

Proposta de um Circuito de Máximo para uso em um Controlador *Fuzzy* Tipo-2 Intervalar

Danilo Souza¹, Paloma Maria Silva Rocha-Rizol¹

¹UNESP – Univ. Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Elétrica,
Campus de Guaratinguetá
al.danilo@hotmail.com, paloma@feg.unesp.br

Resumo: Nesse trabalho é apresentado o projeto de um circuito de máximo em modo corrente. Esse circuito será usado para implementar um controlador *fuzzy* tipo-2 intervalar em *hardware* analógico. As simulações foram realizadas usando a tecnologia CMOS 0,35 μm da AMS por meio do *software* Pspice. As simulações confirmam o funcionamento do circuito de máximo.

Palavras-Chaves: Circuito de máximo, Sistema de Inferência *Fuzzy* tipo-2 Intervalar, Logica *Fuzzy* tipo-2 Intervalar.

Os controladores *fuzzy* estão sendo cada vez mais usados em diversas aplicações nos campos automobilísticos, industriais, na robótica e em aplicações na área médica [1]. Este artigo apresenta um circuito de máximo usando um espelho de corrente *cascode* de baixa tensão em tecnologia CMOS desenvolvido por Harijan [2], para ser implementado em controladores *fuzzy* tipo-2 intervalar com duas entradas e uma saída. Esse circuito foi projetado em modo corrente na tecnologia CMOS 0,35 μm da AMS e as simulações para validação do circuito foram realizadas no *software* Pspice. Os controladores *fuzzy* tipo-2 intervalar são compostos por quatro blocos, o fuzificador, o sistema de inferência, o tipo-redutor e o defuzificador, como é ilustrado na Figura 1.

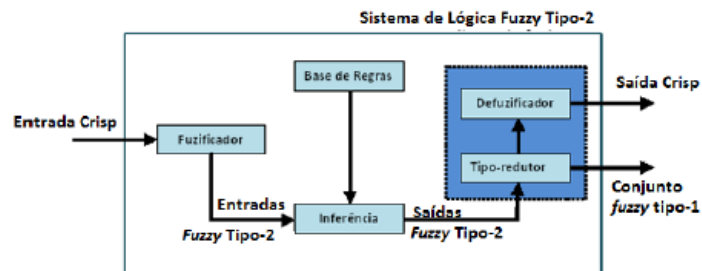


Figura 1 –Estrutura do controlador *fuzzy* tipo-2 intervalar.

O sistema de inferência é o módulo principal do controlador, onde as operações são realizadas de acordo com uma base de regras. A arquitetura do sistema de inferência *fuzzy* tipo-2 intervalar é apresentado na Figura 2, o qual tem duas entradas e uma saída e onde são realizadas as operações *t-norma* e *t-conorma* [4]. Utilizando-se a metodologia *Mamdani* os operadores *t-conorma* e *t-norma* são definidos como

operador de máximo (agregação) e operador de mínimo (interseção) [3], respectivamente.

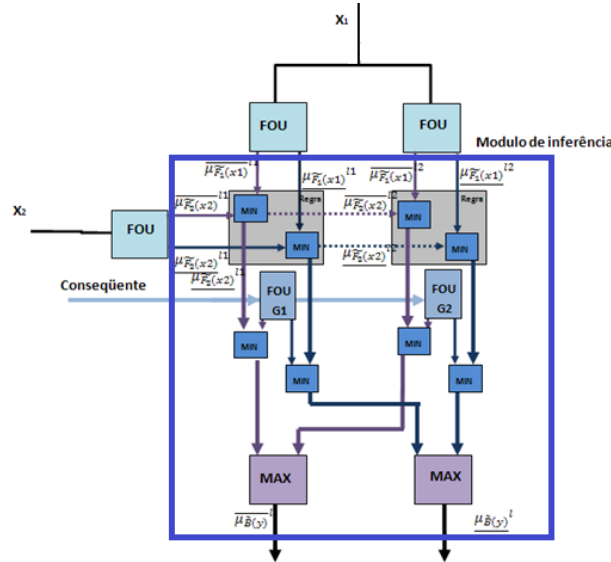


Figura 2–Arquitetura do sistema de inferência fuzzy tipo-2 intervalar proposta por Rocha Rizol [4].

