

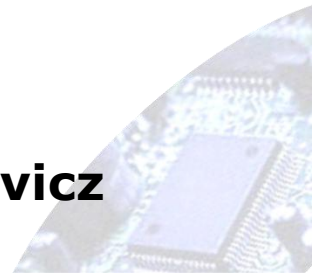


SIMULAÇÃO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS COM O USO DO SPICE

Visão Concisa

Ulisses Chemin Netto

Prof. Dr. Mário Oleskovicz



Sumário

- ❖ Simulações Computacionais aplicadas à Engenharia
- ❖ Objetivo
- ❖ SPICE, por quê ?
- ❖ Técnica de Aprendizado Adotada
- ❖ Elementos que compõe a simulação
- ❖ Elementos de Circuito usados nas Simulações
- ❖ Tipos de Simulação
- ❖ Etapas de Construção de uma simulação
- ❖ Exemplos de simulação
- ❖ Material de apoio

Simulações Computacionais aplicadas à Engenharia.

❖ Idéia Fundamental ?

- ❖ Ferramenta de Projeto
- ❖ Promove economia de Recursos
- ❖ Promove diversidade de situações
- ❖ Potencializa o aprendizado

Objetivo

Apresentar o conhecimento mínimo necessário para que o aluno da disciplina SEL 301/602 realize simulações computacionais com o uso do SPICE.

Spice, Por quê?

- ❖ Ferramenta estável (desenvolvida desde 1970);
- ❖ Farta documentação e exemplos;
- ❖ Foco no circuito;
- ❖ Variedade de modelos;
- ❖ Adotado como padrão pela indústria;
- ❖ Diversas distribuições.

Técnica de Aprendizado Adotada

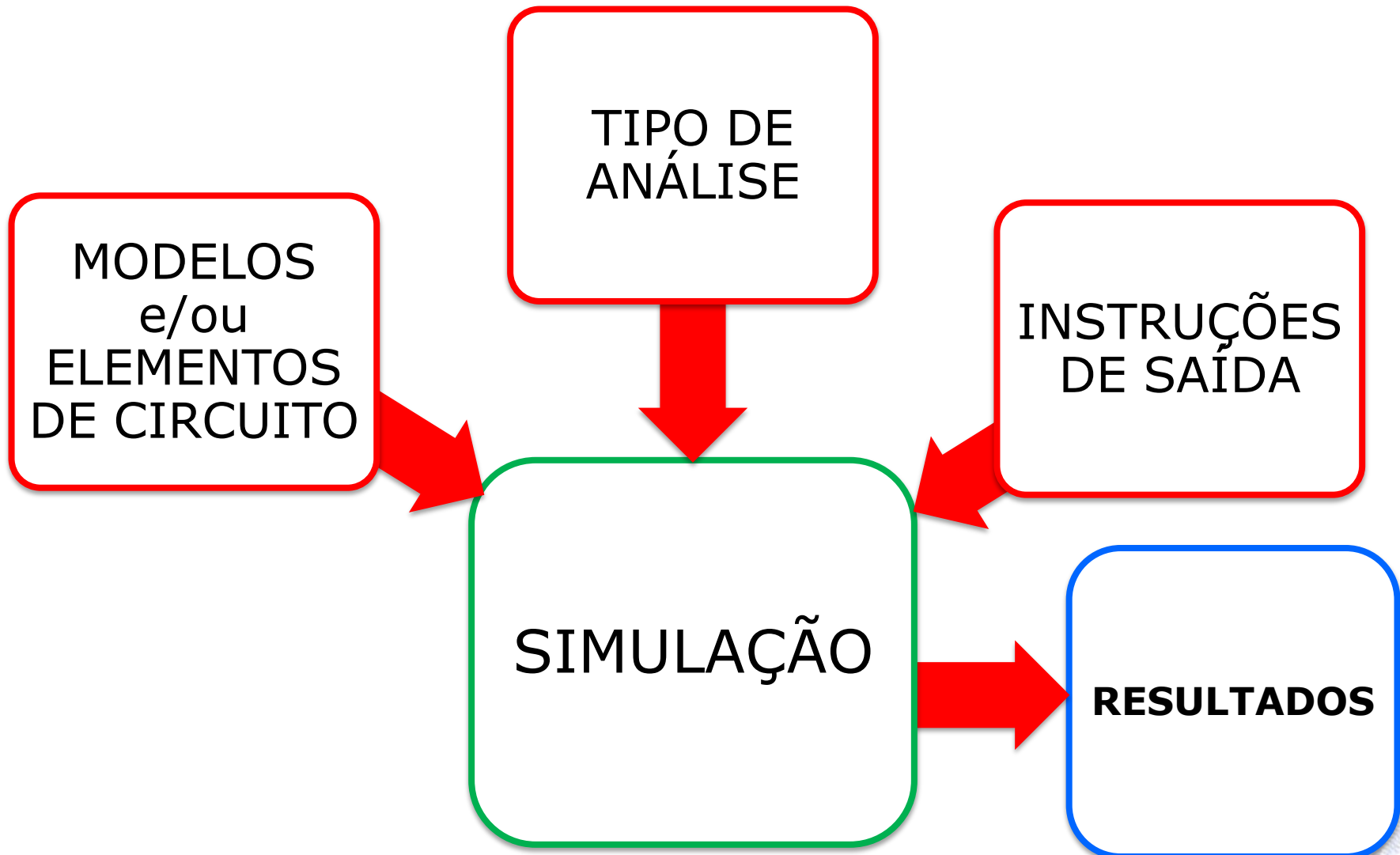
Fundamentos de Análise de Circuitos

Básico Simulação


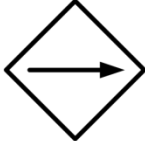

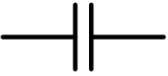


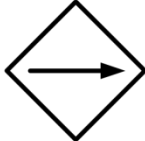
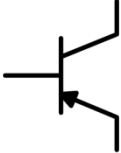

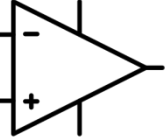
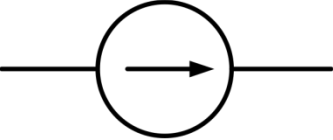
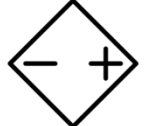
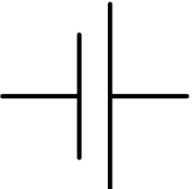

Exemplos Propostos

**Conhecimento Sólido
em Circuitos Elétricos I**

Elementos que Compõe a Simulação



Elementos de Circuito Usados nas Simulações

	RESISTOR		FCCT		CHAVES
	CAPACITOR	$kV_n A$			DIODOS
	INDUTOR		FCCC		TRANSISTOR
	FONTE DE TENSÃO AC	$kI_n A$			AMPLIFICADOR OPERACIONAL
	FONTE DE CORRENTE AC/DC		FTCC	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Portas Lógicas</div>	
	FONTE DE TENSÃO DC	$kI_n V$	FTCT		
					
