



ALTERNATEUR INERTIEL A SURCHARGE ELEVEE POUR VEHICULE ELECTRIQUE DE COMBAT

Cergy Pontoise 18-19/03/04

Mario MARTINEZ - Jean-Yves MIDY

ALTERNATEUR INERTIEL



SOMMAIRE

- Introduction
- Description générale
- Boîte mécanique à engrenages
- Générateur
- Régulateur
- Résultats expérimentaux
- Conclusion



INTRODUCTION

- Étude sous contrat de la DGA.
- Système électrique de puissance capable de fournir une surcharge importante pendant 10s.
- Cette surcharge correspond au franchissement d'obstacles d'un véhicule de combat à propulsion électrique.
- Cette surcharge est extraite de l'énergie cinétique emmagasinée dans des roues inertielles afin de réduire la taille du moteur d'entraînement.
- Choix technologique d'un générateur à grande vitesse pour minimiser la masse du système.
- A la fin du fonctionnement en surcharge, la vitesse du générateur ne doit pas descendre en-dessous de la moitié de la vitesse nominale.

Journées 2004 EEA



DESCRIPTION GENERALE

- Batterie connectée en parallèle avec le générateur.
- Puissance nominale du générateur: 200kW / 540VDC.
- Surcharge 10 sec : 400kW.
- Vitesse nominale : 40000tr/min.
- Vitesse minimale : 20000tr/min.
- Un démonstrateur délivrant le quart de cette puissance a été fabriqué et testé (50/100kW).
- Le générateur est entraîné par un moteur Diesel.
- Plage de vitesse du moteur Diesel: 1500 à 4000tr/min.

Journées 2004 EEA





DESCRIPTION GENERALE (Suite)

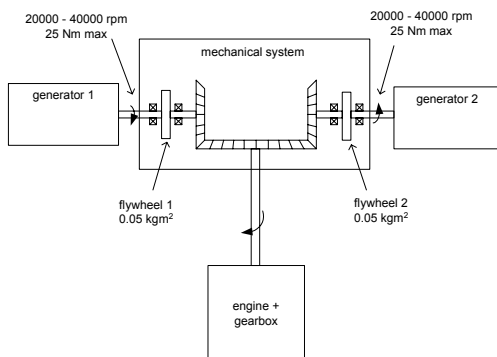
- **Puissance maximale du Diesel : 60kW à 2000tr/min.**
- **Une boîte mécanique de rapport 10 est nécessaire pour adapter la vitesse du générateur à celle du moteur.**
- **Une énergie cinétique importante est dissipée pendant la surcharge de 10s (625kJ pour le démonstrateur) conduisant à une inertie importante (0.1kg.m² pour le démonstrateur).**
- **Cette inertie induit un effet gyroscopique important qui peut nuire à la conduite du véhicule dans les virages.**

Journées 2004 EEA



DESCRIPTION GENERALE (Suite)

Pour surmonter cette difficulté, la solution suivante a été retenue :



Deux couples gyroscopiques opposés sont générés de façon à s'annuler.

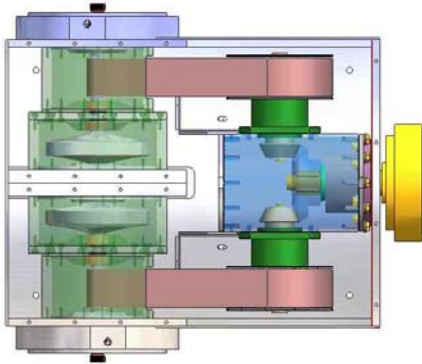
Deux roues inertielles accouplées à deux générateurs tournent en sens contraire sur des arbres différents.

Les deux générateurs sont entraînés par l'intermédiaire d'engrenages coniques.

Journées 2004 EEA



BOITE MECANIQUE A ENGRENAGES



La boîte mécanique du démonstrateur inclue :

- des engrenages coniques,
- deux courroies d'entraînement,
- deux roues inertielles à l'extérieur des générateurs pour faciliter la conception du générateur à grande vitesse.

