

SYSTEMES DE STOCKAGE DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

Florian ȘTEFĂNESCU

*Département d'Electrotechnique Théorique, Faculté d'Electrotechnique
Université de Craiova, Decebal 107, 200440 – Craiova, Roumanie
Tel : 40-251 435 724 / 144; e-mail: florian@elth.ucv.ro*

Résumé – L'objectif de cet article est d'étudier deux types de systèmes de stockage de l'énergie magnétique à supraconducteur (SMES), en utilisant le logiciel de modélisation et simulation SIMPLORER. Les modèles sont nécessaires pour l'analyse du comportement et de l'efficacité de ces types de SMES.

Mots – clés : SMES, supraconducteur, modélisation.

1. INTRODUCTION

Le stockage d'énergie présente un grand intérêt stratégique et économique dans les conditions du marché libéralisé d'électricité, parce qu'il contribue à la capacité de satisfaire les besoins énergétiques en temps réel et aussi à prévenir les coupures dans l'approvisionnement.

L'électricité, qui est un vecteur énergétique très pratique, présente l'inconvénient d'être difficile et coûteux à stocker en large quantité [1].

Mais, les fluctuations de la consommation d'énergie électrique, d'une part, et des besoins d'énergie électrique de type impulsionnelle, d'autre part, engendrent la nécessité de stocker l'énergie dans des éléments tampons.

Le stockage d'énergie électrique en utilisant le principe de la pile ou de la batterie, basé sur une réaction chimique, présente des inconvénients majeurs qui limitent leur utilisation par leur poids, leur coût et la dangerosité aussi du potentiel polluant de ses composants (acides, plomb, certains éléments chimiques).

Le SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage) est l'un des rares moyens de stockage direct de l'électricité grâce à l'énergie magnétique dans une bobine supraconductrice court-circuitée [2].

2. STOCKAGE MAGNETIQUE A SUPRACONDUCTEUR (SMES)

Le principe du stockage d'énergie sous forme magnétique consiste simplement à faire passer un courant électrique dans une bobine supraconductrice court-circuitée. Le courant circule sans perte dans le supraconducteur (porté en dessous de la température critique) et stocke ainsi une certaine quantité d'énergie pour une durée théoriquement infinie.

La bobine supraconductrice court-circuitée permet de stocker l'énergie sous la forme $\frac{1}{2} L \cdot I^2$, L étant son inductance et I , le courant qui en traverse.

La résistance du supraconducteur étant nulle, les seules pertes sont dues aux résistances de contacts et à la puissance nécessaire pour maintenir la bobine à une température cryogénique [2].

Pour récupérer cette énergie, il suffit d'ouvrir le circuit et de le brancher sur un récepteur électrique à alimenter. L'énergie stockée dans la bobine supraconductrice est transférée avec en un temps très court.

Deux systèmes de stockage d'énergie électrique peuvent être envisagés :

- 1 - un système de stockage pour fournir la puissance nécessaire ou manquante à un récepteur par destockage lent;
- 2 - un système de stockage destiné à l'alimentation d'une application par des très fort courants par destockage impulsionnel [4].

A l'aide du logiciel SIMPLORER on simule le fonctionnement du système de stockage avec des schémas simplifiés.

2.1. Stockage magnétique avec destockage lent

On utilise un schéma simplifié du système de stockage (Figure 1).

Dans la Figure 1, la source d'alimentation de $E1$ fournit 10 V tension continu et les éléments passives de circuit sont :

- l'inductance d'une bobine primaire classique $L1 = 21$ H;
- la résistance du circuit primaire (bobine et les liaisons) $R1 = 0.1 \Omega$;
- le commutateur $S0$ de la source;
- l'inductance de la bobine supraconductrice de stockage $L2 = 0.135$ H;
- la résistance totale du circuit de stockage (éventuellement de la résistance de contact) $Rc = 10^{-5} \Omega$;
- l'inductance mutuelle du couplage (entre les inductances $L1$ et $L2$) $M1 = 1.35$ H;
- la résistance du récepteur $Rs = 1 \Omega$;
- le commutateur $S1$ du récepteur.

