

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação

# Análise do comando .MEAS do LTSpice

Fabício de Almeida Brito  
Prof. José Marcos Alves

Novembro/ 2015

# Índice

<b>Análise do comando .MEAS</b>		Pag.
<b>1. Introdução</b>		48
<b>2. Tipos básicos de declaração</b>		49
2.1. Medidas em apenas um ponto		49
2.2. Medidas em um intervalo		50
<b>3. Exemplos de aplicação</b>		52
<b>3.1. Medidas em apenas um ponto</b>		52
3.1.1. Medição num instante específico		53
3.1.2. Obtenção do instante no qual uma condição é satisfeita		56
3.1.3. Medição dependente do atendimento de uma condição		58
3.1.4. Cálculo de expressões envolvendo variáveis da simulação		60
<b>3.2. Medidas em um intervalo</b>		62
3.2.1. Medição computada sobre todo o intervalo de dados		63
3.2.2. Medição sobre intervalos diretamente declarados		64
3.2.3. Medição com intervalo definido pelo atendimento de condições		67
3.2.4. Obtenção do intervalo entre o atendimento de condições		72

## Lista de Figuras

Fig.	<b>3.1. Medidas em apenas um ponto</b>	Pág.
1	Análise no domínio do tempo para um circuito RC	52
	<b>3.1.1. Medição num instante específico</b>	
2	Obtenção gráfica, por meio do uso de cursores, do valor de $V(\text{out})$ , no instante 20 $\mu\text{s}$ .	53
3	Resultado do comando “.meas” na determinação de $V(\text{out})$ em 20 $\mu\text{s}$ . Obtido em Spice Error Log (Ctrl + L).	53
4	Obtenção gráfica, por meio do uso de cursores, do valor de $I(r) * V(\text{in}, \text{out})$ no instante 20 $\mu\text{s}$ .	54
5	Resultado do comando “.meas” na determinação de $I(r) * V(\text{in}, \text{out})$ em 20 $\mu\text{s}$ . Obtido em Spice Error Log (Ctrl + L).	54
6	Obtenção gráfica do valor da derivada de $V(\text{out})$ no instante 20 $\mu\text{s}$ .	55
7	Resultado do comando “.meas” na determinação da derivada de $V(\text{out})$ em 20 $\mu\text{s}$ . Obtido em Spice Error Log (Ctrl + L).	55
	<b>3.1.2. Obtenção do instante no qual uma condição é satisfeita</b>	
8	Obtenção gráfica dos instantes de tempo em que $V(\text{out}) = 0,5\text{V}$ .	57
9	Resultado do comando “.meas” na determinação dos instantes de atendimento de $V(\text{out}) = 0,5\text{V}$ . Obtido em Spice Error Log (Ctrl + L).	57
	<b>3.1.3. Medição dependente do atendimento de uma condição</b>	
10	Obtenção gráfica do valor de $I(R)$ quando $V(\text{out}) = 0,5\text{V}$ .	58
11	Resultado do comando “.meas” na determinação de $I(R)$ quando $V(\text{out}) = 0,5\text{V}$ . Obtido em Spice Error Log (Ctrl + L).	58
12	Obtenção gráfica do valor de $I(R) * V(\text{in}, \text{out})$ quando $V(\text{out}) = 0,5\text{V}$ .	59
13	Resultado do comando “.meas” na determinação de $I(R) * V(\text{in}, \text{out})$ no último atendimento de $V(\text{out}) = 0,5\text{V}$ . Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).	59
	<b>3.1.4. Cálculo de expressões envolvendo variáveis da simulação</b>	
14	Observação dos resultados res4 e res5, determinados pelo atendimento da condição $V(\text{out}) = 0,5\text{V}$ .	60
15	Resultado do comando “.meas” na determinação de $3 * \text{res4} / \text{res5}$ . Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).	60
16	Observação do resultado res6, determinado pelo segundo atendimento da condição $V(\text{out}) = 0,5\text{V}$ .	61
17	Resultado do comando “.meas” na determinação de $\log_{10} \text{res6} $ . Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).	61
	<b>3.2. Medidas em um intervalo</b>	
18	Filtro passa banda com frequência central de passagem em 1 kHz.	62
	<b>3.2.1. Medição computada sobre todo o intervalo de dados</b>	
19	Obtenção gráfica do máximo e do mínimo da magnitude de $V(\text{out})$ .	63
20	Resultado do comando “.meas” na determinação do máximo e do mínimo da magnitude de $V(\text{out})$ . Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).	64

## Lista de Figuras (cont.)

Fig.	3.2. Medidas em um intervalo	Pág.
	<b>3.2.2. Medição sobre intervalos diretamente declarados</b>	
21	Obtenção gráfica do máximo e do mínimo da magnitude de V(out) no intervalo de 100 Hz a 1 kHz.	65
22	Resultado do comando “.meas” na determinação do máximo e do mínimo da magnitude de V(out) no intervalo de 100 Hz a 1 kHz. Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).	65
23	Obtenção gráfica do máximo da magnitude de V(out) no intervalo de 1 Hz a 1 kHz.	66
24	Resultado do comando “.meas” na determinação do máximo da magnitude de V(out) no intervalo de 1 Hz a 1 kHz. Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).	66
	<b>3.2.3. Medição com intervalo definido pelo atendimento de condições</b>	
25	Obtenção gráfica do mínimo da magnitude de V(out) no intervalo definido pelo primeiro atendimento das condições V(out) = 0,5 e V(out) = 2,0.	68
26	Resultado do comando “.meas” na determinação do mínimo da magnitude de V(out) no intervalo definido pelo primeiro atendimento das condições V(out) = 0,5 e V(out) = 2,0. Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).	68
27	Obtenção gráfica do valor máximo da magnitude de V(a), limitando a busca ao intervalo definido pelas passagens de V(out) pelo valor 0,5.	69
28	Resultado do comando “.meas” na determinação do máximo da magnitude de V(a), limitando a busca ao intervalo definido pelas passagens de V(out) pelo valor 0,5. Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).	69
29	Obtenção gráfica do valor máximo da magnitude de V(out), limitando a busca ao intervalo definido pela primeira passagens de V(out) pelo valor 0,5 e a frequência de 1 MHz.	70
30	Resultado do comando “.meas” na determinação do máximo da magnitude de V(out), limitando a busca ao intervalo definido pela primeira passagem de V(out) pelo valor 0,5 e a frequência de 1 MHz. Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).	70
31	Obtenção gráfica do valor máximo da magnitude de V(out), limitando a busca no intervalo definido pela primeira passagens de V(out) pelo valor 0,5 e a frequência de 1 kHz.	71
32	Resultado do comando “.meas” na determinação do máximo da magnitude de V(out), limitando a busca ao intervalo definido pela primeira passagem de V(out) pelo valor 0,5 e a frequência de 1 kHz. Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).	71
	<b>3.2.4. Obtenção do intervalo entre o atendimento de condições</b>	
33	Obtenção gráfica do intervalo de frequências limitado entre os atendimentos de $V(out) = \text{MAX}(V(out)) / \sqrt{2}$ .	73
34	Resultado do comando “.meas” na determinação do intervalo limitado entre os atendimentos de $V(out) = \text{MAX}(V(out)) / \sqrt{2}$ . Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).	73

## 1. Introdução

O comando “.meas” permite ao usuário realizar medições sobre o conjunto de dados de uma simulação, permitindo medidas como:

- Tempo de subida e de descida;
- Cálculo da média, do valor eficaz, do máximo, do mínimo e do valor pico-a-pico de um sinal;
- Medidas do tipo: Encontre o valor de X quando ocorrer Y;
- Cálculo da derivada ou da integral de um sinal;

Sua inserção é efetuada através da ferramenta “**SPICE directive**”, a qual pode ser acessada através da barra de ferramentas (último botão à direita), ou através do atalho no teclado “**s**”.

Os resultados do comando podem ser visualizados, apenas após o término da simulação, no arquivo “SPICE Error Log”, o qual pode ser acessado na barra de ferramentas em “View >>> SPICE Error Log” ou pelo atalho no teclado “**Ctrl + L**”.

## 2. Tipos básicos de declaração

Existem dois tipos básicos de declarações para a diretiva “.meas”: aquelas que se referem a apenas um ponto e aquelas que se referem a uma faixa de valores ao longo do eixo das abscissas (Eixo horizontal, por exemplo: eixo do tempo numa simulação “.tran”).

### 2.1. Medidas em apenas um ponto

A primeira versão, aquela que aponta para apenas um ponto, é usada para imprimir o valor de uma expressão em um ponto específico ou quando uma condição for atingida. A sintaxe para esse tipo de medição pode ser observada a seguir:

```
.MEAS [AC|DC|OP|TRAN|TF|NOISE] <NOME_VARIÁVEL>
+ [<FIND|DERIV|PARAM> <EXPR>]
+ [WHEN <EXPR> | AT = <EXPR>]
+ [TD = <VAL>]
+ [<RISE|FALL|CROSS> = [FIRST|<COUNT>|LAST]]1
```

O primeiro parâmetro, [AC|DC|OP|TRAN|TF|NOISE], especifica o tipo de simulação na qual a medição será efetuada. Tal informação é opcional e, caso omitida, o comando será executado para todos os tipos de simulação.

Em seguida, define-se o nome da variável (<nome\_variável>) que receberá o resultado da medição. O nome da variável não pode ser omitido, nem repetido e pode ser utilizado na construção de uma expressão em outro comando “.meas” de forma a se recuperar um resultado salvo.

O parâmetro [<FIND|DERIV|PARAM> <expr>] define a expressão (<expr>) a ser utilizada, porém, com três diferentes abordagens. As duas primeiras são utilizadas para se retirar dados diretamente da simulação, com a diferença de que “find” apenas obtém o resultado da expressão, enquanto que “deriv” obtém o resultado da derivada da expressão. A última abordagem, “param”, é utilizada para retornar o resultado de expressões contendo apenas variáveis da simulação.

[WHEN <expr> | AT = <expr>] especifica o momento de atendimento de uma medição. Utiliza-se “at” para definir um ponto no eixo das abscissas no qual se deseja a medição. Por exemplo, no caso de uma simulação “.tran”, pode-se definir o instante de tempo exato no qual se deseja uma medição.

