

## Trabalho Prático de Simulação SPICE

**Aluno:** Vitor Eduardo Schuh  
**Número de matrícula:** 19100591

Data: 31/05/2021

### 1 Introdução

Este relatório reporta as etapas do segundo trabalho prático da disciplina de concepção e teste de circuitos integrados. O trabalho consistiu na simulação SPICE de um circuito formado por três blocos lógicos definidos por funções booleanas.

A fim de aproximar o ambiente de simulação de um caso de funcionamento real do circuito foi utilizado um bloco de *input delay* (ou *buffer*) na entrada do sistema e a métrica de atraso *fan-out* 4 na saída do mesmo para simular uma carga qualquer conforme apresentado na Figura 1.

Para a realização deste trabalho foram utilizados os softwares Switchcraft (ambiente para síntese e análise de redes lógicas) e LTSpice (simulador para projeto e extração dos parâmetros elétricos do circuito).

### 2 Metodologia

Os blocos "Circuito N" apresentados na Figura 1 correspondem às funções booleanas:

$$F1 = \neg(\neg(a * d) + \neg(b * c)) \quad (1)$$

$$F2 = (\neg a * \neg b * c) + (\neg a * b * c) + (a * \neg b * c) + (a * b * \neg c) \quad (2)$$

$$F3 = F1 + F2 \quad (3)$$

As equações acima foram inseridas no Switchcraft e suas respectivas descrições em SPICE foram extraídas.

Após isso, o circuito foi descrito e simulado no LTSpice através de uma simulação transiente *.tran* de  $T = 67 \text{ ns}$ . No dimensionamento dos dielétricos foi utilizado o  $L_{min}$  da tecnologia, nesse caso 50nm, e um  $W_N$  de acordo com a técnica *Logical Effort*, onde a largura do dispositivo é definida pelo número de transistores em série nas redes de *pull up/pull down*. Esse número pode ser extraído do *draft* da rede de transistores que a ferramenta Switchcraft fornece. A largura  $W_P$  dos dispositivos PMOS foi dada por  $W_P = 1.5 * W_N$ .

Por fim, foram adicionados na simulação *measures* de atraso e consumo do circuito, através dos quais podemos avaliar o caminho de transistores responsável pelo atraso crítico e os consumos dinâmico e estático do circuito. formas de onda dos pulsos de entrada e da saída de  $F3$  estão na Figura 2.

### 3 Métricas solicitadas

Algumas das métricas mencionadas no final da última seção foram solicitadas explicitamente na especificação da tarefa: o caminho de transistores responsável pelo atraso crítico do CI, os consumos dinâmico e estático e o consumo estático mínimo. A tabela abaixo mostra os respectivos parâmetros extraídos do log da simulação transiente.

Arco booleano responsável pelo atraso crítico	0b10 (low-high)
Consumo dinâmico	6,90656 $\mu W$
Consumo estático mínimo	1,77975 $\cdot 10^{-8} \text{ W}$