		$kV_n V$			

Múltiplos e Unidades

❖ Múltiplos

$$F = 1E-15$$

$$P = 1E-12$$

$$N = 1E-9$$

$$U = 1E-6$$

$$MIL = 25.4E-6$$

$$M = 1E-3$$

$$K = 1E3$$

$$MEG = 1E6$$

$$G = 1E9$$

$$T = 1E12$$

❖ Unidades

$$V = \text{Volt}$$

$$A = \text{Ampère}$$

$$HZ = \text{Hertz}$$

$$OHM = \text{ohm } (\Omega)$$

$$H = \text{Henry}$$

$$F = \text{Farad}$$

$$DEG = \text{graus}$$

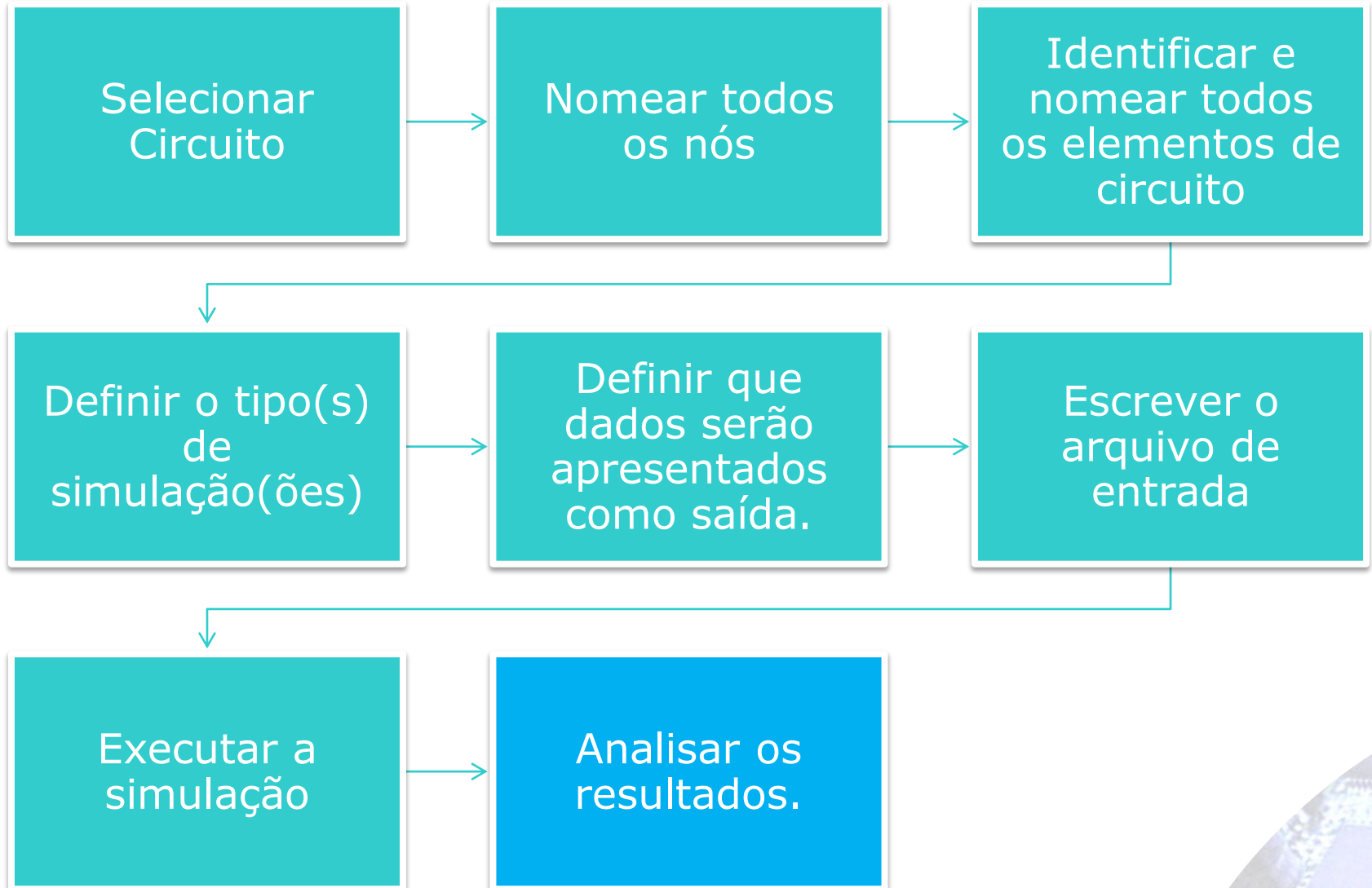
Tipos de Simulações

- ❖ Análise DC
- ❖ Análise AC
- ❖ Função de Transferência
- ❖ Análise de Sensibilidade
- ❖ Análise Transitória
- ❖ Análise de Fourier

Instruções de Saída

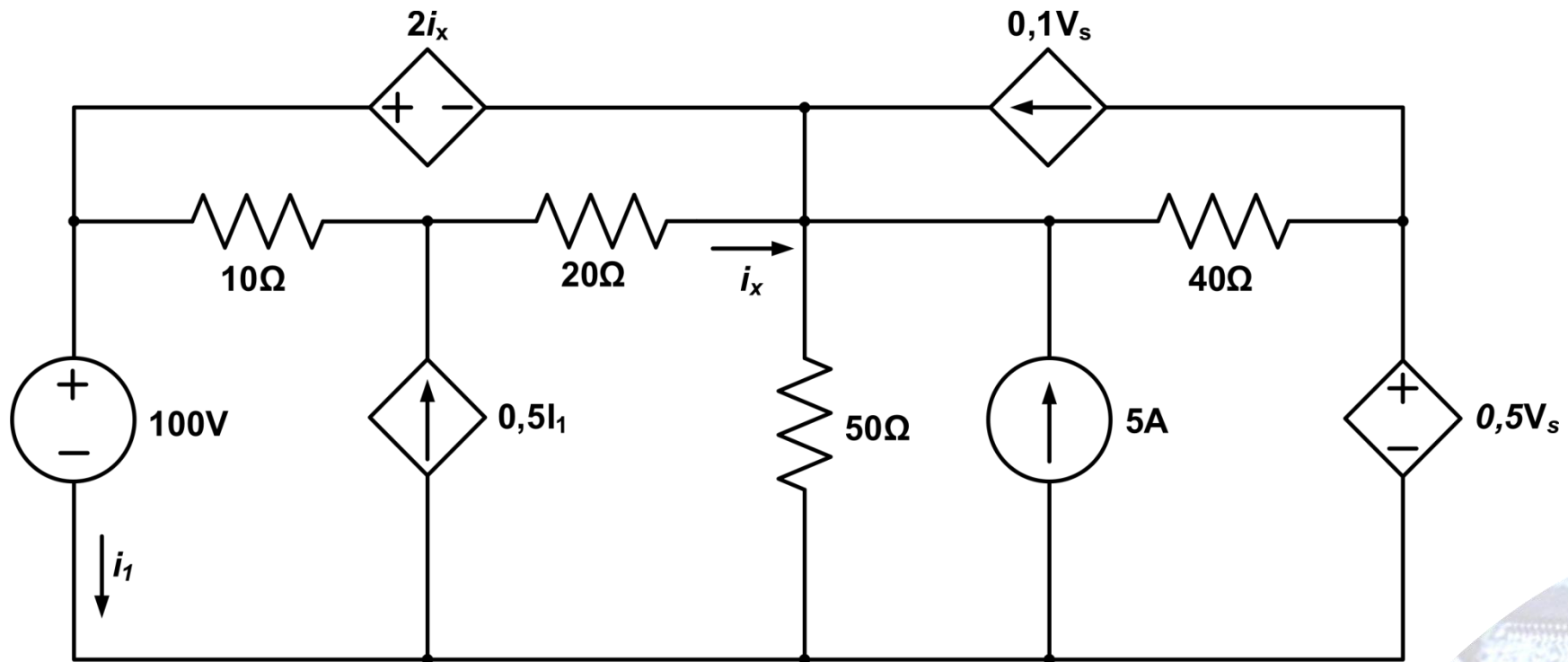
- ❖ .PRINT – Impressão dos valores desejados em forma de tabela.
- ❖ .PLOT – impressão das informações desejadas em forma gráfica, no próprio arquivo de saída da simulação.
- ❖ .PROBE – Analisador gráfico da solução.