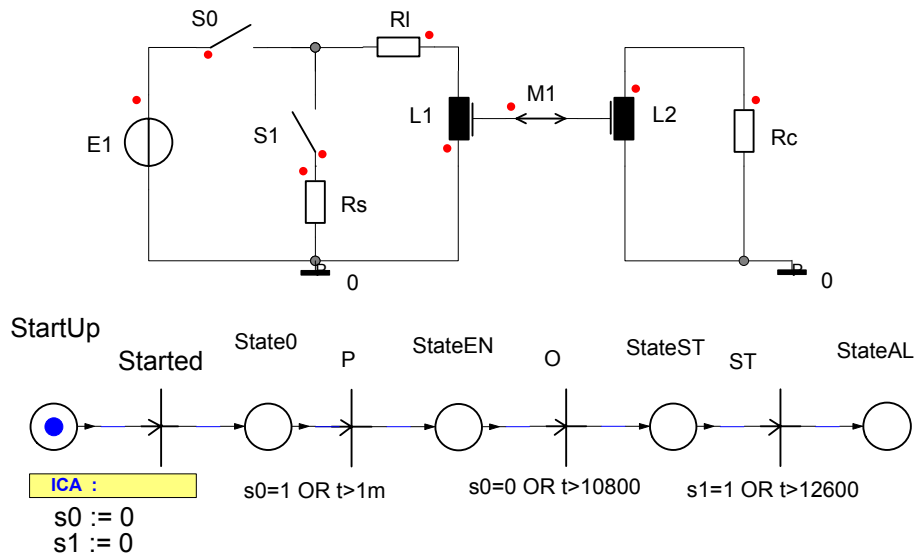


Figure 1. Schéma simplifié du système de stockage avec destockage lent et les séquences de fonctionnement

Les séquences de fonctionnement sont :

1. au temps $t = 1\text{ms}$, $s1$ étant ouvert, on ferme le $S0$ pour commencer à charger l'énergie dans la bobine supraconductrice;
2. au temps $t = 10.800\text{ s}$, on ouvre le $S0$ pour conserver l'énergie stockée dans la bobine supraconductrice $L2$ court-circuitée par la circulation du courant;

3. au temps $t = 12.600\text{ s}$, on ferme le $S1$ pour alimenter le récepteur Rs avec l'énergie stockée. Les résultats sont reportés sur les graphiques de la Figure 2 :

- l'évolution du courant (en ampères) dans la bobine supraconductrice illustrée dans la Figure 2a;
- l'évolution du courant (en ampères) dans le récepteur Rs illustrée dans la Figure 2b.

La durée totale de la simulation est de 15.000 s .