<sup>1</sup> Spice directives aceitam comandos multilinhas; para isso, deve-se inserir, no início das linhas adicionais, o símbolo +.

Utiliza-se “**when**” para especificar uma condição que, quando atendida, realizará uma medição. A condição especificada pode, durante a execução da simulação, ser atendida mais de uma vez. O padrão do LTspice é a execução da medição no primeiro atendimento da condição, no entanto, utilizando [**<RISE|FALL|CROSS> = [FIRST|<count>|LAST]**] pode-se alterar para outros momentos de atendimento da condição.

“**Rise**” é utilizado quando se deseja uma medição na parte crescente de um sinal ou expressão, “**fall**” para quando se deseja na parte decrescente e “**cross**” para um momento qualquer de atendimento da condição. Esses comandos devem ser seguidos de “**first**”, de “**last**” ou de um número inteiro positivo identificando o momento de atendimento da condição.

Por último, pode-se ainda acrescentar [**TD = <val>**], o qual representa um atraso, a partir do início da simulação, para que a medição seja efetuada.

## 2.2. Medidas em um intervalo

A segunda versão para o comando “**.meas**” refere-se a uma medição sobre um intervalo no eixo das abscissas. A sintaxe para esse caso é:

```
.MEAS [AC|DC|OP|TRAN|TF|NOISE] <NOME_VARIÁVEL>
+ [<AVG|MAX|MIN|PP|RMS|INTEG> <EXPR>]
+ [FROM <VAL1>]
+ [TRIG <EXPR_ESQ> [[VAL]=]<EXPR_DIR>]
+ [TD=<VAL3>]
+ [<RISE|FALL|CROSS> = [FIRST|<COUNT1>|LAST]]
+ [TO <VAL2>]
+ [TARG <EXPR_ESQ> [[VAL]=]<EXPR_DIR>]
+ [TD=<VAL4>]
+ [<RISE|FALL|CROSS> = [FIRST|<COUNT2>|LAST]]
```

A primeira parte do comando, [**AC|DC|OP|TRAN|TF|NOISE**] **<nome\_variável>**, especifica o tipo de simulação na qual a medição será efetuada e o nome da variável que receberá o resultado de tal medição.

Então, especifica-se o tipo de operação e a expressão de análise: [**<AVG|MAX|MIN|PP|RMS|INTEG>** **<expr>**].

Os tipos de operação são divididos em:

- **AVG**: Computa o valor médio da expressão (**<expr>**);
- **MAX**: Determina o valor máximo de **<expr>**;
- **MIN**: Determina o valor mínimo de **<expr>**;
- **PP**: Determina o valor pico a pico de **<expr>**;

- RMS: Computa o valor eficaz de **<expr>**;
- INTEG: Computa a integral da expressão (**<expr>**);

O padrão do LTspice é realizar suas medições sobre o intervalo completo de simulação, no entanto, pode-se limitar tais medidas a um intervalo menor, por meio da determinação direta de seu início ou término ou por meio da declaração de condições que, quando atendidas, especificam o intervalo de medições.

Caso haja a necessidade, pode-se modificar apenas uma das extremidades do intervalo de medidas. Nesses casos, a extremidade não declarada é mantida tal como no padrão do programa, ou seja, igual a um dos limites do intervalo de simulação.

O primeiro método para a definição do intervalo de medidas é a declaração direta de seu início e término, os quais são realizados por meio de: **FROM <val1> TO <val2>**, sendo **<val1>** o início e **<val2>** o fim de tal intervalo.

O segundo método utiliza-se do atendimento de condições para estabelecer o intervalo de medidas. Esse método utiliza a seguinte sintaxe:

```
+ [TRIG <EXPR_ESQ> [ [VAL]=<EXPR_DIR> ]
+      [TD=<VAL3>]
+      [<RISE|FALL|CROSS> = [FIRST|<COUNT1>|LAST] ]
+ [TARG <EXPR_ESQ> [ [VAL]=<EXPR_DIR> ]
+      [TD=<VAL4>]
+      [<RISE|FALL|CROSS> = [FIRST|<COUNT2>|LAST] ]
```

A condição descrita após **TRIG** marca, com seu atendimento, o início do intervalo de medições e a descrita após **TARG** marca o fim de tal intervalo.

Tais condições podem ser construídas de duas formas: com sua igualdade na própria expressão, como por exemplo, **TRIG V(out) = 0.5**, ou por meio da separação dos termos da igualdade e da utilização de **[VAL]=<expr\_dir>**, como por exemplo: **TRIG V(out) VAL = 0.5**.

O padrão do LTspice para o atendimento da condição descrita é para o primeiro momento no qual ela se tornar verdadeira, no entanto, pode-se alterar tal momento de atendimento utilizando: **[<RISE|FALL|CROSS> = [FIRST|<count>|LAST]]**.

“**Rise**” especifica que a condição somente se torna verdadeira nos momentos que o sinal ou a expressão de análise for crescente, “**fall**” nos momentos que a expressão de análise for decrescente e “**cross**” para qualquer momento de atendimento da condição. Esses comandos devem ser seguidos de “**first**”, “**last**” ou um número inteiro positivo, os quais identificam o momento desejado de atendimento da condição. Pode-se ainda acrescentar ao comando **[TD = <val>]**, o qual representa um atraso, a partir do início da simulação, no qual a condição definida não é atendida.



### 3. Exemplos de aplicação

Os exemplos abordados nesse documento buscam explorar todas as possíveis declarações do comando **“.meas”**, em medições pontuais e em medições num intervalo de valores do eixo das abscissas.

#### 3.1. Medidas em apenas um ponto

A Figura 1, apresentada abaixo, apresenta um circuito constituído de uma fonte, um resistor de 1 k $\Omega$  e um capacitor de 10 nF. A fonte utilizada gera uma onda quadrada de 0 a 1 V com período igual a 200  $\mu$ s e tempo ativo de 100  $\mu$ s e a simulação realizada foi no domínio do tempo, de 0 a 200  $\mu$ s, a um passo de 1 ns.

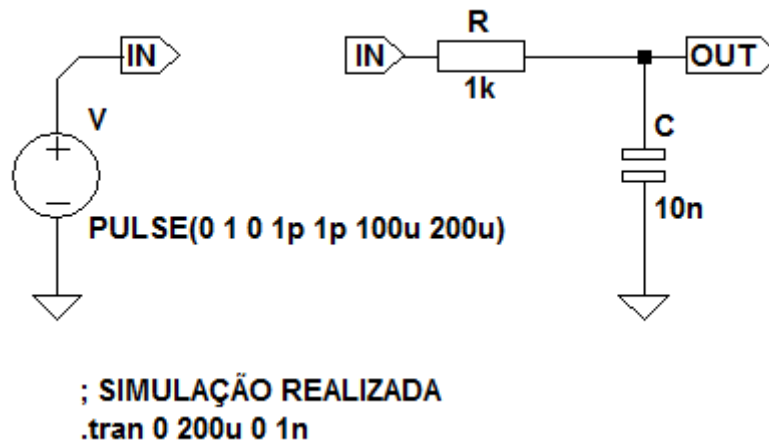


Figura 1: Análise no domínio do tempo para um circuito RC

As medidas pontuais possíveis são divididas em quatro categorias: Medição num instante específico; Obtenção do instante no qual uma condição é satisfeita; Medição dependente do atendimento de uma condição; e Cálculo de expressões envolvendo variáveis da simulação.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> As categorias citadas são também validas para outros tipos de simulação, tais como: simulações do ponto de operação (OP) e simulações no domínio da frequência (AC).

### 3.1.1. Medição num instante específico

Obtém o resultado de uma expressão ou de sua derivada em um instante de tempo específico, inserido no comando. A sintaxe do comando é:

```
.MEAS TRAN <NOME_VARIÁVEL> [FIND|DERIV] <EXPR> AT=<EXPR>
```

Exemplos:

```
.meas tran res1 find V(out) at=20u
```

Retorna, na variável res1, o valor de V(out) no instante de tempo  $t = 20\mu\text{s}$ .

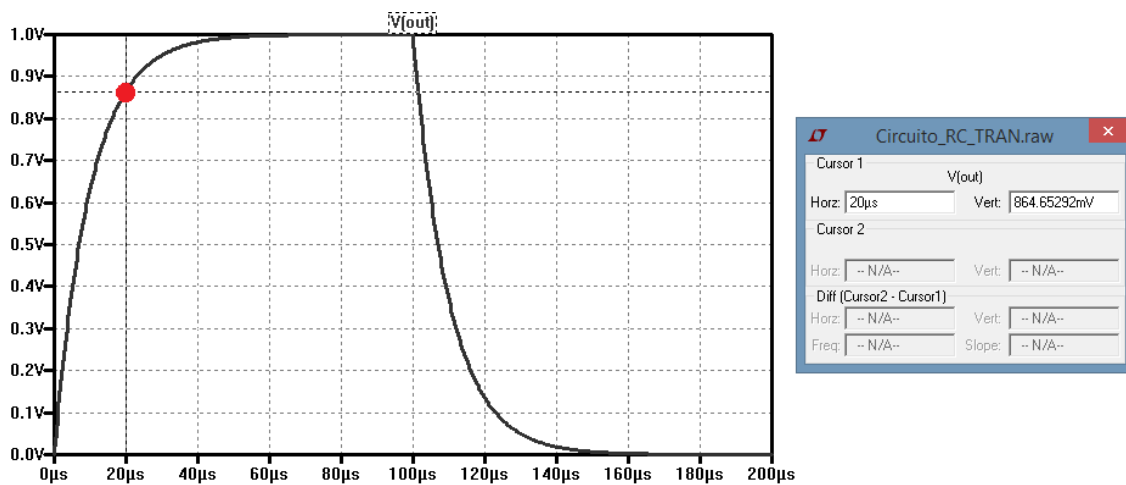


Figura 2: Obtenção gráfica, por meio do uso de cursores, do valor de V(out), no instante  $20\mu\text{s}$ .

```
SPICE Error Log: C:\Users\Fabrcio\Desktop\LTspice .MEAS\Circuito_RC_TRAN.log

--- Expanded Netlist ---
* C:\Users\Fabrcio\Desktop\LTspice .MEAS\Circuito_RC_TRAN.asc
v in 0 pulse(0 1 0 1p 1p 100u 200u) rser=0
c out 0 10n
r in out 1k
.tran 0 200u 0 1n
.end

.OP point found by inspection.
res1: v(out)=0.864653 at 2e-005
```

Figura 3: Resultado do comando “.meas” na determinação de V(out) em  $20\mu\text{s}$ . Obtido em Spice Error Log (Ctrl + L).

