déplacement, l'énergie s'exprime par:

$$E(q) = \int_{q_0}^{q} e(q)dq + E(q_0)$$

Exemples

Énergie stockée dans un ressort (q = x)

$$E(x) = \int_{x_0}^{x} F(x)dx + E(x_0) = \int_{x_0}^{x} kxdx + E(x_0) = \frac{1}{2}kx^2$$

Expression connu de l'énergie stockée dans un ressort de raideur k

Énergie stockée dans un condensateur

Dans un condensateur la charge q (déplacement) est reliée à la tension (effort) par la relation q = CU

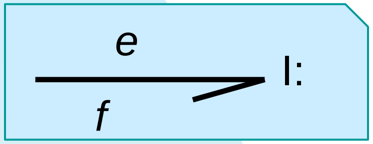
$$E(q) = \int_{q_0}^{q} U(q)dq + E(q_0) = \int_{q_0}^{q} \frac{q}{c}dq + E(q_0) = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} = \frac{1}{2}CU^2$$

Expression connu de l'énergie électrique stockée dans condensateur

IV.2.3.-. Élément inertiel I

L'élément I est utilisé pour modéliser tout phénomène physique liant la variable flux f à la variable moment p(t).

Représentation par BG



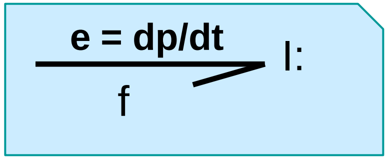
Équation

$$P(t) = I \cdot f(t)$$

Compte tenu de la définition de p(t) l'expression précédente peu se mettre sous la forme

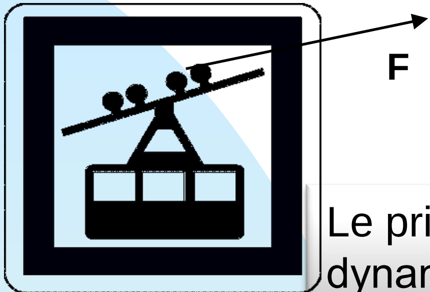
$$f(t) = \frac{1}{I}\int_0^t e(\tau)d\tau \longrightarrow e(t) = I\frac{df(t)}{dt} \Rightarrow e(t) = \frac{dp(t)}{dt} = \dot{p}$$

Nous pouvons adopter pour la représentation de l'élément I le graphisme suivant :



Exemples

En mécanique de translation



Masse M

Le principe fondamentale de la dynamique s'écrit :

Flux: f(t) 1/I Effort: e(t)

$$F(t) = M\frac{dv(t)}{dt} \longrightarrow V(t) = \frac{1}{M}\int_0^t F(\tau)d\tau$$

Par identification, il vient que l'élément I dans un système mécanique de translation est la masse en mouvement **I : M.**

D'où le BG du système mécanique

$$\xrightarrow[V]{F} \text{I: M}$$

En mécanique de rotation

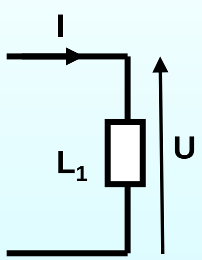
$$C = J.\frac{d\omega}{dt} \longrightarrow \omega(t) = \frac{1}{J}\int_0^t C(\tau)d\tau$$

De plus:

l'effort $e(t) = C(t)$ Et le flux $f(t) = \omega(t)$

Par identification, il vient que l'élément I dans un système mécanique de rotation est le moment d'inertie **I : J**

En électricité



$$U(t) = L\frac{dI(t)}{dt} \Rightarrow I(t) = \frac{1}{L}\int_0^t U(t)dt$$

$$\frac{U}{I} \rightharpoondown \mathbf{I: L_1}$$

Par identification il vient que l'élément I dans un système électrique est l'inductance: I : L_1

Calcul de de l'énergie emmagasinée

L'énergie stockée peut s'exprimer par :

$$E(t) = \int_0^t e(\tau) f(\tau) d\tau + E(0)$$

Ou encore en fonction du moment généralisé par:

$$E(p) = \int_{p_0}^{p} f(p) dp + E(p_0)$$

Exemples

En mécanique de translation

Énergie stockée dans une masse

Pour une masse en mouvement p = M.v

$$E(p) = \int_{p_0}^{p} V(p)dp + E(p_0) = \int_{p_0}^{p} \frac{p}{M} dp + E(p_0) = \frac{1}{2}\frac{p^2}{M} = \frac{1}{2}MV^2$$

Expression connu de l'énergie stockée dans une masse m en mouvement

Énergie stockée dans une inductance

Dans le domaine électrique, p représente l'impulsion P = L.I

$$E(p) = \int_{p_0}^{p} I(p)dp + E(p_0) = \int_{p_0}^{p} \frac{p}{L} dp + E(p_0) = \frac{1}{2}\frac{p^2}{I} = \frac{1}{2}LI^2$$

