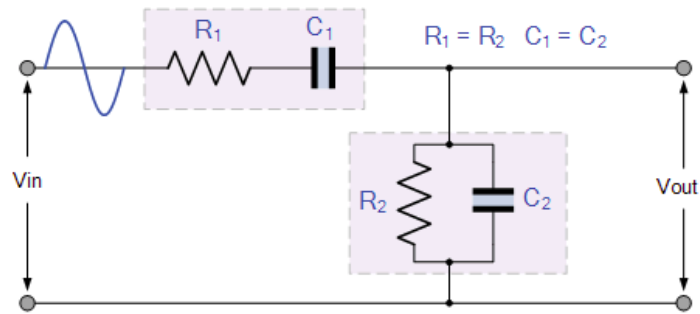
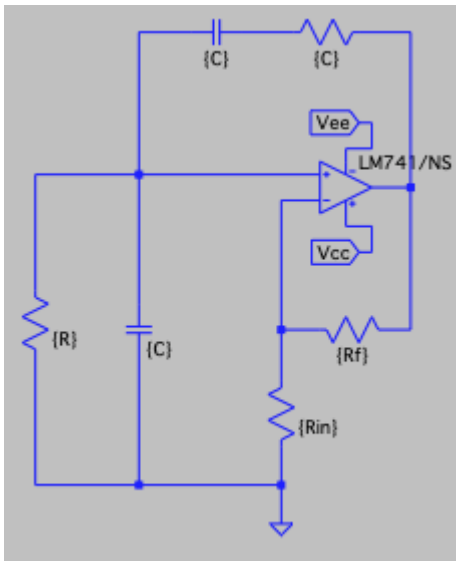


```
clear; clc; clearvars;
syms vin vout s c r w H a denHreal denH numH positive
```



Como esse é um circuito mais simples é possível encontrar a relação V_{out}/V_{in} a partir de um divisor de tensão. Para tal é preciso antes simplificar R e C que estão em paralelo.

Em seguida, se usa a formula levando em consideracao que a tensao total é V_{in} e a parcial V_{out}

```
paralRC = paraleloSym(r, 1/(s*c));
eq = vin*paralRC/(paralRC + r + 1/(s*c)) - vout == 0
```

eq =

$$\frac{vin}{\left(cs + \frac{1}{r}\right) \left(r + \frac{1}{cs + \frac{1}{r}} + \frac{1}{cs}\right)} - vout = 0$$

Isolando vin/vout para obter H

```
H = solve(eq, vout) / vin
```

H =

$$\frac{c r s}{c^2 r^2 s^2 + 3 c r s + 1}$$

Feito isso precisamos separar o denominador do numerador

```
[numH, denH] = numden(H)
```

```
numH = c r s
```

```
denH = c^2 r^2 s^2 + 3 c r s + 1
```

Fazendo $s=j\omega$ para voltar ao domínio do tempo

```
s = 1i*w;  
numH = subs(numH);  
denH = subs(denH);  
H = numH/denH
```

H =

$$\frac{c r w i}{-c^2 r^2 w^2 + 3 c r w i + 1}$$

Como o objetivo é que a função de transferência não gere defasagem, igualamos a parte real do denominador a zero.

```
denHreal = subs(denH, 1i, 0);
```

Atualizando a função pai

```
denH = denH - denHreal;
```

No caso dessa função de transferência o valor de H com a parte real anulada já resulta em 1/3, que equivale ao nosso A.

```
H = numH/denH
```

H =

$$\frac{1}{3}$$

Agora vamos encontrar a frequência para a qual o A é de 1/3

```
denHreal = denHreal == 0
```

$$\text{denHreal} = 1 - c^2 r^2 w^2 = 0$$

```
w = solve(denHreal, w);  
w = simplify(w)
```

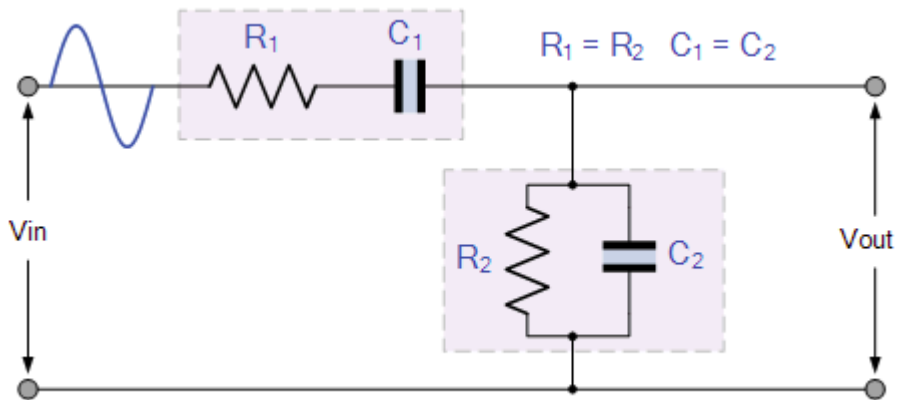
w =

$$\frac{1}{c r}$$

Como é mais comum trabalharmos com a frequência em Hz a equação pode ser escrita também da seguinte forma:

$$f = \frac{1}{2 \pi C R}$$

```
clear clc
syms vin vout s c r w H denHreal denH numH positive
```



