

**Micro-liaison à courant continu :
la mise en oeuvre d'un système complexe dans le cadre d'un projet de synthèse
de fin de deuxième année d'IUT GEII**

P. Lagonotte

IUT de Poitiers
Département G.E.I.I.
6 allée Jean Monnet
F-86010 Poitiers CEDEX, France

MICRO-LIAISON À COURANT-CONTINU : LA MISE EN ŒUVRE D'UN SYSTÈME COMPLEXE DANS LE CADRE D'UN PROJET DE SYNTHÈSE DE FIN DE DEUXIÈME ANNÉE D'I.U.T. – G.E.I.I.

P. Lagonotte, I.U.T. de Poitiers, Département G.E.I.I., 6, allée Jean Monnet, 86010 Poitiers cedex

Résumé :

Nous présentons dans ce document la mise en œuvre d'un système électrotechnique complexe permettant d'aborder un grand nombre de disciplines du génie électrique : électronique de puissance, transformateur fonctionnement de réseaux, pollution harmonique et filtrage, mesures, contrôle commande informatisée.

Il nous paraît fondamental de disposer d'une documentation industrielle suffisamment complète et abordable par des étudiants en fin de seconde année d'I.U.T GEII. Cette documentation en langue anglaise les oblige à entrer dans un document technique ainsi que d'acquérir le vocabulaire minimum nécessaire à sa compréhension comme ils seront amenés à le faire dans leur vie professionnelle.

Enfin, la mise en œuvre d'un tel système nécessite d'appliquer des procédures de mise en service et d'arrêt, et d'acquérir des méthodes de travail.

Mots clés : Liaison à courant continu, électrotechnique, électronique de puissance, système industriel complexe.

1. LE SYSTÈME ÉTUDIÉ

Les liaisons à courant continu (HVDC) font partie des installations à très forte puissance (exemple : la liaison France-Angleterre IFA 2000 : 2000 MW sous la Manche, interconnexion entre deux réseaux à fréquences différentes ou à déphasage variable).

En fait ce type d'installation est assez répandu et existe :

- entre différents « pool » (réseaux interconnectés) aux USA, au Japon ou en Inde où les stations sont dos à dos ;

- pour le transport sur de longues distances en Russie, au Canada ;
- pour l'alimentation d'îles à partir des continents (Corse, Sardaigne, Corée).

Le schéma de principe d'une liaison à courant continu est donné figure 1. Elle est constituée par l'association de ponts triphasés réversibles tout thyristor (les uns fonctionnant en redresseur les autres en onduleur), de systèmes de commande des thyristors, de transformateurs, de filtres et d'un système de contrôle et de réglage.

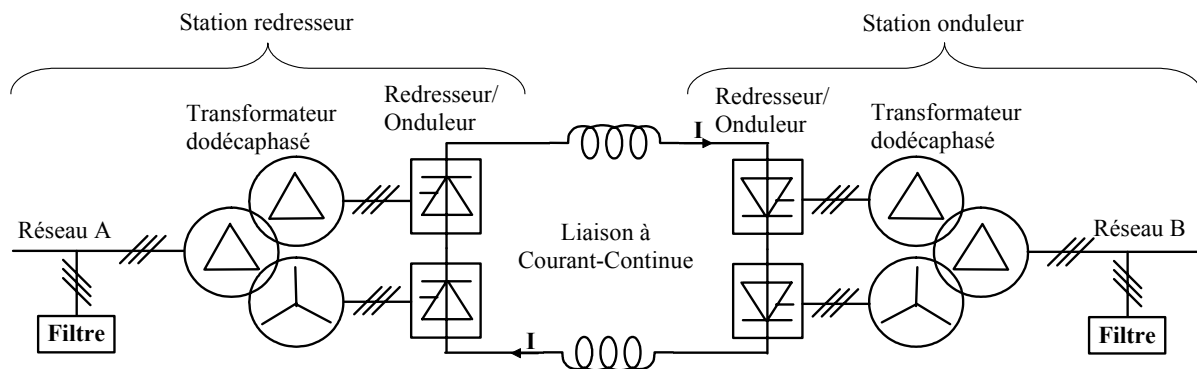


Figure 1 : schéma de principe d'une liaison à courant continu

2. LE MATÉRIEL PÉDAGOGIQUE

Le département de Génie Électrique de Poitiers dispose de tout le matériel nécessaire pour réaliser à échelle réduite un tel système : ponts de thyristors, déclencheurs numériques de thyristors [1], transformateurs dodécaphasés. Un ensemble (transformateur, ponts de thyristors, déclencheurs) fonctionne en redresseur, l'autre en onduleur. Aussi, dans le cadre d'un projet d'électrotechnique, il nous a semblé intéressant d'étudier et d'arriver à mettre en œuvre un tel système.

