

# CONTROLE PASSIVO DE VIBRAÇÕES AEROELÁSTICAS EMPREGANDO NONLINEAR ENERGY SINKS

## Adolfo Esteves Ribeiro

# Flávio Donizeti Marques

Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos

adolforibeiro@usp.br

## Objetivos

Este projeto propõe a investigação acerca da capacidade de um *Nonlinear Energy Sink* (NES) do tipo mola cúbica (LEE et al., 2007) na supressão de instabilidades aeroelásticas atuantes em uma estrutura primária, aqui, um modelo de aerofólio.

## Métodos e Procedimentos

Modelou-se o problema como uma seção típica aeroelástica de 2 graus de liberdade (GdL), como mostrado na figura 1; há movimentação em *pitch*  $h(t)$  e *plunge*  $a(t)$ . O subscrito *h* refere-se àquele GdL e  $\alpha$ , a este, enquanto *n* refere-se ao NES;  $k$  são as rigidezes,  $c$  as constantes de amortecimento,  $b$  é a semicorda e CG é o centro de gravidade do aerofólio, cujo eixo elástico (EE) é o ponto onde estão localizadas as molas.

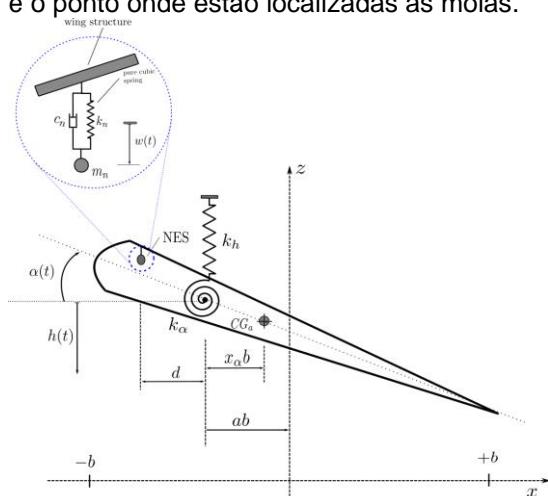


Figura 1: Modelo de seção típica

Outros parâmetros da seção típica são seu momento estático  $S_a$  e seu momento de inércia  $I_a$ . Além disso, está sob a ação de uma força de um escoamento aerodinâmico com velocidade  $U$ , resultando em uma força de sustentação  $L(t)$  e um momento no EE,  $M(t)$ , ambos não estacionários. As equações do movimento para o sistema da Figura 1, já em formato adimensional, podem ser escritas como:

$$M_T \ddot{x}_s + B_T \dot{x}_s + K_T x_s - A_1 x_a - 2\theta_n \zeta_h \omega_h \hat{N}v(t) - \gamma_n \omega_h^2 \hat{N}v^3(t) = 0; \quad (1)$$

$$\dot{x}_a - A_2 x_a - A_3 \dot{x}_s - A_4 x_s = 0; \quad (2)$$

$$\mu_n(\ddot{v}(t) + \hat{N}^T \ddot{x}_s) + 2\theta_n \zeta_n \omega_h \dot{v} + \gamma_n \omega_h^2 v^3(t) = 0; \quad (3)$$

Nas quais  $x_s = [\xi(t) \; \alpha(t)]$  é o vetor de deslocamentos do aerofólio e  $x_a = [\bar{x}(t) \; \dot{\bar{x}}(t)]$ , composto pelos estados aerodinâmicos aumentados (VASCONCELLOS et al., 2012); as matrizes totais são dadas por  $M_T = M_S - M_{nc}$ ,  $B_T = B_S - B_{nc} - B_c$  e  $K_T = K_s - K_{nc} - K_c$ , de forma que os subscritos  $s$  denotam um termo estrutural,  $nc$ , não circulatório, e  $c$ , circulatório.

## Resultados

Primeiramente, estudou-se a efetividade do NES em suprimir as vibrações aeroelásticas em velocidades próximas ao *flutter*, utilizando os parâmetros da Tabela 1. Foi possível perceber que, para velocidades de *flutter* maiores que a do aerofólio desacoplado, o sistema com NES tende a entrar num regime de ciclo limite com oscilações de baixa amplitude, como mostra a Figura 2.