Etapas de Construção de uma simulação



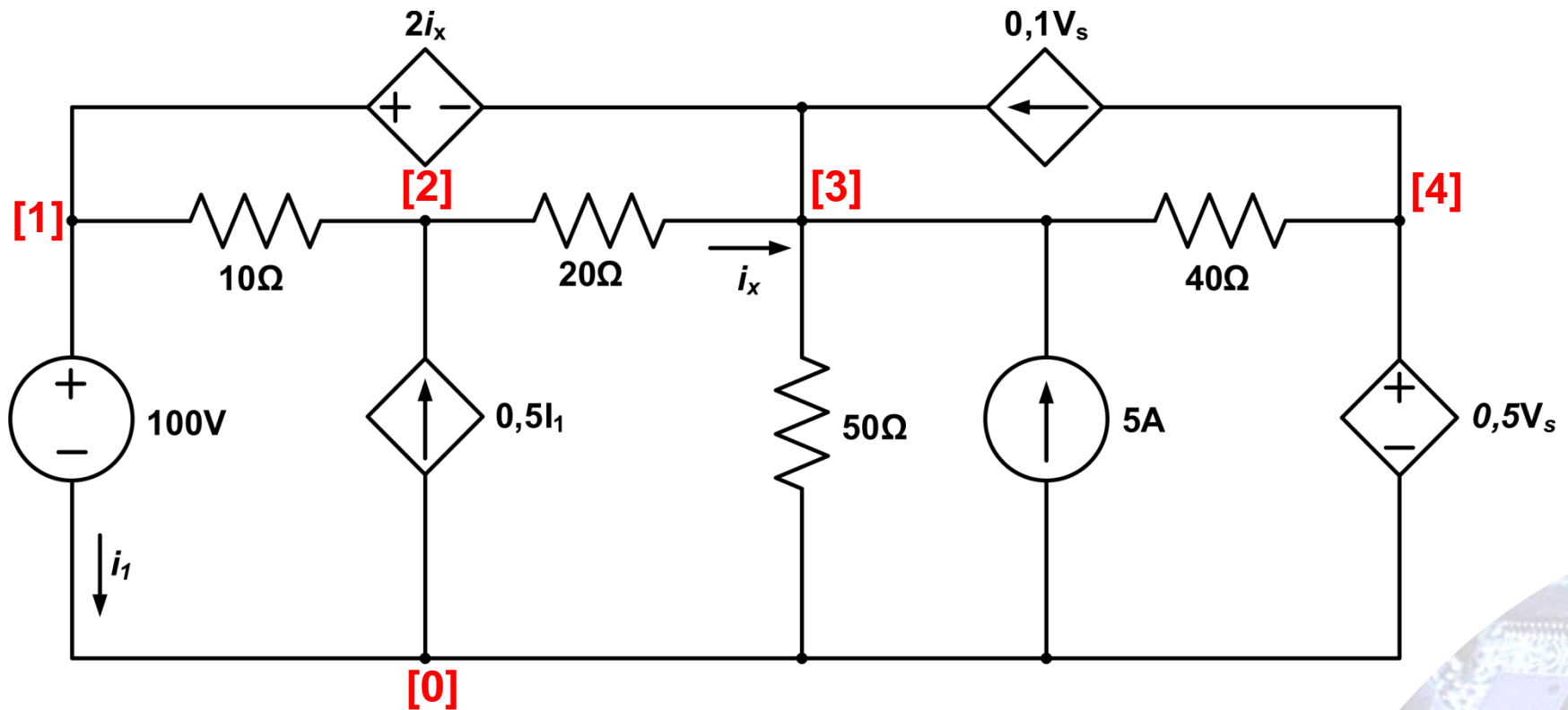
Exemplo 1

- ❖ Para o circuito abaixo, determine todas as tensões nos nós, as correntes em cada ramo e o equivalente de Thévenin, visto a partir do resistor de $20\ \Omega$.