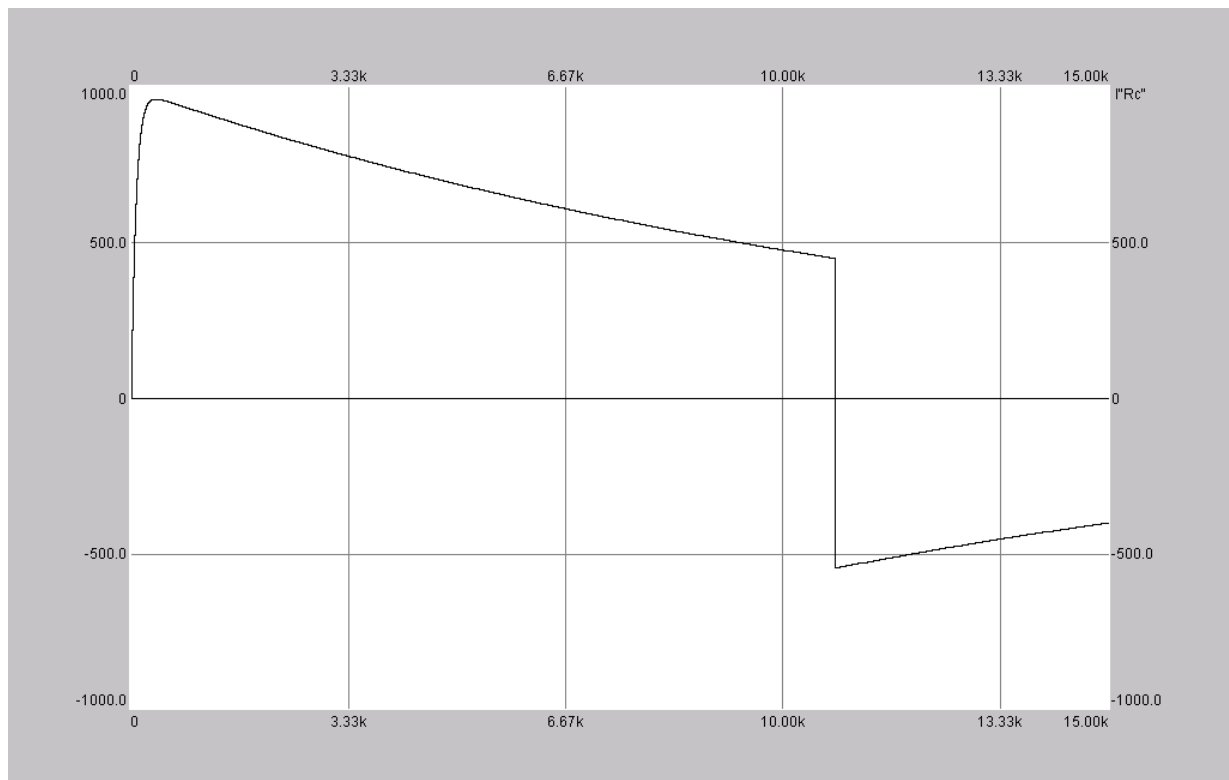


Figure 2a. Evolution du courant dans la bobine supraconductrice

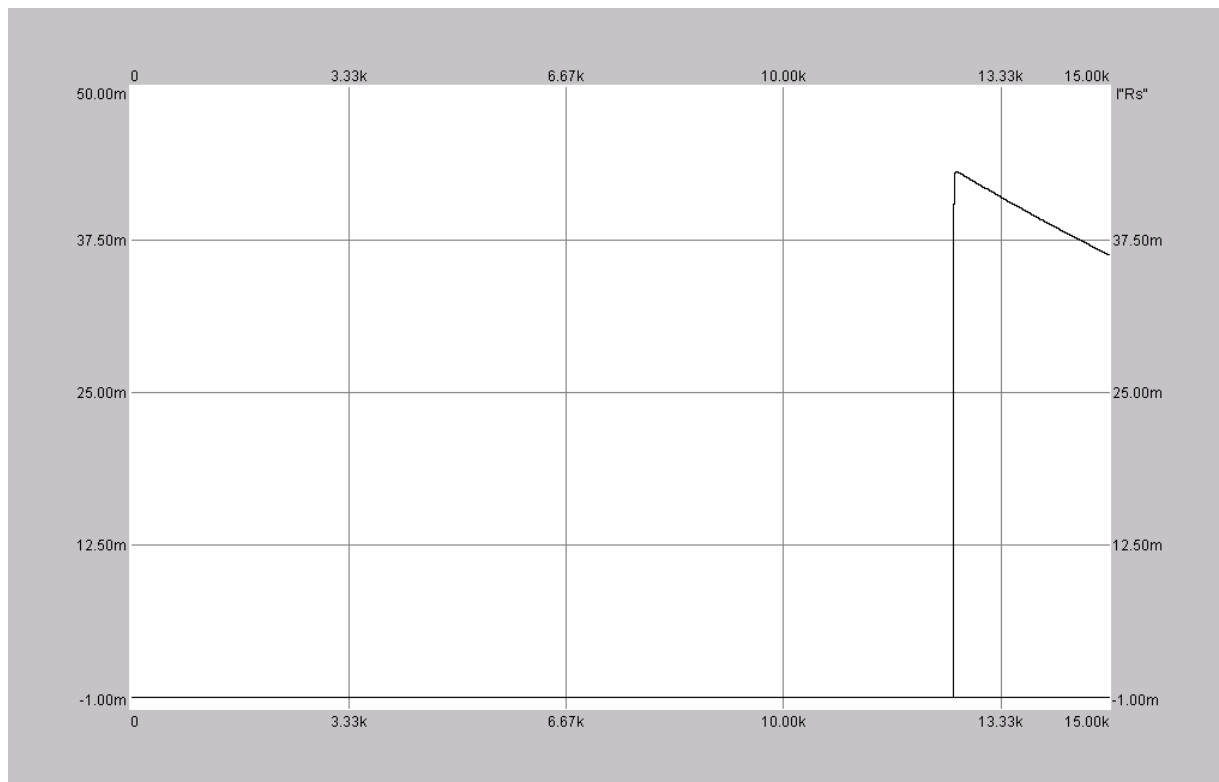


Figure 2b. Evolution du courant dans le récepteur Rs

2.2. Stockage magnétique avec destockage impulsif

On utilise un schéma similaire mais avec un commutateur S11 en plus (Figure 3). L'ouvert du commutateur S11 simule la transitions de conducteurs de l'état supraconducteur à l'état normal dans la bobine L2.