Expression connu de l'énergie magnétique emmagasiné dans une inductance

LABORATOIRE D 'AUTOMATIQUE ET PRODUCTIQUE

IV.3.-. Tétraèdre de Paytner

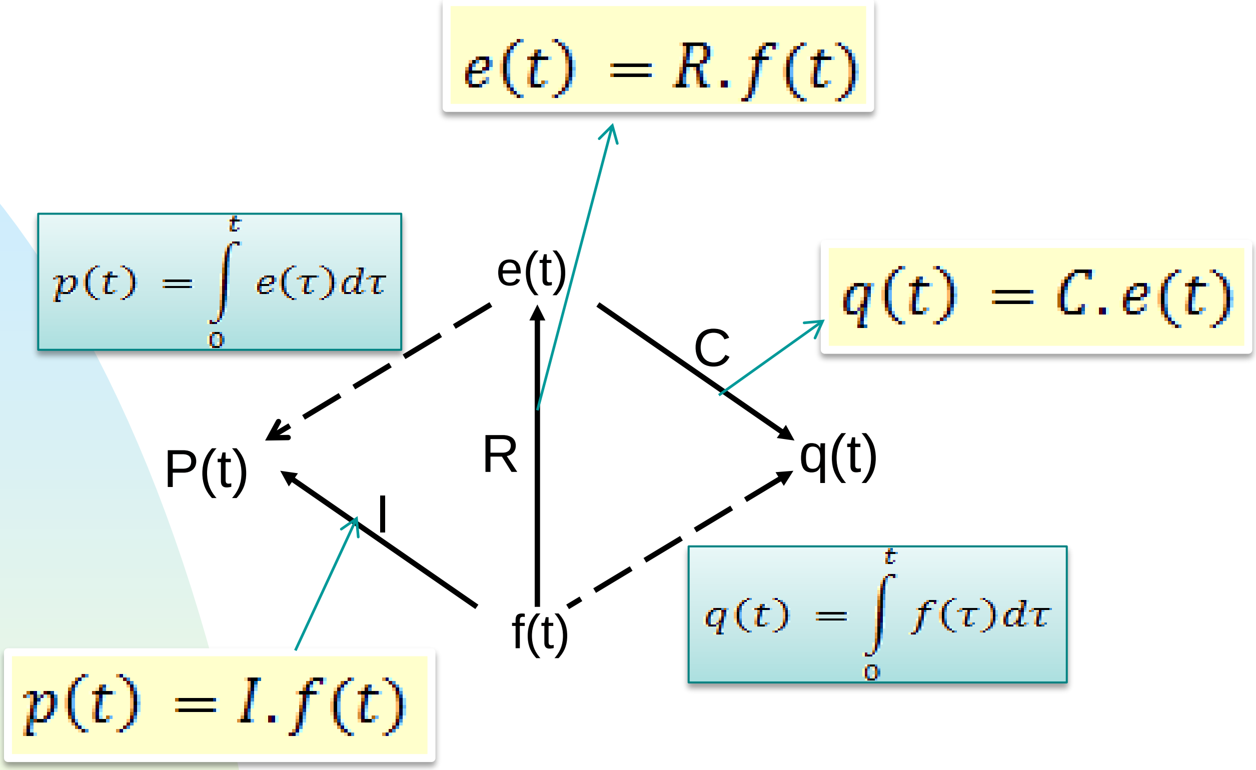


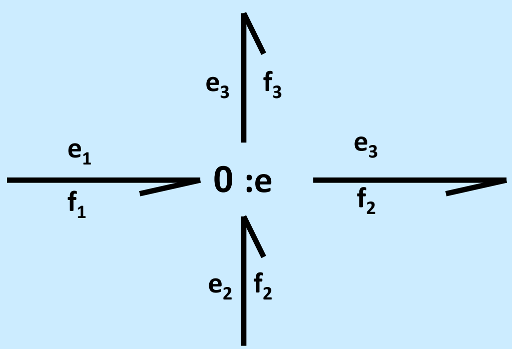
Figure 3 : Tétraèdre de Paytner

IV.4.-. Les jonctions

IV.4.1.-. La jonction 0

La jonction 0 implique que la variable effort est commune à plusieurs éléments. Elle permet de coupler plusieurs éléments soumis au même effort.

Représentation par BG



Jonction 0 avec quatre branches

Équation

Tous les efforts sont égaux : $e = e_1 = e_2 = e_3 = e_4$.
Donc la somme algébrique des puissances est nulle :

$$\sum_k e_k \cdot f_k = 0$$

Or le sens de la demi-flèche indique le sens des puissances positives. Pour notre exemple la relation entre les flux est:

Voir règle des signes

$$f_1 + f_2 - f_3 - f_4 = 0$$

Règle des signes

e
f
0 (ou 1)

