Quand une modélisation multi-corps est-elle utile pour améliorer la conception d’une machine ?

03 juillet 2015, 02:00

Jean-François Delaigle

Dans le cadre du projet EcoMechatronics, on a élaboré une méthode pour concevoir un modèle multi-corps pratique en un temps limité. Cette méthode de conception repose sur des essais ciblés avec une machine existante. L’efficacité de cette méthode a été démontrée en l’appliquant à la conception de la suspension d’une machine à laver industrielle d’Alliance.

La modélisation multi-corps existe déjà depuis plusieurs décennies, mais elle est beaucoup moins appliquée dans l’industrie que la modélisation d’éléments finis, par exemple. En général, un modèle multi-corps représente un système de corps rigides (inerties) reliés à des composants discrets (ressorts, amortisseurs, guides,…). Le modèle multi-corps décrit ainsi la réalité avec un niveau élevé d’abstraction. Il faut donc recourir à un grand nombre de simplifications qui doivent être mûrement réfléchies. C’est pourquoi le seuil de départ d’un modèle multi-corps au niveau du système est généralement plus élevé que pour une analyse d’éléments finis au niveau des composants pour parvenir à un premier résultat utilisable.

L’étude du cas présentée dans cet article montre que des efforts limités, mais ciblés permettent d’acquérir une compréhension du fonctionnement d’une machine industrielle et de définir les améliorations.

Cas d’une machine à laver industrielle

La figure ci-dessous montre la suspension d’une machine à laver industrielle, constituée d’un système amortisseur à ressorts relativement souples. Les critères de conception d’une bonne suspension sont :

1. Les mouvements du tambour sont suffisamment limités. On peut alors rendre la carrosserie plus compacte et réduire l’encombrement de la machine pour la monter dans la salon-lavoir.
2. Les forces de réaction transmises au sol sont réduites au minimum pour éviter que la machine se déplace pendant son fonctionnement.
3. La plage de fréquences de résonnance du tambour sur la suspension est suffisamment éloignée de la vitesse de rotation pendant le lavage et l’essorage.

Il faut répondre à ces critères pour différents niveaux de remplissage du tambour.



Suspension et tambour d’une lessiveuse industrielle d’Alliance utilisés pour les essais

Approche de la modélisation

La modélisation multi-corps convient bien pour améliorer le comportement vibratoire de la suspension d’une machine à laver car :

- Elle permet de calculer les mouvements et les forces dans l’espace, qui sont difficiles mesurer. Avec une modélisation multi-corps, les phénomènes physiques plus complexes comme les effets centrifuges et gyroscopiques sont repris de manière intrinsèque.
- On peut simuler le mouvement relatif du tambour par rapport à la suspension comme dans la réalité (contrairement à l’analyse des éléments finis qui n’autorise en principe pas les mouvements relatifs).
- Les amortisseurs et les ressorts peuvent être modélisés simplement en tant qu’éléments discrets.
- On peut entrer simplement les différents composants en tant que corps rigides ayant une masse et une inertie propres.

En réalité, les structures ne sont pas des corps rigides, ils sont flexibles et génèrent des résonnances. On a vérifié expérimentalement que ces résonnances structurelles étaient d’ordre secondaire pour la conception de la suspension. Pour cette étude de cas, il ne faut donc pas modéliser les composants flexibles, comme avec un ensemble d’éléments finis.

La figure ci-dessous montre un modèle multi-corps de machine à laver :



La figure suivante montre le déplacement de plusieurs coins sur la base des accélérations mesurées en ces points dans les trois directions. Pour cette mesure, on a augmenté lentement la vitesse de rotation du tambour avec un balourd, puis on a maintenu le régime constant pendant quelques secondes et ensuite on a réduit lentement la vitesse. La figure ci-dessous montre la simulation des déplacements correspondants. Une comparaison entre les mesures et les simulations montre que le modèle décrit assez fidèlement le comportement dominant et que l’on peut s’en servir pour prédire l’effet des modifications de la suspension.





Mesures et simulations du déplacement du tambour

Résultats

La dernière figure donne un aperçu des déplacements et des forces simulés pour 12 variantes. Quand le modèle est créé, il est alors simple de simuler l'effet d'un grand nombre de modifications de conception. Pour ces variantes, on a fortement modifié certains paramètres : doublement de la rigidité et de l'amortissement, modification de l'emplacement et de l'orientation des amortisseurs,… La dernière variante (« var12 ») montre qu'une suspension optimale réduit les déplacements (-40 pour-cent) et les forces (-10 pour-cent) par rapport à la suspension d'origine (« default »). Un choix plus adapté des valeurs des ressorts et des amortisseurs autorise une amélioration. La principale amélioration venait du choix judicieux de l'emplacement et de l'orientation.

La conception de la suspension a été modifiée en partant de la dernière variante (« var12 »). Des mesures réalisées par Alliance ont montré qu'en réalité, on pouvait réduire nettement les déplacements en combinaison avec une réduction des forces de réaction.



Aperçu des déplacements et des forces simulés pour différentes variantes

Conclusion

La principale raison d'une utilisation peu fréquente des outils de simulation multi-corps dans l'industrie ne vient pas tellement du coût du logiciel, mais plutôt d'un manque d'expérience empêchant d'utiliser ces outils pour obtenir un résultat utilisable. L'équipe du projet EcoMechatronics a élaboré une approche pragmatique systématique pour parvenir à des résultats de simulation utilisables. Ceux-ci permettent aux entreprises grandes et petites d'améliorer nettement la conception des machines grâce à la modélisation multi-corps. Dans ce but, il est essentiel de procéder à des essais ciblés avec la machine.

La vidéo suivante montre l'approche pour élaborer un modèle multi-corps avec une installation expérimentale simplifiée : https://www.youtube.com/watch?v=_YeNz6KTnAI

Vous voulez en savoir plus sur le projet Ecomechatronics? ? Vous trouverez toutes les informations et d'autres cas sur le site web !

Auteurs



Jean-François Delaigle