L'installation mise en œuvre par les étudiants est à échelle réduite de rapport :

1/1000 pour les tensions soit 200 V / 200 kV

1/1000 pour les courants soit 10 A / 10 000 A

Soit un rapport 1/1 000 000 en puissance 2 kW / 2000 MW. Le nom **micro** est donc ici parfaitement justifié.

Le matériel utilisé à l'I.U.T. au niveau de chaque station est présenté figure 2. Il comprend un transformateur dodécaphasé, deux ponts thyristors triphasés avec chacun son déclencheur de commande, la consigne en angle étant commune.

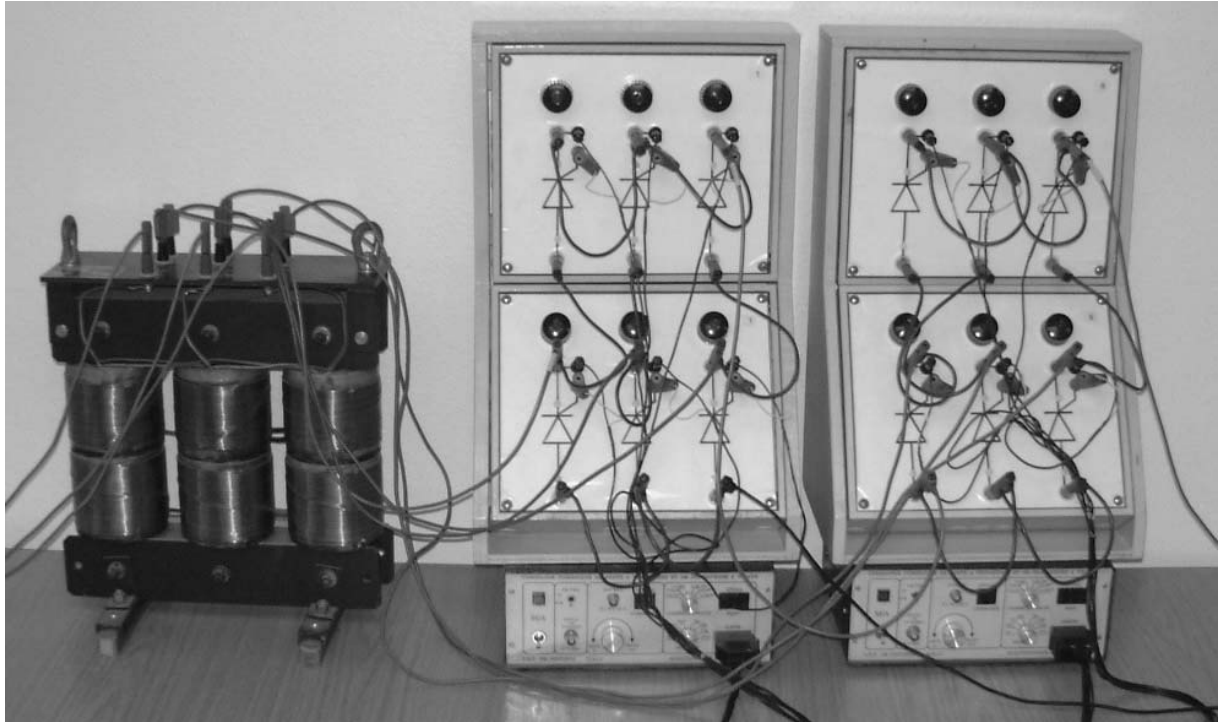


Figure 2 : matériel utilisé au niveau d'un poste redresseur ou onduleur

Les mesures sont effectuées côté alternatif à l'aide d'analyseurs de réseaux Chauvin-Arnoux 8332 QUALISTAR (figure 7). Ils permettent d'effectuer très facilement des mesures et des bilans de puissances (P, Q) ainsi que l'analyse des niveaux des courants harmoniques résiduels et inhérents à ce type d'installation.