## 4 Log da simulação

Os valores da tabela da seção 'Métricas solicitadas' estão em vermelho para facilitar a localização.

```
Circuit: * Nome: Vitor Eduardo Schuh
Vind: Removing PWL point (6.3e-008,0)
Vinc: Removing PWL point (3e-009,0)
Vinc: Removing PWL point (9e-009,1)
Vinc: Removing PWL point (1.5e-008,0)
Vinc: Removing PWL point (2.4e-008,0)
Vinc: Removing PWL point (3e-008,1)
Vinc: Removing PWL point (3.6e-008,0)
Vinc: Removing PWL point (4.5e-008,0)
Vinc: Removing PWL point (4.9e-008,0)
Vinc: Removing PWL point (5.2e-008,0)
Vinc: Removing PWL point (5.5e-008,0)
Vinc: Removing PWL point (5.8e-008,0)
Vinb: Removing PWL point (3e-009,0)
Vinb: Removing PWL point (1.5e-008,1)
Vinb: Removing PWL point (2.4e-008,0)
Vinb: Removing PWL point (2.7e-008,0)
Vinb: Removing PWL point (3e-008,0)
Vinb: Removing PWL point (3.3e-008,0)
Vinb: Removing PWL point (3.6e-008,0)
Vinb: Removing PWL point (3.9e-008,0)
Vinb: Removing PWL point (4.2e-008,0)
Vinb: Removing PWL point (5.1e-008,1)
Vinb: Removing PWL point (5.7e-008,0)
Vinb: Removing PWL point (6.3e-008,1)
Vina: Removing PWL point (3e-009,0)
Vina: Removing PWL point (6e-009,0)
Vina: Removing PWL point (2.1e-008,0)
Direct Newton iteration failed to find .op point. (Use ".option noopiter" to skip.)
Starting Gmin stepping
Gmin = 10
Gmin = 1.07374
Gmin = 0.115292
Gmin = 0.0123794
Gmin = 0.00132923
Gmin = 0.000142725
Gmin = 1.5325e-005
Gmin = 1.6455e-006
Gmin = 1.76685e-007
Gmin = 1.89714e-008
Gmin = 2.03704e-009
Gmin = 2.18725e-010
Gmin = 2.34854e-011
Gmin = 2.52173e-012
Gmin = 2.70769e-013
Gmin = 0
```

Gmin stepping succeeded in finding the operating point.

$atr_a000lh = 9.06208e - 011FROM1.0005e - 009TO1.09112e - 009$   
 $atr_a000hl = 1.29435e - 010FROM2.0005e - 009TO2.12993e - 009$   
 $atr_a001lh = 8.96121e - 011FROM4.0005e - 009TO4.09011e - 009$   
 $atr_a001hl = 1.29486e - 010FROM5.0005e - 009TO5.12999e - 009$   
 $atr_a010lh = 1.26869e - 010FROM7.0005e - 009TO7.12737e - 009$   
 $atr_a010hl = 1.17758e - 010FROM8.0005e - 009TO8.11826e - 009$   
 $atr_a011lh = 1.2719e - 010FROM1.00005e - 008TO1.01277e - 008$   
 $atr_a011hl = 1.17751e - 010FROM1.10005e - 008TO1.11183e - 008$   
 $atr_a100lh = 1.07649e - 010FROM1.30005e - 008TO1.31081e - 008$   