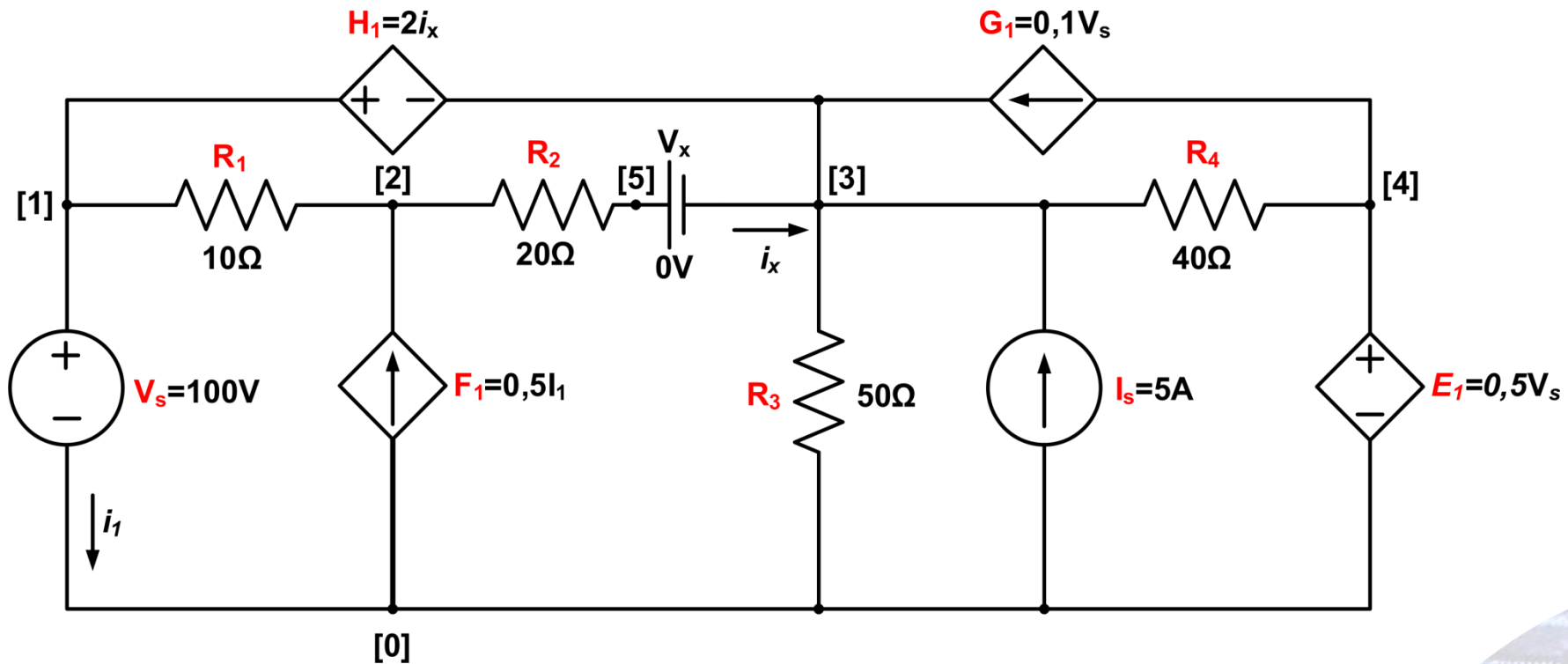
Exemplo 1 – Resolução

❖ Determinação dos nós



Exemplo 1– Resolução

❖ Identificação dos elementos



Exemplo 1 – Resolução

❖❖ Arquivo de Entrada

EXEMPLO-1

→ Primeira Linha do arquivo – nome da Simulação

*FONTES DE TENSÃO INDEPENDENTES

→ Linha de Comentário

```
Vs 1 0 DC 100V
Vx 5 3 DC 0 ;Artifício para medição de corrente.
```

→ Comentário junto a uma linha de composição do circuito

*FONTE DE CORRENTE INDEPENDENTE

Is 0 3 DC 5A

→ Elemento, nome, pontos de conexão, tipo e valor

*FONTE DE TENSÃO CONTROLADA POR TENSÃO

E1 4 0 1 0 0.5

*FONTE DE TENSÃO CONTROLADA POR CORRENTE

H1 1 3 Vx 2

*FONTE DE CORRENTE CONTROLADA POR CORRENTE

F1 0 2 Vs 0.5

*FONTE DE CORRENTE CONTROLADA POR TENSÃO

G1 4 3 1 0 0.1

Exemplo 1 – Resolução

❖❖ Arquivo de Entrada - Continuação

*RESISTORES

```
R1 1 2 100HM  
R2 2 5 20  
R3 3 0 50  
R4 3 4 40
```

É possível realizar mais de um tipo de análise ao mesmo tempo.

*TIPOS DE ANÁLISES

```
.DC Vs 100V 100V 5V ;Variação linear do valor de tensão na fonte Vs.  
.TF V(2,5) Vs ;Determinação da função de transferência.
```

*IMPRESSÃO DAS INFORMAÇÕES DESEJADAS EM FORMATO DE TABELA

```
.PRINT DC I(R1) I(R2) I(R3) I(R4);Impressão das correntes nos ramos.  
.PRINT DC V(1) V(2) V(3) V(4) V(5) V(2,5) ;Impressão das tensões nos nós.
```

*FIM DO ARQUIVO

```
.END → Término do arquivo de simulação
```

Exemplo 1 – Resolução

❖❖ Arquivo de Saída – Tensões nos nós

EXEMPLO

**** DC TRANSFER CURVES TEMPERATURE = 27.000 DEG C

Vs	V(1)	V(2)	V(3)	V(4)	V(5)
1.000E+02	1.000E+02	1.780E+02	9.133E+01	5.000E+01	9.133E+01
Vs	V(2,5)				
1.000E+02	8.672E+01				

Exemplo 1 – Resolução

❖ Arquivo de Saída – Correntes nos Ramos

EXEMPLO

**** DC TRANSFER CURVES TEMPERATURE = 27.000 DEG C

Vs	I (R1)	I (R2)	I (R3)	I (R4)
1.000E+02	-7.804E+00	4.336E+00	1.827E+00	1.033E+00

Exemplo 1 – Resolução

❖ Arquivo de Saída – Equivalente de Thévenin

*** SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

$$V(2,5)/V_S = 4.982E-01$$

$$\text{INPUT RESISTANCE AT } V_S = -7.169E+00$$

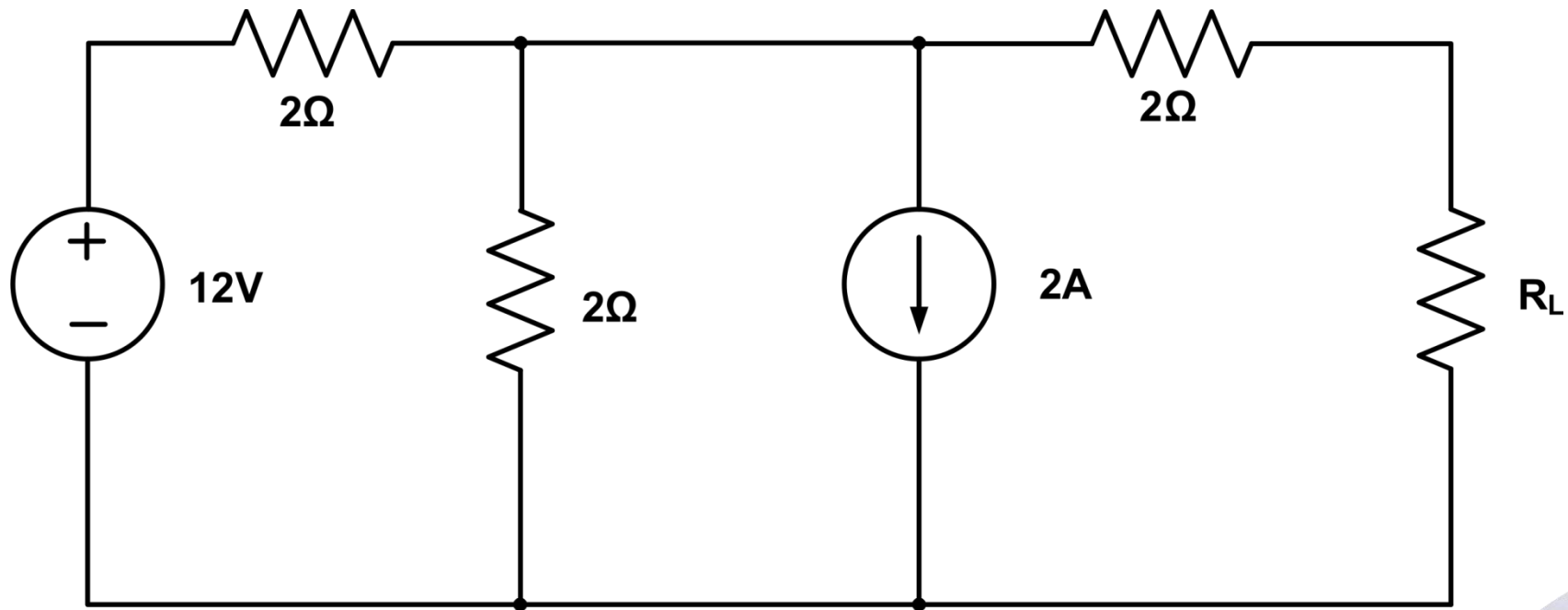
$$\text{OUTPUT RESISTANCE AT } V(2,5) = 5.240E+00$$



