

Projeto de detecção e isolamento de falhas em sensores aplicada a conversores boost

Vitor Ferreira Paschoal

Colaboradores: Deniver R. Schutz e Diego S. Carneiro

Profª Dra. Vilma Alves de Oliveira

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - Brasil

vitor-pas7@usp.br, voliveira@usp.br

Objetivos

O presente trabalho apresenta resultados obtidos da implementação de um modelo de conversor boost em sistema embarcado e simulação de falhas de sensor. O projeto desenvolvido compreendeu o estudo de tipos de falha, cálculos de *thresholds* para detecção e isolamento de falhas usando [1], e discretização de sistemas na forma de espaço de estado [2]. Foi estudada a implementação HIL com microcontrolador STM32F, embora de forma simplificada. O modelo do conversor foi testado no microcontrolador STM32F embarcado.

Metodologia

O modelo do conversor boost usado é mostrado na Figura 1. O conversor é modelado como um sistema chaveado afim da forma:

$$\dot{x} = A_{\sigma}x + b_{\sigma} \quad (1)$$

$$y = Cx + D_f f \quad (2)$$

em que x é o estado, y é a saída, f é o vetor de falhas no sensor, D_f é diagonal e $C = I_{p \times p}$. A lei de chaveamento $\sigma(t)$ escolhe um subsistema, A_1 ou A_2 , a cada $t \geq 0$:

$$A_1 = \begin{bmatrix} \frac{-R}{L} & 0 \\ 0 & \frac{-1}{R_o C} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} \frac{-R}{L} & \frac{-1}{R_o C} \\ \frac{1}{L} & 0 \end{bmatrix}, b_1 = b_2 = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

No projeto, foram criados dois observadores de estado para detectar falhas em um sensor específico, considerando a observabilidade de (A_i, C) . Cada observador i estima o estado x_i a partir da saída y_i e o erro residual é então calculado. O sistema de detecção usa limiares de erro para decidir sobre a ocorrência de falhas.

Para os testes em STM32F, programou-se no *software* STMCube a rotina de interrupção, a

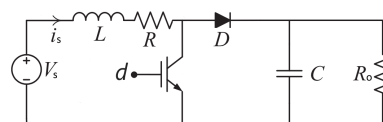


Figura 1: Modelo teórico do conversor boost.

qual ocorre a cada kT_s , seguindo o fluxograma da Figura 2.

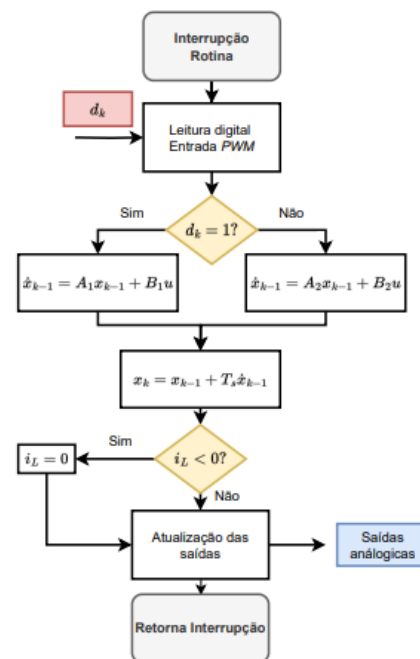


Figura 2: Fluxograma da rotina de interrupção. Adaptado de [2].

Resultados

São apresentados a seguir as simulações do Simulink e da implementação do sistema embarcado. Primeiramente, sem falha, verifica-se que a tensão e a corrente estabilizam em 380 [V] e

7,6251 [A], respectivamente. Aplicando uma falha de *offset* de 2 [A] na corrente e 50 [v], na tensão, obtêm-se as Figuras 3 e 4 que mostram a sua estabilização em 9,6251 [A] e 430 [v], respectivamente. O *zoom* na região na qual houve a falha é mostrado dentro do gráfico, com ênfase no tempo 0.5 [s], momento em que a falha foi observada.

