Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 94 (2003)
Heft: 15

Artikel: Modélisation d'alternateurs de grande puissance
Autor: Taghezout, Daho / Dutoit, Gilles
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857571

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 05.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Modélisation d'alternateurs de grande puissance

La méthode des éléments finis permet une prédiction précise du comportement des alternateurs à pôles saillants

Les machines synchrones à pôles saillants jouent un rôle capital dans la production d'énergie électrique d'origine hydraulique. Ces machines sont en général conçues selon une méthodologie classique basée sur des formules analytiques et des coefficients empiriques. Eu égard à la constante augmentation de la puissance spécifique des alternateurs modernes, ces formules se révèlent peu précises pour la prédiction du comportement du groupe hydroélectrique en cas de fortes sollicitations mécaniques ou électriques. Afin de garantir une précision acceptable, la validation de la géométrie de machine choisie doit impérativement être effectuée à l'aide de logiciels basés sur une modélisation par éléments finis. Ceux-ci permettent de déterminer de manière précise la distribution du champ magnétique, les bilans de puissance et les échauffements au sein de la machine en régime permanent ou transitoire.

Les caractéristiques électriques auxquelles s'intéresse le constructeur de la machine et l'exploitant sont en particulier le schéma équivalent de la machine dans les axes d et q, les inductances syn-

Daho Taghezout, Gilles Dutoit

chrones, transitoires et subtransitoires, ainsi que le comportement de la machine en régime permanent et perturbé. Lors de l'étape de conception, le constructeur doit choisir parmi une multitude de solutions celle qui est la plus intéressante du point de vue technique et économique. Celle-ci doit ensuite être soigneusement analysée afin de vérifier son comportement en régime permanent et transitoire. L'étape de validation fait de plus en plus appel à la technique des éléments finis, cette méthode s'étant avérée précise et tout à fait universelle. Afin de proposer un outil complet de dimensionnement de machines synchrones à pôles saillants, le projet hydroFEA[1)] a été initialisé à l'Ecole d'ingénieurs du canton de Vaud (EIVD) en 1999 avec pour but la mise au point d'un logiciel intégrant une méthode de dimensionnement interactive d'un alternateur hydraulique et le pilotage de tests de prédiction automatisée du comportement de la machine à l'aide du code à éléments finis Flux2D[2)]. Le logiciel permet de reproduire de manière rapide les caractéristiques suivantes:

- essai à vide à vitesse synchrone
- essai en court-circuit permanent
- inductances synchrones, transitoires et subtransitoires dans les axes direct et transverse
- essai en fréquence à rotor bloqué (inductances opérationnelles dans les axes d et q)
- essai en court-circuit brusque
- fausse synchronisation sur le réseau
- régime synchrone permanent en charge
- répartition asymétrique de la charge sur les phases statoriques

Logiciel à éléments finis Flux2D

Le logiciel d'analyse par éléments finis Flux2D est utilisé depuis plusieurs années à l'EIVD dans le cadre de l'enseignement de l'électromagnétisme et de l'électromécanique, ainsi que pour les projets de semestre et de diplôme de la section Electricité et Informatique. C'est un logiciel CAO (Computer Aided Optimisation) permettant de calculer le comportement électromagnétique et thermique de structures planes ou à symétrie de révolution.

Les grandeurs locales (champs électromagnétiques ou thermiques) et globales (forces, couples, courants, inductances, température) seraient difficiles, voire impossibles à déterminer par d'autres méthodes (calcul analytique, prototypes) lorsque la géométrie du dispositif est complexe ou lorsque les matériaux sont non linéaires ou anisotropes. En tout état de cause, elles sont obtenues avec des coûts et des délais très inférieurs à ceux des autres méthodes. Cette économie permet de tester de nouvelles idées rapidement et à faible coût, d'analyser le comportement de dispositifs en service, de dimensionner et d'optimiser de nouvelles structures électromagnétiques et thermiques.