Resistência de Thévenin

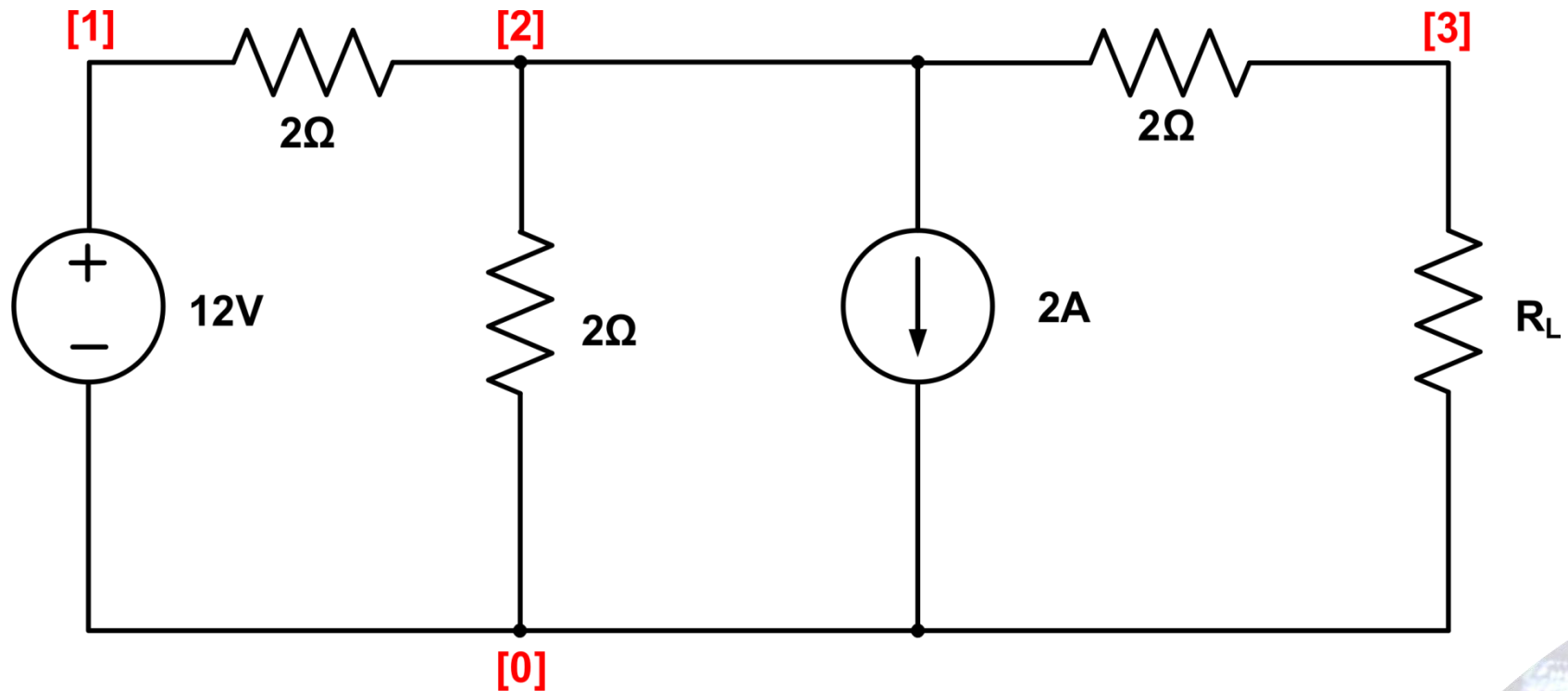
Exemplo 2

- ❖ Para o circuito abaixo, determine o valor de R_L necessário para obter a máxima transferência de potência.