`.meas tran res2 find I(r)*V(in,out) at =20u`

Retorna, na variável res2, o valor da expressão  $I(r) * V(in,out)$  no instante de tempo  $t = 20 \mu s$ .

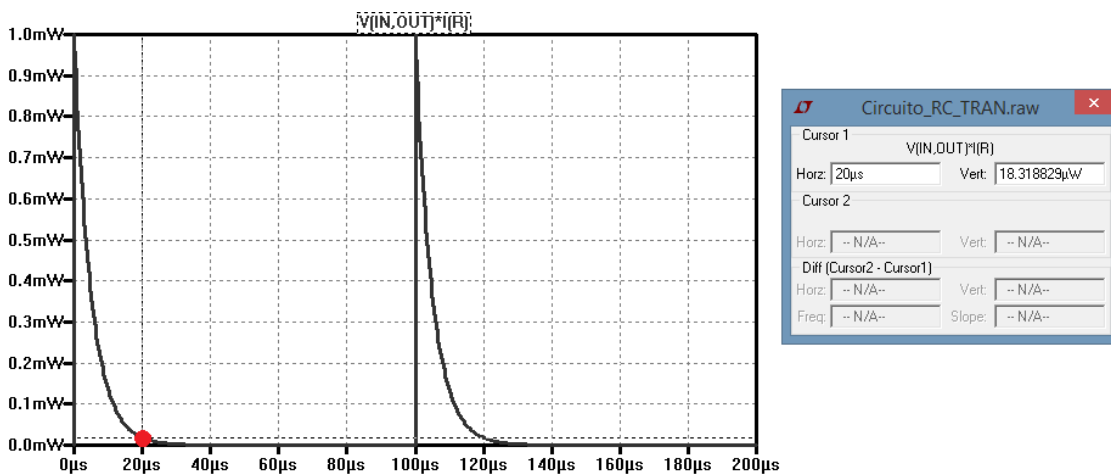


Figura 4: Obtenção gráfica, por meio do uso de cursores, do valor de  $I(r) * V(in,out)$  no instante  $20 \mu s$ .

```

--- Expanded Netlist ---
* C:\Users\Fabricao\Desktop\LTspice .MEAS\Circuito_RC_TRAN.asc
v in 0 pulse(0 1 0 1p 1p 100u 200u) rser=0
c out 0 10n
r in out 1k
.tran 0 200u 0 1n
.end

.OP point found by inspection.
res2: i(r)*v(in,out)=1.83188e-005 at 2e-005

```

Figura 5: Resultado do comando “.meas” na determinação de  $I(r) * V(in, out)$  em  $20 \mu s$ . Obtido em Spice Error Log (Ctrl + L).

`.meas tran res3 deriv V(out) at=20u`

Retorna, na variável res3, o valor da derivada de V(out) no instante de tempo  $t = 20\mu\text{s}$ .

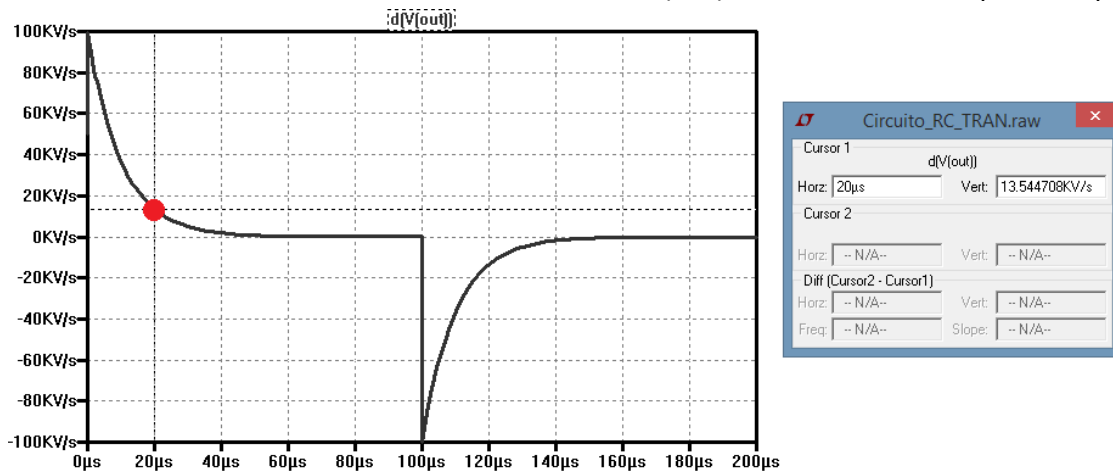


Figura 6: Obtenção gráfica do valor da derivada de V(out) no instante  $20\mu\text{s}$ .

A janela 'SPICE Error Log: C:\Users\Fabrcio\Desktop\LTspice .MEAS\Circuito\_RC\_TRAN.log' exibe o seguinte conteúdo:

```

--- Expanded Netlist ---
* C:\Users\Fabrcio\Desktop\LTspice .MEAS\Circuito_RC_TRAN.asc
v in 0 pulse(0 1 0 1p 1p 100u 200u) rser=0
c out 0 10n
r in out 1k
.tran 0 200u 0 10n
.end

.OP point found by inspection.
res3: D(v(out))=13544.7 at 2e-005
  
```

Figura 7: Resultado do comando “.meas” na determinação da derivada de V(out) em  $20\mu\text{s}$ . Obtido em Spice Error Log (Ctrl + L).

### 3.1.2. Obtenção do instante no qual uma condição é satisfeita

Obtém o instante de tempo quando a condição estabelecida for atendida. Dependendo da declaração do comando, pode-se obter os diferentes momentos no qual a condição foi atendida. A sintaxe é:

```
.MEAS TRAN <NOME_VARIÁVEL> WHEN <EXPR>
+ [TD=<VAL>]
+ [<RISE | FALL | CROSS>= [<COUNT> | LAST ]]
```

Exemplos: Todos os comandos descritos a seguir referem-se a uma mesma condição que, no intervalo de 0 a 200  $\mu$ s, é atendida mais de uma vez. Os resultados observados estão contidos nas Figuras 8 e 9.

```
.meas tran res4 when V(out)=0.5
```

Retorna, na variável res4, o tempo do primeiro momento em que  $V(out) = 0,5$  for verdadeiro.

```
.meas tran res5 when V(out)=0.5 td=100u
```

Retorna, na variável res5, o tempo do primeiro atendimento da condição  $V(out) = 0,5$ , porém depois de um atraso de 100  $\mu$ s, isto é, o comando fica ativo apenas no intervalo de 100 a 200  $\mu$ s.

```
.meas tran res6 when V(out)=0.5 cross=2
```

Retorna, na variável res6, o instante de tempo do segundo atendimento da condição.

```
.meas tran res7 when V(out)=0.5 cross=last
```

Retorna, na variável res7, o tempo do último atendimento da condição.

```
.meas tran res8 when V(out)=0.5 rise=first
```

Retorna, na variável res8, o tempo do primeiro momento em que as duas condições forem verdadeiras:  $V(out) = 0,5$  e sinal  $V(out)$  crescente.

```
.meas tran res9 when V(out)=0.5 fall=last
```

Retorna, na variável res9, o tempo do último momento em que as duas condições forem verdadeiras:  $V(out) = 0,5$  e sinal  $V(out)$  decrescente.

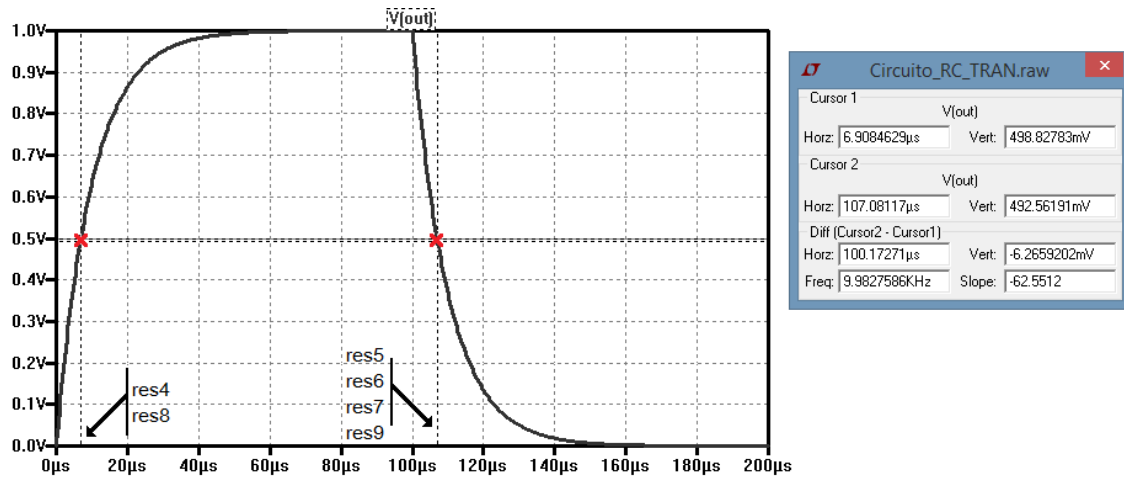


Figura 8: Obtenção gráfica dos instantes de tempo em que  $V(\text{out}) = 0,5V$ .

```

SPICE Error Log: C:\Users\Fabrcio\Desktop\LTspice .MEAS\Circuito_RC_TRAN.log

* C:\Users\Fabrcio\Desktop\LTspice .MEAS\Circuito_RC_TRAN.asc
v in 0 pulse(0 1 0 lp lp 100u 200u) rser=0
c out 0 10n
r in out 1k
.tran 0 200u 0 10n
.end

.OP point found by inspection.

res4: v(out)=0.5 AT 6.93253e-006
res5: v(out)=0.5 AT 0.000106929
res6: v(out)=0.5 AT 0.000106929
res7: v(out)=0.5 AT 0.000106929
res8: v(out)=0.5 AT 6.93253e-006
res9: v(out)=0.5 AT 0.000106929

```

Figura 9: Resultado do comando “.meas” na determinação dos instantes de atendimento de  $V(\text{out}) = 0,5V$ . Obtido em Spice Error Log (Ctrl + L).