Parâmetros	Valores
b	0.5 m
a	-0.15
$\rho$	1.0 kg/m <sup>3</sup>
m	20 kg/m
$\omega_h$	$2\pi$ rad/s
$\omega_a$	$6\pi$ rad/s
$x_a$	0.25
$r_a$	0.75
$\mu_n$	0.1
$\lambda_n$	0.5
$\gamma_n$	1000
$\delta_n$	1.2

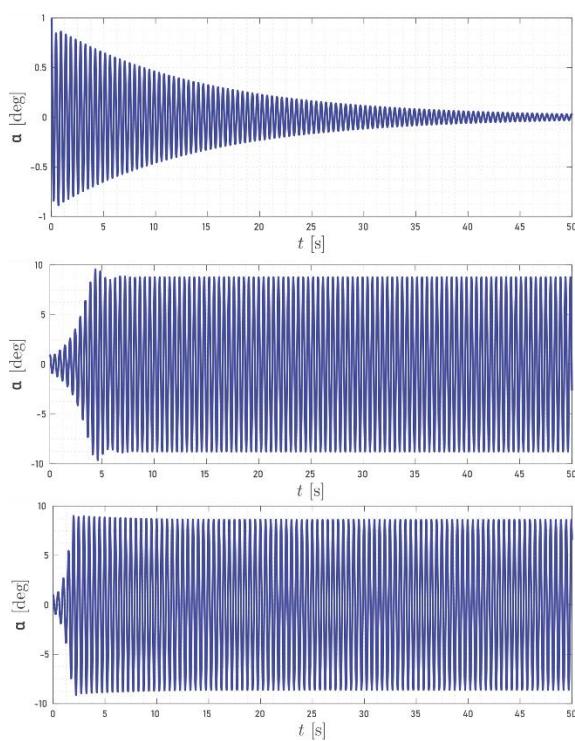


Figura 2: Deslocamento  $\alpha$  para as velocidades 27.5, 29.0 e 30.85 m/s.

Além disso, fez-se um estudo paramétrico dos 4 valores relativos ao NES, de forma a visualizar o impacto causado por cada um no atraso do flutter. Utilizou-se como base os dados Tabela 1, exceto onde explicitado, variando as frequências naturais para obter curvas como as da Figura 3, na qual tem-se o comportamento para três valores diferentes de

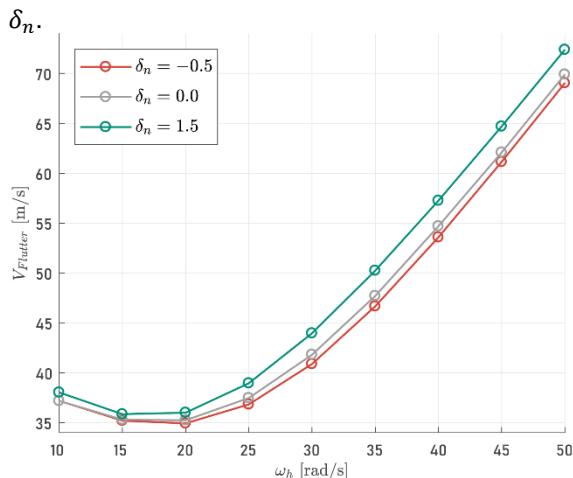


Figura 3:  $\omega_h \times V_{flutter}$  variando  $\delta_n$

## Conclusões

Por meio dos resultados obtidos, foi possível perceber a eficácia do NES em atrasar os efeitos indesejados, assim como previsto. Ademais, a otimização dos parâmetros do NES visando a ampliação dessa sua capacidade é promissora, tendo em vista que apenas com a variação de um dos parâmetros é possível observar uma melhora significativa. Sendo assim, tudo indica para que o NES seja uma maneira razoável de controle de vibrações aeroelásticas; investigações futuras podem contemplar a inclusão de uma superfície de controle no modelo e um processo de otimização completo.

## Referências Bibliográficas

LEE, Y. S.; VAKAKIS, A. F.; BERGMAN, L. A.; MCFARLAND, D. M.; KERSCHEN, G. **Suppression aeroelastic instability using broadband passive targeted energy transfers, part 1: Theory**. AIAA Journal, v. 45, n. 3, p. 693–711, 2007.

VASCONCELLOS, R.; ABDELKEFI, A.; MARQUES, F.; HAJJ, M. **Representation and analysis of control surface freeplay nonlinearity**. Journal of Fluids and Structures, v. 31, p 79-91, 2012.