On affecte le signe positif pour e ou f

+e, +f

0 (ou 1)
e
f

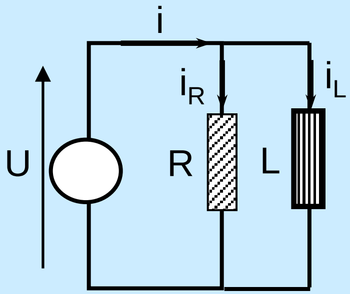
On affecte le signe négatif pour e ou f

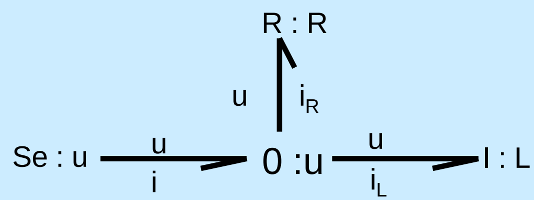
-e, -f

Exemples

En électricité

Association parallèle d'éléments soumis à une même tension

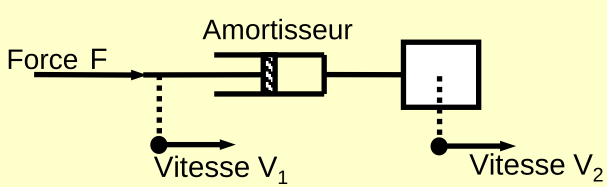


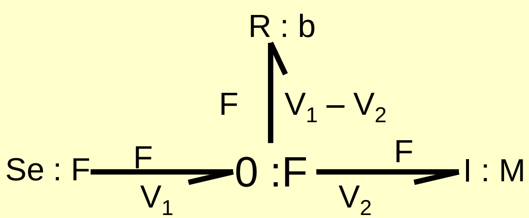


Modèle BG du circuit électrique

En mécanique de translation

Association série d'éléments soumis à une même force



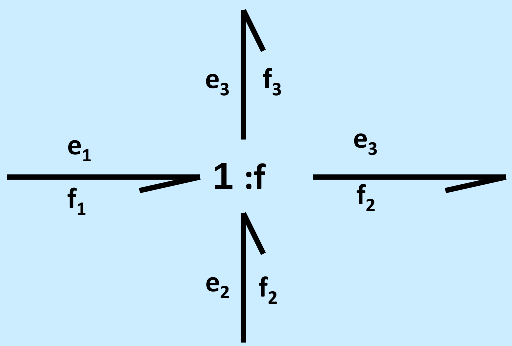


Modèle BG du système mécanique

IV.4.2.-. La jonction 1

La jonction 1 implique que la variable flux est commune à plusieurs éléments. Elle permet de coupler plusieurs éléments soumis au même flux.

Représentation par BG



Jonction 1 avec quatre branches

Équation

Tous les flux sont égaux : $f = f_1 = f_2 = f_3 = f_4$.
Donc la somme algébrique des puissances est nulle :

$$\sum_k e_k \cdot f_k = 0$$

Or le sens de la demi-flèche indique le sens des puissances positives. Pour notre exemple la relation entre les efforts est:

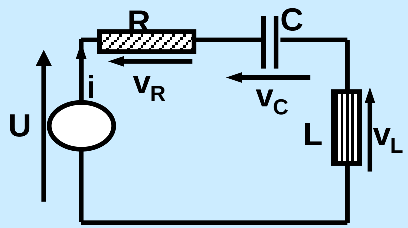
$$e_1 + e_2 - e_3 - e_4 = 0$$

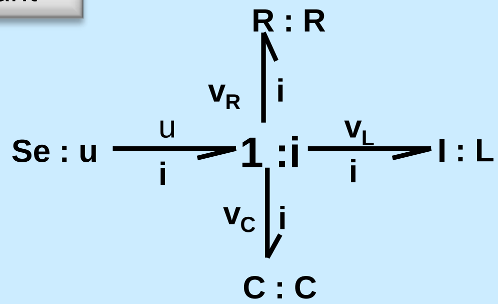
Voir règle des signes

Exemples

En électricité

Association en série d'éléments soumis à un même courant

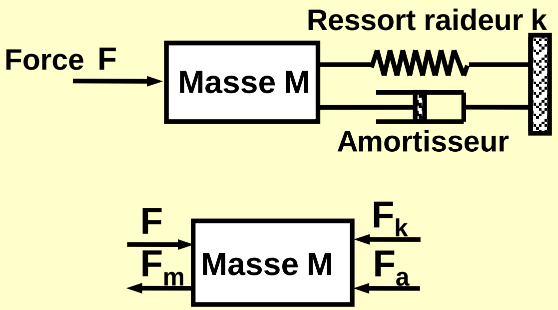


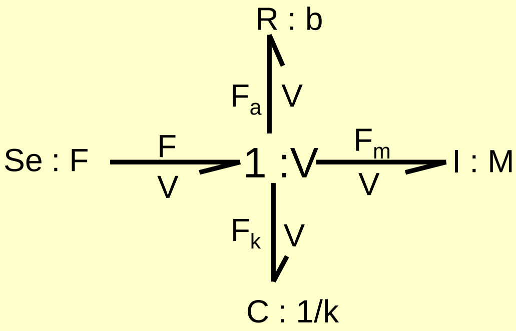


Modèle BG du circuit électrique série

En mécanique de translation

Association parallèle d'éléments soumis à une même force





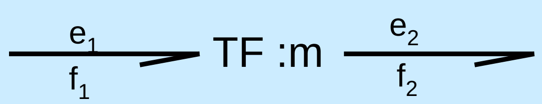
Modèle BG du système mécanique

IV.5.-. Éléments *de transformation*

IV.5.1.-. Transformateur TF

C'est un élément à deux ports permettant un changement des flux et des efforts tout en étant conservatif en puissance

Représentation par BG



Équation

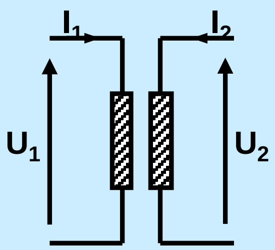
Les relations caractérisant le transformateur sont :

$$e_1 = m e_2$$
$$f_2 = m f_1$$

On appelle m le rapport ou facteur de transformation.

