



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS – UNIDADE DIVINÓPOLIS

Engenharia Mecatrônica 6º período

Prof. Nelson de Figueiredo Barroso

nfbarroso@cefetmg.br

Alunos: Luiza Gomes de Castro e Sá, Thiago José da Silva.

Atividade 03 (27/01/2022) – Amplificador com FET

Introdução

Como a curva de transcondutância do JFET é parabólica, a operação do amplificador fonte comum produz uma distorção quadrática, por isso o amplificador fonte comum é usualmente utilizado para operar em pequeno sinal. Amplificadores FETs não podem competir com TBJs quanto ao ganho de tensão. Devido ao fator de transcondutância g_m ser relativamente baixo, o amplificador fonte comum típico tem essa característica.

Objetivo Nesta atividade, será realizada uma simulação do amplificador fonte comum. O objetivo é explorar os parâmetros e características do amplificador abordando os assuntos: região de operação e polarização (análise CC) e amplificação de sinal (análise CA).

Equipamentos

- 1 gerador de sinal (ALTERNATOR).
- 1 fonte de alimentação CC de 15V (VSOURCE).
- 4 resistores: 1k Ω , 2,2k Ω , 4,7k Ω e 220k Ω , todos com tolerância de 5% e 1/4W.
- 1 JFET MPF102 (2Sk30A ou equivalente).
- 3 capacitor: dois de 1 μ F e um de 100 μ F (16V ou mais).
- 1 Potenciômetro genérico (POT-HG) 4,7k Ω .

Procedimentos

Amplificador de fonte comum

1) (1pt) Baixar a folha de dados de JFET MPF102 e anotar todas as informações relevantes V_P , $V_{GS(off)}$, g_m (ou y_{sf}) e y_{os} .

Resposta:

- $V_P = 8.0V$
- $V_{GS(off)} = -8.0 V$

- $y_{sf} = 7500\mu\text{mhos}$
- $y_{os} = 200\mu\text{mhos}$

O datasheet para a obtenção dos dados pode ser encontrado clicando [aqui](#).

2) (1pt) Utilizando o Proteus ou outro software de sua preferência, monte o circuito indicado na Fig. 1.

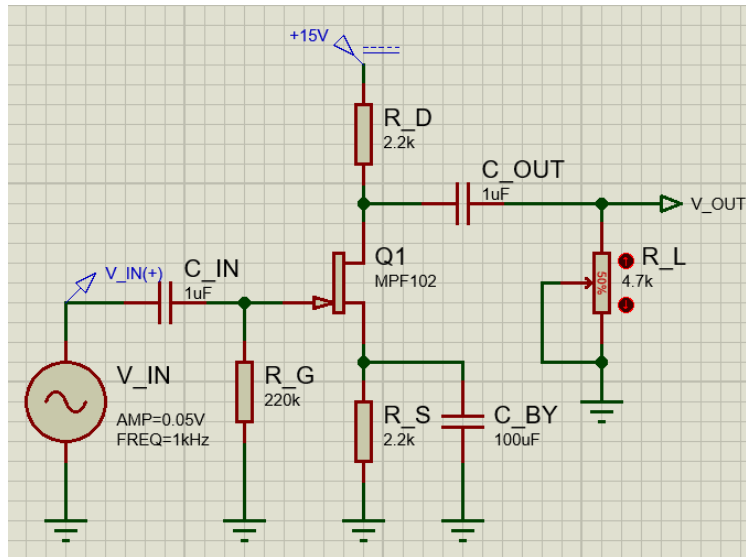


Figura 1: Amplificador fonte comum.