O operador t-norma é utilizado para calcular os graus de ativação superior e inferior de uma regra l (\bar{f}^l e \underline{f}^l), ou seja, utilizando o operador mínimo:

$$\underline{f}^l(x') = \underline{\mu}_{F_1^l}(x'_1) \star \underline{\mu}_{F_2^l}(x'_2) = \min [\underline{\mu}_{F_1^l}(x'_1), \underline{\mu}_{F_2^l}(x'_2)] \quad (1)$$

$$\bar{f}^l(x') = \bar{\mu}_{F_1^l}(x'_1) \star \bar{\mu}_{F_2^l}(x'_2) = \min [\bar{\mu}_{F_1^l}(x'_1), \bar{\mu}_{F_2^l}(x'_2)] \quad (2)$$

onde \star é o operador t-norma.

Assim, o cálculo de $\mu_B(y)$ é feito usando o operador t-norma \star (mínimo) entre o grau de ativação superior (\bar{f}^l) e a função de ativação superior do consequente $\bar{\mu}_{G^l}(y)$, [$\bar{b}^l = \bar{f}^l \star \bar{\mu}_{G^l}(y)$]. O cálculo da função de pertinência inferior é realizada da mesma maneira: [$\underline{b}^l = \underline{f}^l \star \underline{\mu}_{G^l}(y)$], de acordo com as equações (3) e (4).

$$\underline{b}^l(x') = \min [\underline{f}^l, \underline{\mu}_{G^l}(y)] \quad (3)$$

$$\bar{b}^l(x') = \min [\bar{f}^l, \bar{\mu}_{G^l}(y)] \quad (4)$$

A função resultante é obtida usando o operador t-conorma \vee (máximo), representado na equação (5).

$$\mu_B(y) = \left[\underline{b}^1(y) \vee \underline{b}^2(y), \bar{b}^1(y) \vee \bar{b}^2(y) \right] \quad (5)$$

O processo de inferência pode ser observado na Figura 3.

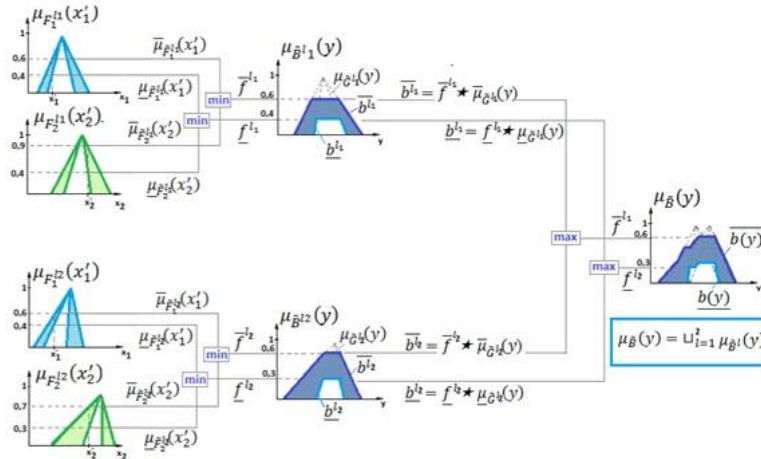


Figura 3—Operações de máximo e mínimo.

Desta forma, para a implementação de controladores *fuzzy* tipo-2 é necessário a implementação de circuitos de máximo e mínimo. O circuito de máximo proposto opera em modo corrente e possui duas entradas e uma saída, de acordo com a equação (9) é apresentado na Figura 4.

$$I_{MAX} = MAX(I_X, I_Y) = I_X + (I_X \ominus I_Y) \quad (9)$$

O princípio de funcionamento deste circuito será apresentado a seguir: se $I_1 > I_2$, a corrente que passa pelo transistor M_1 é dada por $I_1 - I_2$ e a corrente que passa pelos transistores M_6 e M_7 é dada por: $I_1 = I_1 - I_2 + I_2$. A corrente I_1 será espelhada para a saída. Se $I_2 > I_1$, o transistor M_1 não conduzirá corrente e a corrente que passa pelos transistores M_6 e M_7 é dada por I_2 . A corrente I_2 será espelhada para a saída. Os transistores M_2 e M_5 funcionam como divisor de tensão.

