



HAL
open science

Conception en Electronique de Puissance à l'aide d'éléments caractérisés

Housseem Eddine Demni, Hubert Piquet, Henri Foch

► **To cite this version:**

Housseem Eddine Demni, Hubert Piquet, Henri Foch. Conception en Electronique de Puissance à l'aide d'éléments caractérisés. Journées Tunisiennes d'Électrotechnique et d'Automatique: JTEA'02, Mar 2002, Sousse, Tunisie. hal-03464569

HAL Id: hal-03464569

<https://hal.science/hal-03464569>

Submitted on 3 Dec 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Conception en Electronique de Puissance à l'aide d'éléments caractérisés

Houssem Eddine DEMNI, Hubert PIQUET, Henri FOCH
Laboratoire d'Electrotechnique et d'Electronique Industrielle
Unité Mixte de Recherche INPT-ENSEEIH / CNRS
BP 7122 – 2 Rue Camichel
31071 TOULOUSE CEDEX 7 – France

Résumé : *Nous présentons une approche dédiée à la conception des systèmes de conversion d'énergie, par association d'éléments caractérisés. A partir d'exigences formulées dans un cahier des charges, les objectifs sont de définir une structure saine à l'aide d'éléments prédéfinis. Dans ce cadre, nous avons adopté une méthode de caractérisation qui prend en compte différents points de vues nécessaires pour la conception. Cette caractérisation permet la mise en place de règles dont le respect garantit l'adéquation de la structure proposée avec les objectifs du cahier des charges et la compatibilité en terme d'échanges énergétiques entre les composants. Nous avons essayé de traduire notre approche graphiquement de telle façon que la définition d'une chaîne de conversion d'énergie s'apparente à la construction d'un puzzle.*

Mots clés : *conversion d'énergie, caractérisation énergétique, éléments caractérisés, conception.*

1. Introduction

La conception d'une chaîne de conversion d'énergie a pour but de déterminer les éléments qui doivent la constituer, et les caractéristiques des grandeurs physiques qu'ils échangent. Chaque élément doit satisfaire une partie des exigences du cahier des charges tout en tenant compte des interactions avec les autres éléments.

Dans ce cadre, nous avons adopté une approche basée sur les relations de causalité et les propriétés des échanges énergétiques entre les éléments d'une chaîne de conversion. Le mode de caractérisation adopté peut faire apparaître plusieurs points de vues (réversibilités, isolement galvanique...) qui doivent être pris en compte lors de la conception.

Dans ce qui suit nous décrivons les critères de caractérisation adoptés. Pour certains de ces critères nous proposons une représentation graphique.

Puis, nous décrivons une méthode de conception qui s'inspire des concepts dégagés à partir de notre approche. Nous présentons enfin les premiers résultats

d'une implémentation informatique de la méthode de conception adoptée.

2. Caractérisation des éléments en électronique de puissance

2.1. Principe :

L'approche de caractérisation d'éléments se base sur la façon dont ils effectuent leurs échanges énergétiques : à tension ou à courant imposé.

Considérons l'exemple d'un échange énergétique entre une source de tension associée à une source de courant : la source de tension impose sa tension à la source de courant qui impose son courant à la première. Ceci est illustré par la représentation graphique suivante :

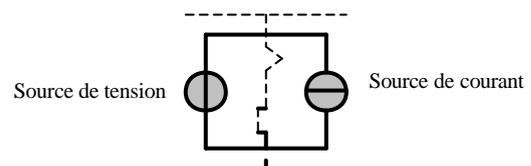


Figure 1. Représentation graphique des transferts de puissance

L'excroissance en forme de « V » représente la tension, alors que celle en forme de « I » représente évidemment le courant. Du point de vue de la source de tension, l'excroissance de tension est sortante car l'élément considéré impose la tension alors que l'excroissance de courant est rentrante car l'élément accepte le courant.

Appliquons maintenant cette approche au dispositif de la figure 2, correspondant à une machine à courant continu alimentée par un hacheur ; l'alimentation de ce dernier est réalisée par une source de tension (réseau alternatif) filtrée.