Journées 2004 EEA



DESCRIPTION DU GENERATEUR

Choix du type de générateur

- Trois types différents de machines peuvent convenir à une application grande vitesse :
 - La machine à aimants permanents
 - La machine à réluctance variable
 - La machine homopolaire à excitation fixe
- La machine à aimants permanents doit être associée à un convertisseur de puissance contrôlé pour délivrer la tension continue régulée à 540V. Ce convertisseur peut inclure un redresseur à diodes et un hacheur à transistors qui supportent une tension maximum d'environ 1500V.
- La machine à réluctance est également connectée à un convertisseur de puissance contrôlé dont la régulation à ce niveau de puissance reste compliquée.
- La machine homopolaire a un rotor massif qui lui permet d'atteindre de grandes vitesses périphériques (300m/s). Sa bobine d'excitation fixe permet de réguler facilement sa tension de sortie.

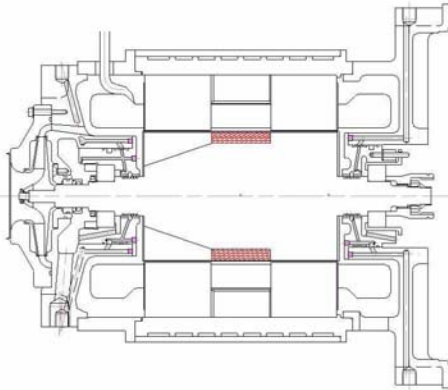
Journées 2004 EEA

ALTERNATEUR INERTIEL



DESCRIPTION DU GENERATEUR (Suite)

Coupe du démonstrateur



La machine est composée de deux demi machines séparées par la bobine d'excitation. Les pôles d'une demi machine ont la même polarité qui est différente pour chaque demi-machine.

Pour éviter des pertes aérodynamiques importantes, les pôles saillants du rotor ont été carénés par une chemise cylindrique en fibre de carbone.

Un ventilateur évacue les pertes aérodynamiques dans l'entrefer et les pertes Joules des chignons. La carcasse possède des canaux de circulation d'huile.

Poids du générateur: 61kg.

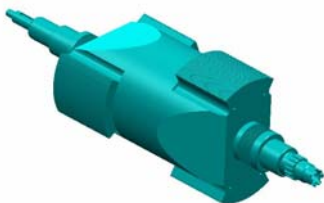
Journées 2004 EEA

ALTERNATEUR INERTIEL

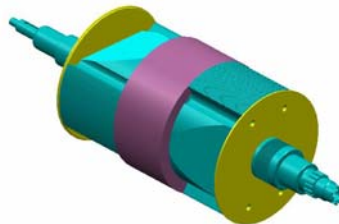


DESCRIPTION DU GENERATEUR (Suite)

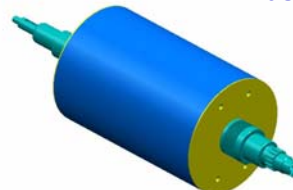
Phase 2



Phase 1



Phase 3



Procédé de carénage du rotor

Journées 2004 EEA

ALTERNATEUR INERTIEL



DESCRIPTION DU GENERATEUR (Suite)

Stator



Rotor caréné



Journées 2004 EEA

ALTERNATEUR INERTIEL



DESCRIPTION DU "GENERATOR CONTROL UNIT"

Deux fonctions distinctes:

- Redresser le système triphasé de tensions délivré par chaque alternateur
- Réguler le courant continu redressé délivré par chaque alternateur, par action sur leur courant inducteur

Les deux alternateurs sont connectés en parallèle via leur pont redresseur. La batterie 540 VDC du véhicule est connectée en parallèle sur le réseau continu. La batterie impose donc la tension aux bornes des ponts.

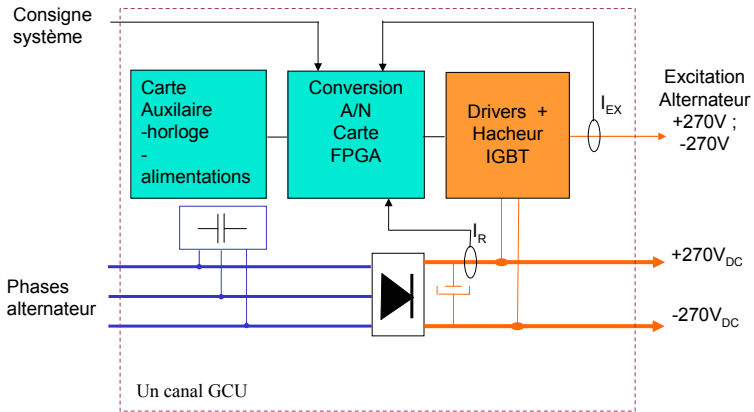
Le contrôle de chaque canal est entièrement numérique. Intégré dans un circuit logique programmable de type FPGA, il est réalisé par deux boucles mises en cascade :
la boucle interne contrôle le courant d'excitation,
la boucle externe contrôle le courant continu en sortie.