Resposta:

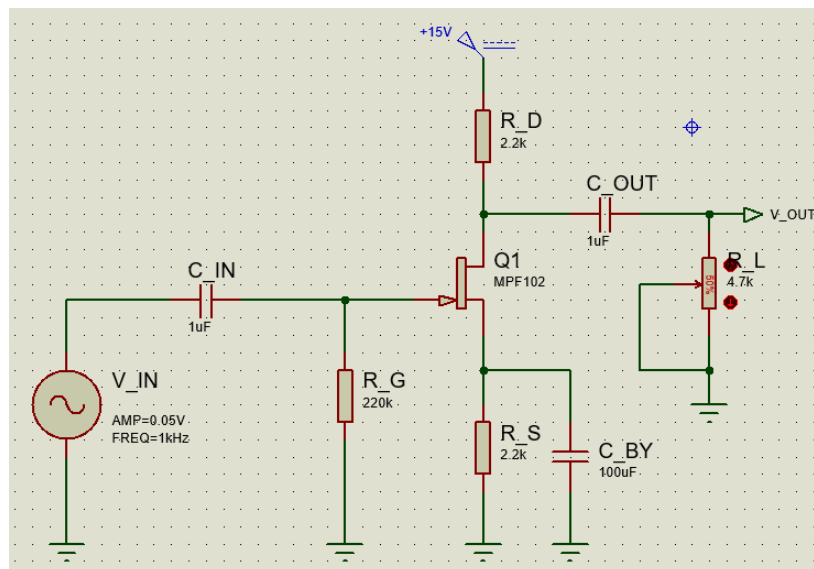


Figura 2: Amplificador fonte comum produzido no software Proteus.

3) (2pts) Faça uma análise CC do circuito sem carga e verifique em qual região de operação (ôhmica ou fonte de corrente) o dispositivo está operando. Justifique a sua resposta comparando V_{DS} e V'_p .

Resposta:

Para fazer a análise CC do circuito sem carga, considera-se I_G sendo aproximadamente 0 e R_G como curto circuito. Dessa forma, o circuito fica como mostrado na figura 3.

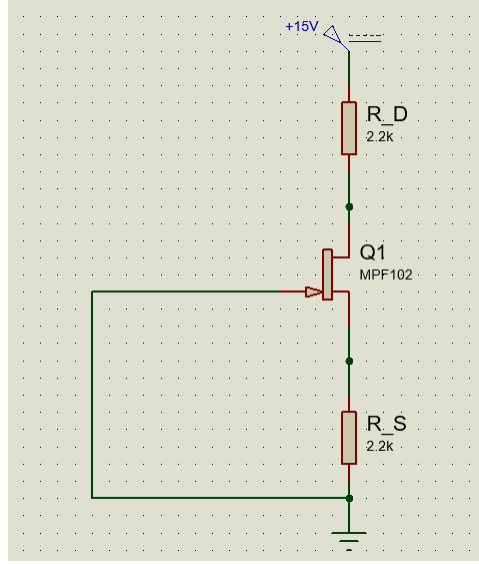


Figura 3: Circuito para análise CC

Fazendo a análise em malha fechada, sabe-se que a tensão sobre o resistor R_S , V_{GS} , é dada por:

$$V_{GS} = -R_S I_S \quad (1)$$

Porém, nesse caso, a corrente que passa em R_S , I_S , é igual a corrente que passa em R_D , I_D , logo $I_S = I_D$. E a equação 1 pode ser reescrita como:

$$V_{GS} = -R_S I_D \quad (2)$$

Com sinal oposto, V_{RS} equivale a:

$$V_{RS} = V_S = R_S I_D \quad (3)$$

Além disso, tensão sobre o resistor R_G , V_D , é:

$$V_D = R_D I_D \quad (4)$$

Agora, através do JFET, tem-se:

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 \quad (5)$$

Substituindo V_{RS} dado em (2), na equação (5):

$$I_D = I_{DSS} \left(1 + \frac{R_S I_D}{V_P} \right)^2 \quad (6)$$

E, através da manipulação da equação (6), obtém-se o seguinte:

$$I_D^2 - I_D \left(\frac{V_P^2}{R_S^2} - \frac{2I_{DSS}V_P}{R_S} \right) - \frac{I_{DSS}V_P^2}{R_S^2} = 0 \quad (7)$$