Les phénomènes qui interviennent dans les dispositifs électrotechniques sont décrits par différentes équations: équations de Maxwell, équation de la chaleur, lois de comportement des matériaux. Les équations de Maxwell décrivent de manière globale tous les phénomènes électromagnétiques. Elles peuvent très souvent être découplées et adaptées au problème à traiter, donnant ainsi naissance à des modèles plus simples (magnétostatique, électrostatique, magnétodynamique, électrocinétique...). Pour cette raison, Flux2D dispose de modules d'application qui permettent de résoudre un type de problème donné, décrit par une équation et des hypothèses relatives au régime de fonctionnement et aux lois de comportement des matériaux. Par

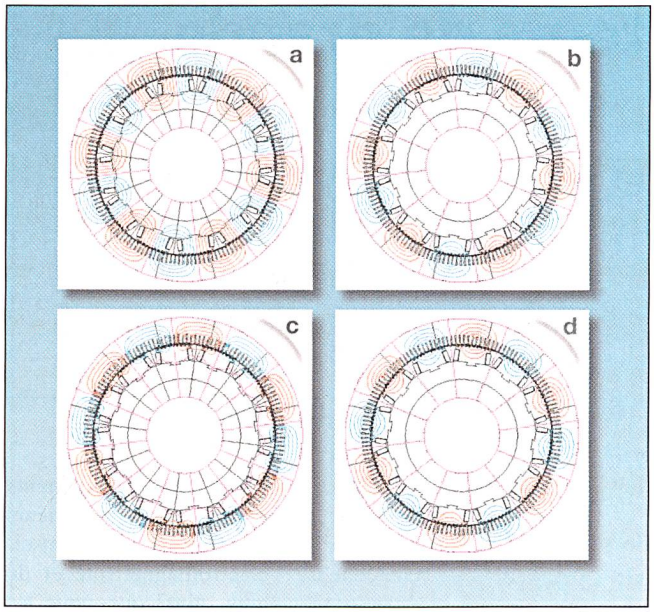


Figure 1 Calcul des inductances

a: Lignes équipotentielles en réaction d'induit dans l'axe d; b: Lignes équipotentielles en réaction d'induit dans l'axe q; c: Lignes équipotentielles dans l'axe d (enroulement statorique alimenté, circuits rotoriques court-circuités); d: Lignes équipotentielles dans l'axe q (enroulement statorique alimenté, circuits rotoriques court-circuités)

ailleurs, ce logiciel permet de prendre en compte le mouvement en translation et en rotation de régions en régime stationnaire ou transitoire ainsi que le couplage du problème à éléments finis à des circuits électriques externes. Du fait de la configuration des alternateurs, une modélisation bidimensionnelle effectuée sur un plan normal à l'axe de la machine fournit une précision remarquable, avec des temps de calcul très raisonnables. Par ailleurs, la périodicité géométrique et magnétique de la machine permet de se limiter à une période ou une demi-période fondamentale pendant la simulation.

Interface-métier hydroFEA

L'interface hydroFEA a été conçu pour piloter de manière rapide et conviviale les différents modules du logiciel Flux2D afin d'effectuer différents tests sur des machines synchrones à pôles saillants.

HydroFEA fait appel à un fichier de dimensionnement, généré par l'utilisateur ou à l'aide d'un logiciel tiers, spécifiant les données principales de la machine, les caractéristiques des matériaux utilisés, les grandeurs nominales, ainsi que d'autres paramètres utiles à la description de la géométrie et à la conduite des différents tests. Ce fichier est accessible depuis un superviseur pour toute modification de la géométrie ou des paramètres de maillage. Après sélection de la machine à tester, le module préprocesseur de Flux2D est activé pour la description automatisée de la géométrie et le maillage de la machine. On obtient à la fin de cette phase un fichier de géométrie maillée ainsi qu'un fichier contenant la liste des paramètres associés à la machine étudiée. Cette phase de préparation achevée, l'utilisateur peut sélectionner un ou plusieurs tests à conduire sur la machine.

La configuration de l'essai est effectuée à l'aide d'une boîte de dialogue dédiée. Après validation et vérification de la cohérence des paramètres introduits, l'interface HydroFEA génère des fichiers de commande qui vont piloter les modules de Flux2D en vue de l'affectation des propriétés physiques et des sources, de la résolution du problème et de l'exploitation des résultats.