Impedancia de entrada do bloco RC

Primeiro é feita a simplificação da associação paralelo

```
zinRC = paraleloSym(r, 1/(s*c))
```

zinRC =

$$\frac{1}{cs + \frac{1}{r}}$$

Em seguida, soma-se o resultado com a associação série R + C

```
zinRC = zinRC + r + 1/(s*c)
```

zinRC =

$$r + \frac{1}{cs + \frac{1}{r}} + \frac{1}{cs}$$

Voltamos ao domínio do tempo

```
s = 1i*w;
zinRC = subs(zinRC);
```

Simplificamos os resultados e obtemos a impedância de entrada final:

```
zinRC = simplify(zinRC)
```

zinRC =

$$-\frac{-c^2 r^2 w^2 + 3 c r w i + 1}{c w (c r w - i)}$$

Desfazendo a redefinição de s para o próximo cálculo

```
syms s
```

Impedancia de saída do bloco RC

Primeiro soma-se o elemento serie R+C

```
zoutRC = r + 1/(s*c)
```

```
zoutRC =
```

$$r + \frac{1}{c s}$$

Em seguida é feito o paralelo deste com o resto do circuito, que é a associação paralela R//C

```
zoutRC = paraleloSym(zoutRC, r, 1/(s*c))
```

```
zoutRC =
```

$$\frac{1}{\frac{1}{r + \frac{1}{c s}} + c s + \frac{1}{r}}$$

Voltamos ao domínio do tempo:

```
s = 1i*w;
zoutRC = subs(zoutRC);
```

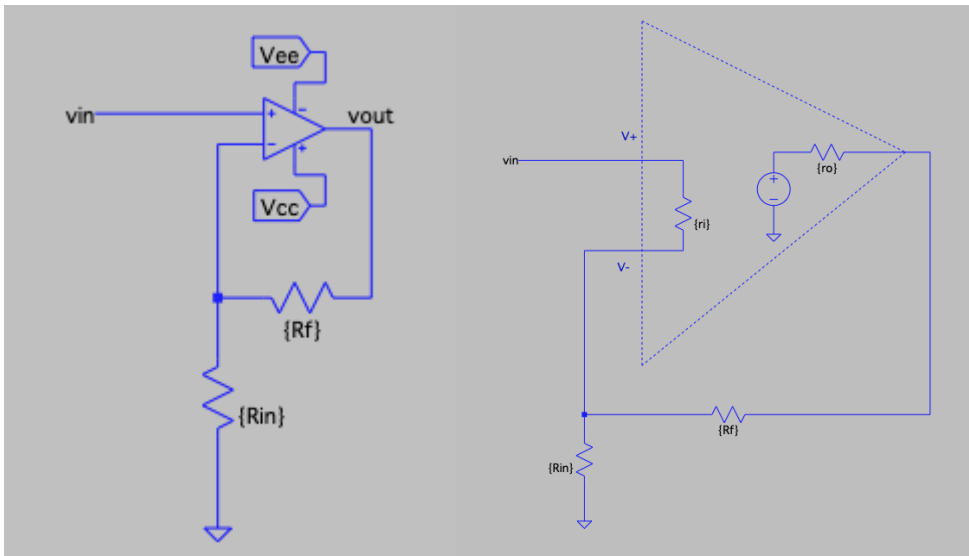
Simplificamos os resultados e obtemos a impedancia de saída final:

```
zoutRC = simplify(zoutRC)
```

```
zoutRC =
```

$$\frac{r (c r w - i)}{c^2 r^2 w^2 i + 3 c r w - i}$$

```
clear clc
syms Rin Rf ri ro positive
```



Impedancia de entrada do amp

Como a topologia usa a porta não inversora para inserir vin a impedância é expressa como:

$$Z_{inAmp} = r_i$$

$$Z_{inAmp} = r_i$$

Impedancia de saída do amp

Como Rf e Rin estão conectados na porta inversora o calculo da impedância de saída ignora Rin, vez que nessa porta existe um terra virtual. Com essas considerações temos:

$$Z_{outAmp} = \text{paraleloSym}(R_f, r_o)$$

$$Z_{outAmp} =$$

$$\frac{1}{\frac{1}{R_f} + \frac{1}{r_o}}$$

```
clear; clc; clearvars;
syms s c r w ri ro Rin Rf positive
```