Journées 2004 EEA

ALTERNATEUR INERTIEL



ARCHITECTURE D'UN CANAL DU GCU

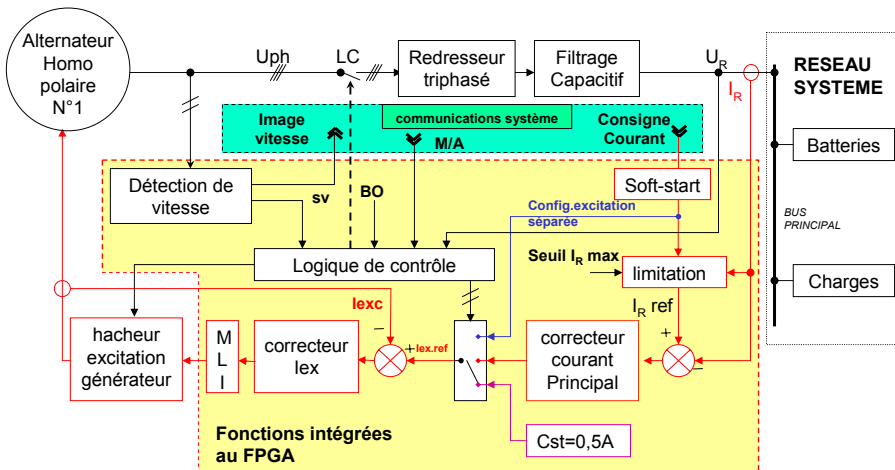


Journées 2004 EEA

ALTERNATEUR INERTIEL



Synoptique du contrôle d'un canal

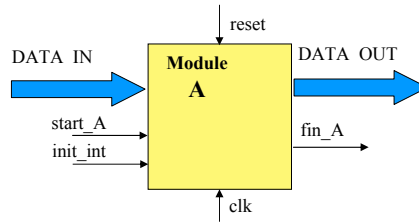


Journées 2004 EEA



LA REGULATION

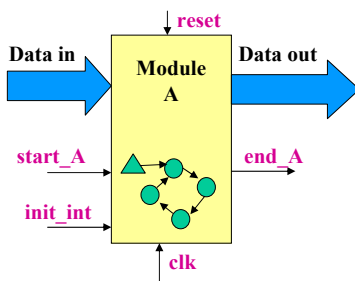
- La régulation est entièrement numérique
- Elle implantée dans un FPGA (Field Programmable Gate Array) 100 000 portes
- Résultat d'une coopération avec l'IUP Cergy Pontoise
- Étape de validation d'une démarche et d'une méthodologie de développement.
- Réalisation de modules élémentaires et réutilisables dans le domaine du contrôle et de la régulation, écrits en VHDL (portabilité)
 - correcteur PI
 - limitation de courant
 - calcul de vitesse
 - comparateur
 - MLI numérique



Journées 2004 EEA



Les **modules « fonctions »**, présentés dans le synoptique précédent, répondent à la **nomenclature** de cette figure.



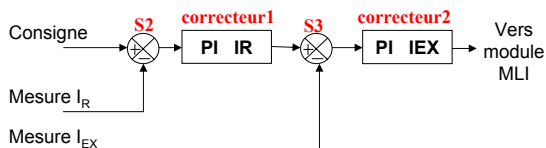
Ces modules disposent des signaux de contrôle :

- **Start** : lancement des calculs (à la fréquence d'échantillonnage 20kHz),
 - **Reset** : signal asynchrone de retour à l'état 0,
 - **Init_int** ; autorisation pour un nouveau calcul.
 - Ils renvoient le signal **end** indiquant la fin de calcul
- Tous ces signaux sont gérés par des machines d'états.