Exemples

En électricité



$$\xrightarrow[I_1]{U_1} \text{TF :m} \xrightarrow[I_2]{U_2}$$

Modèle BG du transformateur

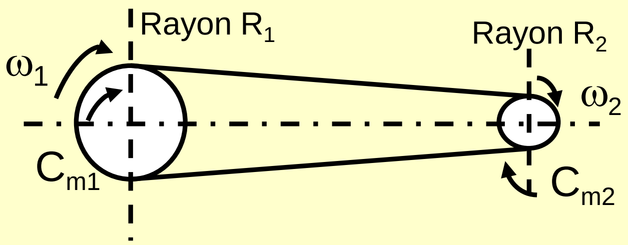
Remarque

Pour un transformateur idéal sans pertes :

$$P = U_1 I_1 = U_2 I_2$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = m$$

En mécanique de translation



$$\xrightarrow[\omega_1]{C_{m1}} \textbf{TF :m} \xrightarrow[\omega_2]{C_{m2}}$$

Modèle BG du système mécanique

IV.5.2.-. Gyrateur GY

L'élément gyrateur est également un élément à deux ports conservateur de puissance, il intervient dans la modélisation des gyroscopes, des capteurs) effet Hall.

Il est utilisé pour modéliser les changements des domaines qui se font sans pertes de puissances physiques.

Représentation par BG

$$\xrightharpoondown[f_1]{e_1} \text{GY :r} \xrightharpoondown[f_2]{e_2}$$

Équation

Les relations caractérisant le gyrateur sont :

$$e_1 = r f_2$$

On appelle r le rapport du gyrateur

$$e_2 = r f_1$$

Exemple

Moteur à courant continu:
Un moteur transforme de la puissance électrique en puissance mécanique.

le couple moteur est donné par : $C_m = k\varphi I_s$

k : constante du couple.
j : flux inducteur.
I_s : courant d'excitation.

Et la force électromotrice est donnée par : $E = k\varphi\omega$

Si nous identifions

pour les grandeurs électriques :

Effort $e_1 = E$

Flux $f_1 = I_s$

Et pour les grandeurs mécaniques :