### 3.1.3. Medição dependente do atendimento de uma condição

Obtém o resultado de uma expressão ou de sua derivada no instante que a condição estabelecida for atendida. Dependendo da declaração do comando, pode-se obter diferentes resultados, os quais refletem nos diferentes momentos no qual a condição foi atendida. A sintaxe para esse caso é:

```
.MEAS TRAN <NOME_VARIÁVEL> FIND <EXPR> WHEN <EXPR>
+ [TD=<VAL>]
+ [<RISE | FALL | CROSS>= [<COUNT> | LAST ]
```

Exemplos:

```
.meas tran res10 find I(r) when V(out)=0.5
```

Retorna, na variável res10, o valor de  $I(r)$  quando a condição  $V(out) = 0,5$  for satisfeita pela primeira vez.

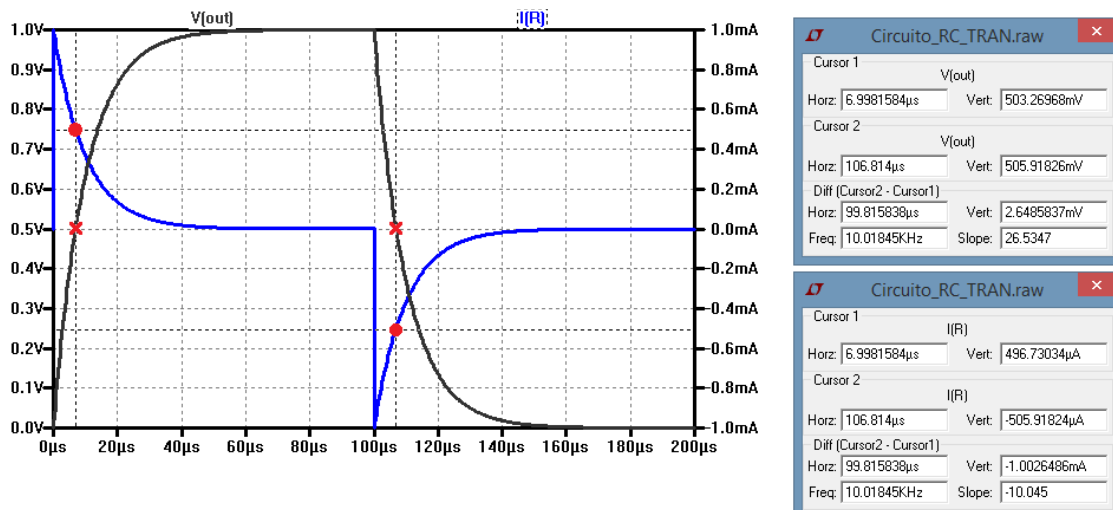


Figura 10: Obtenção gráfica do valor de  $I(R)$  quando  $V(out) = 0,5V$ .

```
SPICE Error Log: C:\Users\Fabrcio\Desktop\LTspice .MEAS\Circuito_RC_TRAN.log
--- Expanded Netlist ---
* C:\Users\Fabrcio\Desktop\LTspice .MEAS\Circuito_RC_TRAN.asc
v in 0 pulse(0 1 0 1p 1p 100u 200u) rser=0
c out 0 10n
r in out 1k
.tran 0 200u 0 1n
.end

.OP point found by inspection.
res10: i(r)=0.0005 at 6.93213e-006
```

Figura 11: Resultado do comando “.meas” na determinação de  $I(R)$  quando  $V(out) = 0,5V$ . Obtido em Spice Error Log (Ctrl + L).

```
.meas tran res11 find I(r)*V(in,out)
+ when v(out)=0.5 cross=last
```

Retorna, na variável res11, o valor da expressão  $I(r) * V(in,out)$  quando a condição  $V(out) = 0,5$  for satisfeita pela última vez.

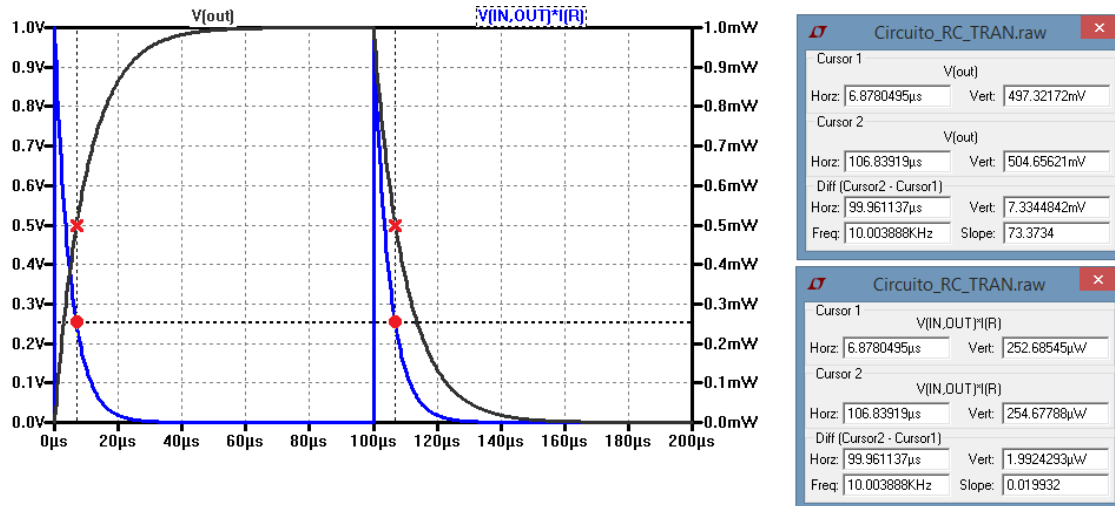


Figura 12: Obtenção gráfica do valor de  $I(R) * V(in, out)$  quando  $V(out) = 0,5V$ .

```
--- Expanded Netlist ---
* C:\Users\Fabricao\Desktop\LTspice .MEAS\Circuito_RC_TRAN.asc
v in 0 pulse(0 1 0 1p 1p 100u 200u) rser=0
c out 0 10n
r in out 1k
.tran 0 200u 0 1n
.end

.OP point found by inspection.

res11: i(r)*v(in,out)=0.00025 at 0.000106932
```

Figura 13: Resultado do comando “.meas” na determinação de  $I(R) * V(in, out)$  no último atendimento de  $V(out) = 0,5V$ . Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).



### 3.1.4. Cálculo de expressões envolvendo variáveis da simulação

Esse tipo de declaração do comando “.meas” obtém o resultado de uma expressão construída apenas com variáveis da simulação. Sendo assim, não se obtém novos dados, apenas manipula-se os existentes. A sintaxe é:

**.MEAS [TRAN] <NOME\_VARIÁVEL> PARAM <EXPR>**

Exemplos:

**.meas tran res12 param 3\*res4/res5**

Retorna, na variável res12, o valor da expressão  $3 * \text{res4} / \text{res5}$  apenas se uma simulação “.tran” tiver sido realizada.

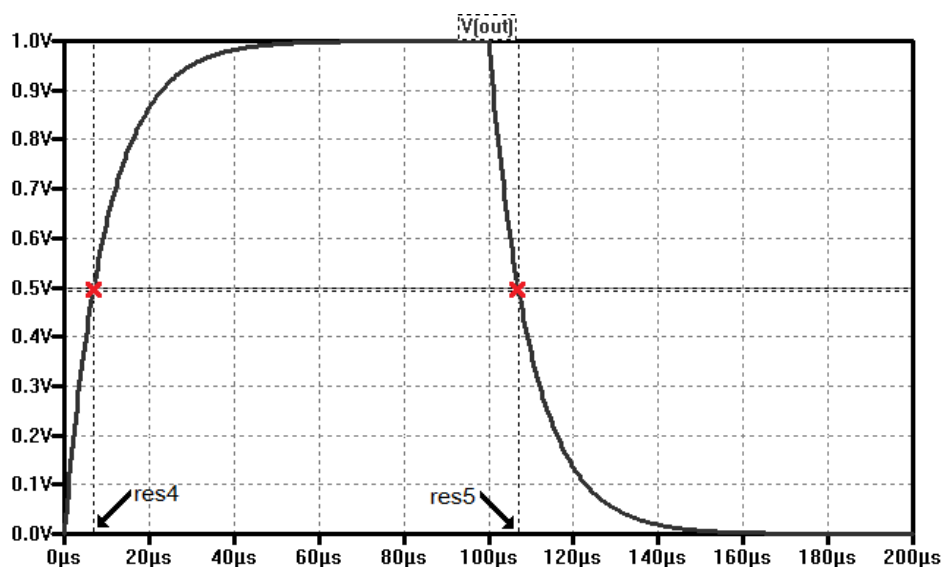


Figura 14: Os resultados res4 e res5 são instantes de tempo determinados pelo atendimento da condição  $V(\text{out}) = 0,5\text{V}$ .

```

SPICE Error Log: C:\Users\Fabrcio\Desktop\LTspice.MEAS\Circuito_RC_TRAN.log
--- Expanded Netlist ---
* C:\Users\Fabrcio\Desktop\LTspice.MEAS\Circuito_RC_TRAN.asc
v in 0 pulse(0 1 0 1p 1p 100u 200u) rser=0
c out 0 10n
r in out 1k
.tran 0 200u 0 1n
.end

.OP point found by inspection.

res4: v(out)=0.5 AT 6.93213e-006
res5: v(out)=0.5 AT 0.000106932
res12: 3*res4/res5=0.194482
  
```

Figura 15: Resultado do comando “.meas” na determinação de  $3 * \text{res4} / \text{res5}$ . Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).