Definindo as equações:

```
s = 1i*w;
r = 1/(w*c)
```

$$r = \frac{1}{c w}$$

```
zinRC = simplify(subs(paraleloSym(r, 1/(s*c)) + r + 1/(s*c)))
```

$$\text{zinRC} = \frac{\frac{3}{2} - \frac{3}{2}i}{c w}$$

```
zoutRC = simplify(subs(paraleloSym(r + 1/(s*c), r, 1/(s*c))))
```

$$\text{zoutRC} = \frac{\frac{1}{3} - \frac{1}{3}i}{c w}$$

```
ZinAmp = ri
```

```
ZinAmp = ri
```

```
ZoutAmp = paraleloSym(Rf, ro)
```

$$\text{ZoutAmp} = \frac{1}{\frac{1}{Rf} + \frac{1}{ro}}$$

F = 65kHz

Antes de tudo definamos os parâmetros do ampop. Nesse caso o ampop utilizado foi o LF351.

```
riDatasheet65k = 10e12;
roDatasheet65k = 300;
Rin65k = 100e3;
Rf65k = Rin65k * 3;
```

Definindo a frequencia de projeto e o capacitor:

```
w65k = 2*pi*65e3;  
c65k = 820e-12
```

```
c65k = 8.2000e-10
```

Assim, obtemos o resistor:

```
r65k = subs(r, {c,w}, {c65k, w65k});  
r65k = double(r65k)
```

```
r65k = 2.9860e+03
```

Agora vamos calcular as impedancias dos blocos com esses valores. Começando pelo bloco B temos:

```
zoutRC65k = subs(zoutRC, {c,w}, {c65k,w65k});  
zoutRC65k = abs(double(zoutRC65k))
```

```
zoutRC65k = 1.4076e+03
```

```
zinRC65k = subs(zinRC, {c,w}, {c65k,w65k});  
zinRC65k = abs(double(zinRC65k))
```

```
zinRC65k = 6.3343e+03
```

Feito isso vamos ao bloco A:

```
ZinAmp65k = subs(ZinAmp, ri, riDatasheet65k);  
ZinAmp65k = double(ZinAmp65k)
```

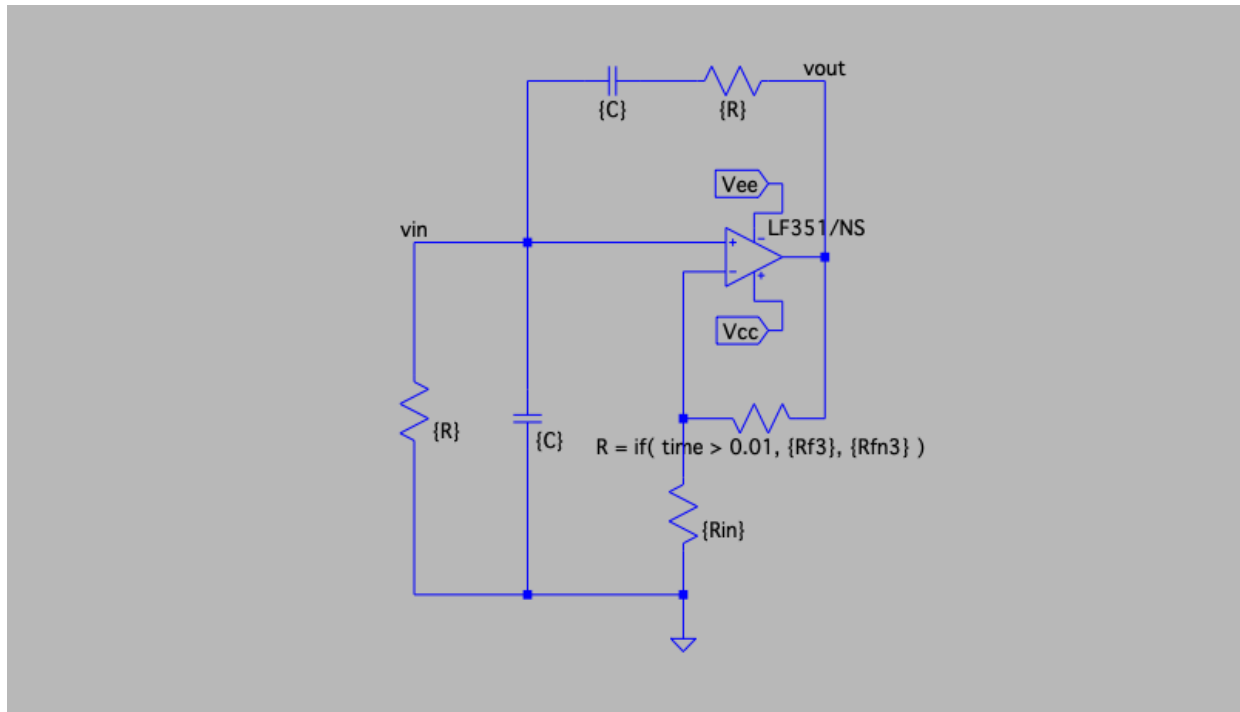
```
ZinAmp65k = 1.0000e+13
```

```
ZoutAmp65k = subs(ZoutAmp, {ro, Rf}, {roDatasheet65k, Rf65k});  
ZoutAmp65k = double(ZoutAmp65k)
```

```
ZoutAmp65k = 299.7003
```