 $atr_a100hl = 1.0461e - 010FROM1.40005e - 008TO1.41051e - 008$   
 $atr_a101lh = 1.07858e - 010FROM1.60005e - 008TO1.61084e - 008$   
 $atr_a101hl = 1.04623e - 010FROM1.70005e - 008TO1.71051e - 008$   
 $atr_a110lh = 8.70071e - 011FROM1.90005e - 008TO1.90875e - 008$   
 $atr_a110hl = 1.15174e - 010FROM2.00005e - 008TO2.01157e - 008$   
 $atr_0b00lh = 8.71468e - 011FROM2.2e - 008TO2.20872e - 008$   
 $atr_0b00hl = 1.23714e - 010FROM2.30001e - 008TO2.31238e - 008$   
 $atr_0b01lh = 1.23974e - 010FROM2.60001e - 008TO2.6124e - 008$   
 $atr_0b01hl = 8.35578e - 011FROM2.5e - 008TO2.50836e - 008$   
 $atr_0b10lh = 1.3671e - 010FROM2.8e - 008TO2.81368e - 008$   
 $atr_0b10hl = 1.18389e - 010FROM2.90001e - 008TO2.91184e - 008$   
 $atr_0b11lh = 1.33083e - 010FROM3.1e - 008TO3.11331e - 008$   
 $atr_0b11hl = 1.18324e - 010FROM3.20001e - 008TO3.21184e - 008$   
 $atr_1b00lh = 9.64981e - 011FROM3.4e - 008TO3.40965e - 008$   
 $atr_1b00hl = 9.86295e - 011FROM3.50001e - 008TO3.50987e - 008$   
 $atr_1b01lh = 1.01528e - 010FROM3.80001e - 008TO3.81016e - 008$   
 $atr_1b10lh = 1.01128e - 010FROM4.10001e - 008TO4.11012e - 008$   
 $atr_1b10hl = 8.02706e - 011FROM4e - 008TO4.00803e - 008$   
 $atr_0c0lh = 1.1725e - 010FROM4.40001e - 008TO4.41173e - 008$   
 $atr_0c0hl = 8.29523e - 011FROM4.3e - 008TO4.3083e - 008$   
 $atr_0c1lh = 1.17235e - 010FROM4.70001e - 008TO4.71173e - 008$   
 $atr_0c1hl = 7.76443e - 011FROM4.6e - 008TO4.60777e - 008$   
 $atr_01c0lh = 1.27511e - 010FROM5.00001e - 008TO5.01276e - 008$   
 $atr_01c0hl = 1.17417e - 010FROM5.10001e - 008TO5.11175e - 008$   
 $atr_01c1lh = 1.2583e - 010FROM5.3e - 008TO5.31259e - 008$   
 $atr_01c1hl = 1.10072e - 010FROM5.40001e - 008TO5.41101e - 008$   
 $atr_10c0lh = 1.06509e - 010FROM5.6e - 008TO5.61066e - 008$   
 $atr_10c0hl = 1.05287e - 010FROM5.70001e - 008TO5.71053e - 008$   
 $atr_10c1lh = 1.07064e - 010FROM5.9e - 008TO5.91071e - 008$   
 $atr_10c1hl = 1.07064e - 010FROM5.9e - 008TO5.91071e - 008$   
 $atr_11c0lh = 8.67164e - 011FROM6.2e - 008TO6.20868e - 008$   
 $atr_11c0hl = 6.96341e - 011FROM6.10001e - 008TO6.10697e - 008$   
 $atr_11dlh = 6.16157e - 011FROM6.40005e - 008TO6.40621e - 008$   
 $atr_11dhl = 6.77893e - 011FROM6.50005e - 008TO6.50683e - 008$