Tous les éléments, active (la source E1) et passives (L1, R1, L2, Rc, M1, Rs,), conservent le mêmes valeurs.

Les 3 séquences de fonctionnement de la Figure 1 sont complétés par une quatrième séquence introduite pour accélérer le destockage d'énergie (Figure 3) :

1. au temps $t = 1\text{ms}$, s1 étant ouvert, on ferme le S0 pour commencer à charger l'énergie dans la bobine supraconductrice;
2. au temps $t = 10.800\text{ s}$, on ouvre le S0 pour conserver l'énergie stockée dans la bobine supraconductrice L2 court-circuitée par la circulation du courant;
3. au temps $t = 12.600\text{ s}$, on ferme le S1 pour alimenter le récepteur Rs avec l'énergie stockée dans la bobine supraconductrice;
4. au temps $t = 12.601\text{ s}$, on ouvre S11.

Les résultats sont reportés sur les graphiques de la Figure 4 :

- l'évolution du courant (en ampères) dans la bobine supraconductrice illustrée dans la Figure 4a;
- l'évolution du courant (en ampères) dans le récepteur Rs illustrée dans la Figure 4b.

La durée totale de la simulation est de 15.000 s

3. ANALYSE DES RESULTATS OBTENUS

La simulation du fonctionnement d'un système de stockage avec les deux schémas fournit les données suivantes d'intérêt principal :

- un courant maximal 960A dans la bobine supraconductrice pendant le stockage supérieur au courant stocké (maximum 544 A);
- un courant maximal récupéré de 43 mA par l'intermédiaire du système de stockage avec destockage lent;
- un courant maximal récupéré de 30 A sous forme d'impuls.

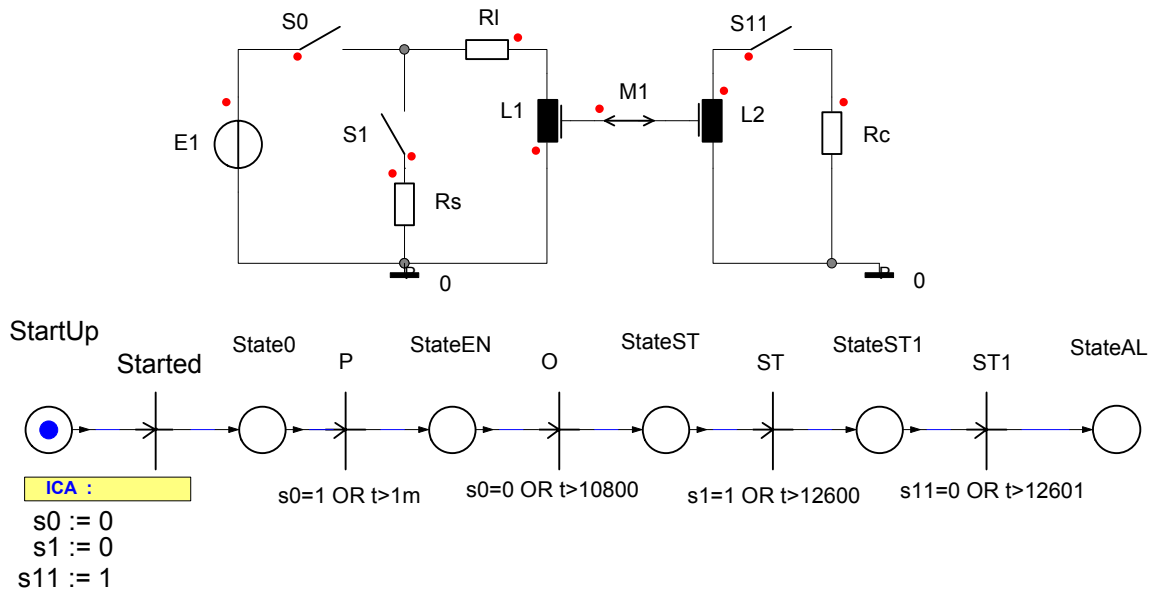


Figure 3. Schéma simplifié du système de stockage avec destockage impulsif et les séquences de fonctionnement