Nous faisons ainsi apparaître différents éléments délimités par ce que nous appelons « interfaces d'échange d'énergie » :

- la source de tension apparaît comme un dipôle qui impose sa tension,
- l'inductance du filtre LC impose le courant à la source de tension,

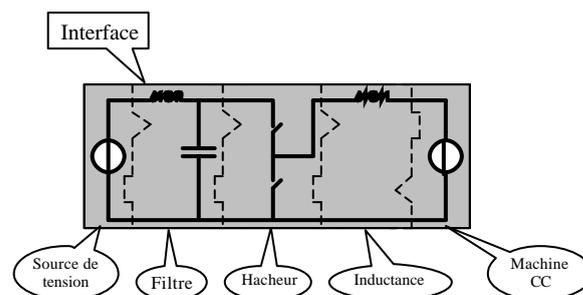


Figure 2. Chaîne de conversion électromécanique

- la capacité du filtre LC impose la tension à l'entrée du hacheur,
- le hacheur effectue une conversion tension-tension entre ses deux interfaces,
- l'inductance placée à la sortie du hacheur (elle inclut l'inductance propre de la machine) impose le courant à la machine et au hacheur,
- la machine apparaît comme un dipôle qui impose la tension et subit le courant fourni par l'inductance série.

2.2. Généralisation et classification :

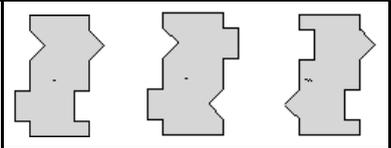
En généralisant notre approche aux différents éléments utilisés en électronique de puissance, on constate que leurs caractérisations énergétiques permettent de les classer dans les groupes suivants :

<p>◆ <u>Des éléments de type « dipôles » :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Les sources : <ul style="list-style-type: none"> - source de tension : cet élément impose la tension sur son interface et subit le courant que lui « renvoie » le bloc qui lui est connecté ; - source de courant. ▪ Des éléments intégrateurs : <ul style="list-style-type: none"> - de courant : la tension qu'impose cet élément est l'intégrale du courant qu'il subit ; on retrouve la fonction condensateur. - de tension : le courant qu'impose cet élément est l'intégrale de la tension qu'il subit ; on retrouve la fonction inductance. ▪ Des dipôles présentant les mêmes profils que les sources de tension ou de courant et exprimant une relation de proportionnalité entre tension et courant : tous deux sont susceptibles de représenter une résistance. 	
---	--

Les éléments sont connectés par leurs interfaces ; leurs formes autorisent par exemple la connexion d'une source de tension et d'une source de courant, mais interdit celle de deux sources de même nature.

◆ Des éléments «quadripôles » :

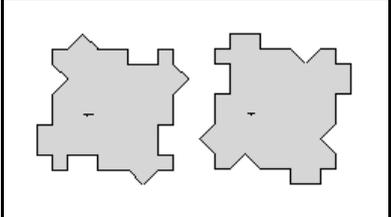
- transformateurs : conversion tension - tension ou courant-courant.
- gyrateurs : conversion tension - courant ou courant – tension.



Ces blocs conservent la puissance et peuvent présenter un gain entre grandeurs d'entrée et de sortie. Par exemple, le transformateur est caractérisé par un gain $K = V_s/V_e = I_e/I_s$; ce gain peut être constant ou modulé (avec des valeurs valant soit 0 soit 1, la pièce ainsi définie correspond alors à une cellule de commutation dont la fonction de connexion prend les valeurs instantanées de ce gain modulé).

◆ Des éléments de connexion :

- équi-tension (CET) : une des interfaces impose la tension à l'ensemble des autres ; elle subit un courant égal à la somme des courants imposés sur les autres interfaces de l'élément ;
- équi-courant (CEC) : les rôles de la tension et du courant sont inversés.



Toutefois, cette caractérisation ne permet pas de distinguer deux éléments possédant le même «profil » énergétique. De plus, il y a beaucoup de considérations qui doivent être prises en compte pendant la conception. Il faudra donc introduire d'autres points de vue dans la caractérisation.

