
Représentations Systèmes Multi-Machines (SMM) de machines polyphasées

E. Semail¹, F. Meibody-Tabar², M. F. Benkhoris³, H. Razik², M. Pietrzak-David⁴, E. Monmasson⁵, A. Boucayrol¹, B. Davat², Ph. Delarue¹, B. de Fornel⁴, J. P. Hautier¹, J. P. Louis⁵, S. Pierfederici²

*L2EP, Laboratoire d'Electrotechnique et d'Electronique de Puissance de Lille
<http://www.univ-lille1.fr/l2ep/> — Alain.Boucayrol@univ-lille1.fr*

¹ *L2EP Lille, UPRES EA 2697, Université de Lille 1 (USTL), 59 655 Villeneuve d'Ascq cedex, Eric.Semail@lille.ensam.fr*

² *GREEN, UPRES A 7037, ENSEM, 2 avenue de la Forêt de Haye, 54 600 Vandoeuvre les Nancy, Farid.Meibody-Tabar@ensem.u-nancy.fr,*

³ *IREENA, Boulevard de l'Université, BP 406, 44602 Saint-Nazaire, France, mohamedfouad.benkhoris@polytech.univ-nantes.fr*

⁴ *LEEI, UMR 5828, ENSEEIHT, 2 rue Camichel, 31 071 Toulouse cedex, Maria.David@leei.enseeiht.fr,*

⁵ *SATIE, UMR 8029, IUP GEII de Cergy, rue d'Eragny, Neuville sur Oise, 95031 Cergy-Pontoise Cedex, Eric.Monmasson@iupge.u-cergy.fr,*

^{1,2,3,4,5} *Projet SMM du GdR ME²MS, Alain.Boucayrol@univ-lille1.fr, URL: <http://www.univ-lille1.fr/l2ep/web-smm.htm>*

RÉSUMÉ. Cet article présente le principe de décomposition de machines polyphasées en machines fictives monophasée et diphasées non couplées magnétiquement. Après la description de la méthodologie de décomposition SMM (Systèmes Multimachines Multiconvertisseurs), deux cas sont étudiés. Une machine synchrone pentaphasée, est d'abord analysée avec son modèle de machines équivalentes. Un second cas plus original est ensuite étudié : deux machines pentaphasées connectées en série et alimentées par un onduleur 5 bras.

ABSTRACT. This paper presents the equivalence of multi-phase machines with a set of 1-phase and 2-phase machines with no magnetic couplings. Two cases are then studied. First, a 5-phase machine supplied by a Voltage Source Inverter (VSI) is analyzed. Then, a model is established for a single 5-leg VSI supplying two 5-phase machines whose windings are connected in series.

MOTS-CLÉS : multimachine, multiconvertisseur, polyphasée, pentaphasée.

KEY WORDS: Multi-machine multiconverter, multi-phase, multimotor drives, series connection.

1. Introduction

Depuis un certain nombre d'années, les machines polyphasées trouvent un regain d'intérêt [TOL-00] [LYR-01] [COA-01]. En effet, les progrès de l'électronique de puissance permettent maintenant d'assurer des alimentations adaptées [SEM-00]. De plus, un grand nombre de phases permet une segmentation de puissance qui répartit les contraintes sur plusieurs composants [MOU-99]. Cela permet, entre autre, d'utiliser des composants de puissance fonctionnant avec une fréquence de commutation élevée, et ainsi, de réduire les taux harmoniques des courants et l'ondulation du couple [MOU-99]. Enfin, ces machines autorisent des modes de marches dégradées lors d'une mise en défaut d'un bobinage ou d'un composant de puissance [JAH-80]. Cependant, ces divers avantages ne doivent pas occulter la complexité de leur commande, tant en mode normal qu'en mode dégradé [TOL-00].

Le projet SMM (Systèmes Multimachines Multiconvertisseurs) du GdR SDSE puis du GdR ME2MS¹, a travaillé sur l'étude, la représentation synthétique et la commande de systèmes de conversion électromécanique composés de plusieurs machines et / ou convertisseurs statiques [SMM-00A]. Dans la classification des SMM, les machines polyphasées correspondent à des systèmes à couplage magnétique. Elles sont ainsi perçues comme des machines "classiques" mettant en commun une carcasse magnétique afin de produire un couple commun à partir de plusieurs sources d'alimentation. Une étude préalable sur la généralisation du vecteur d'espace avait démontré qu'un système polyphasé pouvait se décomposer en plusieurs systèmes diphasés orthonormés pouvant être gérés de manières indépendantes [Sem-00]. Les travaux récents du projet SMM ont combiné les deux approches pour décomposer une machine polyphasée en machines fictives équivalentes possédant des propriétés intéressantes pour la commande [Sem-01]. Diverses études de machines pentaphasées ont été réalisées avec cette approche [Kes-02], [Mar-02], [Rob-02].