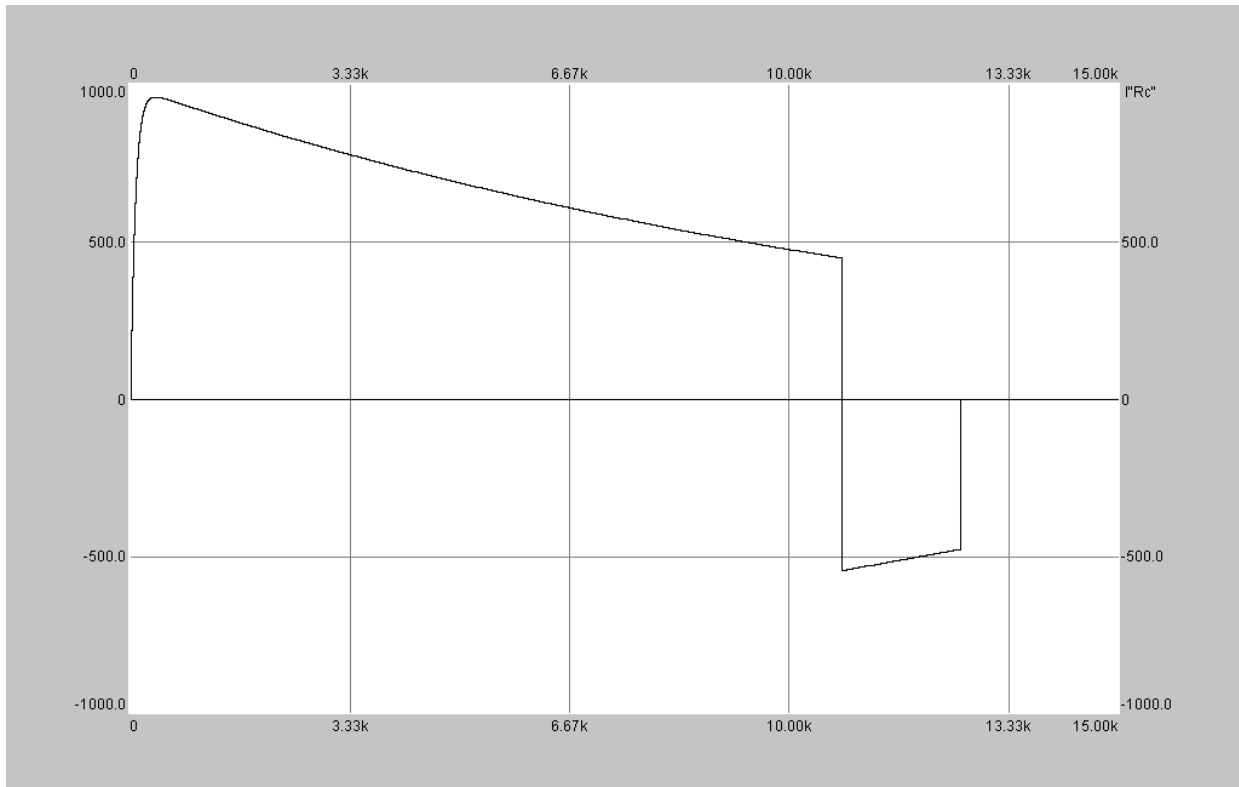


Figure 4a. Evolution du courant dans la bobine supraconductrice

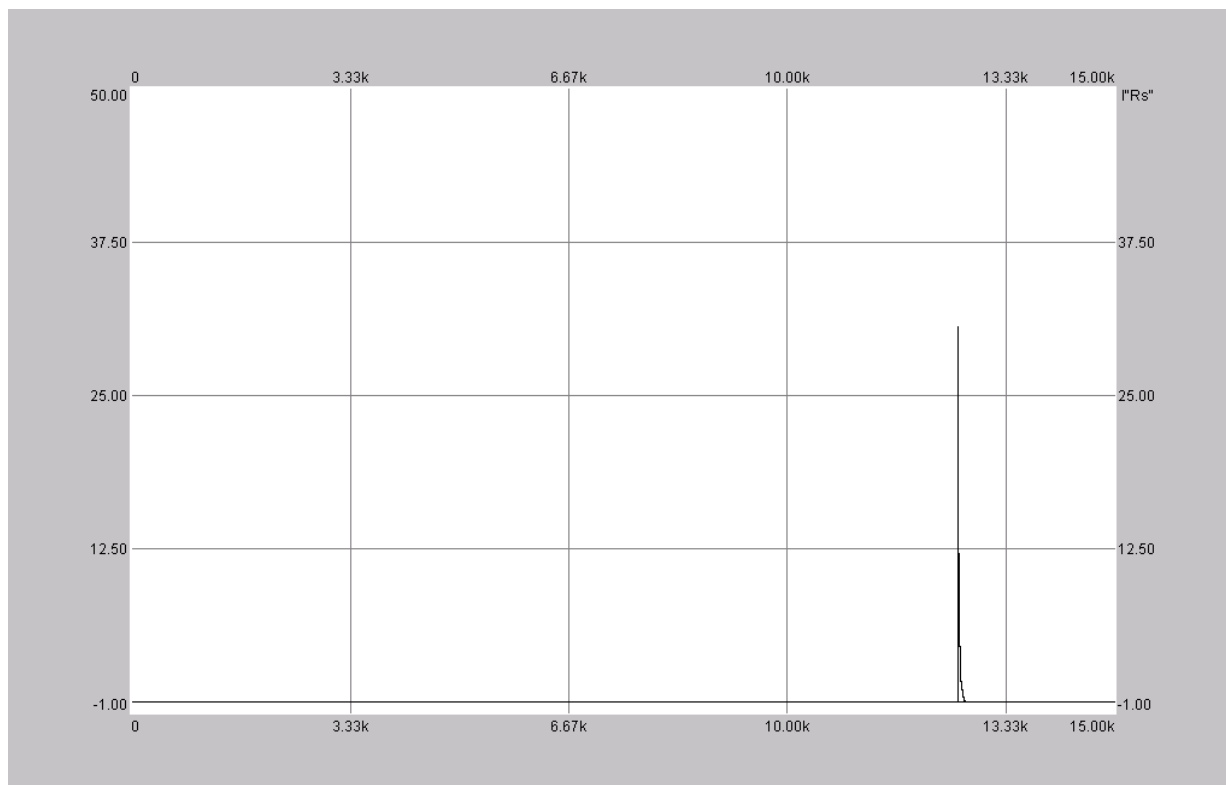


Figure 4b. Evolution du courant dans le récepteur Rs

4. CONCLUSIONS

La modélisation et simulation à l'aide du logiciel SIMPLORER donnent la possibilité d'analyser plus de variantes constructives en fonction des exigences imposées.

Ainsi, on peut dimensionner les chaque élément du circuit électrique obtenir pour un rendement élevé du système de stockage comme un bon couplage magnétique entre les bobines L1 et L2 (dans cette variante) et des constantes de temps adéquates.

Aussi, la simulation par l'intermédiaire du logiciel SIMPLORER permet d'établir certaines situations critique pour le système. Par exemple, le courant pendant le stockage dépasse le courant stocké et menace la bobine de stockage en provoquant la transition de l'état supraconducteur à l'état normal du conducteur.

Les applications nécessitant une forte puissance dans un délai très court imposent l'ouvert du circuit de stockage.

L'optimisation des régimes transitoires de chargement, stockage et destockage on peut réaliser seulement à l'aide des équations différentielles dans le domaine de Laplace, pour obtenir des solutions beaucoup plus simple à manipuler.

Références

- [1] B. MULTON, J.-M. PETER, *Le stockage de l'énergie électrique: Moyens et applications*, Revue 3E.I n°6 juin 1996, pp.59-64.
- [2] B. MULTON, G. ROBIN, E. ERAMBERT, H. BEN AHMED, *Stockage de l'énergie dans les applications stationnaires*, Colloque Energie électrique : besoins, enjeux, technologies et applications, Belfort, 18 juin 2004
- [3] F. ȘTEFĂNESCU, *Sur l'efficience technico-economique d'un reseau électrique en variante cryogenique*, 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTROMECHANICAL AND POWER SYSTEMS, Chișinău – Rep.Moldova, 26-27 sept. 2003, 4 pag., pp. 159-162.
- [4] B. BELLIN, *Contribution à l'étude des bobinages supraconducteurs*, These doctorat de l'INP Grenoble, 2006