`.meas res13 param log10(abs(res6))`

Retorna, na variável res13, o valor da expressão  $\log_{10} |res6|$ , não importando o tipo de simulação realizada.

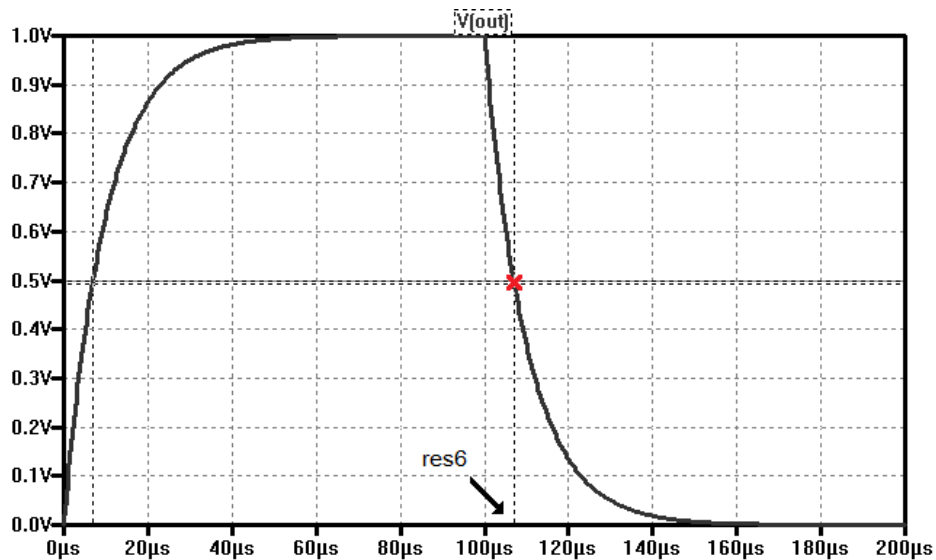


Figura 16: O resultado res6 representa o instante de tempo determinado pelo atendimento da condição  $V(out) = 0,5V$ .

```

SPICE Error Log: C:\Users\Fabrcio\Desktop\LTspice .MEAS\Circuito_RC_TRAN.log
--- Expanded Netlist ---
* C:\Users\Fabrcio\Desktop\LTspice .MEAS\Circuito_RC_TRAN.asc
v in 0 pulse(0 1 0 1p 1p 100u 200u) rser=0
c out 0 10n
r in out 1k
.tran 0 200u 0 1n
.end

.OP point found by inspection.

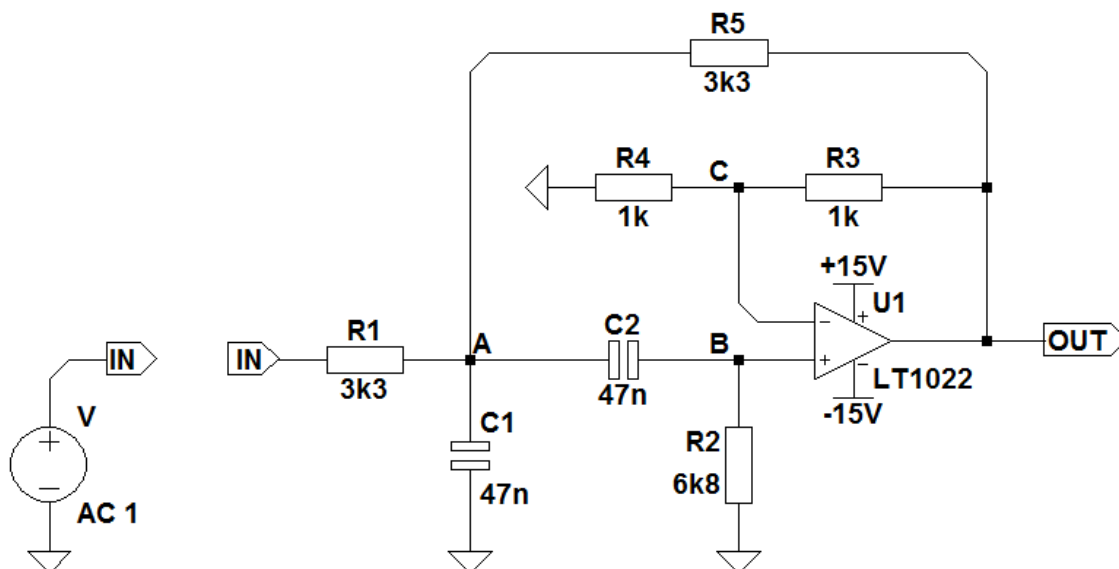
res6: v(out)=0.5 AT 0.000106932
res13: log10(abs(res6))=-3.97089

```

Figura 17: Resultado do comando “.meas” na determinação de  $\log_{10}|res6|$ . Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).

### 3.2. Medidas em um intervalo

A Figura 17 apresenta um filtro passa banda ativo, projetado para um ganho de 2V/V (6,02 dB) na frequência 1 kHz, sua frequência central de passagem. A simulação realizada foi no domínio da frequência, de 1Hz a 1 MHz, com 1000 pontos por década.



**; SIMULAÇÃO REALIZADA**  
**.ac dec 1000 1 1meg**

Figura 18: Filtro passa banda com frequência central de passagem em 1 kHz.

As medidas possíveis são divididas em quatro categorias: Medição computada sobre todo o intervalo de dados; Medição sobre intervalos diretamente declarados; Medição com intervalo definido pelo atendimento de condições; e Obtenção do intervalo entre o atendimento de condições.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> As categorias citadas são também válidas para outros tipos de simulação, tais como: simulações do ponto de operação (OP) e simulações no domínio do tempo (TRAN).

### 3.2.1. Medição computada sobre todo o intervalo de dados

Obtém a média, o máximo, o mínimo, o valor pico-a-pico, o valor eficaz ou a integral de uma expressão computados sobre todo o intervalo de simulação. A sintaxe para esse caso é:

```
.MEAS AC <NOME_VARIÁVEL>  
+ [<AVG|MAX|MIN|PP|RMS|INTEG> <EXPR>]
```

Exemplos:

Os comandos descritos a seguir referem-se à uma mesma expressão de análise, diferindo apenas no fato de um computar o máximo e o outro computar o mínimo da expressão. Sendo assim, seus resultados foram agrupados e podem ser observados nas Figuras 19 e 20.

```
.meas ac res1 max mag(V(out))
```

Retorna, na variável res1, o valor máximo do sinal  $\text{mag}(V(\text{out}))^4$  no intervalo completo de simulação.

```
.meas ac res2 min mag(V(out))
```

Retorna, na variável res2, o valor mínimo do sinal  $\text{mag}(V(\text{out}))^4$  no intervalo completo de simulação.

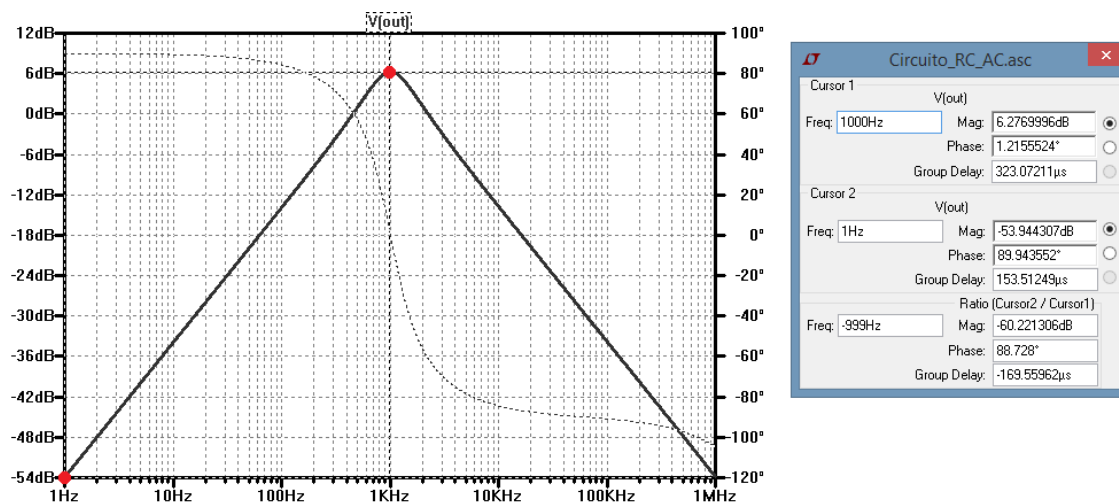


Figura 19: Obtenção gráfica do máximo e do mínimo da magnitude de V(out).

<sup>4</sup> Computa a magnitude do sinal V(out)

```

SPICE Error Log: C:\Users\Fabrcio\Desktop\LTspice .MEAS\Circuito_RC_AC.log
res1: MAX(mag(v(out)))=(6.27899dB,0°) FROM 1 TO 1e+006
res2: MIN(mag(v(out)))=(-53.9443dB,0°) FROM 1 TO 1e+006

Date: Mon Nov 23 11:27:51 2015
Total elapsed time: 0.160 seconds.

```

Figura 20: Resultado do comando “.meas” na determinação do máximo e do mínimo da magnitude de V(out). Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).

### 3.2.2. Medição sobre intervalos diretamente declarados

Computa a média, o máximo, o mínimo, o valor pico-a-pico, o valor eficaz ou a integral de uma expressão sobre um intervalo de análise definido diretamente na declaração do comando “.meas”.

Nesse tipo de declaração, pode-se alterar as duas extremidades do intervalo de análise ou apenas uma. Nos casos de se modificar apenas uma das extremidades, a extremidade não declarada é mantida tal como no padrão do programa, ou seja, igual a um dos limites do intervalo de simulação. A sintaxe é:

```

.MEAS AC <NOME_VARIÁVEL>
+ [<AVG|MAX|MIN|PP|RMS|INTEG> <EXPR>]
+ [FROM <VAL1>]
+ [TO <VAL2>]

```

Exemplos:

Os dois comandos seguintes referem-se à uma mesma expressão de análise. Sendo assim, seus resultados foram agrupados e podem ser observados nas Figuras 21 e 22.

```
.meas ac res3 min mag(V(out)) from 100 to 1k
```

Retorna, na variável res3, o valor mínimo da magnitude de V(out) no intervalo de 100Hz a 1 kHz.

```
.meas ac res4 max mag(V(out)) from 100 to 1k
```

Retorna, na variável res4, o valor máximo da magnitude de V(out) no intervalo de 100Hz a 1 kHz.