Cette communication présente le principe de décomposition de machines polyphasées en machines fictives monophasée et diphasées non couplées magnétiquement. Après la description de la méthodologie de décomposition, deux cas sont étudiés. Une machine synchrone pentaphasée, cas considéré maintenant comme classique, est d'abord analysée avec son modèle de machines équivalentes. Un second cas plus original est ensuite étudié : deux machines pentaphasées connectées en série et alimentées par un onduleur 5 bras [Gat-00].

¹ Groupes de Recherche du CNRS "Sûreté et Disponibilité des Systèmes Electriques" (1998-2001) et "Maîtrise de l'Energie Electrique du Matériau au Système" (2002-2005)

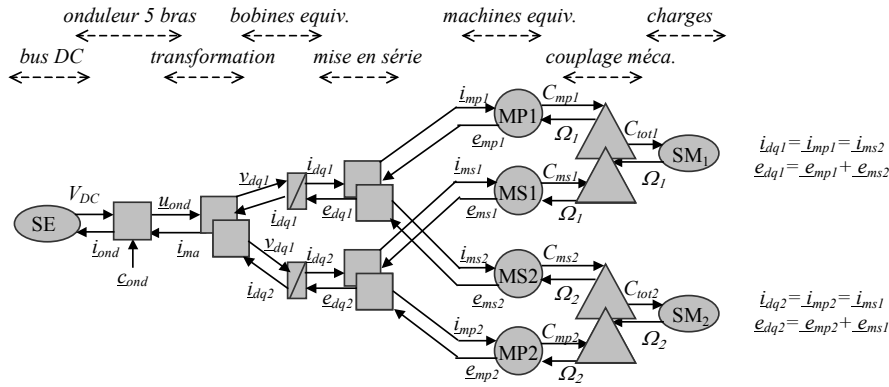


Figure 17. Représentation SMM du système étudié

5. Conclusion

La combinaison des outils du formalisme SMM et du vecteur d'espace généralisé mène à la décomposition d'une machine polyphasée en machines fictives équivalentes. Cette représentation permet alors une analyse intéressante de ce type de machine. Elle peut conduire à des structures de commande originales et performantes. Ainsi dans le premier cas étudié, l'origine principale des ondulations de courant ayant été déterminée (courants dans la machine homopolaire), une commande utilisant uniquement des vecteurs tension de l'onduleur sans composante homopolaire a été définie. Dans le deuxième cas, l'obtention d'un système découplé plus simple permettra d'implanter des structures de commande déjà élaborées pour le contrôle de machines à courant continu avec induits en série [BOU-02]. Bien entendu, cette simplicité n'existe que dans les espaces liés aux machines fictives. Elle disparaît si l'on décrit la commande dans l'espace naturel associé aux machines.

Plus généralement, la mise en forme avec le formalisme graphique SMM permet de faire apparaître plus facilement l'équivalence d'un système avec d'autres plus connus. Il s'en suit l'application de lois de commande déjà éprouvées.

Cette approche peut bien sûr être étendue à d'autres machines [SEM-03]. Parmi les travaux déjà engagés dans le projet SMM, on peut citer les travaux sur les machines double étoile [HAD-01] et les machines double alimentation [VID-03].

6. Références

[BOU-02] A. BOUSCAYROL, PH. DELARUE, E. SEMAIL, J. P. HAUTIER, J. N. VERHILLE,

"Application de la macro-modélisation à la représentation énergétique d'un système de traction multimachine", Revue Internationale de Génie Electrique, vol. 5 n°3-4, octobre 2002 pp 431-453 (article commun L2EP Lille, Matra Transport International).