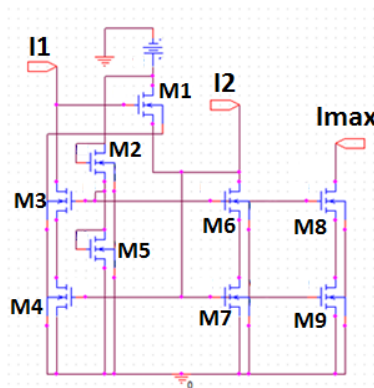


Figura 4—Circuito de máximo proposto.

Para verificar o funcionamento do circuito de máximo foram realizadas duas simulações, a primeira mantendo a corrente I_1 constante e variando a corrente I_2 de 0 a

15 μA e a segunda com um sinal senoidal em I_1 com I_2 variando de 0 a 15 μA . Os resultados desta simulações são apresentados nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

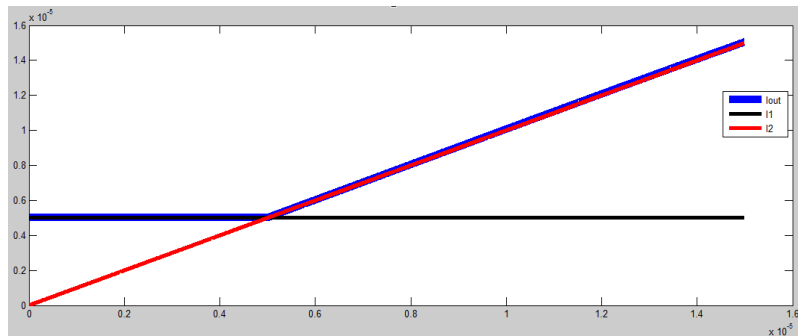


Figura 2–Resultado do circuito de máximo para entradas lineares.

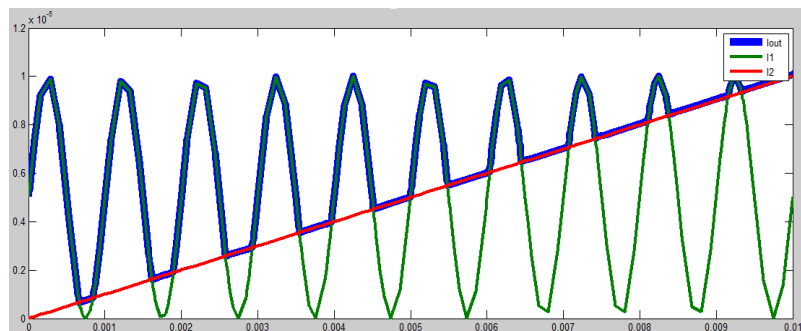


Figura 3–Resultado do circuito de máximo para uma entrada senoidal e uma linear.

Por meio das simulações, pode-se observar que a forma de onda de saída, representada em azul, mantém-se sempre no valor máximo da corrente, assim confirmando o funcionamento do circuito.

References

1. Special issues on “Engineering Application of Fuzzy Logic”, Proc of the IEEE, March 1995
2. R. Harijan, P.Devi, P. Kumar, “*Design of A Low Voltage Power CMOS Current Mirror with Enhanced Dynamic Range*”. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJAT)* ISSN: 2249 – 8958, Volume-2, Issue-3, Fevereiro 2013. p 1-5.
3. K. Tanaka, “*An Introduction to fuzzy Logic for Pratical Application*”, Rassel 1997,138p.
4. P.M.S.Rocha.Rizol, L.Mesquita, O.Saotome, “*Architecture Proposal of Analog Interval Type-2 Fuzzy Logic Inference Systems*”,*Revista Ciências Exatas, Vol. 18 No 2012.*