Oscilador por ponte de wien 65kHz

Topologia completa



Índice:

- Diretivas spice
- Medições
- Formas de onda

Diretivas spice

Teórico

```
.meas tran time_period trig V(vout)=0 rise=1 targ V(vout)=0 rise=2
.meas frequency param 1/time_period
.meas tran time_delay trig V(vin)=0 rise=1 targ V(vout)=0 rise=1
.meas phase param 360*(time_delay / time_period)
.meas TRAN vin_meas FIND V(vin) WHEN V(vout)=5
.meas gain param 5/vin_meas
.meas max_vin max V(vin)
.meas min_vin min V(vin)
.meas max_vout max V(vout)
.meas min_vout min V(vout)

.tran {1/(10*65k)} {1+3/65k} 1
; tstep tstop tstart

.lib ../../libs/LF351.lib
.param Rin=100k C=820p R=2.986k
.param Rf3=205k Rfn3=500k
```

Prático



Medições

Teórico - simulação

Freq.: 60,224k Ganho: 2,919 Max Vin: 2,246 Max Vout: 6,503

Direct Newton iteration for .op point succeeded.

time_period=1.66046e-05 FROM 7.51715e-06 TO 2.41218e-05
frequency: 1/time_period=60224.2
time_delay=1.28484e-07 FROM 7.38866e-06 TO 7.51715e-06
phase: 360*(time_delay / time_period)=2.78561
vin_meas: v(vin)=1.71259 at 9.63645e-06
gain: 5/vin_meas=2.91956
max_vin: MAX(v(vin))=2.24588 FROM 0 TO 4.61538e-05
min_vin: MIN(v(vin))=-2.2462 FROM 0 TO 4.61538e-05
max_vout: MAX(v(vout))=6.5032 FROM 0 TO 4.61538e-05
min_vout: MIN(v(vout))=-6.50116 FROM 0 TO 4.61538e-05

Date: Sat May 18 16:51:51 2019
Total elapsed time: 124.570 seconds.