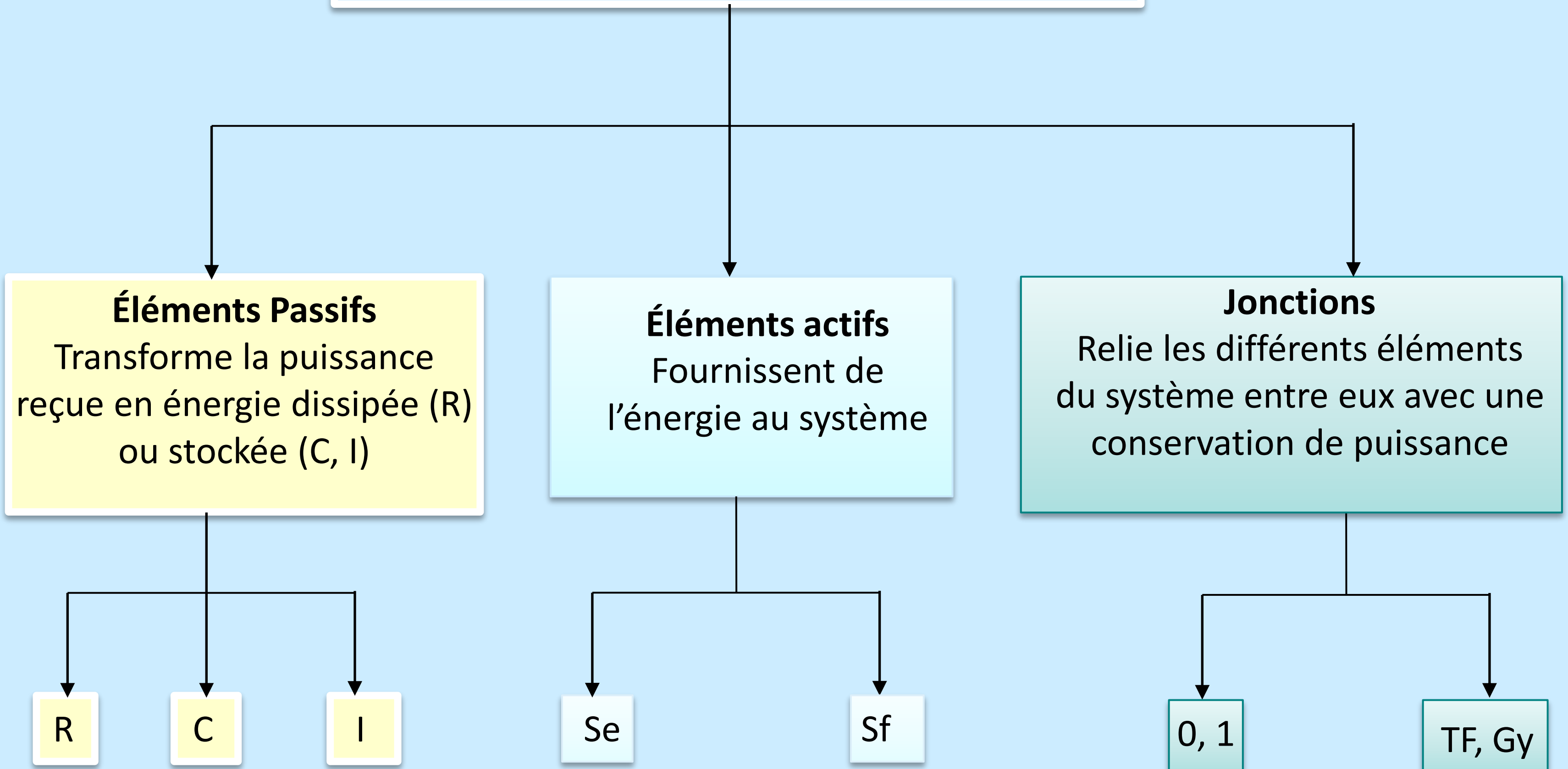
Effort $e_2 = C_m$

Flux $f_2 = \omega$

Domaine électrique $\xrightarrow[f_1 = I_s]{e_1 = E}$ **GY :r** $\xrightarrow[f_2 = \omega]{e_2 = C_m}$ **Domaine mécanique**

r = kj

Éléments du Bond Graphs



IV.5.-. Les Détecteurs

Ceux sont des éléments qui placé dans un BG indiquent la présence d'un capteur ou d'un instrument de mesure supposé idéal. Ainsi aucune puissance n'est consommée par le détecteur.

Détecteur d'effort $\xrightarrow[f = 0]{e}$ De

Détecteur de flux $\xrightarrow[f]{e = 0}$ Df

V.-. MÉTHODE DE CONSTRUCTION D'UN BOND GRAPHS

V.1.-. Procédure de construction: Système électrique

Pour un système électrique la méthode de construction du BG consiste à:

- Identifier et nommer les points du système dont les variables d'effort différent (tension). Pour toutes ces valeurs d'effort placer une jonction 0. Fixer une référence pour l'effort (tension)
- Placer des jonctions 1 entre les jonctions 0 si un élément R, ou I ou C ou une source est situé entre les deux potentiels correspondants ;
- Affecter le sens de transmission de la puissance en reliant les jonctions par des liens ;
- La jonction 0 correspondant au potentiel zéro (masse) peut généralement être simplifiée ;
- Simplifier le BG si possible.

Exemple

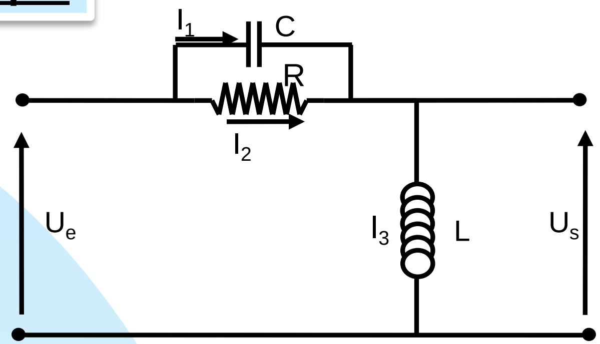


Figure 4: Filtre électrique

La construction du BG repose sur la création de trois jonction associées à chaque potentiel, ici 0 : U_e, 0 :U_{ref} et :U_s (figure 9)

La résistance R et la capacité C sont soumises à la même différence de potentiel U_e - U_s : il faut donc créer deux jonctions 1 (figure suivante) qui représentent cette différence de potentiel. Les éléments R et C sont connectés à chaque jonction 1 et l'élément L est connecté à la jonction U_s. Nous obtenons le modèle BG suivant.

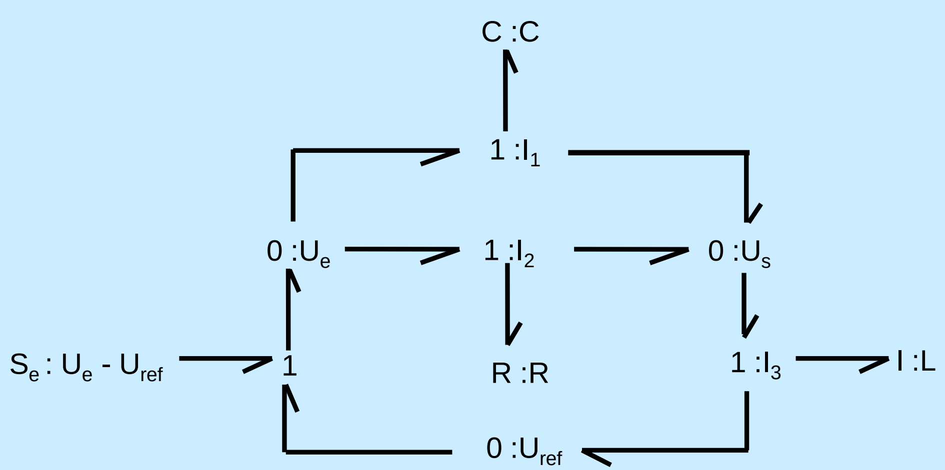


Figure 5: Modèle BG du filtre électrique

V.2.-. Règles de simplifications

1- Si une jonction 1 (ou 0) n'a aucun lien en entrée et un lien en sortie, on peut éliminer cette jonction (en effet elle transmet la puissance.