- [COA-01] C. COATES, D. PLATT, V. GOSBELL, "Performance Evaluation of a Nine-Phase Synchronous Reluctance Drives", Proc. of IEEE-IAS'01, Chicago, September 2001, CD-ROM.
- [GAT-00] S. GATARIC, "A polyphase cartesian Vector Approach To control of Polyphase AC Machines", Proc. of IEEE-IAS'00, Rome, October 2000, CD-ROM.
- [HAD-01] D. HADIOUCHE, "Contribution à l'étude de la machine asynchrone double étoile : modélisation, alimentation et structure", thèse de doctorat de l'UHP, Nancy 1, décembre 2001.
- [JAH-80] T. JAHNS, "Improved reliability in solid state ac drives by means of multiple independent phase-drive units", IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 16, May-June 1980, pp 321-331.
- [KES-02] X. KESTELYN, E. SEMAIL, J. P. HAUTIER, "Vectorial Multi-machine modelling for a five phase machine", Proc. of ICEM'02, Bruges, August 2002, CD-ROM.
- [KES -03] X. KESTELYN, "Modélisation Vectorielle Multimachines pour la commande des ensembles Convertisseurs-Machines polyphasés", Thèse de doctorat de l'USTL, Lille, 2003.
- [LEVI-03], E. LEVI, M. JONES, S.N. VUKOSAVIC, H.A. TOLIYAT, "A Five-Phase Two-Machine Vector Controlled Induction Motor Drive Supplied from a Single Inverter", Proc. of EPE'03, Toulouse, September 2003, CD-ROM.
- [LEVI-04], E. LEVI, M. JONES, S.N. VUKOSAVIC, H.A. TOLIYAT, "A Novel Concept of a Multiphase, Multimotor Vector Controlled Drive System Supplied From a Single Voltage Source Inverter", IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 19, no. 2, March 2004.
- [LYR-01] R. LYRA., T. LIPO, "Torque Density Improvement in a Six-Phase Induction Motor With Third Harmonic Current Injection", Proc. of IEEE-IAS'01, Chicago, September 2001.
- [MAR-02] J. P. MARTIN, E. SEMAIL, S. PIERFEDERICI, A. BOUSCAYROL., F. MEIBODY-TABAR, B. DAVAT, "Space Vector Control of 5-phase PMSM supplied by q H-bridge VSIs", Proc. of ElectrIMACS'02, Montreal, August 2002, CD-ROM
- [MOU-98] N. MOUBAYED, F. MEIBODY-TABAR, B. DAVAT, "Alimentation par deux onduleurs de tension d'une machine synchrone double étoile", Revue Internationale de Génie Electrique, vol. 1, n° 4, 1998, pp. 457-470.
- [ROB-02] E. ROBERT-DEHAULT, M. F. BENKHORIS, E. SEMAIL, "Study of a 5-phase synchronous machine fed by PWM inverters under fault conditions", ICEM'02, Bruges, August 2002, CD-ROM
- [SEM-00] E. SEMAIL, "Outils et méthodologie d'étude des systèmes électriques polyphasés. Généralisation de la méthode des vecteurs d'espace", Thèse de doctorat de l'USTL, Lille, 2000.
- [SEM-01] E. SEMAIL, X. KESTELYN, "Modélisation multimachine d'une machine synchrone

polyphasée ", EF'2001, Nancy, 2001, pp. 203-208.

- [SEM-03] E. SEMAIL, A. BOUSCAYROL, J. P. HAUTIER, "Vectorial formalism for analysis and design of polyphase synchronous machines", EPJ Applied Physics, vol. 22, no. 3, June 2003, pp. 207-220.
- [SMM-00A] (PROJET SMM DU GDR SDSE) A. BOUSCAYROL, B. DAVAT, B. DE FORNEL, B. FRANÇOIS, J. P. HAUTIER, F. MEIBODY-TABAR, M. PIETRZAK-DAVID, "Multimachine Multiconverter System: application for electromechanical drives", European Physics Journal - Applied Physics, vol. 10, no. 2, May 2000, pp-131-147.
- [SMM-00B] (PROJET SMM DU GDR SDSE) A. BOUSCAYROL, B. DAVAT, B. DE FORNEL, B. FRANÇOIS, J. P. HAUTIER, F. MEIBODY-TABAR, M. PIETRZAK-DAVID, "Multimachine Multiconverter Systems for drives: analysis of coupling by a global modeling", Proc. of IEEE-IAS anual meeting 2000, Rome, October 2000, CD-ROM
- [SMM 03] (PROJET SMM DU GDR ME²MS) A. BOUSCAYROL, B. DAVAT, B. DE FORNEL, B. FRANÇOIS, J. P. HAUTIER, F. MEIBODY-TABAR, E. MONMASSON, M. PIETRZAK-DAVID, H. RAZIK, M. F. BENKHORIS, "Control structure for multimachine multiconverter systems with upstream coupling", Mathematics and Computers in Simulation, vol. 63, no3-5, November 2003, pp. 261-270
- [TOL-00] H. A. TOLİYAT, S. RUHE, X. HUANSHENG, "A DSP-Based vector Control of Five-Phase Synchronous Reluctance Motor", IEEE-IAS'00, Rome, October 2000, CD-ROM.
- [VID-03] P. E. VIDAL, M. PIETRZAK-DAVID, B. DE FORNEL, "Stator flux oriented control of a doubly fed induction machine", Proc. of EPE'2003, Toulouse, September 2003, CD-ROM.