• L'horloge **clk** cadence les calculs internes

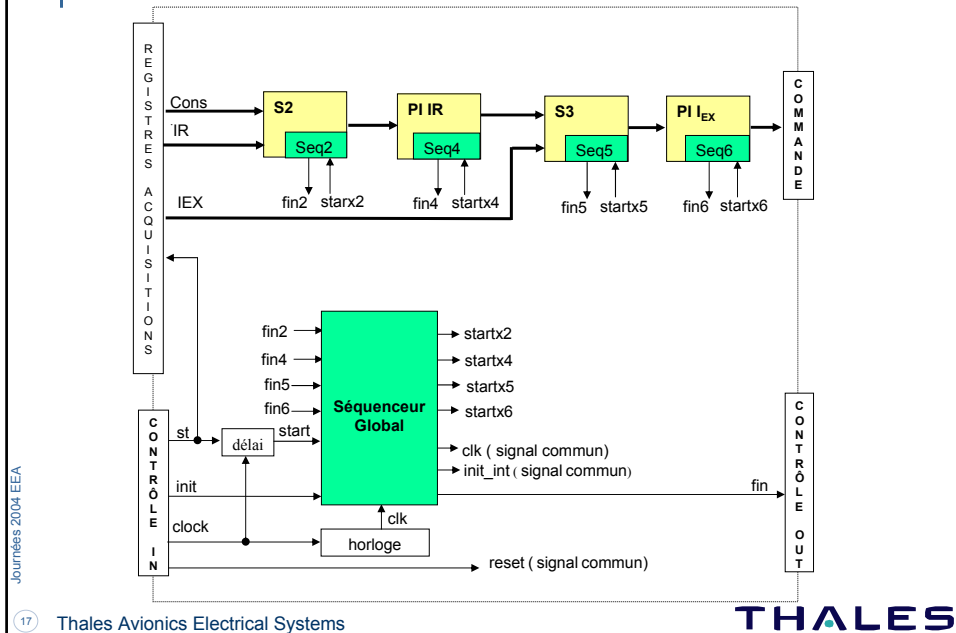
En respectant rigoureusement cette **méthodologie de développement**, on constitue une **bibliothèque de fonctions dédiées réutilisables**

On peut constituer une chaîne de régulation dans laquelle les calculs se propagent d'un module à l'autre.



Journées 2004 EEA

ALTERNATEUR INERTIEL



ALTERNATEUR INERTIEL



RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les deux générateurs et GCU ont été testés sur banc TAES

- Les générateurs ont été entraînés jusqu'à 50000tr/min avec un niveau faible de vibration. Les comportements mécaniques du ventilateur et de la chemise en fibre de carbone ont été satisfaisants.
- Les essais en charge ont montré que le refroidissement par air était suffisant et le refroidissement par huile a pu être supprimé.

Les caractéristiques électriques sont conformes aux prévisions :
Courant d'excitation de 5.2A à 40000tr/min et 8A à 20000tr/min pour une charge de 50kW / 540VDC.

Les transitoires de charges et de vitesses ont montré que le courant continu est bien régulé.

ALTERNATEUR INERTIEL



RESULTATS EXPERIMENTAUX (Suite)

Machine sur le banc d'essais



Essais du GCU



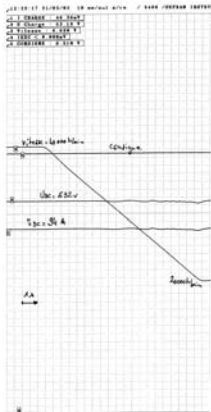
Journées 2004 EEA

ALTERNATEUR INERTIEL

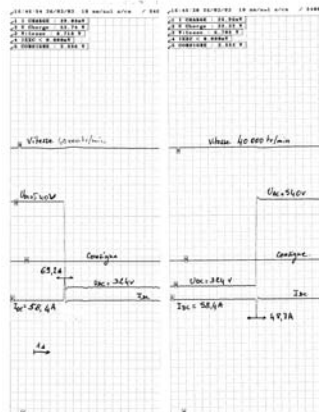


RESULTATS EXPERIMENTAUX (Suite)

Essais en transitoire



Décélération en 10s de
40000 à 20000tr/min



Transitoire de charge à
40000tr/min

Journées 2004 EEA



CONCLUSION

Les essais des générateurs ont montré la robustesse du rotor capable de tourner jusqu'à 50000tr/min.

Les générateurs ont délivré la puissance prévue. Les GCU qui redressent les tensions alternatives délivrées par les alternateurs et qui contrôlent le courant continu ont bien fonctionné.

La phase suivante de cette étude consiste à compacter les différents sous-ensembles du système en vue d'une intégration sur véhicule.

Cette technologie pourrait être utilisée dans le domaine aéronautique pour remplir la fonction d'APU embarqué ou non. La même machine entraînée directement par la turbine à une vitesse constante de 60000tr/min peut en effet délivrer une puissance nominale de 160kW sous une tension de 540VDC.