3. LA DOCUMENTATION INDUSTRIELLE

Les informations contenues dans le *CD ROM HVDC Handbook* [2] gracieusement fourni par ALSTOM T&D ont été très profitables pour les étudiants devant analyser **une documentation technique et industrielle en anglais** (50 pages).

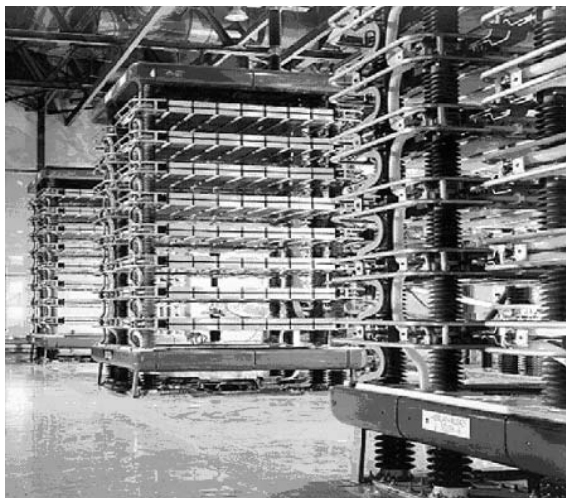


Figure 3 : redresseur 205 kV poste dos à dos de Chandrapur en Inde (Document ALSTOM)

Cette documentation étant très bien illustrée par des photographies d'installations réelles comme les cathédrales de thyristors commandés de manière optique (figure 3),

les prises de terre nécessaires à une exploitation dégradée (figure 4),

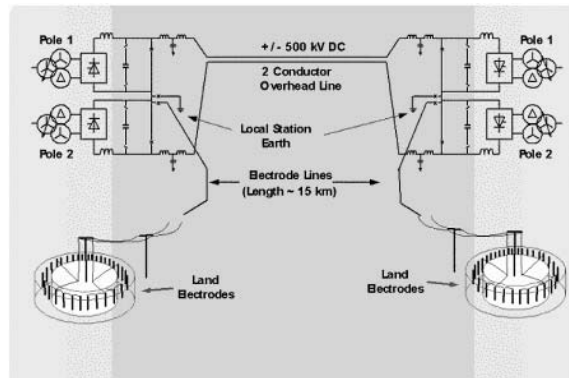


Figure 4 : liaison à courant continu avec électrodes de terre (Document ALSTOM)

le système de refroidissement (figure 5), etc. Cette documentation constituant d'ailleurs un excellent support pédagogique.

Ce type d'installation correspond également pour la structure de la partie redresseur aux éléments d'une sous-station d'alimentation de systèmes de transport tels que tramway, métro et ferroviaire. Ces installations de puissance doivent perturber au minimum le réseau auquel elles sont raccordées.

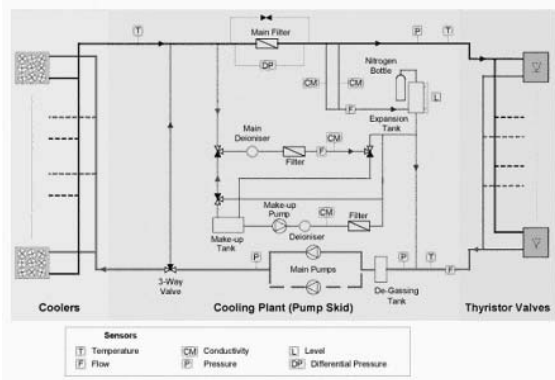


Figure 5 : schéma du système de refroidissement à eau (Document ALSTOM)