$avg_{cons} : AVG(i(v1) * -v(vdd)) = 6.90656e - 006FROM0TO6.6e - 008$

$static_a000hl : AVG(i(v1) * -v(vdd)) = 6.22318e - 008FROM1.97e - 009TO2e - 009$   
 $static_a000lh : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -2.74363e - 007FROM2.97e - 009TO3e - 009$   
 $static_a001hl : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -6.19424e - 008FROM4.97e - 009TO5e - 009$   
 $static_a001lh : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -2.74942e - 007FROM5.97e - 009TO6e - 009$

$static_a010hl : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -1.44788e - 007FROM7.97e - 009TO8e - 009$   
 $static_a010lh : AVG(i(v1) * -v(vdd)) = 1.05445e - 007FROM8.97e - 009TO9e - 009$   
 $static_a011hl : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -1.14582e - 007FROM1.097e - 008TO1.1e - 008$   
 $static_a011lh : AVG(i(v1) * -v(vdd)) = 8.55681e - 008FROM1.197e - 008TO1.2e - 008$   
 $static_a100hl : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -1.80729e - 008FROM1.397e - 008TO1.4e - 008$   
 $static_a100lh : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -5.87086e - 008FROM1.497e - 008TO1.5e - 008$   
 $static_a101hl : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -1.9713e - 008FROM1.697e - 008TO1.7e - 008$   
 $static_a101lh : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -6.35281e - 008FROM1.797e - 008TO1.8e - 008$   
 $static_a110hl : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -1.93939e - 007FROM1.997e - 008TO2e - 008$   
 $static_a110lh : AVG(i(v1) * -v(vdd)) = 2.3762e - 007FROM2.097e - 008TO2.1e - 008$   
 $static_0b00hl : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -8.86323e - 008FROM2.297e - 008TO2.3e - 008$   
 $static_0b00lh : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -2.76196e - 007FROM2.397e - 008TO2.4e - 008$   
 $static_0b01hl : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -7.75873e - 008FROM2.597e - 008TO2.6e - 008$   
 $static_0b01lh : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -2.76173e - 007FROM2.697e - 008TO2.7e - 008$   
 $static_0b10hl : AVG(i(v1) * -v(vdd)) = 2.59955e - 007FROM2.897e - 008TO2.9e - 008$   
 $static_0b10lh : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -1.31447e - 007FROM2.997e - 008TO3e - 008$   
 $static_0b11hl : AVG(i(v1) * -v(vdd)) = 2.00355e - 007FROM3.197e - 008TO3.2e - 008$   
 $static_0b11lh : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -1.25154e - 007FROM3.297e - 008TO3.3e - 008$   
 $static_1b00hl : AVG(i(v1) * -v(vdd)) = 1.86495e - 008FROM3.497e - 008TO3.5e - 008$   
 $static_1b00lh : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -6.28723e - 008FROM3.597e - 008TO3.6e - 008$   
 $static_1b01hl : AVG(i(v1) * -v(vdd)) = 2.05004e - 008FROM3.797e - 008TO3.8e - 008$   
 $static_1b01lh : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -7.99492e - 008FROM3.897e - 008TO3.9e - 008$   
 $static_1b10hl : AVG(i(v1) * -v(vdd)) = 2.25483e - 007FROM4.097e - 008TO4.1e - 008$   
 $static_1b10lh : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -1.36175e - 007FROM4.197e - 008TO4.2e - 008$   
 $static_0c00hl : AVG(i(v1) * -v(vdd)) = 1.10952e - 007FROM4.397e - 008TO4.4e - 008$   
 $static_0c00lh : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -2.7579e - 007FROM4.497e - 008TO4.5e - 008$   
 $static_0c01hl : AVG(i(v1) * -v(vdd)) = 9.56109e - 008FROM4.697e - 008TO4.7e - 008$   
 $static_0c01lh : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -2.75404e - 007FROM4.797e - 008TO4.8e - 008$   
 $static_0c10hl : AVG(i(v1) * -v(vdd)) = 3.67991e - 008FROM4.997e - 008TO5e - 008$   
 $static_0c10lh : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -2.51204e - 007FROM5.097e - 008TO5.1e - 008$   
 $static_0c11hl : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -4.50754e - 008FROM5.297e - 008TO5.3e - 008$   
 $static_0c11lh : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -2.62383e - 007FROM5.397e - 008TO5.4e - 008$   
 $static_1c00hl : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -5.76744e - 008FROM5.597e - 008TO5.6e - 008$   
 $static_1c00lh : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -1.31032e - 007FROM5.697e - 008TO5.7e - 008$   
 $static_1c01hl : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -3.88101e - 008FROM5.897e - 008TO5.9e - 008$   
 $static_1c01lh : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -1.16466e - 007FROM5.997e - 008TO6e - 008$   
 $static_1c10hl : AVG(i(v1) * -v(vdd)) = 2.30712e - 007FROM6.197e - 008TO6.2e - 008$   
 $static_1c10lh : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -1.77975e - 008FROM6.297e - 008TO6.3e - 008$   
 $static_1c10lh : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -1.77975e - 008FROM6.297e - 008TO6.3e - 008$   
 $static_111dhl : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -8.25217e - 008FROM6.497e - 008TO6.5e - 008$   
 $static_111dlh : AVG(i(v1) * v(vdd)) = -1.20783e - 007FROM6.597e - 008TO6.6e - 008$

