

Estabilização de oscilações termoacústica em câmaras de combustão
Proposta de dissertação de mestrado
Orientador: Prof. Dr. Gustavo Artur de Andrade

1 Informações gerais

Área de concentração: sistemas de controle.

Início: junho/2020.

Previsão de término: fevereiro/2022.

2 Contextualização

Neste projeto, estamos interessados em desenvolver metodologias de controle automático para supressão de instabilidades termoacústicas em sistemas de combustão contínua. Estes sistemas são encontrados em diversas aplicações relacionadas à geração de energia, aquecimento e propulsão. Exemplos incluem queimadores industriais, turbinas a vapor e a gás, e motores a reação [3].

Em um processo típico de combustão contínua (veja a Figura 1), uma mistura ar-combustível altamente inflamável é queimada gerando gases quentes que serão utilizados para executar determinadas funções. As câmaras de combustão podem ser vistas como tubos nos quais o fluxo do fluido é sensível a variações de pressão e temperatura: uma flutuação na taxa de calor produzido pelo queimador causa uma mudança local nas propriedades do fluido. Sob condições favoráveis, o acoplamento entre a dinâmica do fluido e a taxa de liberação de calor pode causar oscilações (sustentadas) de pressão e velocidade. Este fenômeno é conhecido como instabilidade termoacústica.

Em algumas aplicações, essas oscilações são importantes para a operação bem-sucedida do sistema. No entanto, na maioria dos casos, esse fenômeno é um problema sério. Em tais aplicações, as instabilidades termoacústicas são indesejáveis devido às vibrações que induzem falhas mecânicas, altos níveis de ruído acústico, altas taxas de combustão e fusão de componentes. No melhor dos casos, isso resulta em tempo de inatividade do sistema para inspeções e reparo de peças. Na pior das hipóteses, uma parte quebrada pode ser liberada no caminho do gás quente, o que pode exigir a substituição de componentes caros do sistema. Estudos da comunidade científica indicam que o custo de reparo e substituição de componentes de turbinas a gás, muitos dos quais são diretamente atribuíveis ao problema de instabilidade da combustão, excede um bilhão de dólares e constitui até 70 % de custos de manutenção destes sistemas [6]. Um dos exemplos mais conhecidos destas instabilidades é no motor F-1, que foi projetado nos anos 50 para o foguete Saturno V [4]. As oscilações de pressão encontradas neste motor possuíam amplitude de mais de 2000 psi e os desafios de modelagem apresentados por este fenômeno no estágio de projeto resultaram em longas e custosas campanhas de teste.

Tradicionalmente, abordagens passivas têm sido usadas para suprimir estas oscilações [2],

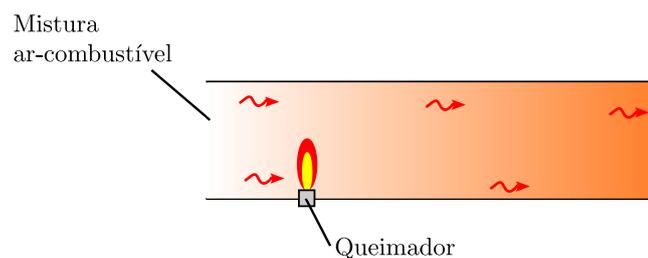


Figura 1: Diagrama simplificado de uma câmara de combustão contínua.

incluindo mudança do ponto da fonte de calor e instalação de amortecedores acústicos. Recentemente, o interesse em operar os sistemas em uma ampla faixa de condições, mantendo o nível de emissão de poluentes dentro dos limites, tem levado ao uso de metodologias de controle automático [1].

Neste contexto, iremos desenvolver metodologias de controle robusto baseadas em realimentação de saída para tais sistemas. Os resultados serão testados experimentalmente em um tubo de Rijke [5]. Basicamente, o tubo de Rijke é um tubo vertical aberto em ambas as extremidades com uma fonte de calor acoplada em um ponto interno do sistema. Uma das vantagens deste experimento é gerar instabilidades termoacústicas sem um processo de combustão. Isto reduz a complexidade matemática e a subsequente análise do sistema, enquanto que muitos dos problemas envolvidos em câmaras de combustão ainda estão presentes no tubo de Rijke.

3 Objetivos

O objetivo deste projeto é desenvolver metodologias de controle robusto, de maneira teórica-experimental, para estabilização de oscilações termoacústicas em sistemas de combustão contínua. Os resultados deverão ser apresentados, sempre que possível, em uma forma geral, de modo a gerar resultados de interesse para uma porção significativa da comunidade científica.

4 Metodologia

A pesquisa será desenvolvida com os seguintes passos:

1. Realização de estudos teóricos e revisão bibliográfica sobre:
 - Instabilidade termoacústica em câmaras de combustão contínua.
 - Metodologias de controle automático para estes sistemas.
2. Desenvolvimento de modelos matemáticos e simuladores do sistema.
3. Desenvolvimento de uma lei de controle robusto baseada na teoria de sistemas dinâmicos com garantia de estabilidade comprovada.
4. Testes de simulação e análise numérica das técnicas estudadas com um conjunto de cenários computacionais bem definidos.
5. Validação dos resultados em um protótipo do tubo de Rijke instalado no Departamento de Automação e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina.

Os resultados obtidos nesta pesquisa serão publicados em conferências e periódicos internacionais. Esperamos publicar um artigo em congresso nacional/internacional e submeter um artigo em periódico especializado da área.

Referências

- [1] G. A. de Andrade, R. Vazquez, e D. J. Pagano. Backstepping stabilization of a linearized ODE–PDE rijke tube model. *Automatica*, 96:98–109, 2018.
- [2] M. P. Juniper e R. I. Sujith. Sensitivity and nonlinearity of thermoacoustic oscillations. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 50:661–689, 2018.
- [3] T. C. Lieuwen. *Unsteady combustor physics*. Cambridge University Press, 2012.
- [4] T. C. Lieuwen e V. Yang. *Combustion instabilities in gas turbine engines: Operational experience, fundamental mechanisms, and modeling*. AIAA, 2005.
- [5] P. L. Rijke. Notice of a new method of causing a vibration of the air contained in a tube open at both ends. *Philosophical Magazine* 4, 17(116):419–422, 1859.
- [6] D. Zhao, Z. Lu, H. Zhao, X. Y. Li, B. Wang, e P. Liu. A review of active control approaches in stabilizing combustion systems in aerospace industry. *Progress in Aerospace Sciences*, 97:35–60, 2018.