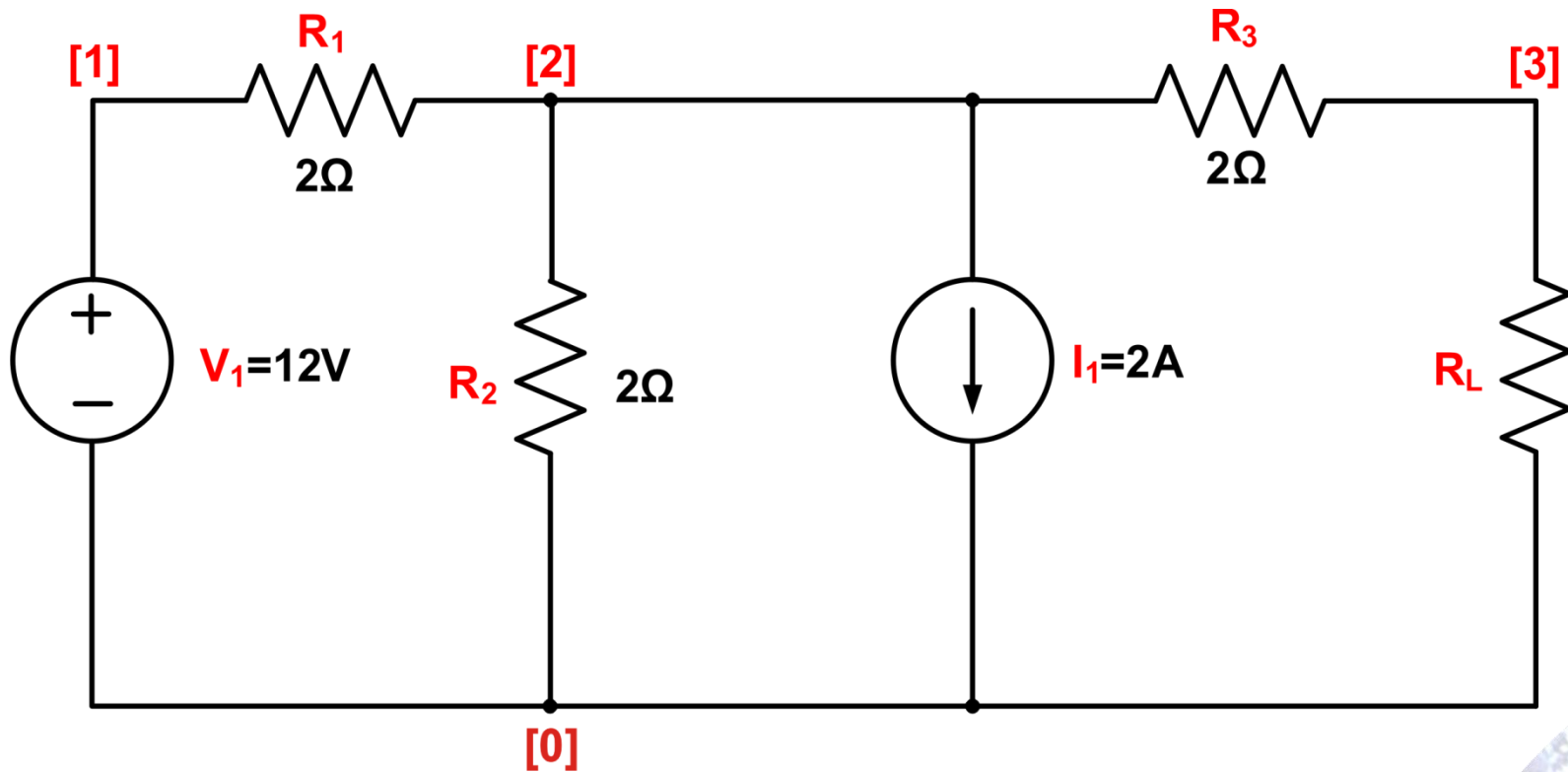
Exemplo 2 - Resolução

❖ Determinação dos nós



Exemplo 2 - Resolução

❖ Identificação dos Elementos



Exemplo 2 - Resolução

❖❖ Arquivo de Entrada

EXEMPLO-2

*FONTE DE TENSÃO INDEPENDENTE

V1 1 0 DC 12V

*FONTE DE CORRENTE INDEPENDENTE

I1 2 0 DC 2A

*RESISTORES

R1 1 2 2OHM

R2 2 0 2

R3 2 3 2

RL 3 0 RMOD 1 → **Parâmetro extra, para uso do modelo de resistor**

*MODELO DE RESISTOR

.MODEL RMOD RES (R=1) → **Chamada e configuração do modelo de resistor**

