

Frequency-domain modal analysis with aeroelastic applications
Tim De Troyer

The vibration of a mechanical structure is usually stable, i.e. the oscillatory motion dies out if no excitation is present. If a structure is exposed to a fluid flow, its vibration characteristics will change depending on the speed of the flow. There exists a critical speed (the flutter speed) above which the vibration amplitude starts to increase indefinitely. The flutter speed is an important design parameter for an aircraft's wing and tail surfaces, the blades of a wind turbine or a compressor, etc. All newly developed aircraft must for instance be tested in flight to verify that its vibration is stable for all combinations of altitude and speed it is designed for. Since the vibration's amplitude grows violently when flutter occurs, these tests are very dangerous, time-consuming, and costly.

In this dissertation we improve existing methods to deal with the requirements posed by ground and flight flutter testing. On the one hand, the computational speed is important since flutter can occur suddenly. On the other hand, the vibration parameters must be estimated accurately, even though the measurements are perturbed by turbulence and other noise sources. We provide a compromise between computational speed and accuracy, derive uncertainty intervals, and show how one can use the effect of turbulence to advantage. Finally, we introduce a new method to predict the flutter speed based on measurements at lower speed.

De trilling van een mechanische structuur is doorgaans stabiel. Dit wil zeggen dat de trillende beweging uitdempt als er geen kracht inwerkt op de structuur. Wanneer deze structuur in een stroming wordt geplaatst, dan wijzigen de eigenschappen van de trilling als functie van de snelheid van de stroming. Er bestaat een kritieke snelheid (de fluttersnelheid) waarboven de amplitude van de trilling blijft toenemen. Deze fluttersnelheid is een belangrijke parameter bij het ontwerp van vliegtuigvleugels en –staartvlakken, de bladen van een windturbine of van een compressor. Alle nieuw ontwikkelde vliegtuigen moeten bijvoorbeeld in vlucht getest worden om na te gaan of de trillingen stabiel zijn, en dit voor alle vliegsnelheden en –hoogtes. Deze vluchttesten zijn gevaarlijk, duur, en tijdrovend, omdat de amplitude explosief groeit wanneer flutter optreedt.

In dit proefschrift verbeteren we bestaande methodes om te voldoen aan de eisen gesteld door de vlucht- en grondtesten. Enerzijds is de rekentijd belangrijk omdat flutter abrupt optreedt. Anderzijds moeten de trillingseigenschappen nauwkeurig bepaald worden, ook al zijn de metingen zeer ruzig door turbulentie. We stellen een compromis voor tussen rekentijd en nauwkeurigheid, en we bewijzen hoe je turbulentie kan gebruiken bij het bepalen van de trillingsparameters. Tenslotte leiden we een nieuwe methode af om de fluttersnelheid te voorspellen op basis van metingen bij een lage snelheid.