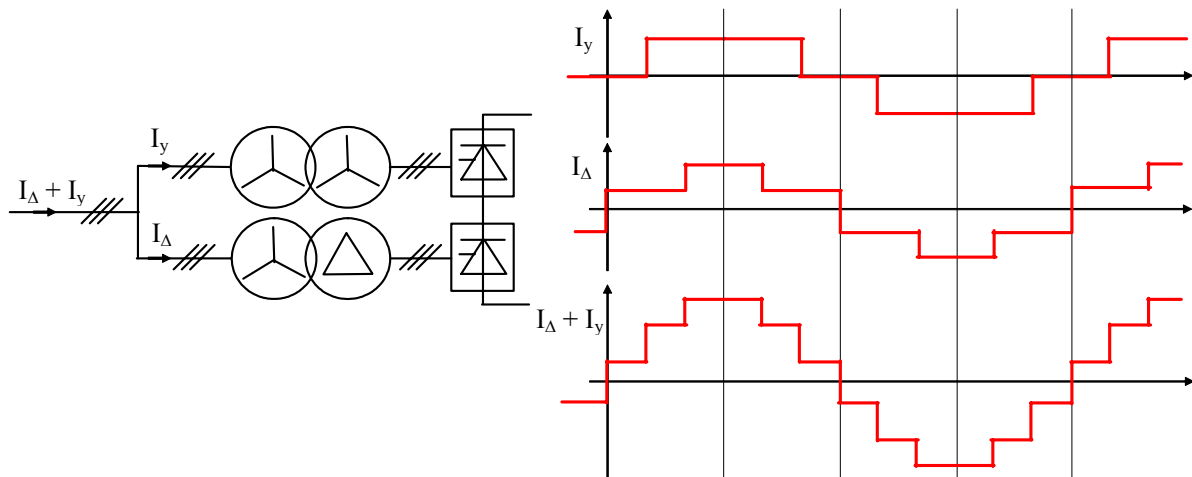


Figure 6 : formes théoriques des courants aux secondaires et au primaire des transformateurs



Figure 7 : analyseur de réseaux CA 8332 (Photo Chauvin-Arnoux)

La comparaison des analyses harmoniques est effectuée en comparant à la fois le transformateur à vide, le transformateur chargé par un seul redresseur et le transformateur chargé par l'association des deux redresseurs.

5. LA PUISSANCE MAXIMUM TRANSMISSIBLE PAR UNE LIGNE TRIPHASEE

Les raisons des interconnexions en courant continu entre réseaux et du transport sur de longues

4. BILAN DE PUISSANCE ET ANALYSE HARMONIQUE DES COURANTS DE L'ALIMENTATION

Ce projet est également l'occasion de traiter de l'association transformateur redresseur et d'étudier des transformateurs triphasés en régime non sinusoïdaux de courant (figure 6).

Le bilan de puissances ainsi que l'analyse harmonique des courants est effectué à l'aide de deux analyseurs de réseaux de type CA 8332 (figure 7).

distances de l'énergie électrique également en courant continu mérite d'être expliquées aux étudiants.

5.1 Interconnexions en courant continu entre deux réseaux

L'interconnexion de deux réseaux de taille et de puissance importante par une liaison triphasée n'est pas souhaitable. En effet, en cas de perte d'une centrale de production dans l'un des réseaux le déséquilibre entre la production et la consommation de ce même réseau se répercutera directement au niveau de la liaison triphasée par un appel de puissance. Si l'appel de puissance est trop important la liaison triphasée peut être perdue.

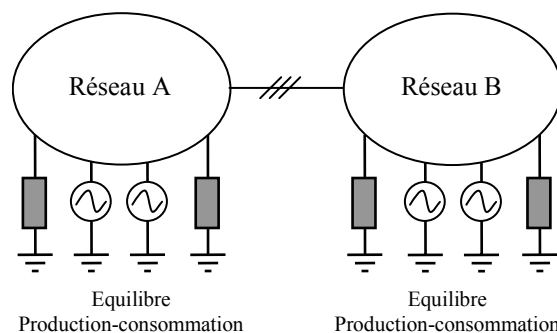


Figure 8 : Interconnexion alternative entre deux réseaux

L'établissement de la liaison triphasée ne peut être effectué dans de bonne condition que s'il y a même tension, même fréquence et un déphasage très limité entre les réseaux au niveau de la liaison.

Dans le cas d'une liaison à courant continu, l'entraide entre réseaux peut se faire à tout instant sans condition de tension, de fréquence et de déphasage.

5.2 La puissance maximum transmissible par une ligne à courant alternatif

Considérons une ligne électrique d'impédance $L\omega$ alimentée par une tension E et alimentant une charge variable en puissance active et réactive sous une tension U (figure 9 et [4]).

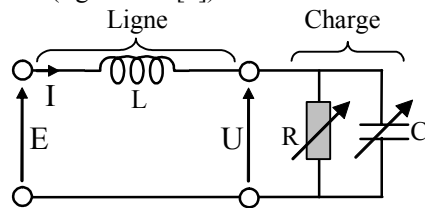


Figure 9 : Montage étudié

Si nous calculons le lieu de U par rapport à E en fonction de P , nous obtenons :

$$U = \frac{P}{|E|} * R(1 - LC\omega^2) - \frac{jPL\omega}{|E|}$$

Pour une puissance active P , E et $L\omega$ constantes, la partie imaginaire est également constante. Les courbes équi- P correspondent à une famille de droites parallèles à l'axe réel.