*TIPO DE ANÁLISE

.DC RES RMOD (R) 1 10 1 → **Variação linear da resistência R_L**

*REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA SOLUÇÃO

.PROBE → **Solução em formato gráfico**

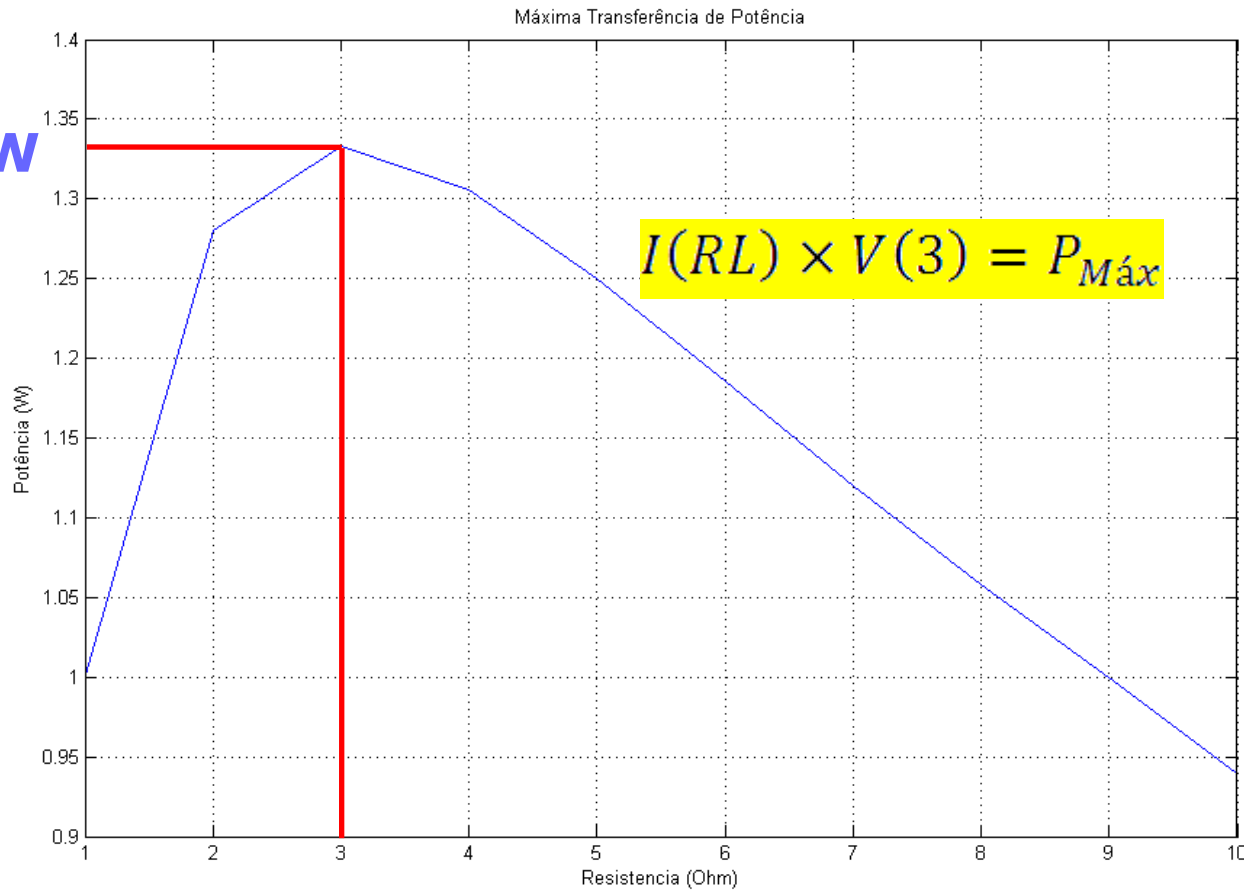
*FIM DO ARQUIVO

.END

Exemplo 2 - Resolução

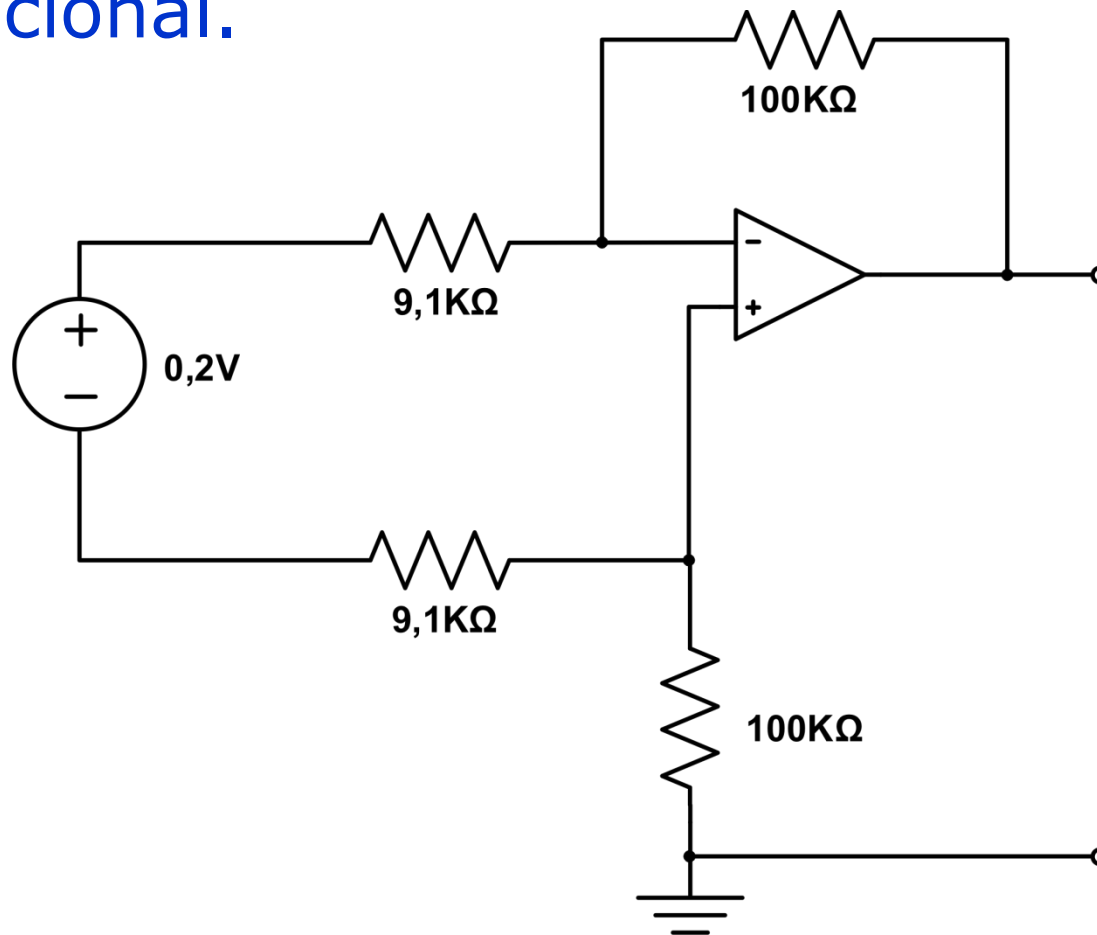
❖❖ Arquivo de saída

1,33W



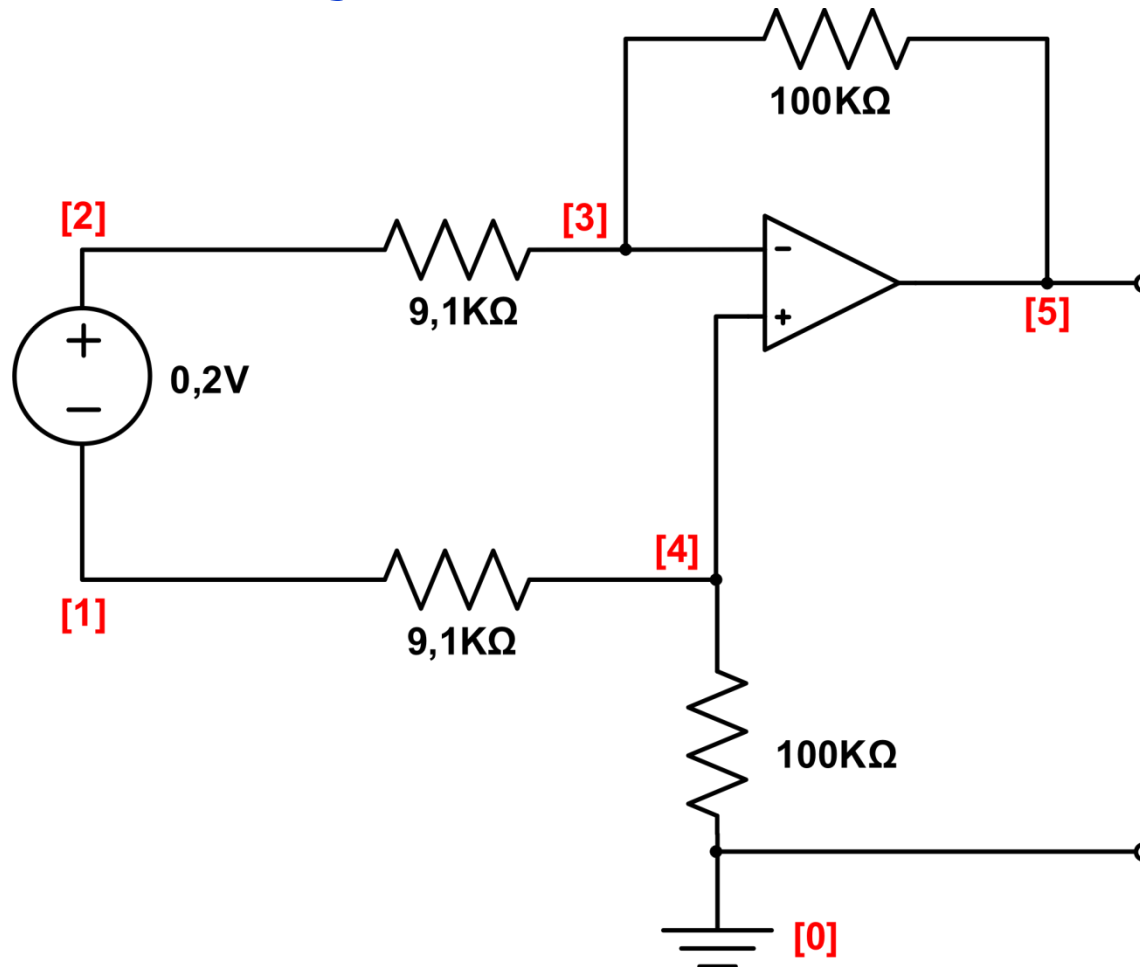
Exemplo 3

- ❖ Determine a tensão na saída do amplificador operacional.