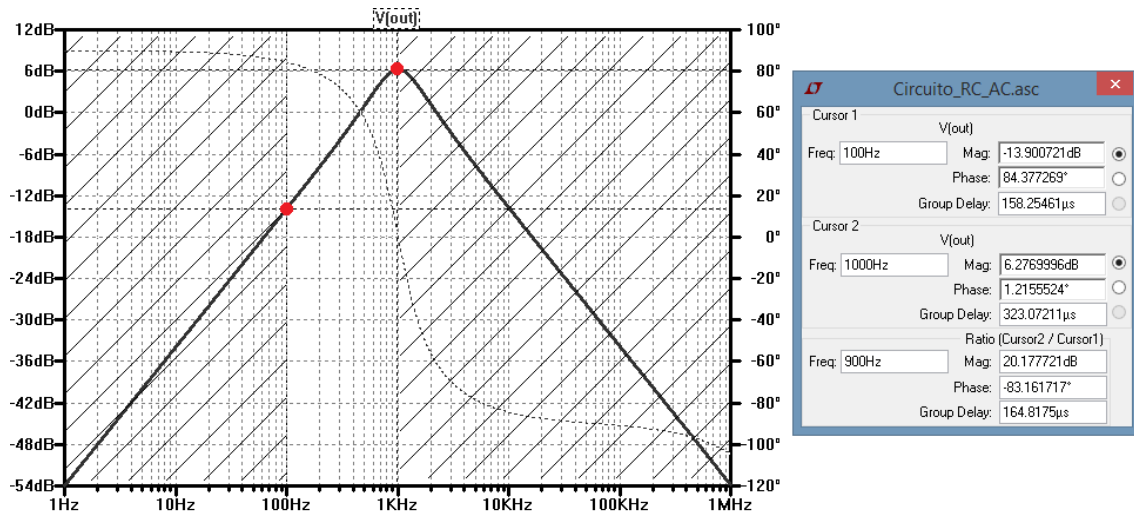


Figura 21: Obtenção gráfica do máximo e do mínimo da magnitude de V(out) no intervalo de 100 Hz a 1 kHz.

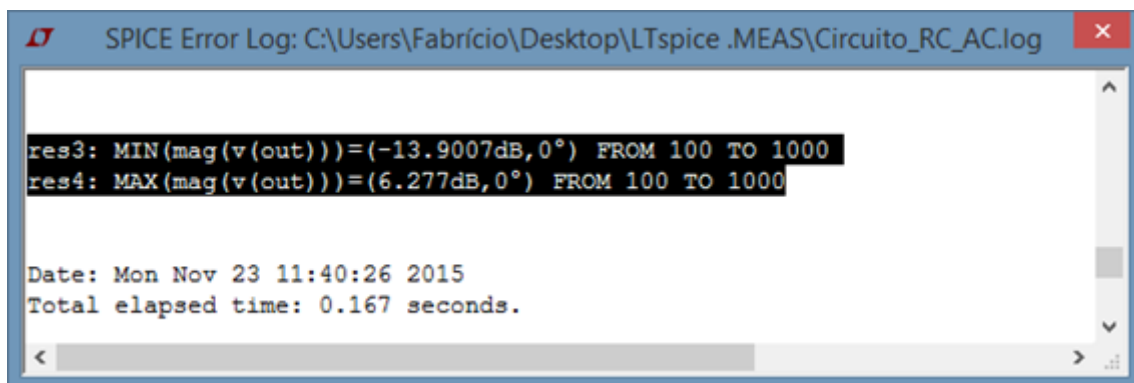


Figura 22: Resultado do comando ".meas" na determinação do máximo e do mínimo da magnitude de V(out) no intervalo de 100 Hz a 1 kHz. Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).

`.meas ac res5 max mag(V(out)) to 1k`

Retorna, na variável res5, o valor máximo da magnitude de V(out) no intervalo terminado em 1 kHz. Como a simulação realizada é de 1 Hz a 1 MHz, o intervalo de análise da expressão mag(V(out)) é de 1 Hz a 1 kHz.

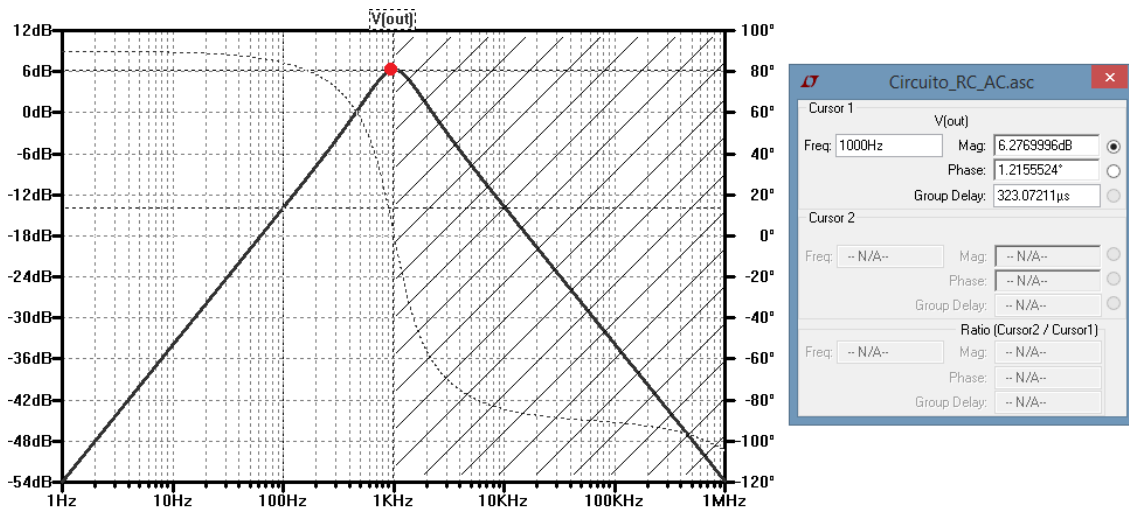


Figura 23: Obtenção gráfica do máximo da magnitude de V(out) no intervalo de 1 Hz a 1 kHz.

The screenshot shows the SPICE Error Log window with the following text:

```
res5: MAX(mag(v(out)))=(6.277dB,0°) FROM 1 TO 1000

Date: Mon Nov 23 11:53:47 2015
Total elapsed time: 0.193 seconds.
```

Figura 24: Resultado do comando“.meas” na determinação do máximo da magnitude de V(out) no intervalo de 1 Hz a 1 kHz. Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).

### 3.2.3. Medição com intervalo definido pelo atendimento de condições

Computa a média, o máximo, o mínimo, o valor pico-a-pico, o valor eficaz ou a integral de uma expressão sobre um intervalo de análise definido pelo atendimento de condições.

Nesse tipo de declaração, pode-se definir condições de atendimento para as duas extremidades do intervalo de análise ou apenas uma extremidade. Nos casos de se modificar apenas uma das extremidades, a extremidade não declarada é mantida tal como no padrão do programa, ou seja, igual a um dos limites do intervalo de simulação.

Além disso, a definição do intervalo de análise pode ser construída com a combinação de uma declaração direta e uma declaração por meio do atendimento de condições.

A sintaxe do comando é:

```
.MEAS AC <NOME_VARIÁVEL>
+ [<AVG|MAX|MIN|PP|RMS|INTEG> <EXPR>]
+ [FROM <VAL1>]
+ [TRIG <EXPR_ESQ> [[VAL]=]<EXPR_DIR>]
+ [TD=<VAL3>]
+ [<RISE|FALL|CROSS> = [FIRST|<COUNT1>|LAST]]
+ [TO <VAL2>]
+ [TARG <EXPR_ESQ> [[VAL]=]<EXPR_DIR>]
+ [TD=<VAL4>]
+ [<RISE|FALL|CROSS> = [FIRST|<COUNT2>|LAST]]
```

Exemplos:

```
.meas ac res6 min mag(V(out))
+ trig mag(V(out)) val=0.5
+ targ mag(V(out)) val=2
```

Computa o mínimo da magnitude do sinal V(out) utilizando o intervalo definido entre o primeiro momento que a magnitude assume 0,5 e o primeiro momento que a magnitude assume 2.



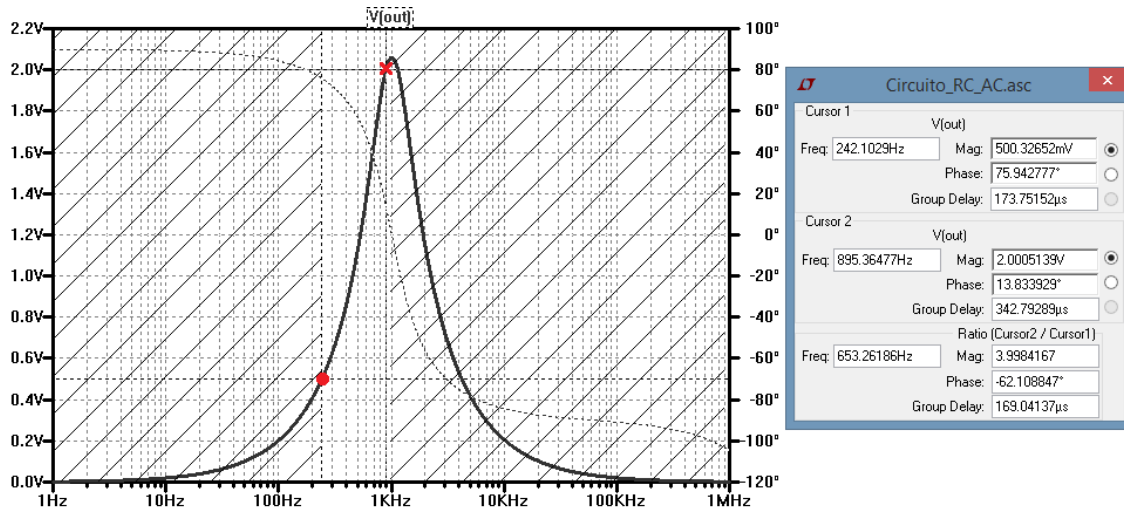


Figura 25: Obtenção gráfica do mínimo da magnitude de V(out) no intervalo definido pelas condições V(out) = 0,5 e V(out) = 2,0.