Desse modo, uma vez que $R_S = 2,2k\Omega$ e, pela folha de dados do JFET, vê-se que $V_P = 8V$ e $I_{DSS} = 20mA$ é possível substituir esses valores em (7) a fim de encontrar os valores de I_D .

$$I_D^2 - I_D \left(\frac{8^2}{(2,2 \cdot 10^3)^2} - \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot 8}{2,2 \cdot 10^3} \right) - \frac{20 \cdot 10^{-3} \cdot 8^2}{(2,2 \cdot 10^3)^2} = 0 \quad (8)$$

Assim:

$$I_D^2 + 1,32 \cdot 10^{-4}I_D - 2,64 \cdot 10^{-7} = 0 \quad (9)$$

Resolvendo essa equação, encontra-se dois valores possíveis pra I_D :

$$I_{D1} = 0,45mA \quad I_{D2} = -0,58mA$$

Com isso pode-se identificar o valor de V_{GS} pela equação 2. Para prosseguir, adota-se o valor positivo de I_D , ou seja, I_{D1} .

$$V_{GS} = -0,45 \cdot 10^{-3} \cdot 2,2 \cdot 10^3 = -0,99V \approx -1V \quad (10)$$

Da mesma forma, com a equação 3:

$$V_{RS} = 0,45 \cdot 10^{-3} \cdot 2,2 = 0,99V \approx 1V \quad (11)$$

Ademais, através de (4):

$$V_D = 0,45 \cdot 10^{-3} \cdot 2,2 \cdot 10^3 = 0,99V \approx 1V \quad (12)$$

Uma vez que os valores das tensões sobre os resistores R_D e R_S foram determinadas, pode-se afirmar que o restante da tensão corresponde a V_{DS} , assim:

$$\begin{aligned} V_D + V_S + V_{DS} &= 15V \\ 1 + 1 + V_{DS} &= 15V \\ V_{DS} &= 13V \end{aligned} \quad (13)$$

Por fim, obtém-se a tensão de estrangulamento proporcional, que pe dada por:

$$V_P' = I_D \frac{V_P}{I_{DSS}} \quad (14)$$

Novamente, substituindo os valores determinados anteriormente:

$$V_P' = 0,45 \cdot 10^{-3} \frac{8}{20^{-3}} = 0,18V \quad (15)$$

Finalmente, é possível verificar em qual região de operação o dispositivo está operando através da comparação de V_{DS} e $V_{P'}$. Tem-se:

$$V_{DS} = 13V \quad e \quad V_{P'} = 0,18V \quad (16)$$

Com isso,

$$V_{DS} > V_{P'} \quad (17)$$

E, portanto, pode-se afirmar que a região de operação do JFET é de fonte de corrente.

4) (2pts) Esboçar a curva de transcondutância e determinar os pontos V_{GSQ} e I_{DQ} . Desenhar também a reta de polarização correspondente a esse ponto. Para tanto, identifique em qual tipo de polarização o transistor está operando.

Resposta:

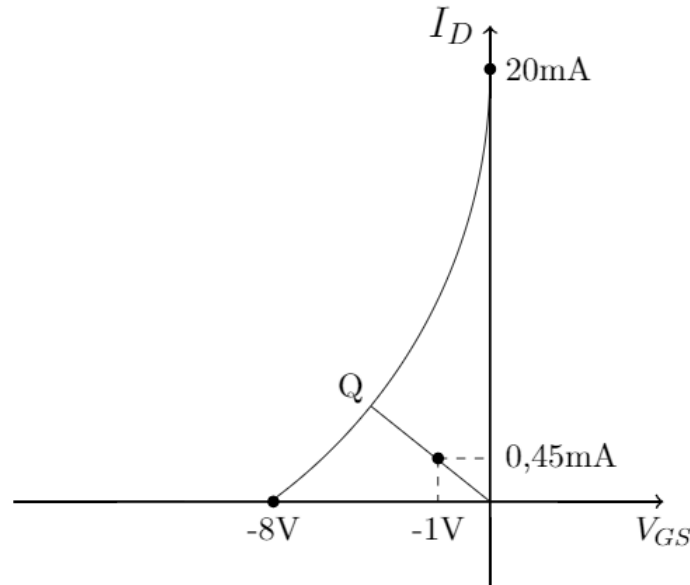


Figura 4: Curva de transcondutância

O ponto Q equivale a:

$$V_{GSQ} = \frac{3V_{GS(off)}}{4} = -6 \quad (18)$$

E, I_Q :

$$I_Q = \frac{I_{DSS}}{6} = 3,33mA \quad (19)$$

O transistor está operando em autopolarização.