2.3. D'autres points de vue :

On peut ainsi envisager de prendre en compte :

- *Les propriétés fréquentielles* : elles se manifestent surtout par le domaine de validité des caractéristiques d'un élément. Par exemple, on ne peut affirmer qu'une inductance est une source de courant (impose le courant) que lorsqu'on est en haute fréquence ; en effet, rien n'interdit d'imposer le courant à une inductance en basse fréquence.
- *La polarité des grandeurs électriques* : il faut s'assurer que les éléments interconnectés sont, sous cet angle, compatibles entre eux et que les réversibilités imposées par le cahier des charges sont satisfaites ; cette propriété peut être représentée graphiquement ; la figure suivante propose une représentation des interfaces permettant d'assurer la compatibilité des polarités de la tension (suivant le côté de l'interface où l'on se place, cette polarité est imposée ou acceptée par

l'élément dont on aura adopté le point de vue) :

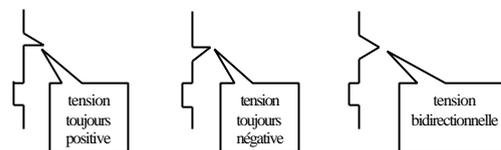


Figure 3. représentation graphique des polarités des grandeurs sur une interface

- *Relations d'entrées/sorties* : Elles décrivent le modèle mathématique auquel obéit l'élément c'est à dire les relations mathématiques entre ses entrées et ses sorties. La détermination du modèle est facilitée par l'approche adoptée car elle prend en compte les relations de cause à effet (relations de causalité). En effet, les entrées (les causes) ne sont autres que les grandeurs acceptées par l'élément alors que les sorties (les effets) sont les grandeurs imposées par celui-ci.
- *Un point de vue fonctionnel* pour indiquer par exemple la présence d'un isolement galvanique, le caractère élévateur (en tension ou en courant) ou abaisseur d'un élément.

3. Approche de conception

3.1. Règles d'assemblage des chaînes de conversion d'énergie :

Notre approche permet de mettre en œuvre plusieurs règles d'assemblage qui peuvent

être exploitées pour guider la conception des chaînes de conversion d'énergie.

- *Association d'éléments* : L'approche qu'on vient d'exposer permet d'éviter les liaisons entre des éléments incompatibles ; Par exemple, on ne peut lier un élément qui impose la tension qu'avec un élément qui accepte la tension et on ne peut lier un élément qui impose le courant qu'avec un élément qui accepte le courant (voir figure suivante).

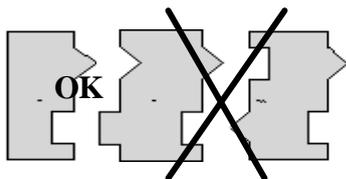


Figure 4. Association entre les éléments

De plus les éléments à lier doivent avoir des domaines fréquentiels de validité de leur représentation et des polarités compatibles.

Du point de vue polarité par exemple, une grandeur imposée par un élément au niveau d'une interface peut être : toujours positive, toujours négative ou bidirectionnelle. Le tableau suivant décrit, selon les caractéristiques d'une grandeur qu'un élément (« élément de référence ») impose, quelles sont les caractéristiques de la grandeur subie par les pièces (« élément connectable ») qui peuvent être connectées à la première.

Grandeur de l'élément de référence (imposée)	Grandeur d'un élément connectable (acceptée)
toujours positive	toujours positive, bidirectionnelle
toujours négative	toujours négative, bidirectionnelle
bidirectionnelle	bidirectionnelle

- *Synthèse d'autres éléments* : On peut créer, en associant les éléments déjà disponibles, de nouvelles fonctionnalités (filtre LC, qui est constitué de l'association d'une inductance série et d'une capacité parallèle, comme le montre l'exemple de la figure 5) et ainsi enrichir la bibliothèque avec de nouveaux

éléments que nous appellerons *macro-éléments*.

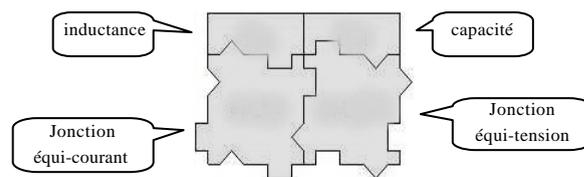


Figure 5. Construction de macro-éléments

- *Caractérisation d'un élément à partir de ses voisins* :

Si l'on a déjà construit une partie d'un assemblage représentant une chaîne de conversion électromécanique et que reste à définir un élément de la structure, les propriétés des éléments placés de part et d'autre (voir figure) définissent les propriétés de l'élément à insérer entre les interfaces libres, par l'intermédiaire des propriétés de ces dernières. L'élément à déterminer peut être un élément simple ou un macro-élément.