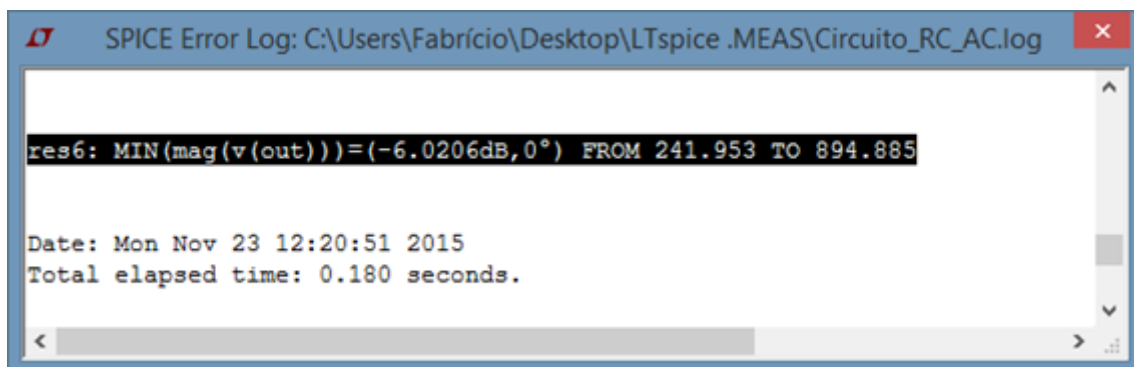


Figura 26: Resultado do comando “.meas” na determinação do mínimo da magnitude de V(out) no intervalo definido pelo primeiro atendimento das condições V(out) = 0,5 e V(out) = 2,0. Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).

```
.meas ac res7 max mag (V (a) )
+ trig mag(V(out)) val=0.5 cross=first
+ targ mag(V(out)) val=0.5 cross=last
```

Computa o máximo da magnitude do sinal V(a) utilizando o intervalo definido entre os momentos que a magnitude de V(out) assume 0,5, isto é, entre o primeiro e o último momento que V(out) = 0,5.

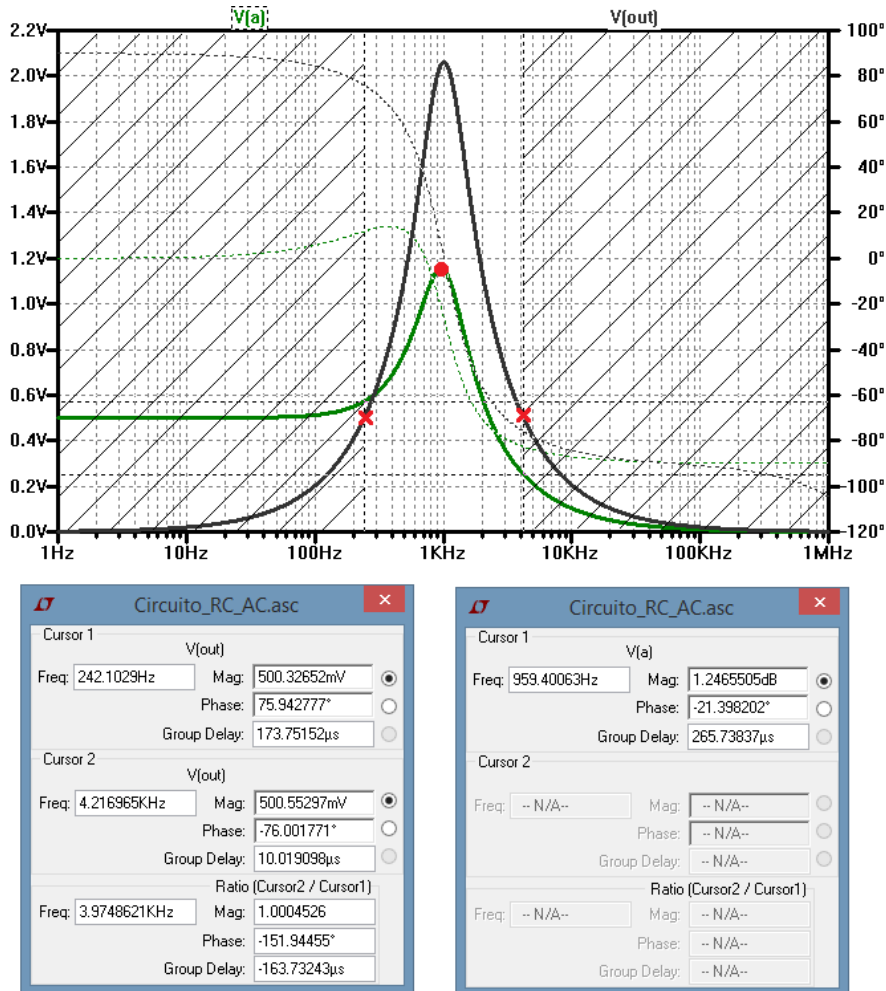


Figura 27: Obtenção gráfica do valor máximo da magnitude de V(a), limitando a busca ao intervalo definido pelas passagens de V(out) pelo valor 0,5.

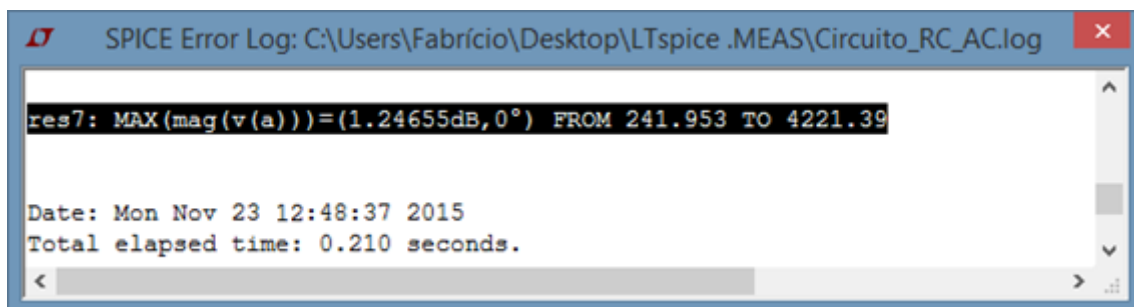


Figura 28: Resultado do comando “.meas” na determinação do máximo da magnitude de V(a), limitando a busca ao intervalo definido pelas passagens de V(out) pelo valor 0,5. Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).

```
.meas ac res8 max mag(V(out))
+ trig mag(V(out)) val=0.5
```

Computa o máximo da magnitude do sinal V(out) utilizando o intervalo definido entre o primeiro momento que a magnitude de V(out) assume 0,5 e o limite superior da simulação, isto é, o intervalo de análise vai até 1 MHz.

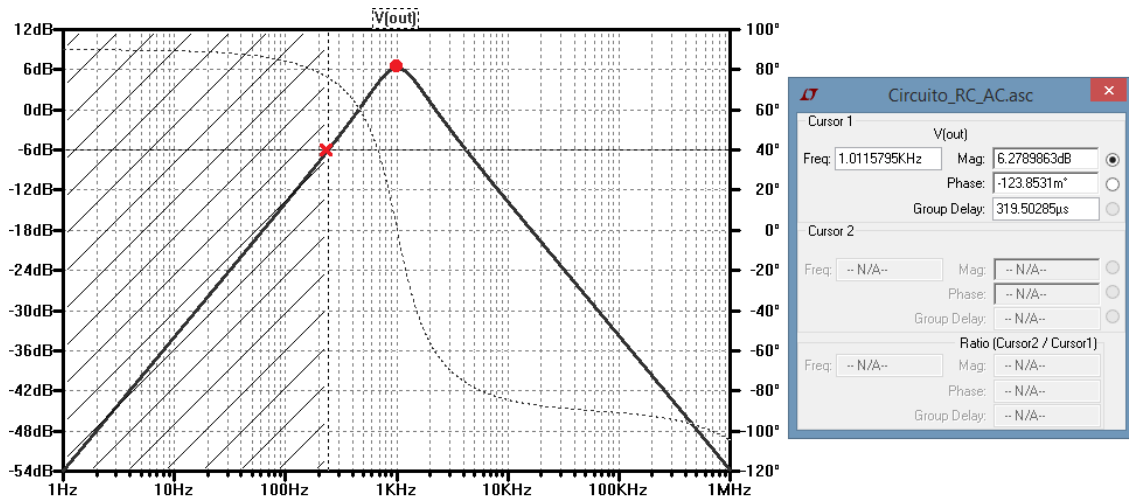


Figura 29: Obtenção gráfica do valor máximo da magnitude de V(out), limitando a busca ao intervalo definido pela primeira passagem de V(out) pelo valor 0,5 e a frequência de 1 MHz.

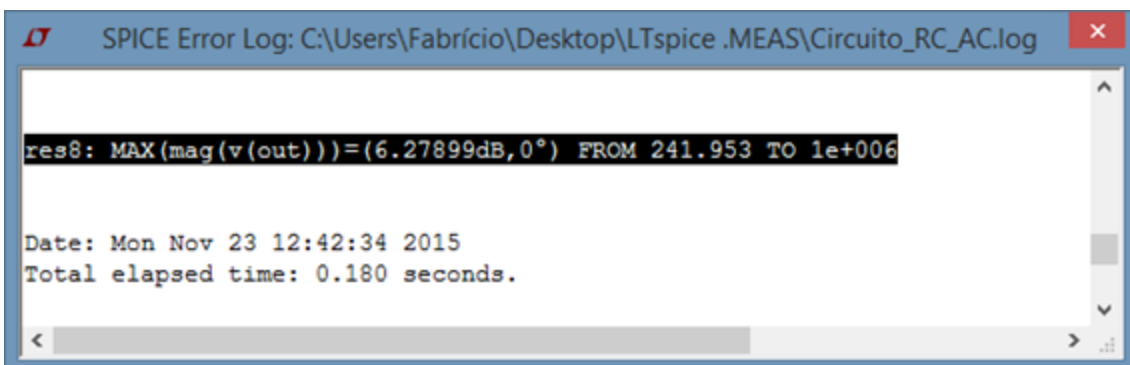


Figura 30: Resultado do comando “.meas” na determinação do máximo da magnitude de V(out), limitando a busca ao intervalo definido pela primeira passagem de V(out) pelo valor 0,5 e a frequência de 1 MHz. Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).

```
.meas ac res8 max mag(V(out))
+ trig mag(V(out)) val=0.5
+ to 1k
```

Computa o máximo da magnitude do sinal V(out) utilizando o intervalo definido entre o primeiro momento que a magnitude de V(out) assume 0,5 e a frequência 1 kHz.