Le module de construction de la géométrie permet de décrire des machines classiques, avec un nombre d'encoches par pôle et phase entier ou fractionnaire. De plus il est possible d'introduire un décalage des amortisseurs par rapport à l'axe du pôle rotorique ainsi que différentes formes d'épanouissement polaire. Par ailleurs, des barres d'amortisseur de forme ronde ou carrée sont prévues, de même qu'un décalage de la semelle polaire par rapport à l'axe du noyau polaire.

Applications pratiques

Les paragraphes suivants décrivent brièvement quelques tests pouvant être effectués sur une machine et la dérivation des paramètres intéressant le constructeur. Les configurations des machines testées ainsi que les résultats de mesure ont été gracieusement mis à disposition par Alstom Power (Birr).

Calcul des inductances

Les inductances statoriques sont déterminées après calage de l'axe d, puis de l'axe q du rotor sur l'axe d'une phase (exemple phase A). Dans l'étape de calcul de l'inductance synchrone dans les

IWB, Lenzburg

Production d'énergie ▸▸ Transformation d'énergie ▸▸ Mesure d'énergie ▸▸ **Distribution**

Les cellules de MT pour la distribution d'énergie doivent être sûres et financièrement économique

UNIFLUORC
- Construction compacte et modulaire
- Utilisation de la technique de raccordement de câble conventionnelle
- Un : 24 kV, In : 630 A, courant nominal de court-circuit (1 s) : 20 kA
- Participe de manière décisive à la construction d'une alimentation en énergie fiable

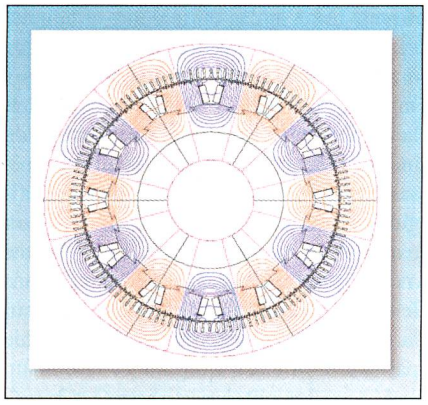


Figure 2 Essai à vide
Lignes équipotentielles pendant l'essai à vide (enroulement d'excitation alimenté)

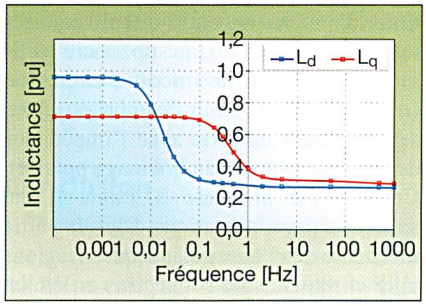


Figure 3 Essai à rotor bloqué
Inductances opérationnelles L_d et L_q en fonction de la fréquence

axes d et q, le circuit d'excitation de la machine est ouvert, de même que le circuit amortisseur. Les inductances sont déterminées en mode magnétostatique, la phase du courant statorique étant telle que le courant dans la phase A est maximum et le courant dans les phases B et C est d'amplitude moitié et de sens opposé. Pour cette configuration, la réaction d'induit statorique est calée sur l'axe de la phase A. Les figures 1a et 1b représentent les lignes équipotentielles dans la machine en réaction d'induit directe ou transverse, les enroulements rotoriques étant ouverts. Cela s'effectue par un calage de l'axe d, respectivement de l'axe q du rotor sur l'axe de la phase A. Cet essai permet de déduire l'inductance de champ principal et les inductances de fuite de l'enroulement statorique (composante de fuite de développante non comprise) dans les axes d et q.

Le calcul des inductances transitoires et subtransitoires prend en compte les courants induits dans le circuit d'excitation et dans l'enroulement amortisseur. Il y a lieu donc d'alimenter l'enroulement statorique en mode triphasé symétrique et de tenir compte des courants induits dans l'enroulement d'excitation et dans l'amortisseur. Ceci est effectué dans Flux2D grâce au couplage entre le problème à éléments finis et des circuits électriques représentatifs des portions d'enroulements présents dans les parties frontales de la machine.

