

Analyse du couplage entre la torsion d'une ligne d'arbres et la flexion de ses aubages

H. Andriambololona (EDF / R&D / AMA)

Contexte

La vibration d'une ligne d'arbres se présente généralement sous deux formes : la vibration en flexion et la vibration en torsion. À cela s'ajoute la vibration des aubages qui peuvent interagir avec celle de la ligne d'arbres. Cette étude concerne la vibration en torsion d'un groupe turbo-alternateur (GTA) de type N4 et le couplage entre cette torsion à la flexion des ailettes des deux derniers étages des corps basse pression (BP). L'enjeu de cette étude est de mettre au point une méthodologie de simulation qui permettra de vérifier les études vibratoires des GTA (N4 et EPR) fournies par le constructeur. On cherche à éviter que les fréquences de rotation de la machine et ses harmoniques excitent les modes de torsion de la ligne d'arbres et de flexion des aubages. Pour ce faire, le critère de dimensionnement porte sur une exclusion de bandes de fréquence autour de la fréquence de rotation et ses harmoniques.

La solution intuitive pour appréhender le comportement d'une ligne d'arbres est de la modéliser avec des éléments filaires de type poutre. On peut ainsi étudier facilement la flexion et la torsion de la ligne tout en ayant un modèle de taille réduite.

Par contre, cela suppose qu'une section perpendiculaire à la fibre neutre reste plane au cours de la vibration et que les ailettes soient infiniment rigides.

Pour les GTA de type N4, la taille des ailettes des derniers aubages du corps BP est relativement grande. Elles peuvent vibrer en flexion et on ne peut plus les supposer infiniment rigide. Plusieurs auteurs ont proposé de ne modéliser qu'un secteur angulaire du rotor avec des éléments volumiques et d'exploiter la symétrie cyclique du rotor. Cette procédure ne peut pas s'appliquer dans le cas présent à cause de la présence dans les deux aubages d'un nombre d'ailettes différent, ce qui fait perdre la cyclicité de la structure.

Démarche de modélisation adoptée

L'approche adoptée ici consiste à modéliser les ailettes par des poutres équivalentes puis à utiliser la technique de sous-structuration dynamique pour l'obtention du modèle de la ligne d'arbres complète. Cela permet de réduire la taille du modèle de façon significative.

Les caractéristiques mécaniques de la poutre équivalente modélisant l'ailette sont obtenues de telle sorte que les premières fréquences propres de cette poutre équivalente soient identiques aux premières fréquences propres de l'ailette. Les modes propres de référence ont été calculés numériquement en modélisant les ailettes avec des éléments volumiques quadratiques, ce qui permet de prendre en compte le

dévrillage et la rigidification due à la rotation de la ligne d'arbres.

La technique de sous-structuration dynamique consiste à partitionner la structure en plusieurs sous-structures et à projeter chaque sous-structure sur une base de vecteurs judicieusement choisie pour obtenir un macro-élément dynamique. Le couplage entre les différentes sous-structures est réalisé en imposant la continuité du champ de déplacement et la nullité du travail des efforts au niveau de l'interface.

Pour le GTA, on a construit trois macro-éléments dynamiques qui modélisent respectivement l'alternateur, le demi-corps basse pression (BP) et le corps haute et moyenne pression (HMP). On obtient par la suite la ligne complète en exploitant la symétrie des corps BP (figure 1), dont on peut ne modéliser que la moitié.

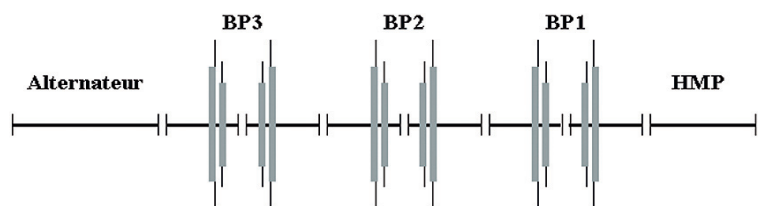


Figure 1 : Partitionnement de la ligne d'arbres en plusieurs sous-structures.