5) (2,5pts) Faça uma análise CA do circuito sem carga e calcule o fator de transcondutância (g_m), a resistência dreno-fonte (r_d), a impedância de entrada (Z_{in}), a impedância de saída (Z_{out}) com e sem o efeito de r_d . Finalmente, calcule o ganho de tensão A_v com e sem o efeito de r_d e a tensão de saída V_o para os dois casos anteriores.

Resposta:

Para fazer a análise CA do circuito sem carga, segue-se a ordem dada no enunciado. Inicialmente calcula-se o fator de transcondutância, (g_m), dado por:

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right) \quad (20)$$

Substituindo os valores:

$$g_m = \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{|8|} \left(1 - \frac{-1}{8}\right) = 5,625 \text{ mS} \quad (21)$$

Continuando, obtém-se a resistência dreno-fonte, (r_d), por:

$$r_d = \frac{1}{Y_{os}} \quad (22)$$

Com valores:

$$r_d = \frac{1}{200 \mu\text{S}} = 5 \text{ k}\Omega \quad (23)$$

Além disso, a impedância de entrada:

$$Z_{in_{rd}} = R_G = 220 \text{ k}\Omega \quad (24)$$

Impedância de saída com efeito de r_d :

$$Z_{out} = \frac{\left[1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d}\right]}{\left[1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d} + \frac{R_D}{r_d}\right]} R_D \quad (25)$$

$$Z_{out} = 2132,09 \Omega$$

Não é possível fazer sem o efeito de r_d pois seria necesssário que r_d fosse 10 vezes maior que R_D , o que não acontece nesse caso

Finalmente, calcula-se o ganho de tensão com e sem o efeito de r_d :

Ganho de tensão com efeito de r_d :

$$A_{vrd} = -(r_d || R_D) g_m \quad (26)$$

$$A_{vrd} = -8,6$$

Ganho de tensão sem efeito de r_d :

$$A_v = -R_D g_m \quad (27)$$

$$A_v = -12,375$$

A tensão de saída com o efeito de r_d :

$$V_o = V_{in}A_{vrd} = 0,86V_{pp} \quad (28)$$

A tensão de saída sem o efeito r_d :

$$V_o = V_{in}A_v = -1,2V_{pp} \quad (29)$$

6) (2,5pts) Considerando ainda o circuito da Fig. 1 com R_L infinito (sem resistor de carga), ajuste o gerador de sinais para 1kHz com o nível do sinal em $0,1V_{pp}$ na entrada. Observe e meça o sinal de saída pico a pico. Em seguida, estime o ganho de tensão A_v . Compare com o valor calculado. Explique também por que a parte negativa do sinal de saída é levemente distorcida. Em seguida, diminua gradualmente a tensão de entrada até que a distorção deixe de ser perceptível. O que acontece com a distorção citada anteriormente? Justifique.

Resposta:

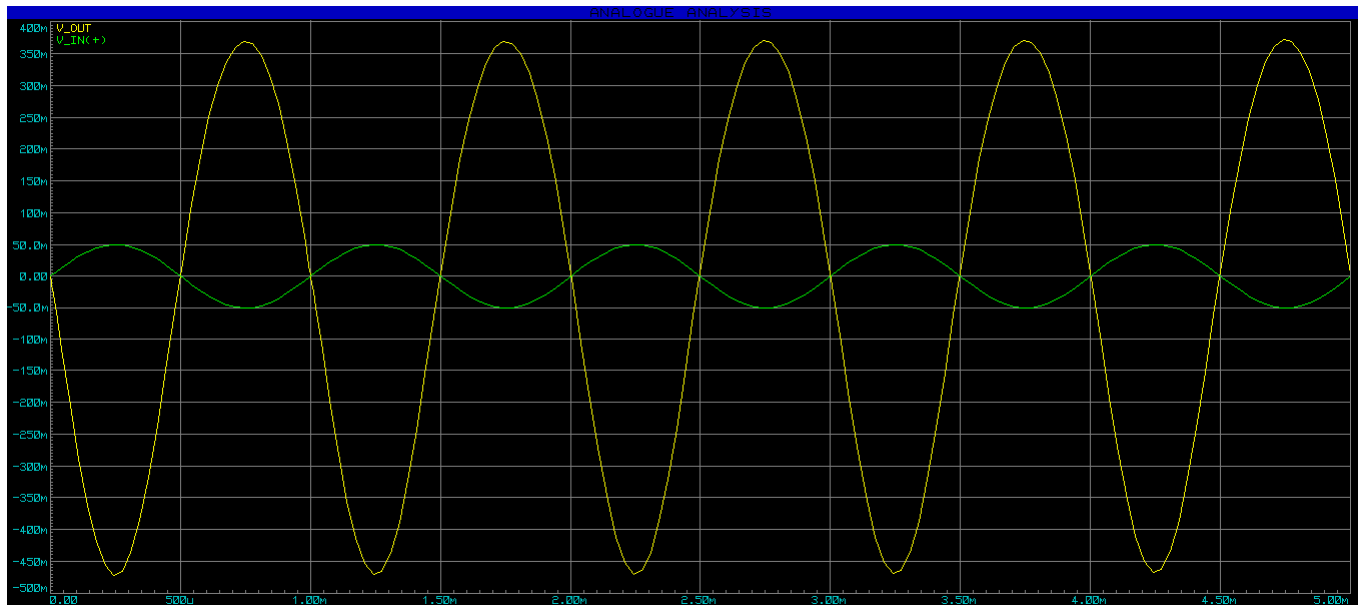


Figura 5: Sinal de saída

Considerou-se o circuito da Fig. 1 com R_L infinito e ajustou-se o gerador de sinais para 1kHz com o nível do sinal em $0,1V_{pp}$ na entrada. Feito isso, observou-se e mediu-se o sinal de saída pico a pico, que resultou em $V_{out} = 0,84V_{pp}$. Sendo assim, o valor estimado para o ganho A_v é de

$$A_{v_{est}} = -8,4 \quad (30)$$

Ao comparar esse valor com o obtido em (26), $A_v = -8,6$, vê-se que os valores são próximos. Além disso, pode-se dizer que quanto mais próximo o valor da tensão de estrangulamento proporcional está do sinal de saída de pico a pico, maior é a distorção. Nesse caso, o valor da tensão de estrangulamento proporcional está próximo ao valor do sinal de saída de pico a pico por esse motivo, a parte negativa do sinal de saída é levemente distorcida.

Em seguida, diminuiu-se gradualmente a tensão de entrada até $V_{in} = 0,06V_{pp}$, nesse valor, a distorção deixou de ser perceptível, isso pode ser visto na figura 6.