Lorsque les barres amortisseurs sont désactivées (enroulement amortisseur ouvert), les inductances vues depuis l'enroulement statorique dans les axes d et q sont les inductances transitoires. Lorsque l'amortisseur et l'enroulement d'excitation sont court-circuités, les inductances vues du stator correspondent aux inductances subtransitoires. Les figures 1c et 1d représentent les lignes équipotentielles dans la machine pour un instant donné, lorsque les barres amortisseurs et le circuit d'excitation sont court-circuités (régime subtransitoire).

Simulation de l'essai à vide

L'essai à vide (figure 2) consiste en la détermination de la tension à vide aux

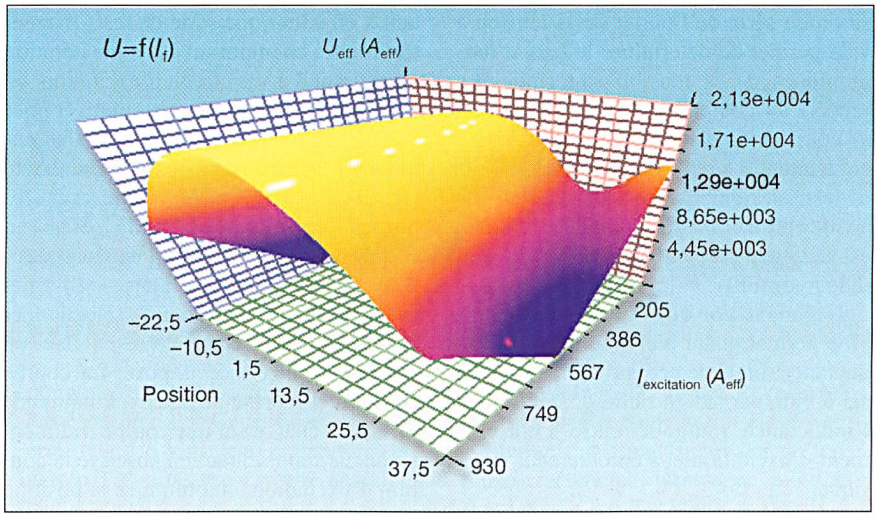
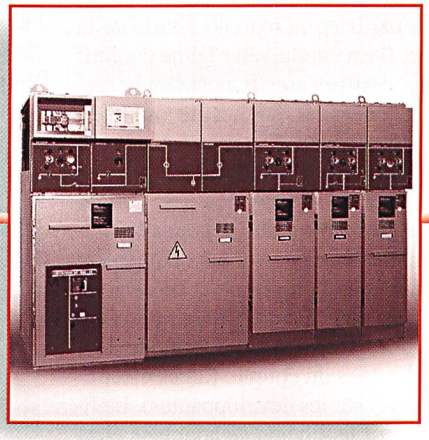


Figure 4 Essai en charge
Courbe tridimensionnelle de l'essai en charge

d'énergie



stationenbau
...planifie, construit, connecte...

Stationenbau AG
Schützenhausstrasse 2
5612 Villmergen
Téléphon 056/619 88 00
Téléfax 056/619 88 04
E-Mail: info@stationenbau.ch
www.stationenbau.ch

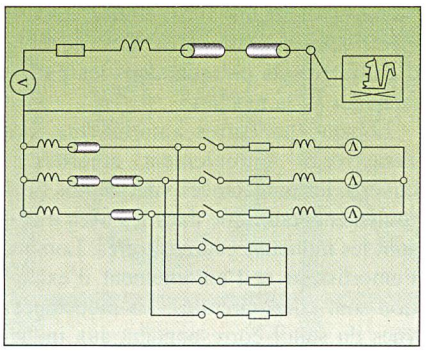


Figure 5 Circuit électrique couplé au problème à éléments finis

bornes de l'enroulement statorique en fonction du courant d'excitation à vitesse constante. La caractéristique ainsi déduite permet de déterminer le courant d'excitation à vide de la machine et d'évaluer son état de saturation pour la tension nominale. Par ailleurs, la décomposition en série de Fourier de la tension à vide permet de déterminer le taux d'harmoniques de la tension statorique. Le rapport du courant à vide sur le courant de court-circuit est en outre une grandeur contractuelle de la machine. Au terme de ce test, un fichier représentant la tension à vide en fonction du courant d'excitation est automatiquement généré par le module hydroFEA.