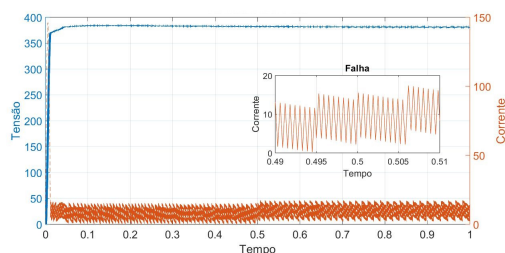


Figura 3: Conversor com falha de *offset* na corrente.

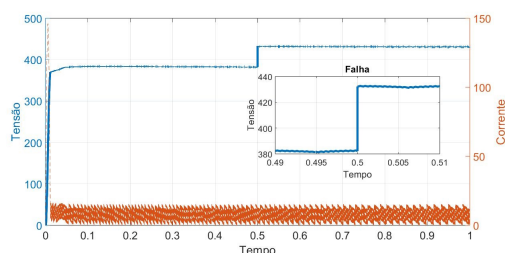


Figura 4: Conversor com perda de sinal da tensão.

Inicialmente, foi analisada a resposta da lei de chaveamento d e controle u , representada pelo *duty cycle* em % e observou-se que o controle se ajusta às especificações, mantendo o *duty cycle* entre 0 e 100% e a chaveamento d entre 0 e 1.

A Figura 5 exibe a lei de chaveamento, com um *zoom* para melhor visualização em curtos períodos de tempo. Finalmente, as variáveis

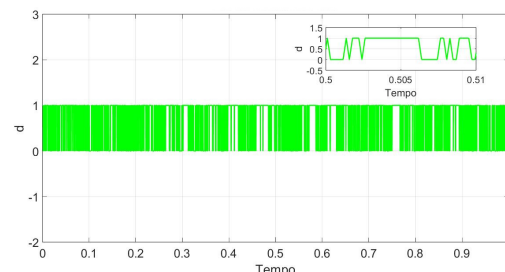


Figura 5: Ação da lei de chaveamento.

de estado i_L e V_c , bem como as referências de

equilíbrio x_{ei} e x_{ev} , foram adquiridas. As Figuras 6 e 7 apresentam o resultado.

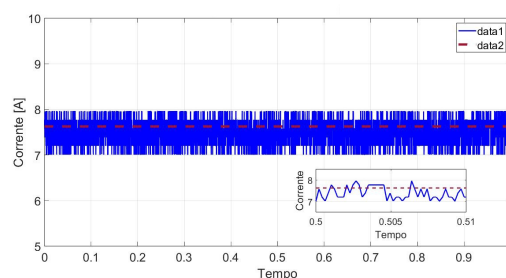


Figura 6: Comparação corrente i_L e referência x_{ei} .

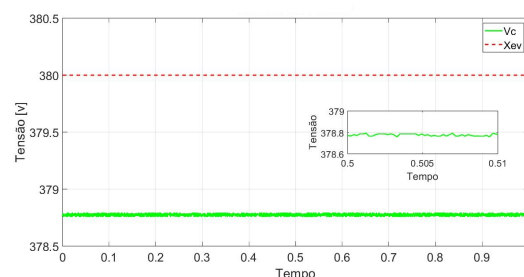


Figura 7: Comparação tensão V_c e referência x_{ev} .

Conclusão

Um modelo de conversor e controlador do tipo sliding mode foram implementados em microcontrolador STM32F. Os códigos e projetos em Matlab, juntamente com a programação do microcontrolador STM, estão disponíveis em: <https://github.com/vitorpaschoal/Detec-e-isolamento.git>.

Referências

- [1] D. S. Carneiro, L. J. R. Silva, F. A. Faria, R. F. Q. Magossi, and V. A. Oliveira. Reconfiguration strategy for a DC-DC boost converter using sliding mode observers and fault identification with a neural network. 2021. <https://doi.org/10.20906/sbai.v11i.2741>.
- [2] D. S. Castro, R. F. Q. Magossi, R. F. Bastos, V. A. Oliveira, and R. Q. Machado. Low-cost hardware in the loop implementation of a boost converter. In *2019 18th European Control Conference (ECC)*, pages 423–428, 2019.