tnom = 27
temp = 27
method = modified trap
totiter = 25069669

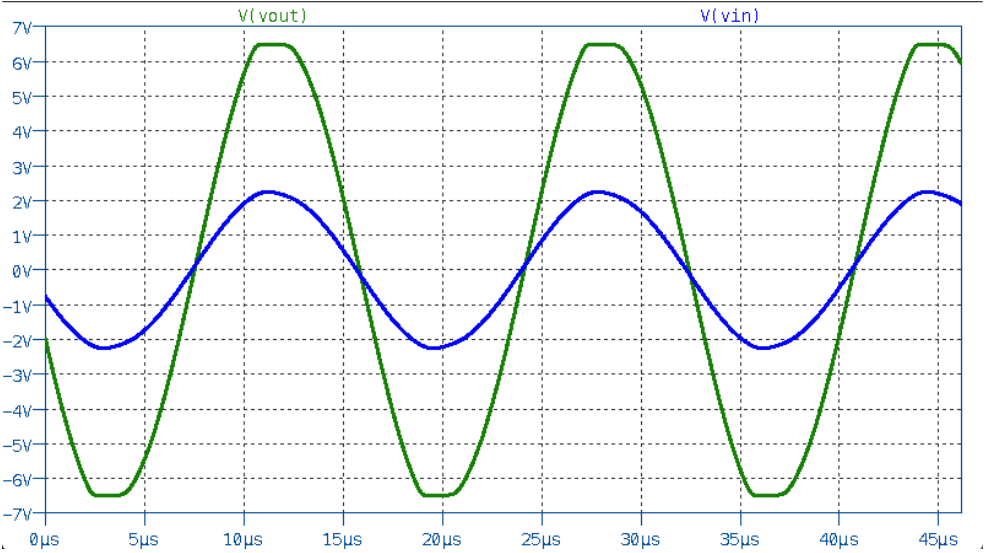
Prático - simulação



Prático



Formas de onda
Teórico - simulação



Prático - simulação

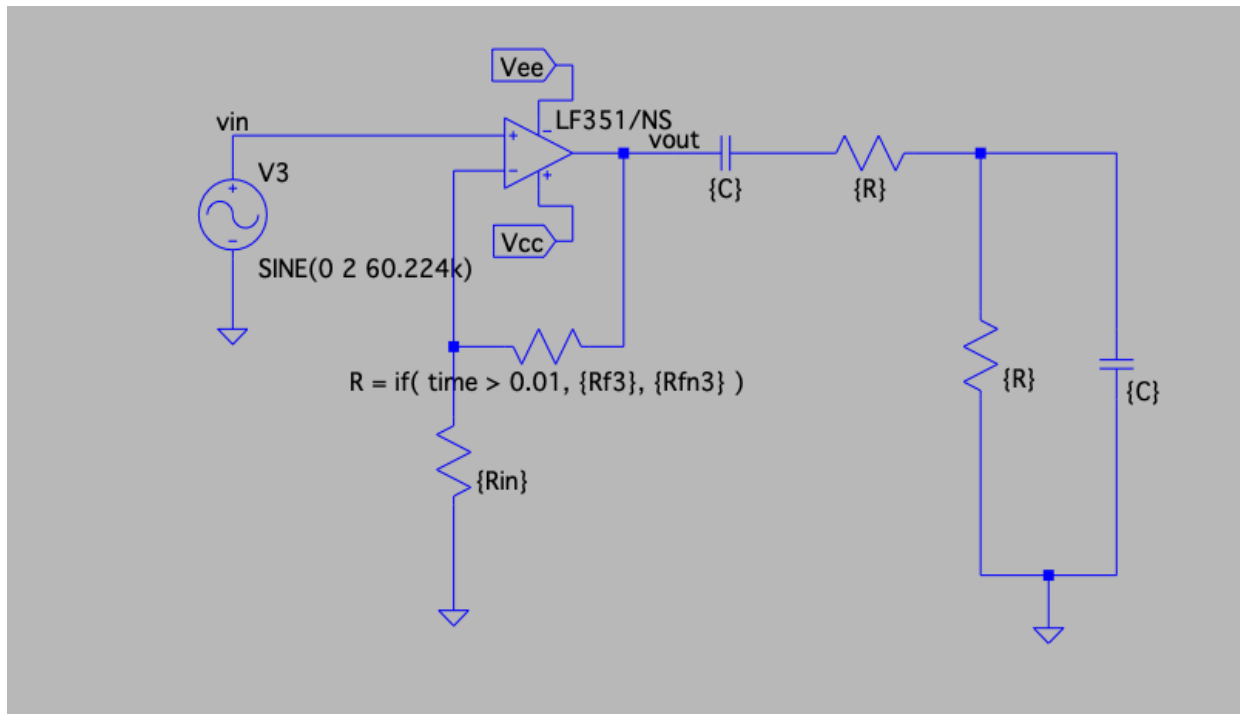


Prático



65kHz

Topologia aberta: Debug A



Indice:

- Diretivas spice
- Medições - com carga
- Formas de onda - com carga
- Medições - sem carga
- Formas de onda - sem carga

Diretivas spice - com carga

Teórico

```
.meas tran time_period trig V(vout)=0 rise=1 targ V(vout)=0 rise=2
.meas frequency param 1/time_period
.meas tran time_delay trig V(vin)=0 rise=1 targ V(vout)=0 rise=1
.meas phase param 360*(time_delay / time_period)
.meas TRAN vin_meas FIND V(vin) WHEN V(vout)=5
.meas gain param 5/vin_meas
.meas max_vin max V(vin)
.meas min_vin min V(vin)
.meas max_vout max V(vout)
.meas min_vout min V(vout)      .tran {1/(10*65k)} {1+3/65k} 1
                                   ; tstep tstop tstart

.lib ../../../../libs/LF351.lib
.param Rin=100k C=820p R=2.986k
.param Rf3=205k Rfn3=500k
```

Prático



Medições - com carga

Teórico - simulação

Circuito fechado (comparação):

Freq.: 60,224k	Ganho: 2,919	Max Vin: 2,246	Max Vout: 6,503
----------------	--------------	----------------	-----------------

Aquisição debug (com carga):

Freq.: 60,226k	Ganho: 2,962	Max Vin: 1,997	Max Vout: 6,104
----------------	--------------	----------------	-----------------

```
Circuit: * /Users/Igor/el3-osc/wien/simulation/theoretical/debugA_theoretical.asc
Direct Newton iteration for .op point succeeded.
time_period=1.6604e-05 FROM 1.2571e-07 TO 1.67297e-05
frequency: 1/time_period=60226.3
time_delay=1.2571e-07 FROM 3.90737e-17 TO 1.2571e-07
phase: 360*(time_delay / time_period)=2.72557
vin_meas: v(vin)=1.68761 at 2.66049e-06
gain: 5/vin_meas=2.96277
max_vin: MAX(v(vin))=1.99756 FROM 0 TO 4.61538e-05
min_vin: MIN(v(vin))=-1.99748 FROM 0 TO 4.61538e-05
max_vout: MAX(v(vout))=6.10403 FROM 0 TO 4.61538e-05
min_vout: MIN(v(vout))=-6.07325 FROM 0 TO 4.61538e-05
```