L'alimentation du circuit d'excitation à vide permet quant à elle de déduire l'inductance totale de cet enroulement. L'essai à vide permet en outre de déterminer l'inductance mutuelle entre l'enroulement d'excitation et l'enroulement statorique.

Essai en fréquence à rotor bloqué

L'essai en fréquence à rotor bloqué permet de calculer les inductances opérationnelles dans les axes d et q de la machine à rotor bloqué en fonction de la fréquence électrique. Les courbes obtenues (figure 3) représentent l'évolution de l'inductance vue depuis le stator dans les axes d et q en fonction de la pulsation du courant statorique. L'essai en fréquence permet de valider les résultats dérivés des tests de calcul des inductances. En effet, les valeurs en très basse fréquence correspondent aux valeurs des inductances synchrones dans leurs axes respectifs. De la même manière, les valeurs à fréquence élevée fournissent directement les inductances subtransitoires dans les axes d et q. D'autre part, cet essai permet de déterminer un schéma équivalent à deux ou plusieurs branches amortisseur au rotor, nécessaire pour modéliser de manière précise des machines caractérisées par des pôles massifs au rotor. On peut par ailleurs appliquer à ces courbes d'inductances opérationnelles des techniques d'identification classiques afin d'en extraire automatiquement les schémas équivalents dans les axes d et q de la machine.

Essais en régime permanent synchrone

Les essais en régime permanent incluent l'essai à vide déjà décrit, l'essai en court-circuit permanent et l'essai en charge à courant et facteur de puissance imposés. Une technique originale a été développée pour la conduite de ces deux derniers tests. En effet, les constantes de temps électriques pour des machines de grande puissance sont très importantes. Il est ainsi exclu d'effectuer un calcul évolutif et de déterminer le courant statorique à courant d'excitation et tension aux bornes imposés après la fin du régime transitoire. Nous avons de ce fait appliqué une technique itérative consistant à effectuer une série de tests magnétostatiques en imposant à chaque itération un courant dans le circuit d'excitation, un courant dans le circuit statorique, et pour l'essai en charge différents angles internes. Le processus itératif est arrêté lorsque la tension résultante sur les bornes statoriques est nulle (essai en court-circuit) ou égale à la tension nominale (essai en charge). Dans ce dernier cas, il y a également lieu de sélectionner le courant d'excitation correspondant au facteur de puissance imposé. La courbe en figure 4 représente une exploitation de l'essai en charge sur une courbe tridimensionnelle représentant en abscisse le courant d'excitation, en ordonnée la position du rotor et selon l'axe z la tension aux bornes. Les points à tension aux bornes égale à la tension nominale correspondent aux cas de charge intéressant le constructeur.

Essai en court-circuit brusque

Cet essai consiste à imposer un court-circuit sur les bornes des phases statoriques à partir de la marche à vide de la machine. Il est conduit en régime évolutif en mode non linéaire et peut durer plusieurs secondes. Il permet de prédéterminer l'évolution des courants et du couple à l'arbre de la machine lorsqu'un court-circuit est appliqué à ses bornes. Cet essai est souvent utilisé pour déterminer les paramètres du schéma équivalent dans l'axe d de la machine et de calculer les sollicitations électromécaniques auxquelles elle est soumise (niveaux de courant, pulsations du couple, forces électrodynamiques sur les développantes). La figure 5 décrit le schéma de couplage électrique des phases statoriques et rotoriques. Dans le cas où le court-circuit est appliqué sur la machine en régime de marche à vide, les trois interrupteurs supérieurs restent ouverts pendant toute la durée de simulation. La commande indépendante des interrupteurs représentés dans la partie inférieure de la figure 5 permet également d'effectuer un test de court-circuit biphasé. Le problème à éléments finis est résolu pas à pas dans le temps compte tenu de l'information sur la connexion des enroulements fournie par le circuit électrique.