Exemple 1

Jonction 0 $\Rightarrow e_1 = e_2 = e$

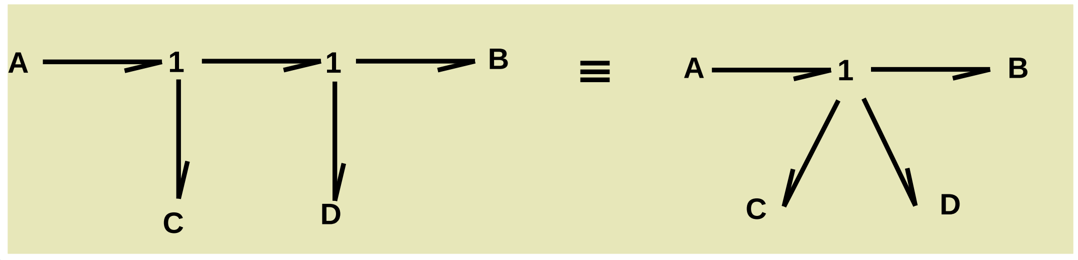
$$A \xrightarrow[f_1]{e_1} 0 \xrightarrow[f_2]{e_2} B \equiv A \xrightarrow[f_1 = f_2]{e} B$$

$$A \xrightarrow[f_1]{e_1} 1 \xrightarrow[f_2]{e_2} B \equiv A \xrightarrow[f]{e_1 = e_2} B$$

Jonction 1 $\Rightarrow f_1 = f_2 = f$

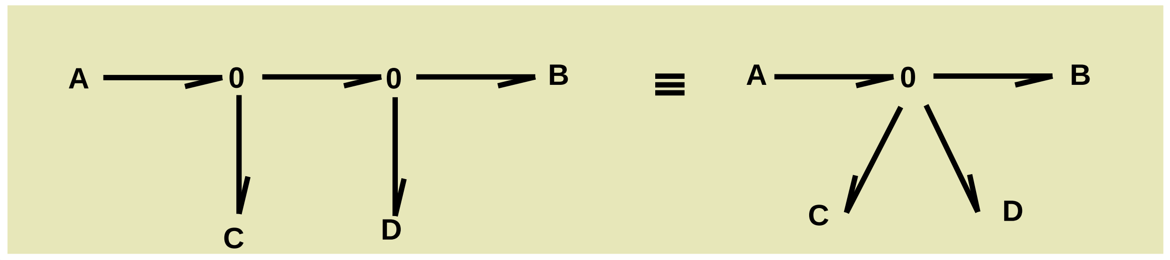
2- Si deux jonctions 1 sont reliées par un seul lien, on peut les réduire à une seule jonction1 traduisant le flux commun.

Exemple 2

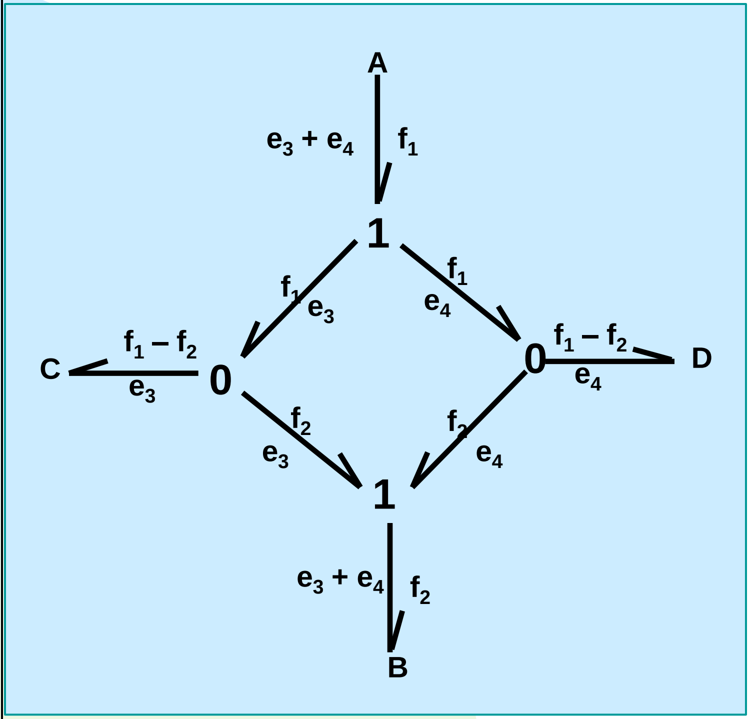


3- Si deux jonctions 0 sont reliées par un seul lien, on peut les réduire à une seule jonction 0 traduisant l'effort commun.