Prático - simulação

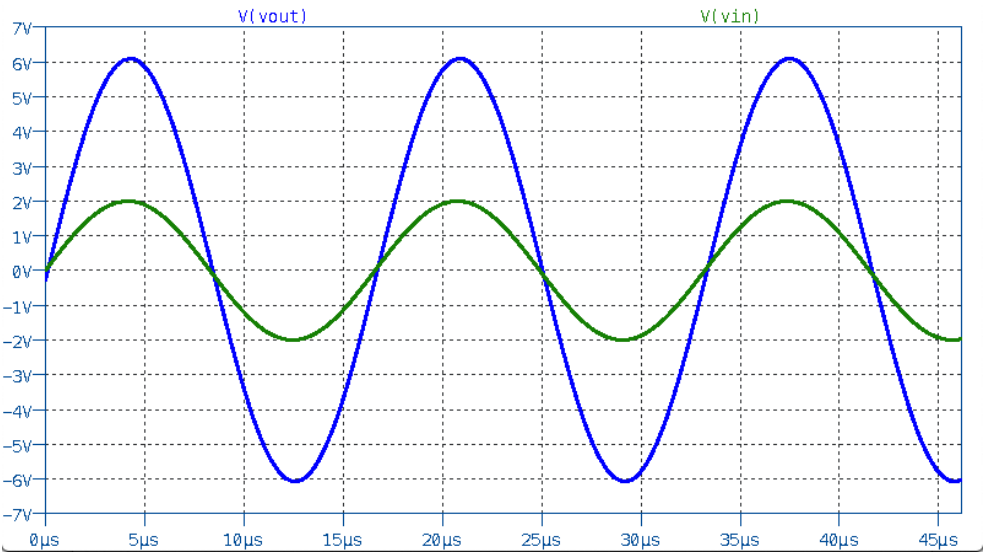


Prático



Formas de onda - com carga

Teórico - simulação



Prático - simulação



Prático



Medições - sem carga

Teórico - simulação

Circuito fechado (comparação):

Freq.: 60,224k	Ganho: 2,919	Max Vin: 2,246	Max Vout: 6,503
----------------	--------------	----------------	-----------------

Aquisição debug (com carga):

Freq.: 60,226k	Ganho: 2,962	Max Vin: 1,997	Max Vout: 6,104
----------------	--------------	----------------	-----------------

Aquisição debug (sem carga):

Freq.: 60,223k	Ganho: 2,963	Max Vin: 1,997	Max Vout: 6,102
----------------	--------------	----------------	-----------------

```
time_period=1.66049e-05 FROM 1.24171e-07 TO 1.67291e-05
frequency: 1/time_period=60223.1
time_delay=1.24171e-07 FROM 3.89342e-17 TO 1.24171e-07
phase: 360*(time_delay / time_period)=2.69207
vin_meas: v(vin)=1.68735 at 2.66867e-06
gain: 5/vin_meas=2.96323
max_vin: MAX(v(vin))=1.99736 FROM 0 TO 4.61538e-05
min_vin: MIN(v(vin))=-1.99723 FROM 0 TO 4.61538e-05
max_vout: MAX(v(vout))=6.10264 FROM 0 TO 4.61538e-05
min_vout: MIN(v(vout))=-6.07019 FROM 0 TO 4.61538e-05
```