L'enroulement amortisseur est représenté par un macroélément et symbolisé par un écureuil. Les données à introduire sont le nombre de barres pour le domaine représenté ainsi que l'impédance des portions d'anneau de court-circuit connectant les barres. La maille supérieure en figure 5 représente le circuit d'excitation (régions aller et retour des phases représentées mises en série avec l'impédance de la partie frontale du bobinage polaire). Celui-ci est alimenté à l'aide d'une source de tension continue. Dans la partie inférieure, les phases statoriques (régions aller et retour) sont connectées en étoile, les développantes étant représentées par une résistance et une inductance série. Le réseau électrique est représenté par trois sources triphasées et une impédance série. Le court-circuit des phases est créé par la fermeture des trois interrupteurs représentés au bas de la figure 5.

Les figures 6 et 7 montrent l'évolution du courant d'excitation et du courant

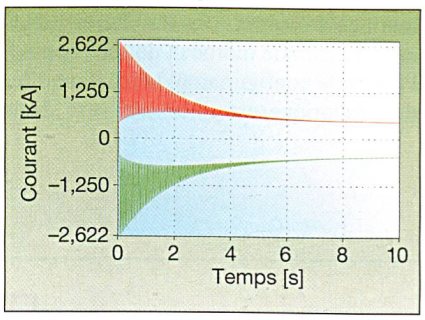


Figure 6 Courant d'excitation (conducteurs d'entrée et de sortie)

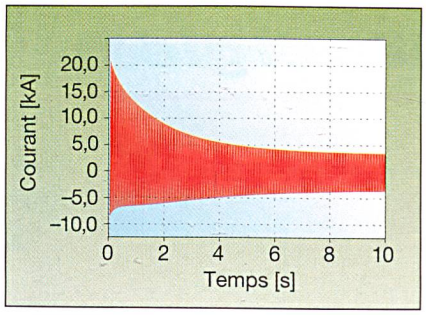


Figure 7 Courant dans la phase A

dans une phase lors d'un court-circuit brusque triphasé sur les phases statoriques. Le court-circuit a lieu après 40 ms de marche à vide. La tension de ligne avant le court-circuit correspond à la tension nominale de la machine. Le courant d'excitation subit un régime transitoire important puis retrouve sa valeur initiale lorsque le régime permanent est atteint.

La conduite de l'essai en fausse synchronisation est relativement similaire à celle de l'essai en court-circuit brusque quant à la topologie du circuit utilisé (figure 5). Dans le cas de l'essai en fausse synchronisation, le déphasage entre la tension à vide de la machine et la tension du réseau est imposé par les trois sources de tension représentant le réseau. Dans cet essai, les interrupteurs servant à court-circuiter les enroulements statoriques restent ouverts pendant toute la durée de la simulation.

Conclusion

L'interface-métier est un concept récent, encore peu répandu mais promis à un bel avenir. Il a pour but de faciliter l'accès à la technique des éléments finis pendant la phase de conception d'un produit ou de son optimisation. En effet, cette méthode s'est avérée comme la plus précise et la plus apte à prendre en considération le comportement non linéaire des matériaux, le mouvement de pièces ou le traitement de problèmes à géométrie complexe. Bien que des efforts importants aient été consentis pour rendre les codes à éléments finis conviviaux et automatiser certaines tâches (description de la géométrie, maillage, traitement des résultats), la méthode des éléments finis requiert encore une formation spécialisée. Le module hydroFEA nous a permis d'intégrer cette technique dans la phase de conception d'hydroalternateurs de moyenne et grande puissance, permettant ainsi à l'ingénieur de calcul de simuler de manière rapide et fiable le comportement en régime permanent ou transitoire de la machine.

Les travaux effectués dans le cadre de ce projet ainsi que les modules développés peuvent être aisément repris dans le cadre d'interfaces-métier dédiés à d'autres types de dispositifs électrotechniques (machines asynchrones ou synchrones à aimants permanents, etc.)

Littérature

[1] *J. L. Coulomb, J. C. Sabonnadière:* Eléments finis et CAO. Editions Hermès Paris, 1986.

