

SEL0610 – Laboratório de Circuitos Eletrônicos
2º Semestre de 2023

Nome – Aluno 1: Carlos Henrique Hannas de Carvalho

Num. USP: 11965988

Nome – Aluno 2: Pedro Antonio Bruno Grando

Num. USP: 12547166

Amplificadores com TBJ - Prática 6

PARTE 0

Os circuitos que utilizam transistores bipolares de junção (TBJ) exploram o ganho de corrente estática (β) do transistor para executar funções de amplificação.

O transistor utilizado nessa prática apresenta o seguinte valor de ganho:

$$\beta = 239$$

PARTE 1

Montou-se o circuito eletrônico da figura 1, que apresenta a topologia de um amplificador Coletor Comum.

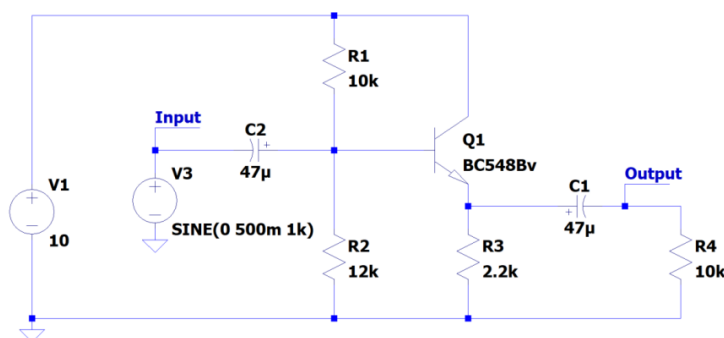


Figura 1: Circuito eletrônico da parte 1.

ITEM A)

Sabe-se que um TBJ opera, principalmente, sobre correntes, seguindo a seguinte relação fundamental em pequeno sinais:

$$i_C = \beta \times i_B$$

Isso, somado à condição extraída do fluxo das correntes:

$$I_E = I_B + I_C$$

permite a compreensão do que ocorre durante a operação do circuito. Com o transistor já polarizado, sabe-se que a corrente que flui pelo emissor, onde a saída é coletada, será a soma das correntes de base e coletor, e que a corrente de base controla a corrente de coletor e, conseqüentemente, a de emissor. Assim, a aplicação de um sinal AC na base gerará alterações em V_{BE} , o que provocará flutuações na corrente de base e conseqüentemente na corrente de emissor, o que provoca a queda de tensão enxergada no resistor R_3 .

A equação de ganho de tensão do circuito é dado por:

$$A_v = \frac{g_m(R_3 || R_4)}{g_m(R_3 || R_4) + 1}$$

onde

$$g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

é a transcondutância do circuito, e V_T é a tensão térmica do TBJ. É visível que o ganho de tensão do circuito é quase unitário

ITEM B)

Avalia-se, neste item, a polarização do transistor utilizado na prática. As tensões de base e emissor, V_b e V_e , respectivamente, e a corrente do emissor, I_e , foram colocadas na tabela 1, em que:

$$I_e = \frac{V_e}{R_3}$$

A tabela com os valores medidos e calculados se encontra logo abaixo:

Tensão/Corrente	Valor
V_b [V]	5,40
V_e [V]	4,72
I_e [mA]	2,14

Tabela 1: Polarização do TBJ.

ITEM C)

Aplicou-se um sinal senoidal de amplitude $A = 500mV$ e frequência $f = 1kHz$, no *input* do circuito. Então, pode-se mostrar alguns dos resultados no seguintes itens:

1. Tensão de entrada e saída do osciloscópio:

A figura 2 apresenta as tensões de entrada e saída vista do osciloscópio

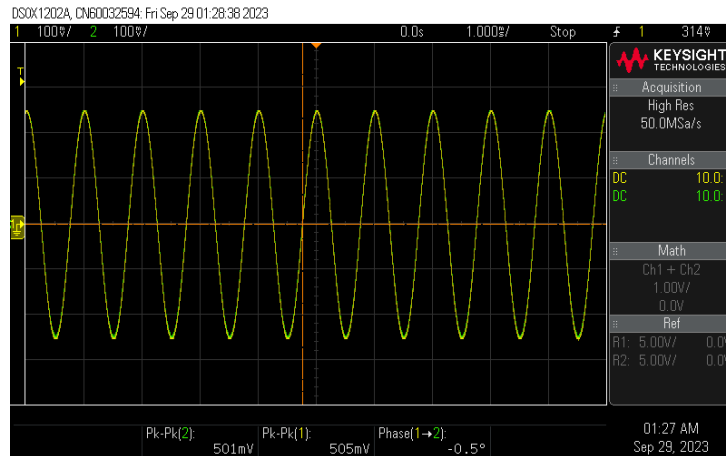


Figura 2: Tensão de entrada e saída do osciloscópio

2. O ganho de tensão do amplificador e a fase do sinal de saída, em relação à entrada:

A partir do observado na figura 2, é visível que o ganho, razão do sinal de saída pelo de entrada é dado por:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{501}{505} = 0,992V/V$$

e a fase do sinal de saída é a mesma que o sinal de entrada, mostrado pela diferença de fase de 0,5 graus, refletindo apenas erros de medição.