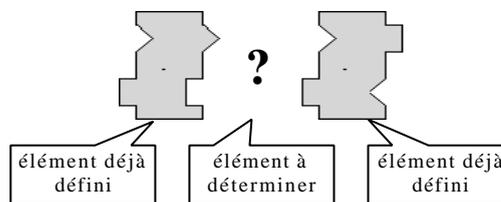


Figure 6. Caractérisation d'un élément à partir de ces voisins

3.2. Méthode de conception :

La conception d'une chaîne de conversion consiste en premier lieu à formuler les objectifs dans un cahier des charges. Cela consiste à identifier les caractéristiques de la source d'énergie disponible, puis celles de la charge à alimenter et enfin les caractéristiques des transformations énergétiques à effectuer entre la source et la charge pour satisfaire les différents besoins.

Ces caractéristiques permettent de déterminer les propriétés de l'élément dipôle représentant la source d'énergie disponible, les propriétés du dipôle représentant la charge ainsi que les

propriétés du macro-élément (quadripôle) qui doit assurer le transfert et la conversion d'énergie entre la source et la charge.

Pour résoudre complètement le cahier des charges on doit « éclater » le macro-élément solution en composants élémentaires.

Ces derniers sont distingués et classés dans une bibliothèque de composants utilisables pour construire des chaînes de conversion d'énergie par assemblage des « pièces de puzzles » qui représentent ses constituants, ceci doit être assuré en tenant compte évidemment des critères de caractérisation définis précédemment.

Donc, la conception de la chaîne de conversion va consister maintenant à décomposer l'élément unique représentant une fonction en sous-éléments de plus en plus précis se rapprochant progressivement de la réalisation matérielle tout en respectant, à chaque étape, la cohérence avec les éléments déjà déterminés et placés, et en utilisant les fonctionnalités définies dans la section précédente.

La cohérence entre différents éléments peut être satisfaite de la manière suivante : dès que l'on connaît les caractéristiques d'une interface à laquelle on souhaite associer un composant, seuls des éléments possédant une interface compatible sont candidats à cette association. C'est le respect du cahier des charges et les fonctionnalités représentées par les éléments qui guident le concepteur dans son choix parmi les éléments candidats (figure 7).

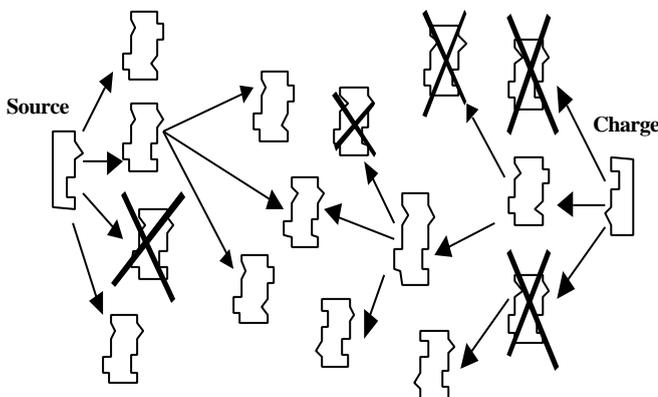


Figure 7. Conception par association d'éléments caractérisés : le cheminement du raisonnement

A la fin du processus de raisonnement, il restera un seul élément à déterminer et qui doit s'insérer entre deux interfaces vacantes. Seuls les quadripôles qui sont compatibles avec les interfaces vacantes permettraient d'achever la décomposition du macro-élément représentant la solution au cahier des charges.

4. Automatisation de la démarche de conception

La démarche de conception que nous venons d'adopter se base sur des règles de savoir-faire qui s'expriment à travers des obligations, des conseils et des propriétés caractéristiques des éléments. De ce fait, le système informatique qui doit implémenter la démarche doit être capable de manipuler ces règles. Pour cette raison nous avons opté pour une informatisation à base de système expert. Le générateur de système expert choisi est un logiciel produit par la société ILOG [6]. Cet outil permet au concepteur de l'application d'insérer et d'écrire les règles d'expertise en utilisant un langage « quasi-naturel ».

