

## **ESTUDO DO CONTROLE DE SISTEMAS CHAVEADOS SUJEITOS A VARIAÇÕES PARAMÉTRICAS**

Rodrigo Arturo Ramirez<sup>1</sup>, Tiago Jackson May Dezu<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica - CCT - bolsista PIVIC/UDESC.

<sup>2</sup> Orientador, Departamento de Engenharia Elétrica - CCT - tiago.dezuo@udesc.br.

Palavras-chave: Sistemas chaveados. Controle robusto. Conversores.

A designação de sistemas chaveados é dada para uma extensa classe de aplicações em controle. No geral, compreende todos os sistemas dinâmicos que sofrem alterações de estrutura ao longo do tempo, devido à existência de fases distintas de operação ou à presença de restrições em certas variáveis do sistema por motivos de segurança ou limites físicos dos dispositivos. Sistemas contendo relés e tiristores, como em conversores de eletrônica de potência, são exemplos típicos desses sistemas, pois tais componentes operam como “chaves lógicas”. Neste estudo, foi dado enfoque aos conversores CC/CC, amplamente utilizados na indústria automobilística, naval, aeronáutica e de informática.

Para cada posição das chaves do conversor (conduzindo ou não conduzindo), o modo de funcionamento do sistema é diferente, com propriedades e estruturas diferentes. Assim, como o controle do sistema é realizado através do chaveamento, o projeto da lei de comutação é um passo crucial para o correto funcionamento do sistema em malha fechada. Diversas técnicas estão disponíveis na literatura para o projeto de leis de chaveamento, dentre elas as estruturadas em formas de uma desigualdade matricial linear (*Linear Matrix Inequality* – LMI) utilizando conceito de estabilidade com funções de Lyapunov. Uma das dificuldades para este sistema é garantir a estabilidade mesmo no caso da ocorrência do fenômeno de modos deslizantes que, devido ao chaveamento em alta frequência, introduz dinâmicas extras resultantes da combinação entre as dinâmicas dos modos individuais de operação. Esta pesquisa trata da análise de uma técnica baseada em LMIs que garante a estabilidade mesmo na ocorrência de modos deslizantes.

Um ponto a ser analisado na técnica em estudo é a robustez com relação a variações paramétricas. Um dos parâmetros mais sujeitos a variações é a carga do sistema. Por isso, foi definido o sistema a ser analisado como sendo um conversor do tipo Buck (abaixador de tensão), devido à sua simples topologia, com uma carga resistiva onde deseja-se manter um valor constante na saída a partir de uma entrada de tensão constante mesmo sob mudanças no valor da resistência de carga. Os parâmetros utilizados nas simulações foram obtidos da literatura base da técnica sob análise.

O primeiro passo foi o projeto da técnica de controle tradicional, onde é assumido que a carga é constante. Para isso, as LMIs foram resolvidas utilizando os *solvers* *SeDuMi* e *YALMIP* no *software* de simulação matemática *MATLAB*. Como resultado da solução das LMIs, tem-se a lei de chaveamento a ser utilizada para controlar o sistema em questão.

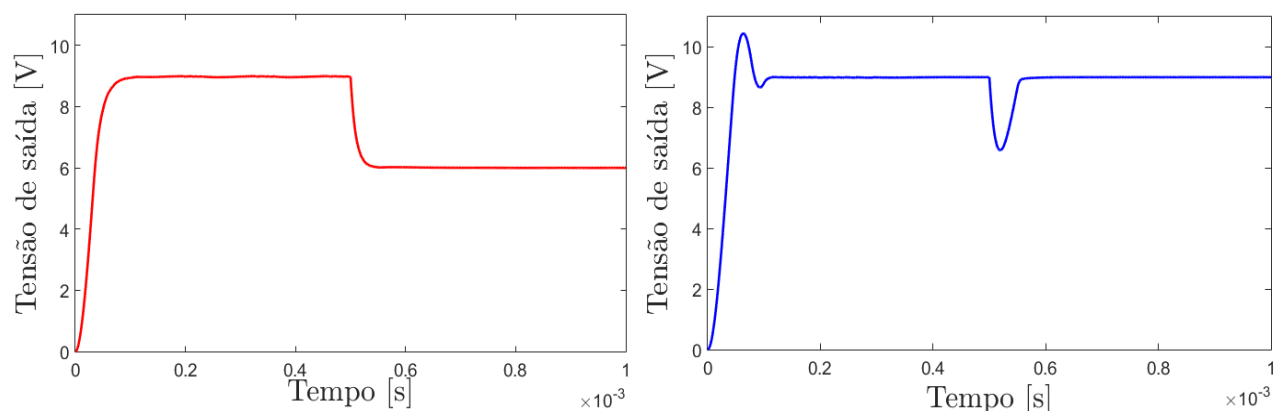
Assim, para a execução dos testes de simulação, foi realizada a implementação do modelo do conversor Buck usando a ferramenta *Simulink*, e os pacotes de simulação de circuitos elétricos

*Simscape*. O resultado deste primeiro teste é apresentado na Fig. 1 em vermelho (à esquerda). Esperava-se atingir uma tensão de saída pré-definida (9 Volts) mesmo com a mudança no valor da carga (de 15 Ohms para 30 Ohms no instante  $t = 0,5$  ms). Portanto, a técnica original não é robusta a variações paramétricas. Isso ocorre devido ao equilíbrio da variável de corrente se alterar devido à mudança de carga.

Visando resolver o problema de seguimento de referência de tensão mesmo com a incerteza paramétrica, foi desenvolvido um filtro conhecido como *washout* que teve como principal função tornar o conhecimento da corrente no indutor desnecessário. Este filtro se comporta como um passa-alta, filtrando os valores de regime permanente (constantes) da corrente, ou seja, a saída do filtro tende a zero quando a corrente tende ao regime, deixando passar apenas as dinâmicas transitórias. Por isso, a ideia é usar a saída do filtro como um estado adicional do sistema, substituindo o estado da corrente que possui equilíbrio desconhecido. Note que o equilíbrio da corrente filtrada é sempre zero, independentemente da carga.

Para o projeto da lei de chaveamento do sistema com o filtro *washout* foi necessário alterar as LMIs da técnica original para incluir o estado adicional da dinâmica do filtro. O problema continuou apresentando solução numérica e esta foi implementada no *Simulink* com a adição do filtro. O resultado de simulação para o comportamento da tensão neste caso está apresentado na Fig. 1 em azul (à direita). Observa-se que a tensão de saída atingiu o ponto de equilíbrio desejado (9V) mesmo após a ocorrência da mudança de carga (em  $t = 0,5$  ms). Outro ponto que merece destaque é a diferença no período transitório, onde nota-se a ocorrência de sobressinal. Isso se deve à influência da dinâmica extra inserida pelo filtro.

Como trabalhos futuros, sugere-se a análise dos casos de robustez com relação a outros parâmetros, como variações na tensão de entrada, e também um estudo mais aprofundado para o projeto de filtros *washout*, de modo a resultar em uma melhor dinâmica transitória.



**Fig. 1** Tensão de saída sem filtro *washout* (à esquerda, em vermelho) e com filtro *washout* (à direita, em azul)