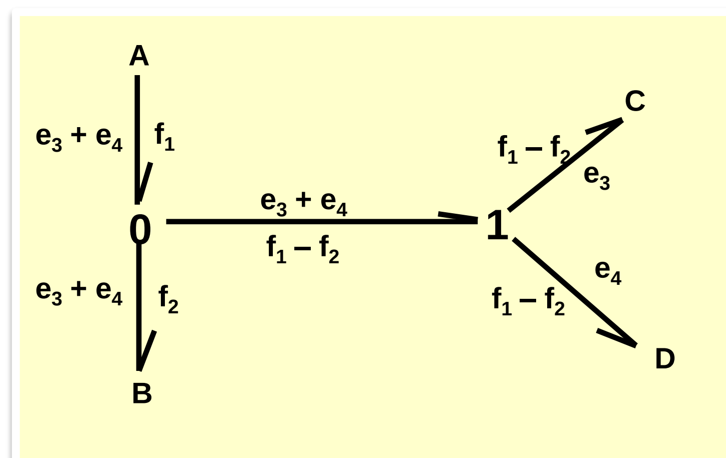
Exemple 3



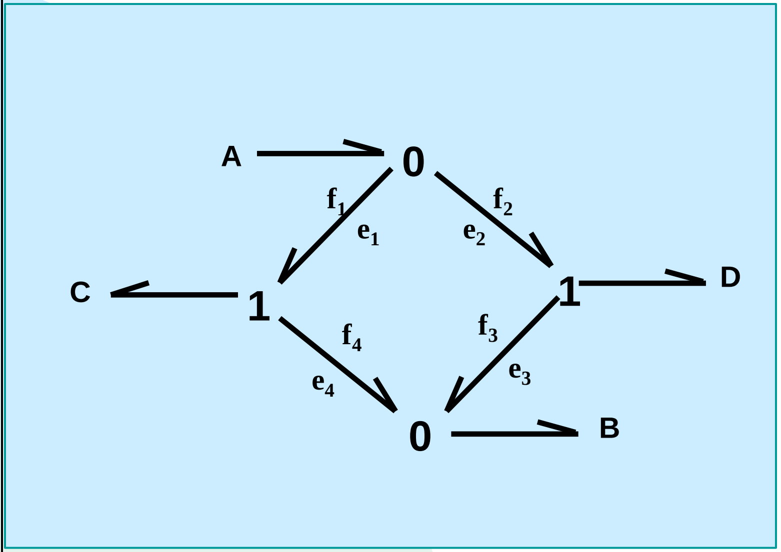
Exemple 4

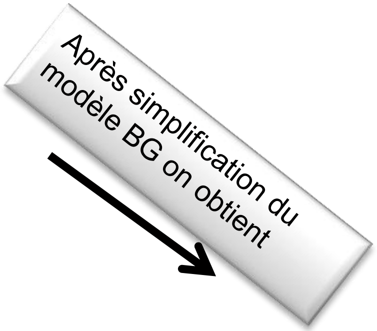


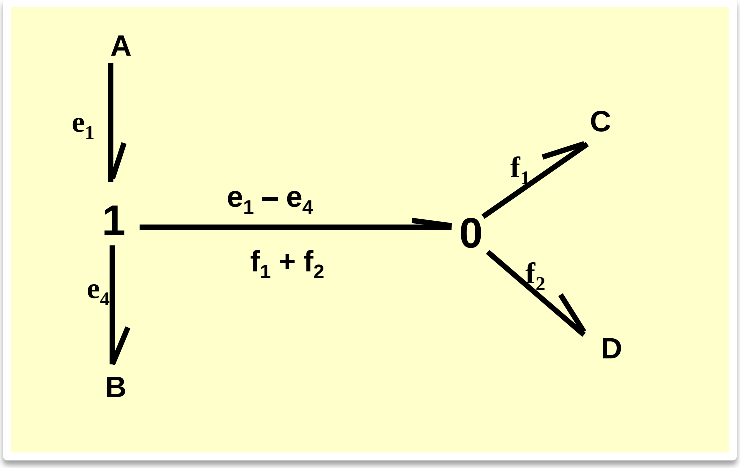
Après simplification du modèle BG on obtient