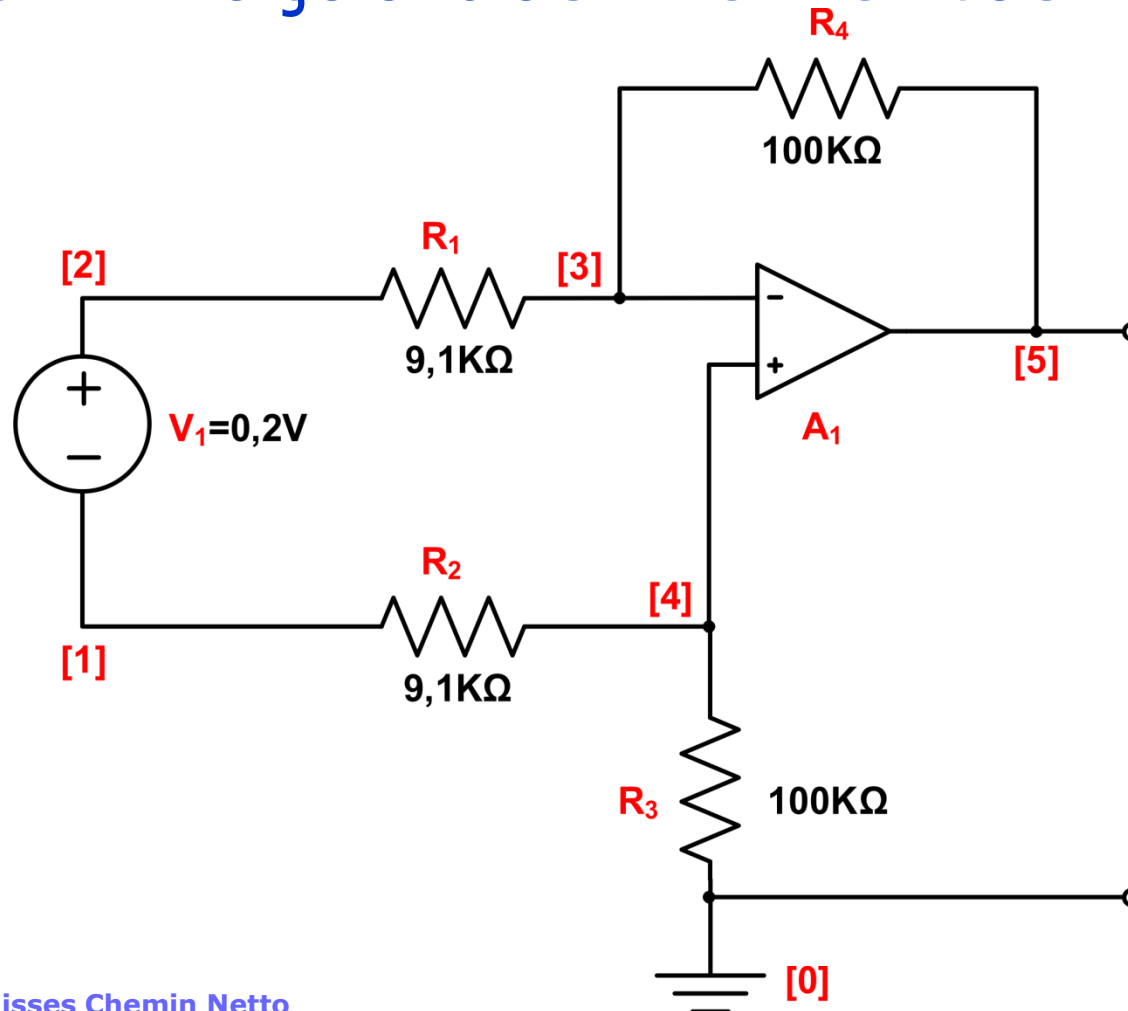
Exemplo 3 - Resolução

❖ Determinação dos nós



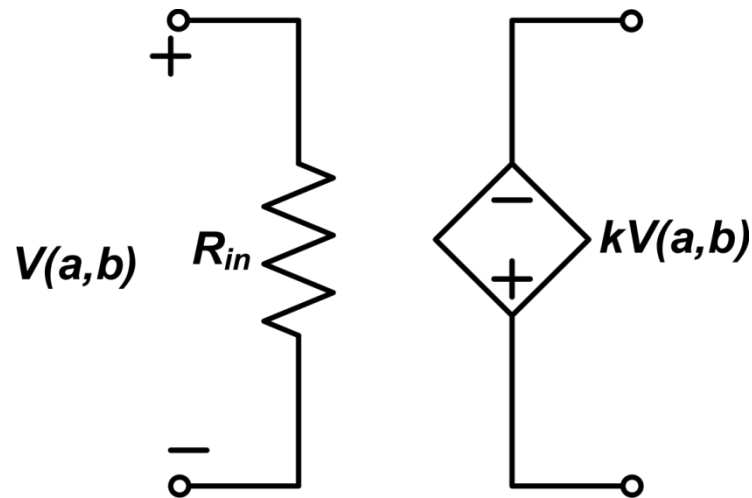
Exemplo 3 - Resolução

❖ Determinação dos Elementos



Exemplo 3 - Resolução

❖ Modelo simplificado para Amplificador



$$R_{in} = 10^{10} \Omega$$

$$K = 10^6$$

Exemplo 3 - Resolução

❖❖❖ Arquivo de Entrada

EXEMPLO 3

*FONTE DE TENSÃO INDEPENDENTE

V1 2 1 DC 0.2V

*RESISTORES

R1 2 3 9.1KOHM

R2 1 4 9.1K

R3 4 0 100K

R4 3 5 100K

*AMPLIFICADOR OPERACIONAL

XA1 4 3 5 OPAMP

→ Chamada, nome, pontos de conexão e sub-circuito

*CHAMADA DO SUB-CIRCUITO DO AMPLIFICADOR OPERACIONAL

.SUBCKT OPAMP 1 2 3

RIN 1 2 1E+10

EVO 0 3 1 2 1E+6

.ENDS

→ Definição, nome, pontos de conexão

→ Término do Sub-circuito

*TIPO DE ANÁLISE

.DC V1 0.2 0.2 1

*IMPRESSÃO DAS INFORMAÇÕES DESEJADAS EM FORMATO DE TABELA

.PRINT DC V(5)

*FIM DO ARQUIVO

.END

Exemplo 3 - Resolução

❖❖ Arquivo de Entrada-alternativa

EXEMPLO 3

*FONTE DE TENSÃO INDEPENDENTE

V1 2 1 DC 0.2V

*RESISTORES

R1 2 3 9.1KOHM

R2 1 4 9.1K

R3 4 0 100K

R4 3 5 100K

*AMPLIFICADOR OPERACIONAL

XA1 4 3 5 OPAMP

*CHAMADA DO SUB-CIRCUITO DO AMPLIFICADOR OPERACIONAL

.LIB OPAMP.CKT



Arquivo externo com o circuito equivalente do Amplificador

*TIPO DE ANÁLISE

.DC V1 0.2 0.2 1

*IMPRESSÃO DAS INFORMAÇÕES DESEJADAS EM FORMATO DE TABELA

.PRINT DC V(5)

*FIM DO ARQUIVO

.END

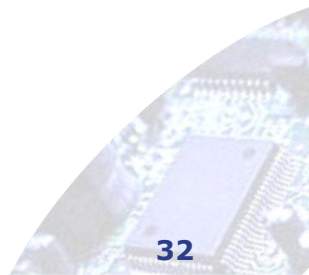
Exemplo 3 - Resolução

❖❖ Arquivo de Saída

EXEMPLO 3

**** DC TRANSFER CURVES TEMPERATURE = 27.000 DEG C

V1	V(5)
2.000E-01	-2.198E+00



Material de Apoio

- ❖ RASHID, Muhammad. H. *Spice for Circuits and Electronics Using Pspice*, 2nd ed. Prentice Hall. New Jersey, 1995.
- ❖ TUINENGA, Paul W. *Spice: A Guide to Circuit Simulation and Analysis Using Pspice*, 3rd ed. Prentice Hall. New Jersey, 1995.
- ❖ JOHNSON, David E., et. al. *Fundamentos de Análise de Circuitos Elétricos*, 4^a ed. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2000.
- ❖ IRWIN, J. David. *Análise de Circuitos em Engenharia*, 4^a ed. Pearson Makron Books, 2000
- ❖ QUARLES, T. , et. al. *SPICE3 Version 3f3 User's Manual*. Department of Electrical Engineering and Computer Sciences University of California. Berkeley. USA, 1993.
- ❖ STEER, Michael B., FRANZON, Paul D. *Spice: User's Guide and Reference*. Department of Electrical and Computer Engineering, North Carolina State University. North Carolina. USA, 2002.

Contato

- ❖ Prédio da elétrica, 2^o andar, 4^a porta lado esquerdo, no final do corredor – Sexta-Feira das 12:00 às 18:00 h.
- ❖ e-mail : uchenin@sel.eesc.usp.br