[2] *J. C. Sabonnadière, J. L. Coulomb:* Calcul des champs électromagnétiques. Les Techniques de l'Ingénieur I (Génie Electrique), 1990.

[3] *P. P. Silvester, R. L. Ferrari:* Finite Elements for Electrical Engineers. Cambridge University Press, 1983.

Informations sur les auteurs

Dr ***Daho Taghezout*** est ingénieur électricien EPFL. Outre son activité de professeur à l'EIVD (Ecole d'ingénieurs du canton de Vaud), il travaille comme ingénieur-conseil pour des entreprises actives dans la production et le transport d'énergie électrique, l'horlogerie et l'industrie automobile.
EIVD, 1401 Yverdon-les-Bains, daho.taghezout@eivd.ch

Gilles Dutoit est ingénieur ETS en énergie électrique. Il a obtenu son diplôme de l'EIVD en 1999 ainsi que le prix de la ville d'Yverdon pour son diplôme sur la modélisation par éléments finis d'une machine asynchrone à rotor bobiné. Il collabore au projet hydroFEA et exerce une activité d'enseignement et de développement à l'EIVD. Il est également collaborateur à temps partiel de la société applied magnetics à Morges.
EIVD, 1401 Yverdon-les-Bains, gilles.dutoit@eivd.ch

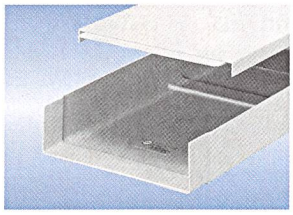
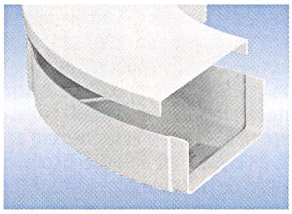
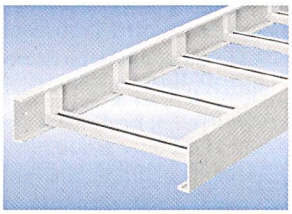
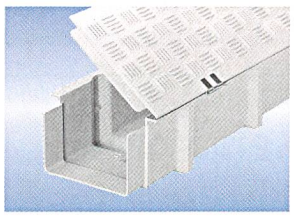
[1] Le financement de ce projet a été réalisé par la Réserve Stratégique de la HES-SO (Haute Ecole Spécialisée de Suisse Occidentale). Des données de mesure de plusieurs machines en service ont été fournies par la société Alstom Power à Birr.

[2] Flux2D: http://www.cedrat.com; manuel d'utilisation du logiciel Flux2D.

Modellierung von Wechselstromgeneratoren grosser Leistung

Mit der Methode der finiten Elemente lässt sich das Verhalten von Synchronmaschinen präzise vorhersagen

Drehstrom-Synchronmaschinen mit ausgeprägten Polen spielen in der Erzeugung elektrischer Energie aus Wasserkraft eine zentrale Rolle. In der Regel wird das Verhalten der Generatoren mit Hilfe analytischer Gleichungen mit empirisch ermittelten Koeffizienten abgeschätzt – eine Methode, die angesichts der gesteigerten Leistung nicht mehr ausreichend präzise erscheint. Deswegen müssen heute Modellierungsprogramme eingesetzt werden, die auf der Methode der finiten Elemente beruhen. Diese erlauben die genaue Bestimmung des magnetischen Feldes, der Leistungsbilanz wie auch der Wärmeentwicklung der Maschine in allen möglichen Betriebszuständen.

Wenn Sie ...

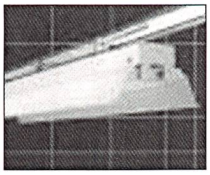
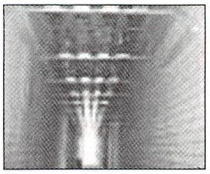
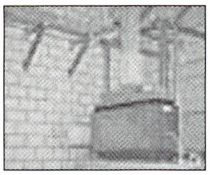
- kostengünstige, schraubenlose Kabelführungssysteme benötigen
- Formteile mit kabelgerechten Radien z. B. für LWL suchen
- den optimalsten Stützabstand bis 9 m ermitteln möchten
- ohne Verletzungsgefahr für Kabel und Hände arbeiten wollen
- nach IEC/EN 61537 oder E30 installieren müssen
- halogenfreie Kabelführungssysteme mit Langzeitnutzen kalkulieren müssen
- keine Sorgen mit EMC und Potentialausgleich wollen