De même, si nous calculons le lieu de U par rapport à E en fonction de Q , nous obtenons :

$$\left| U - \frac{E}{2} \right|^2 = \left(\frac{Q(1 - LC\omega)}{|E| * C\omega} - \frac{E}{2} \right)^2 + \left(\frac{QL\omega}{|E|C\omega} \right)^2$$

Pour une puissance réactive Q , E et $L\omega$ constantes, nous obtenons l'équation d'un faisceau de cercles paramétré par Q . Les courbes équi- Q correspondent à des cercles de centre $E/2$.

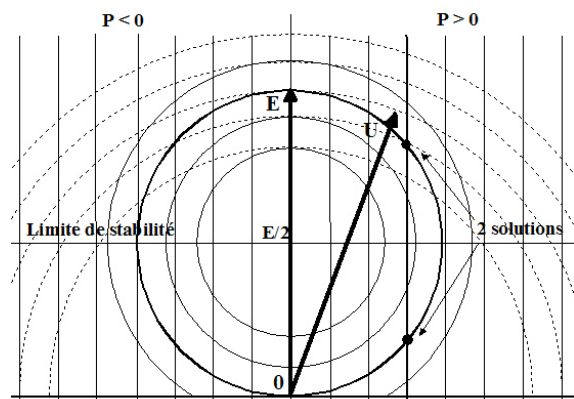


Figure 10 : Déphasage et stabilité

Pour une charge de couple (P, Q) il apparaît deux solutions possibles, l'une voisine de E (ligne à vide) ($U=E$), l'autre voisine de la ligne en court-circuit

($U=0$). La solution au voisinage de E est stable, par contre la solution au voisinage du court-circuit peut être rendue instable par l'action automatique des régulateurs en charge des transformateurs.

La puissance maximale transmissible est limitée par le déphasage des tensions aux extrémités de la ligne. La solution pour augmenter la puissance maximale transmissible consiste à diminuer l'inductance, ce qui peut être fait par l'augmentation du niveau de la tension ou par la compensation série à l'aide de condensateurs de la ligne électrique.

6. PERSPECTIVES

L'étude et la mise en œuvre de filtres actifs triphasés afin de supprimer les harmoniques restant sont également envisageables. Un projet de commande numérique par PC et d'une supervision à échelle réduite est très facilement envisageable. L'ensemble pouvant donner un exemple concret de système électrotechnique complexe faisant appel à de nombreuses disciplines du génie électrique.

Ce système pédagogique constitué par l'assemblage d'éléments pourrait être davantage exploité en le laissant disponible et à demeure sur une table roulante par exemple.

7. CONCLUSION

La documentation bien illustrée par des photographies des installations industrielles de forte puissance fournie par ALSTOM T&D a suscité un fort intérêt de la part des étudiants.

Le couple : documents industriels/mise en œuvre d'une maquette à échelle réduite, apparaît une excellente approche pédagogique. La résolution de nombreux problèmes liés au facteur d'échelle (isolation, refroidissement, redondance et sûreté de fonctionnement, maintenance, etc.) relève d'un savoir faire industriel dont les solutions technologiques sont propres à chaque entreprise et peut être déjà perçu au niveau d'un tel système.

Bibliographie

1. P. Lagonotte, R. Poindessault, C. Hubert, « Pour conclure les enseignements d'électrotechnique électronique de puissance par des travaux pratiques de synthèse », G.E.S.I (Revue des départements d'I.U.T de Génie Électrique) n° 27 - mars 1990, p. 6-7.
2. CD ROM HVDC Handbook gracieusement fourni par ALSTOM T&D.
3. Jacques Courault, « Comparaison des réseaux alternatifs et continus du point de vue de leur stabilisation. Régimes transitoires-Pollution harmonique », REE - septembre 2000.
4. M. Aguet, J.-J. Morf, Energie électrique, Traité d'électricité d'électronique et d'électrotechnique, PUL

Remerciements

Nous tenons à remercier ALSTOM T&D pour son aide, et pour la fourniture de divers documents.