Prático - simulação

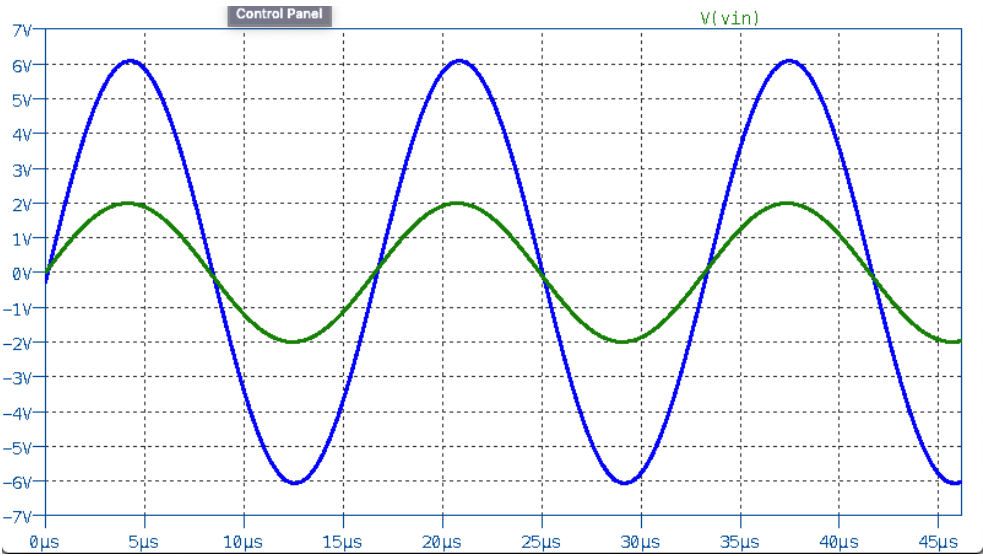


Prático



Formas de onda - sem carga

Teórico - simulação



Prático - simulação

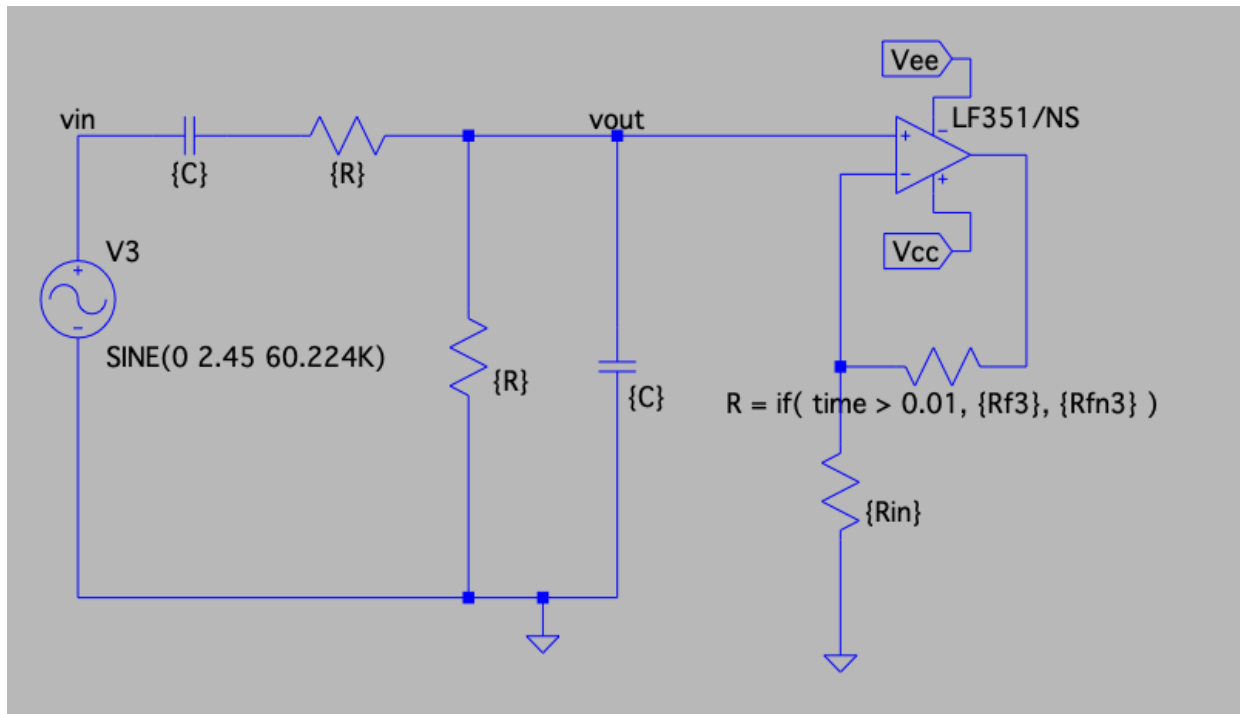


Prático



65kHz

Topologia aberta: Debug B



Indice:

- Diretivas spice
- Medições - com carga
- Formas de onda - com carga
- Medições - sem carga
- Formas de onda - sem carga

Diretivas spice - com carga

Teórico

```
.meas tran time_period trig V(vout)=0 rise=1 targ V(vout)=0 rise=2
.meas frequency param 1/time_period
.meas tran time_delay trig V(vin)=0 rise=1 targ V(vout)=0 rise=1
.meas phase param 360*(time_delay / time_period)
.meas TRAN vout_meas FIND V(vout) WHEN V(vin)=2
.meas gain param 2/vout_meas
.meas max_vin max V(vin)
.meas min_vin min V(vin)
.meas max_vout max V(vout)
.meas min_vout min V(vout)
.tran {1/(10*65k)} {1+3/65k} 1
; tstep tstop tstart

.lib ../../libs/LF351.lib
.param Rin=100k C=820p R=2.986k
.param Rf3=205k Rfn3=500k
```

Prático



Medições - com carga

Teórico - simulação

Circuito fechado (comparação):

Freq.: 60,224k	Ganho: 2,919	Max Vin: 2,246	Max Vout: 6,503
----------------	--------------	----------------	-----------------

Aquisição debug (com carga):

Freq.: 60,225k	1/Ganho: 2,909	Max Vin: 2,445	Max Vout: 0,814
----------------	----------------	----------------	-----------------

```
Circuit: * /Users/Igor/eltn3-osc/wien/simulation/theoretical/debugB_theoretical.asc
Direct Newton iteration for .op point succeeded.
time_period=1.66043e-05 FROM 1.64713e-05 TO 3.30756e-05
frequency: 1/time_period=60225.4
time_delay=1.64713e-05 FROM 3.88804e-17 TO 1.64713e-05
phase: 360*(time_delay / time_period)=357.116
vout_meas: v(vout)=0.687295 at 2.5335e-06
gain: 2/vout_meas=2.90996
max_vin: MAX(v(vin))=2.44595 FROM 0 TO 4.61538e-05
min_vin: MIN(v(vin))=-2.44575 FROM 0 TO 4.61538e-05
max_vout: MAX(v(vout))=0.814592 FROM 0 TO 4.61538e-05
min_vout: MIN(v(vout))=-0.814743 FROM 0 TO 4.61538e-05
```