Analyse du couplage entre la torsion d'une ligne d'arbres et la flexion de ses aubages

H. Andriambololona (EDF / R&D / AMA)

L'autre moitié est obtenue par rotation autour de l'axe perpendiculaire à l'axe du rotor. Le rotor et les ailettes sont modélisés avec des éléments de type poutre. Un disque modélisé, représenté avec des éléments massifs déformables, relie les ailettes à la fibre neutre du rotor. Ce disque permet d'assurer le couplage entre la torsion du rotor et la flexion des ailettes.

Résultats obtenus

Comme les trois corps BP sont identiques, les modes d'aubages se présentent alors par bloc de six qui correspondent aux différentes combinaisons de déphasage entre les aubages des trois corps BP. Pour les modes d'aubage à zéro diamètre nodal, ce bloc de six modes est scindé en deux triplets. Dans le premier triplet, les aubages terminaux du corps BP sont en opposition de phase. Dans le deuxième triplet, les aubages terminaux du corps BP sont en phase.

Les résultats de calcul montrent que :

- Contrairement à une modélisation purement filaire qui suppose des aubages infiniment rigides, on voit apparaître un triplet de modes qui contribuent à la fois à la torsion de la ligne d'arbre et à la flexion des ailettes. L'excitation en torsion de la ligne d'arbres à ces fréquences peut donc engendrer une flexion importante des ailettes des deux derniers étages des corps BP.

- Une analyse de sensibilité par rapport aux caractéristiques mécaniques des ailettes et l'évaluation de la contribution des différents composants en terme de pourcentage d'énergie modale confirment d'une part le couplage entre la torsion de la ligne d'arbres et les flexions des ailettes des deux derniers étages du corps BP et d'autre part, le couplage entre les aubages des deux derniers étages.

La figure 2 présente un des modes couplés torsion-flexion. Sur cette figure, les aubages terminaux des corps BP sont en opposition de phase. L'évolution de la torsion le long de l'axe de la ligne d'arbres pour ce mode est présentée sur la figure 3. Les nœuds de vibration de torsion sont localisés au milieu des corps BP.

Cette méthodologie de modélisation de ligne d'arbres est également applicable pour l'analyse de l'effet du désaccordement des ailettes sur le comportement de la ligne.

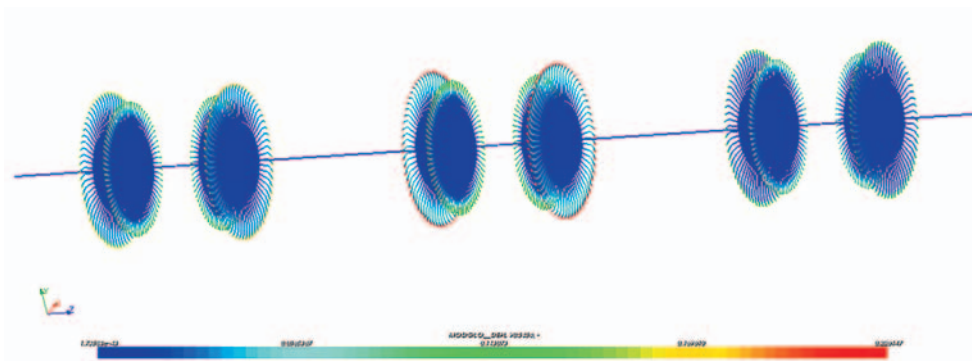


Figure 2 : Visualisation d'une déformée modale d'un mode couplé torsion - flexion. Les ailettes terminales de chaque corps BP sont en opposition de phase.

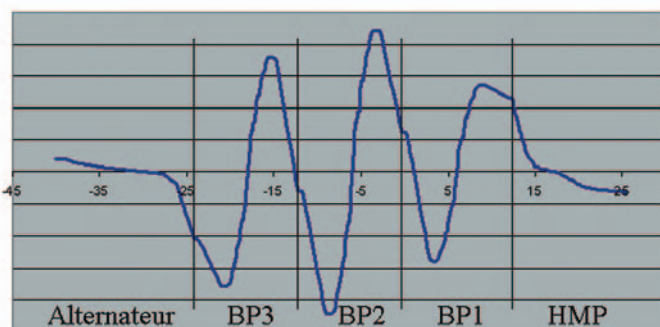


Figure 3 : Évolution de la torsion de la ligne le long de son axe. Cette évolution correspond au mode présenté sur la figure 2. On voit clairement un nœud de vibration de torsion au milieu de chaque corps BP.