... ja, dann brauchen Sie Ebo

Bei Ihrem Elektrogrossisten ab Lager lieferbar

Ebo Systems AG
Tambourstrasse 8
8833 Samstagern
Tel. 01/787 87 87
Fax 01/787 87 99
www.ebo-systems.com
info.ch@ebo-systems.com

ebo
Ebo Systems

Votre sécurité – LANZ canalisations électriques

CE ISO 9001

- **LANZ EAE – à gaine métallique 25–4000 A IP 55**
  Pour une alimentation électrique modifiable et extensible de l'éclairage, des machines dans les laboratoires, fabriques, chaînes de production, etc.
- **LANZ HE – à gaine de résine synthétique 400–6000 A IP 68**
  La meilleure canalisation électrique au monde, résistant à 100% à la corrosion. Homologuée EN/IEC. Aussi avec conducteur neutre 200% et blindage CEM maximal.

Spécialement recommandées pour les liaisons transfo-distribution principale, pour les réseaux d'étage dans les immeubles administratifs, centres de calcul et hôpitaux, pour l'équipement de centrales de force, usines d'incinération, STEP et installations à l'air libre.

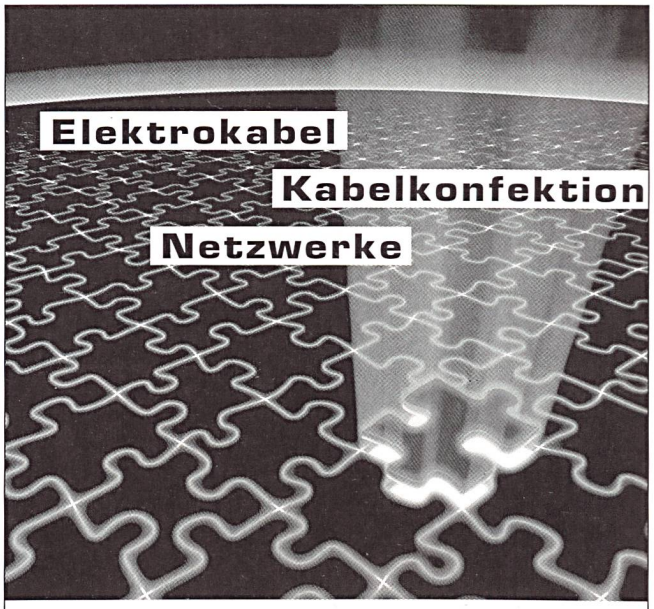
Conseils, offres: lanz oensingen sa 4702 Oensingen 062 388 21 21

☐ Les canalisations électriques LANZ EAE et LANZ HE m'intéressent. Veuillez m'envoyer la documentation.

☐ Pourriez-vous nous rendre visite à une date à convenir par téléphone? Nom / adresse / tél. _____

_____ fS2

lanz oensingen sa
CH-4702 Oensingen Südringstrasse 2
Téléphone 062 388 21 21 Fax 062 388 24 24
www.lanz-oens.com info@lanz-oens-com



A. Heiniger & Cie. AG
Sägestrasse 65, CH-3098 Köniz

Bereich Kabel
Tel. 031 970 55 70
Fax 031 970 55 79

Bereich Netzwerke
Tel. 031 970 55 50
Fax 031 970 55 59

Bereich Konfektionen
Tel. 031 970 55 30 Fax 031 970 55 39

A. Heiniger & Cie. AG
Sumpfstrasse 22, CH-6312 Steinhausen

Bereich Konfektionen
Tel. 041 749 16 66 Fax 041 741 29 01

HEINIGER
Ein Unternehmen der Gruppe KROMBERG & SCHUBERT
Une entreprise du groupe

HEINIGER
Qualität verbindet.

Internet: www.heiniger-ag.ch
e-mail: heiniger@heiniger-ag.ch