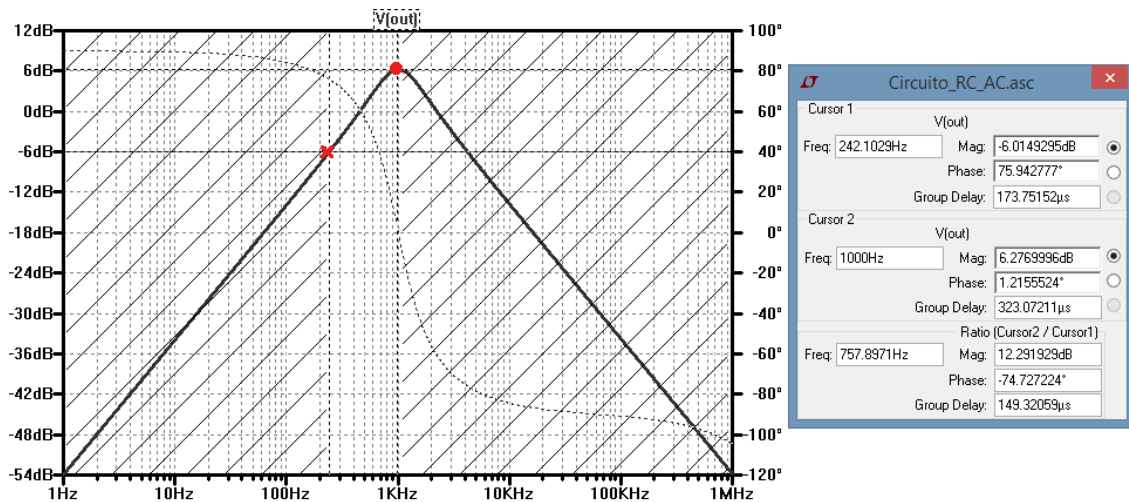


Figura 31: Obtenção gráfica do valor máximo da magnitude de V(out), limitando a busca no intervalo definido pela primeira passagem de V(out) pelo valor 0,5 e a frequência de 1 kHz.

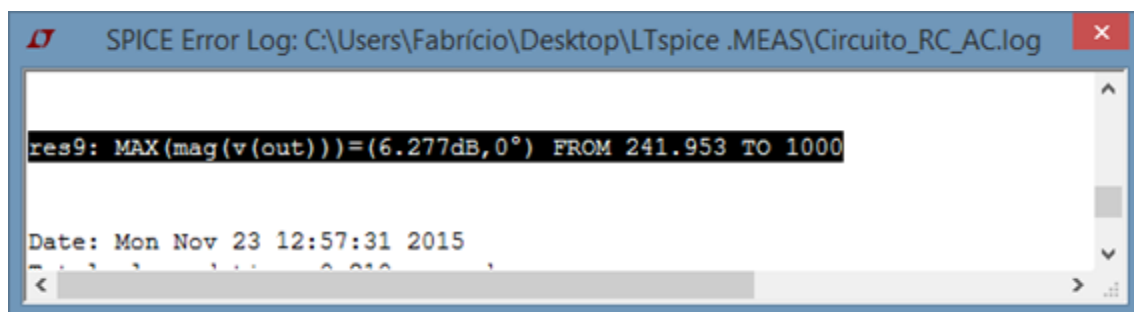


Figura 32: Resultado do comando“.meas” na determinação do máximo da magnitude de V(out), limitando a busca ao intervalo definido pela primeira passagem de V(out) pelo valor 0,5 e a frequência de 1 kHz. Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).

### 3.2.4. Obtenção do intervalo entre o atendimento de

Esse tipo de declaração retorna o intervalo entre o atendimento de condições. No entanto, pode-se definir apenas uma condição ou duas, dependendo de como se desejar a construção do intervalo.

Nos casos de se modificar apenas uma das extremidades, a extremidade não declarada é mantida tal como no padrão do programa, ou seja, igual a um dos limites do intervalo de simulação.

Além disso, a definição do intervalo pode ser construída com a combinação de uma declaração direta e uma declaração por meio do atendimento de condições.

A sintaxe para esse caso é:

```
.MEAS AC <NOME_VARIÁVEL>
+ [FROM <VAL1>]
+ [TRIG <EXPR_ESQ> [[VAL]=]<EXPR_DIR>]
+ [TD=<VAL3>]
+ [<RISE|FALL|CROSS> = [FIRST|<COUNT1>|LAST]]
+ [TO <VAL2>]
+ [TARG <EXPR_ESQ> [[VAL]=]<EXPR_DIR>]
+ [TD=<VAL4>]
+ [<RISE|FALL|CROSS> = [FIRST|<COUNT2>|LAST]]
```

Exemplo:

```
.meas ac Acorte max mag(v(out))/sqrt(2)
.meas ac res10
+ trig mag(V(out)) val=Acorte cross=first
+ targ mag(V(out))=Acorte cross=last5
```

Realiza duas medições sobre o sinal: magnitude de V(out). A primeira, determina o valor da magnitude na sua frequência de corte, calculado tomando o valor máximo da magnitude de V(out) e dividindo por  $\sqrt{2}$ . A segunda medição determina o intervalo entre os momentos em que a magnitude de V(out) assume o valor Acorte, sendo assim, por definição, a variável res10 pode ser entendida como sendo a largura de banda calculada para o filtro em estudo, afinal,  $BW = Fca - Fcb$ , sendo Fca a frequência de corte superior e Fcb a frequência de corte inferior.

<sup>5</sup> Observar que a declaração da expressão de análise pode ser realizada de duas maneiras: uma por meio da separação do sinal de análise e o valor que ele deve assumir (**mag(V(out)) val = Acorte**) e outra por meio da declaração direta da expressão (**mag(V(out)) = Acorte**).

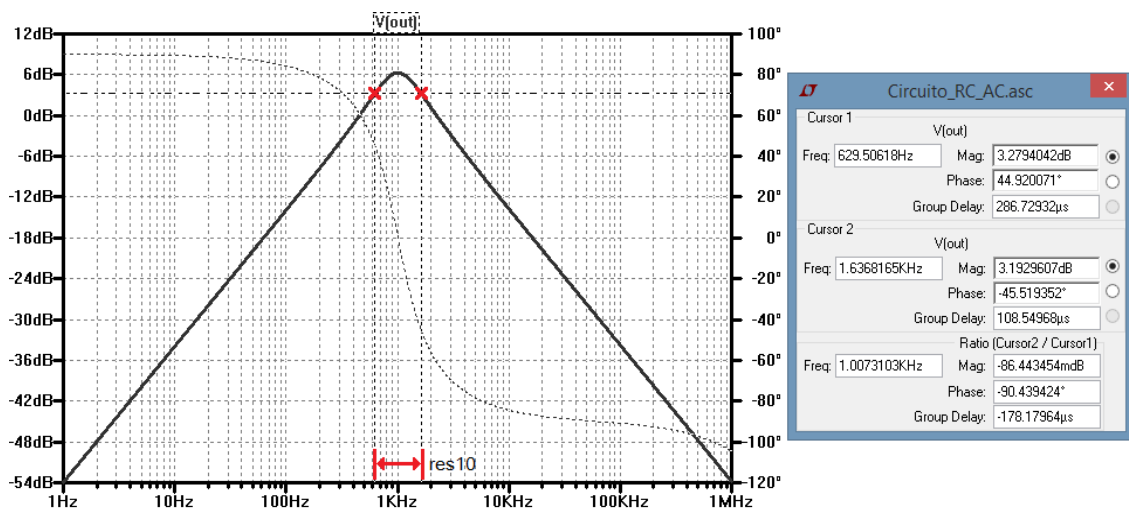


Figura 33: Obtenção gráfica do intervalo de frequências limitado entre os atendimentos de  $V(out) = \text{MAX}(V(out)) / \sqrt{2}$ .

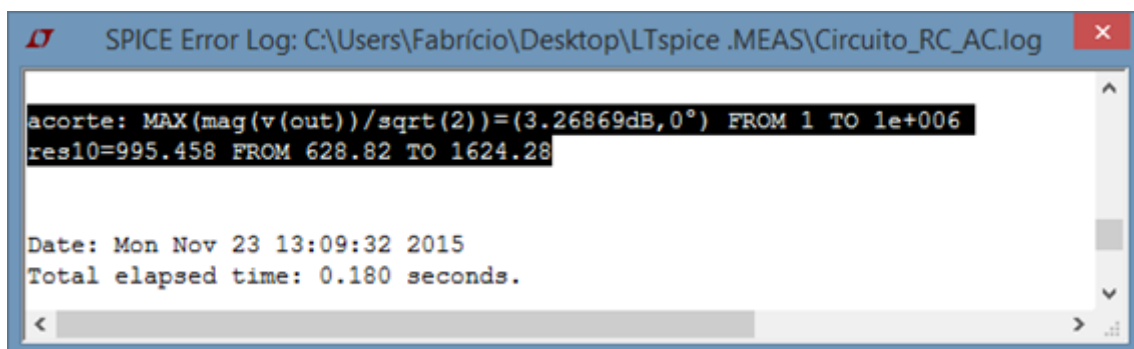


Figura 34: Resultado do comando“.meas” na determinação do intervalo limitado entre os atendimentos de  $V(out) = \text{MAX}(V(out)) / \sqrt{2}$ . Obtido em Spice Error Log (Ctrl+L).