En effet, la syntaxe des règles est de la forme suivante :

(Conditions) --> (Actions)

Voici un exemple d'une règle écrite en langage ILOG :

```
(defrule exemple
?grandeur1 : (Grandeur
                type = ?typ1
                polarite =bidirectionnel)
?grandeur2 : (Grandeur
                type = ?typ1
                polarite <>bidirectionnel)
?liaison1 : (Liaison)
(Interface element = ?elem1
  echange = ?liaison1
  g_impose = ?grandeur1)
(Interface element = ?elem2
  element <> ?elem1
  echange = ?liaison1
  g_accepte = ?grandeur2)
->
(write « Polarités incompatibles dans la
liaison : »+?liaison1.idf+« entre les
éléments : »+?elem1.idf+« »+?elem2.idf))
```

Cette règle permet de signaler une erreur si un élément impose, dans un échange énergétique, une grandeur bidirectionnelle à un élément qui ne l'accepte pas.

Ainsi, le savoir-faire des experts est introduit dans une base de règles qui va être exploitée selon la démarche suivante :

- L'utilisateur fournit les caractéristiques du cahier des charges (source, charge et performances de la chaîne de conversion)
- Le système expert analyse ces exigences et recense les différents éléments susceptibles de satisfaire les besoins exprimés.
- L'utilisateur essaie de « placer » les éléments entre la source et la charge en s'inspirant de la démarche définie dans le paragraphe précédent. Le système expert peut aider l'utilisateur en effectuant des recherches d'éléments pouvant s'associer à une interface caractérisée ou entre deux interfaces.
- Le système expert vérifie s'il y a des incompatibilités dans les associations d'éléments ou si l'utilisateur a oublié de satisfaire quelques exigences du cahier des charges.

Dans toutes ces étapes, le système expert agit en affichant des aides contextuelles qui permettent de faciliter la tâche du concepteur.

Notre système ne se charge pas d'effectuer la conception de bout en bout, il est seulement un assistant qui aide le concepteur et l'avertit en cas d'erreurs de sa part.

5. Conclusion

Nous avons présenté une approche de caractérisation des éléments en Génie Electrique s'appuyant sur les échanges énergétiques entre les différents éléments tout en tenant compte des différents points de vue nécessaires à la conception des chaînes de conversion d'énergie.

A partir de cette caractérisation, nous avons dégagé un certain nombre de fonctionnalités utiles pour la conception. En se basant sur ces fonctionnalités, nous avons construit une méthode de conception

qui a été exploitée dans une implémentation informatique à base de système expert dont nous présentons les premiers résultats.

La démarche menée sous son aspect purement électronique peut être étendue à d'autres aspects énergétiques (mécaniques, thermiques ...).

REFERENCES

- [1] P. Borne, G. Dauphin-Tanguy, J.P. Richard, F. Rotella, I. Zambettakis, *Modélisation et identification des processus. Tome 2*, Ed. TECHNIP, Paris, 1992.
- [2] D. Fezzani – H. Piquet – H. Foch, *Système expert pour la conception en électronique de puissance*, Journal de Physique III / Section 2 , Mars 1996.
- [3] H. Piquet – T. Meynard - H. Foch – Ph. Nogaret, *Design Tools and methods for power electronics*, IEEE 4th works on computers in power electronics, Trois Rivières, Canada, Août 1994.
- [4] J.E.E. Sharpe, R.H. Bracewell, *Application of bond graph methodology to concurrent conceptual design of interdisciplinary systems*, Conf IEEE Systems, Man and Cybernetics '93, Le Touquet, Octobre 1993.
- [5] H. Piquet - J.P. Cambronne - S. Saadate - C. Glaize, *Conception des dispositifs et systèmes électrotechniques*, Electronique de Puissance du Futur 1994, Cachan, septembre 1994.
- [6] ILOG S.A. , *ILOG Rules 6.1 User's Manual*, Avril 1999.