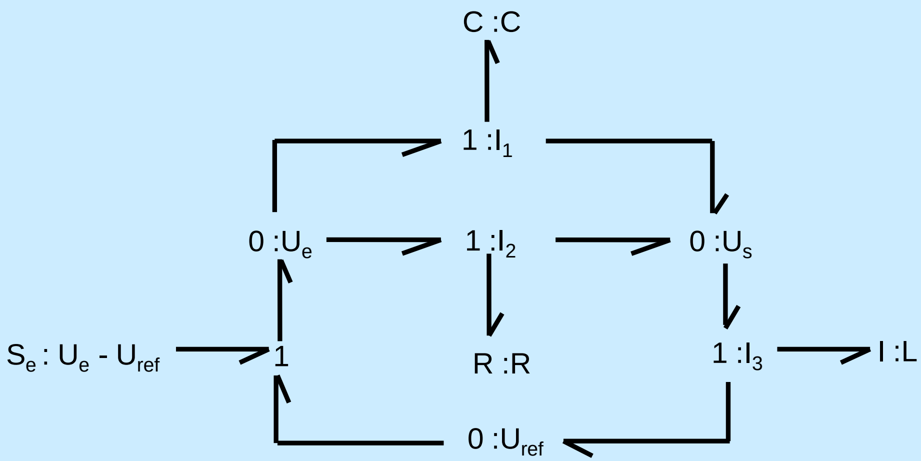
Exemple 5


A
0
f_1
e_1
f_2
e_2
C
1
1
D
f_4
e_4
f_3
e_3
0
B


Après simplification du modèle BG on obtient

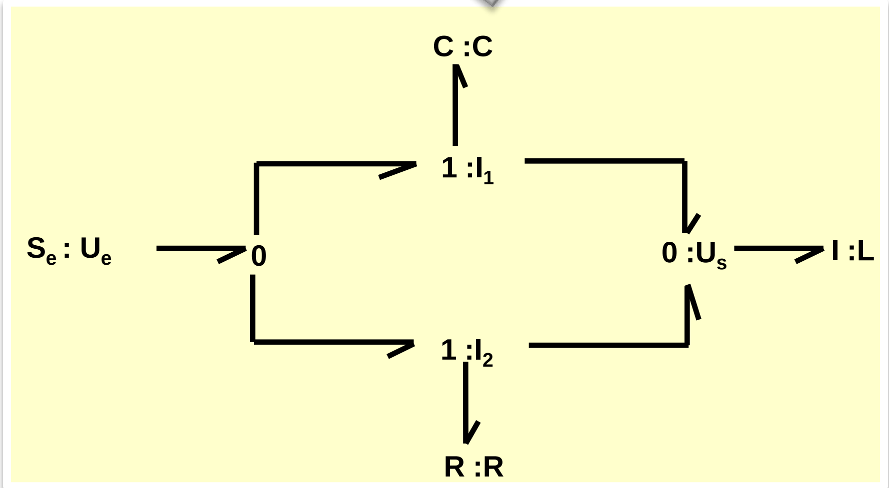

A
e_1
C
f_1
1
$e_1 - e_4$
0
$f_1 + f_2$
e_4
f_2
D
B

Exemple 6



Modèle BG du filtre électrique

Après simplification du modèle BG on obtient

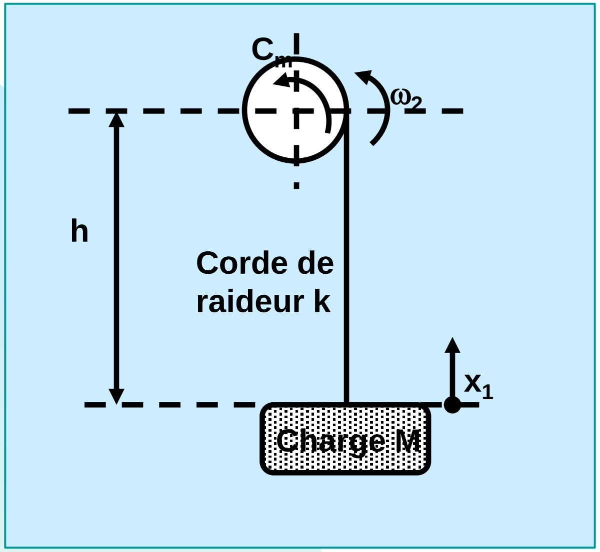


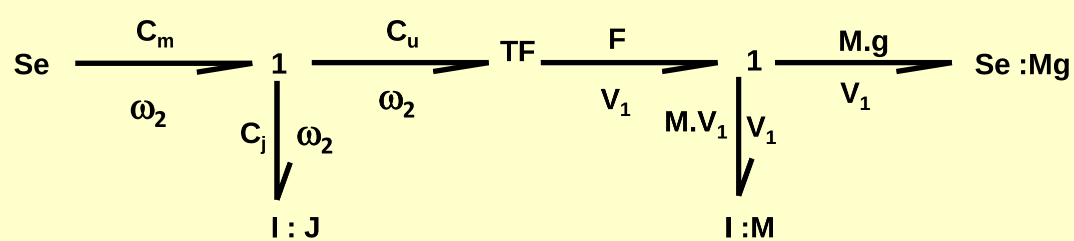
V.3.-. Procédure de construction: Système Mécanique

les systèmes mécaniques sont représentés par des BG construits de la manière suivante:

- Identifier et nommer le point du système dont le variable flux différent (vitesse). Pour toutes ces valeurs de flux placer une jonction 1. Fixer un axe de référence pour le flux (vitesse)
- Placer des jonctions 0 entre les jonctions 1 afin de prendre en compte les relations existant entre les efforts (forces)
- Relier les jonctions par des liens en respectant le sens de transfert de la puissance ;
- Placer les éléments de base présents dans le système, soit sur l'extrémité du lien associé, soit sur la jonction concernée ;
- Simplifier le BG si possible.

Exemple 6





Modèle BG du système de poulie