Prático - simulação

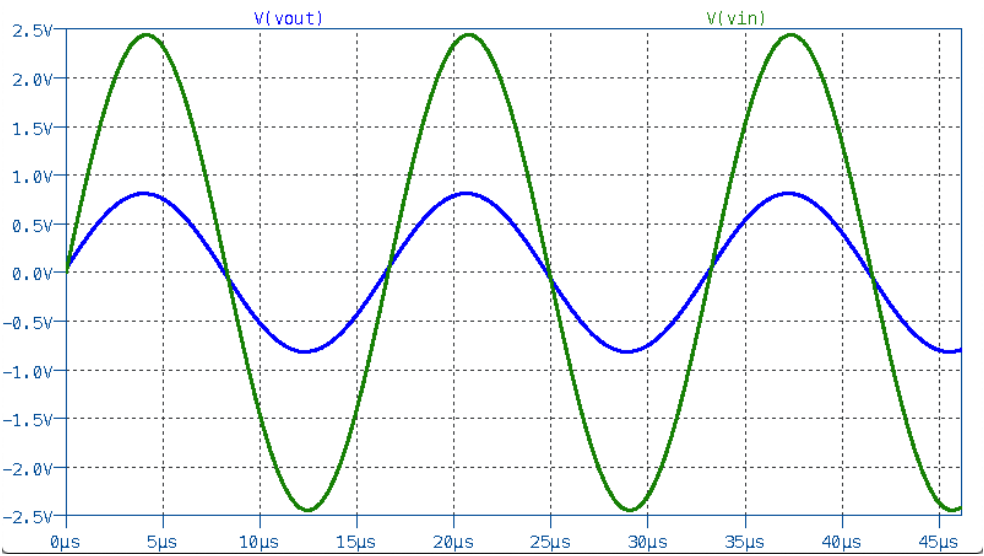


Prático



Formas de onda - com carga

Teórico - simulação



Prático - simulação



Prático



Medições - sem carga

Teórico - simulação

Circuito fechado (comparação):

Freq.: 60,224k	Ganho: 2,919	Max Vin: 2,246	Max Vout: 6,503
----------------	--------------	----------------	-----------------

Aquisição debug (com carga):

Freq.: 60,225k	1/Ganho: 2,909	Max Vin: 2,445	Max Vout: 0,814
----------------	----------------	----------------	-----------------

Aquisição debug (sem carga):

Freq.: 60,226k	1/Ganho: 2,912	Max Vin: 2,446	Max Vout: 0,813
----------------	----------------	----------------	-----------------

```
time_period=1.66041e-05 FROM 1.64717e-05 TO 3.30758e-05
frequency: 1/time_period=60226.2
time_delay=1.64717e-05 FROM 3.91267e-17 TO 1.64717e-05
phase: 360*(time_delay / time_period)=357.129
vout_meas: v(vout)=0.686636 at 2.53761e-06
gain: 2/vout_meas=2.91275
max_vin: MAX(v(vin))=2.44656 FROM 0 TO 4.61538e-05
min_vin: MIN(v(vin))=-2.44501 FROM 0 TO 4.61538e-05
max_vout: MAX(v(vout))=0.813068 FROM 0 TO 4.61538e-05
min_vout: MIN(v(vout))=-0.815002 FROM 0 TO 4.61538e-05
```

Prático - simulação

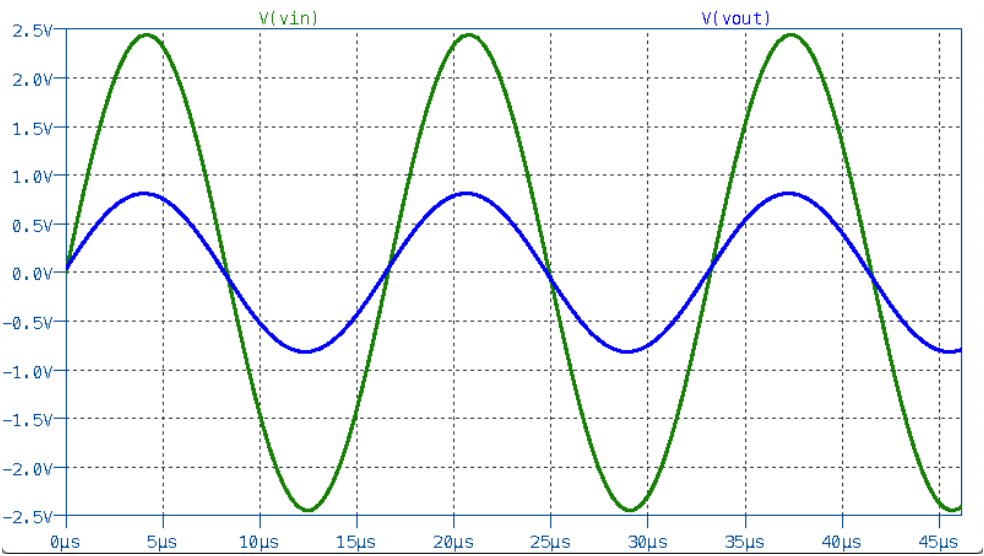


Prático



Formas de onda - sem carga

Teórico - simulação



Prático - simulação



Prático