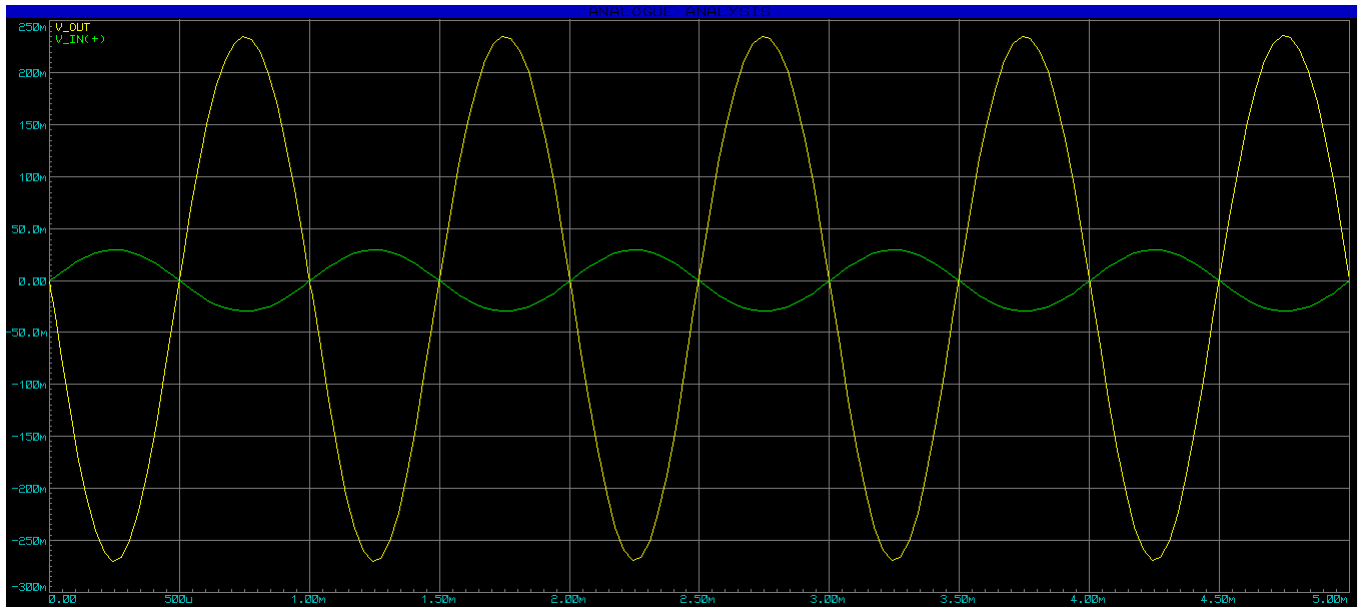


Figura 6: Sinal de saída sem distorção

7) (2pts) Ligue o potenciômetro no circuito como carga variável e ajuste o valor da carga até que a tensão pico a pico na saída seja a metade da tensão sem carga. Anote o valor da resistência do potenciômetro. Esse é a resistência Thevenin ou de saída obtida pelo método de casamento de impedâncias. Compare com a impedância de saída calculada.

Resposta:

Ligou-se o potenciômetro no circuito como carga variável e ajustou-se o valor da carga até que a tensão pico a pico na saída fosse a metade da tensão sem carga. Com isso, resistência do potenciômetro:

$$R_{pot} = 2209k\Omega \quad (31)$$

Além disso, impedância de saída calculada em (25), equivale a:

$$Z_{out} = 2115,86\Omega \quad (32)$$

Sendo assim, pode-se afirmar que os valores estão próximos.

8) (2pts) Projete o circuito novamente para que o ganho de tensão seja aproximadamente a metade do ganho calculado anteriormente.

Resposta:

O ganho de tensão é dado por:

$$A_v = -(r_d || R_D)g_m \quad (33)$$

Com isso, conforme mostrado em 26, anteriormente, o valor calculado foi de -8,6. Dessa forma, agora deseja-se projetar o circuito para que o ganho seja de aproximadamente -4,3. Assim

sendo, basta determinar o valor do resistor R_D que resulte nesse ganho, através da equação (33), faz-se:

$$\begin{aligned} -4,3 &= -(r_d || R_D)g_m \\ R_D &= 901\Omega \end{aligned} \quad (34)$$

isso porque, o ganho de tensão está diretamente ligado a tensão CC que passa pelo resistor R_D . O circuito fica como mostrado na figura