*Date : ThuJun0319 : 30 : 582021*

*Totalelapsedtime : 1.622seconds.*

*tnom = 27*

*temp = 27*

*method = Gear*

*totiter = 8551*

*traniter = 8090*

*tranpoints = 2668*

*accept = 2496*

*rejected = 172*

*matrixsize = 324*

*fillins = 54*

*solver = Normal*

*Threadvector : 273.9/62.7[6]30.1/16.2[6]11.0/4.6[6]4.6/631.6[1]2592/500*

*MatrixCompiler1 : 57.60KBobjectcodesize30.1/17.7/[8.6]*

*MatrixCompiler2 : 3080opcodes12.6/[11.0]/20.4*

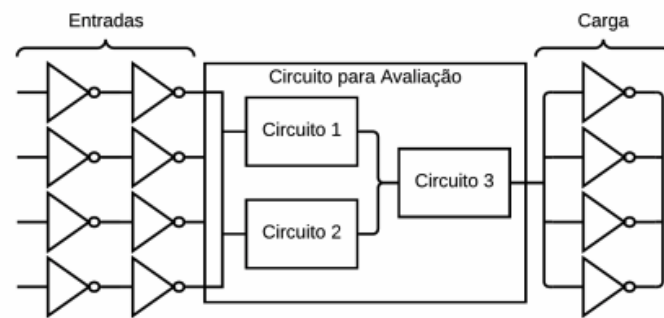


Figura 1: Circuito elétrico utilizado para concepção e teste.

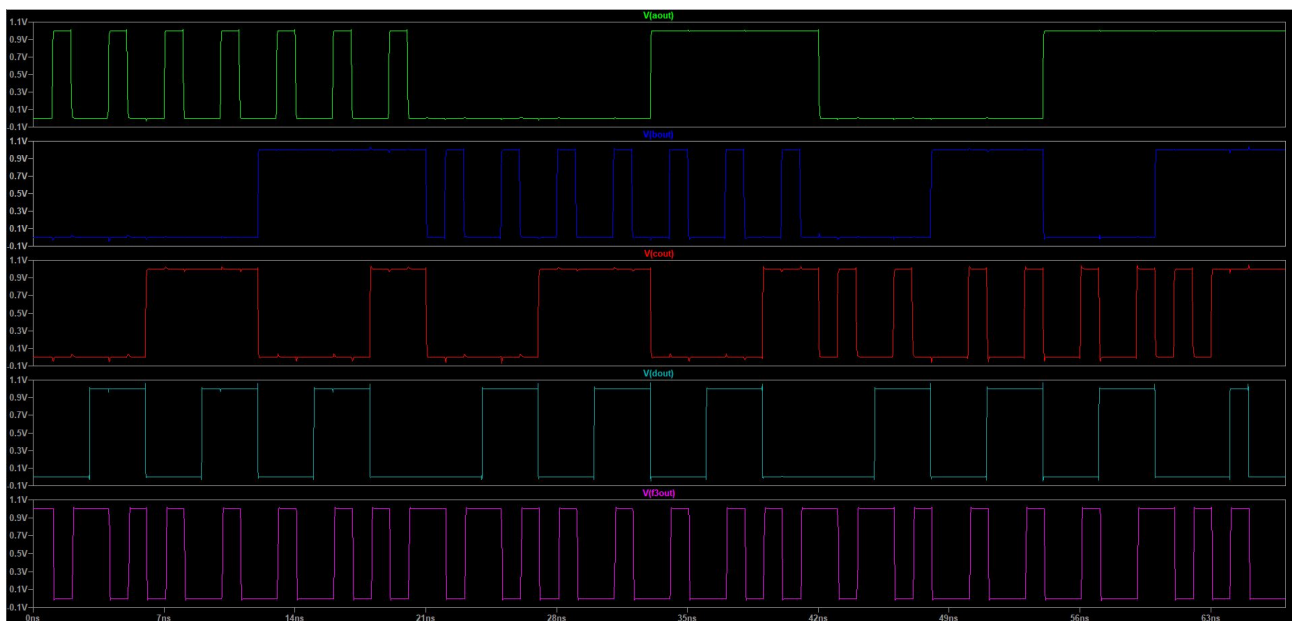


Figura 2: Formas de onda de entrada e saída do circuito.