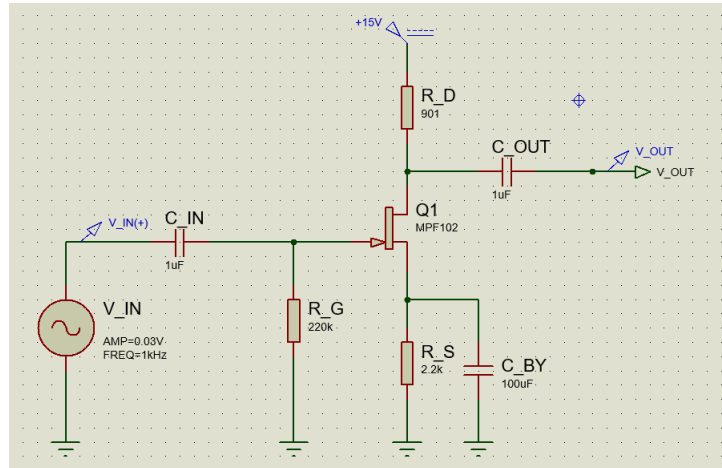


Figura 7: Circuito com ganho de aproximadamente -4,3

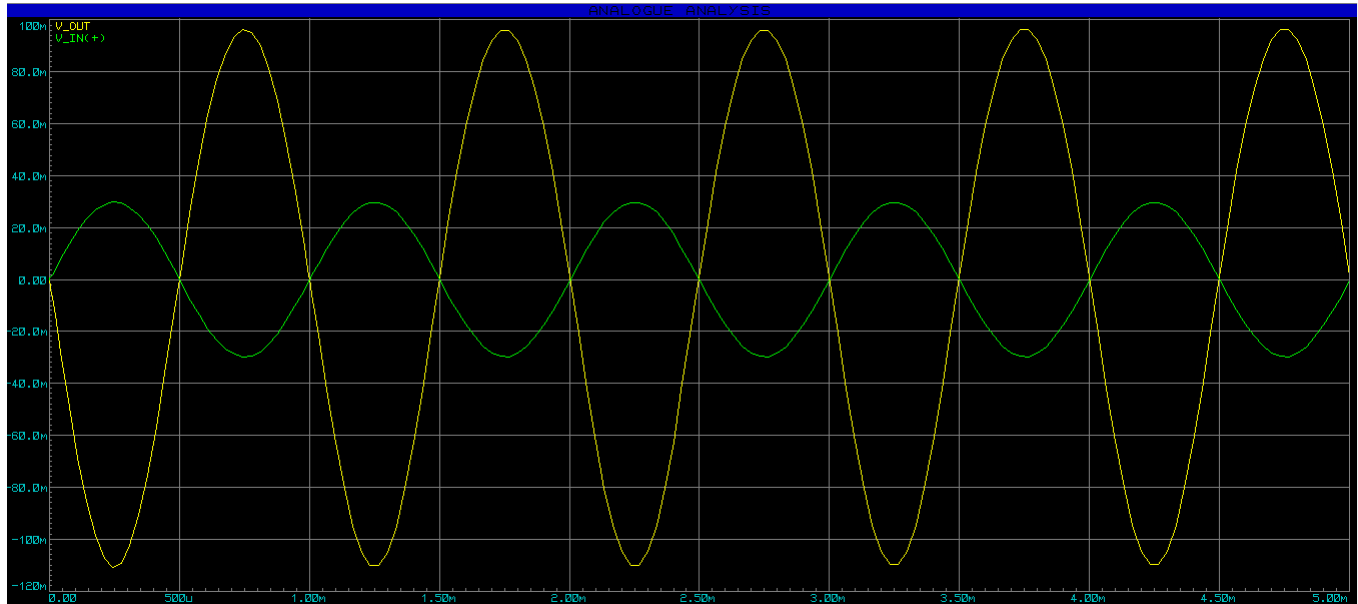


Figura 8: Sinal do circuito

Conclusão:

Conclui-se, ao final, que as simulações no Proteus corroboram com os valores obtidos algebricamente, uma vez que estão muito próximos. Além disso, pode-se dizer que os objetivos do trabalho foram alcançados com êxito, isso porque, todos os tópicos foram estudados, revisados e colocados em práticas no desenvolvimento de cada questão e todas foram respondidas.