3. O ponto, evidente, de operação em que as distorções iniciaram a se tornarem mais evidentes na saída do amplificador:
O ponto em que as distorções se iniciaram foi, aproximadamente, $V_{distorção} = 8,5V$.
A figura 3 mostra um ponto de distorção.

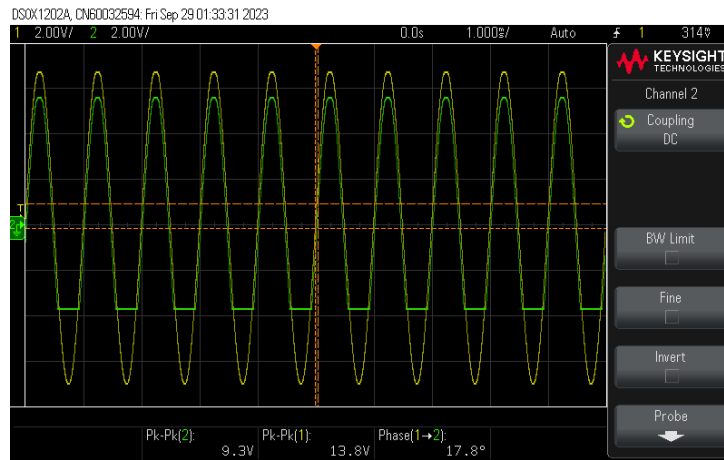


Figura 3: *Ponto de distorção.*

Distorções em um amplificador de coletor comum ocorrem devido à não linearidade do transistor, saturação, corte e limitações de tensão de alimentação quando a amplitude do sinal de entrada é muito alta ou muito baixa, resultando em uma resposta não linear do amplificador.

4. Operação do circuito no modo XY:
A figura 4 mostra o modo de operação XY do circuito Coletor Comum.

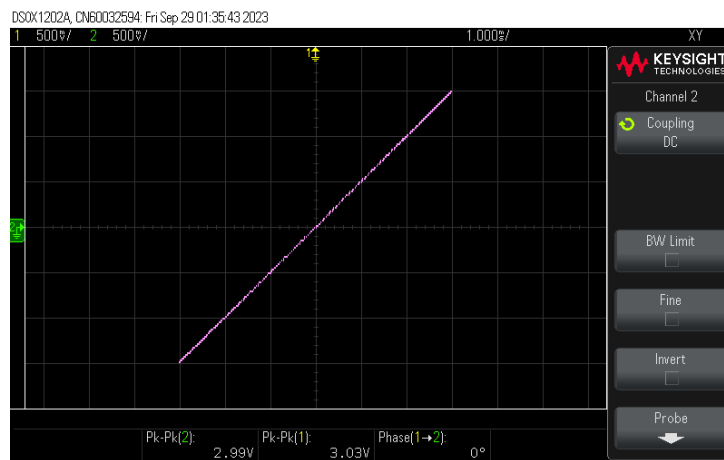


Figura 4: *Modo de operação XY sem distorção*

A imagem 5 mostra também o modo XY do mesmo circuito, apesar de um modo de operação distorcido.

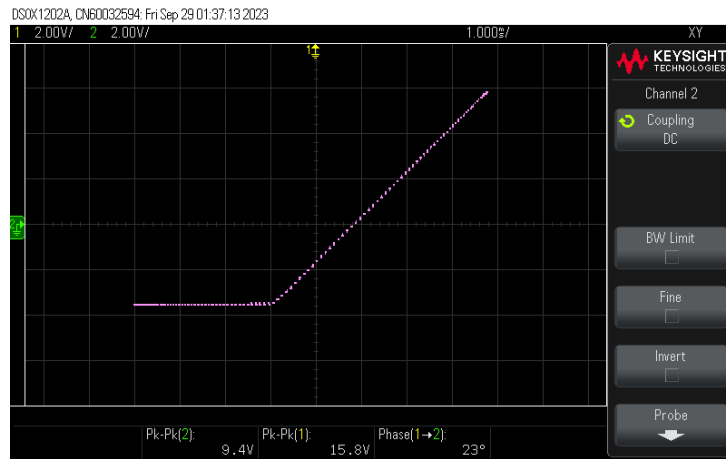


Figura 5: Modo de operação XY com distorção

Quando varia-se a amplitude do sinal de entrada, percebe-se que há uma distorção no modo de operação XY do circuito - isso pode ser visto comparando as figuras 4 e 5, respectivamente, sem e com distorção.

Quando não houve distorção a figura apresentou uma curva totalmente afim; a variação de amplitude implicou numa curva constante até um determinado ponto, em seguida de uma curva afim.

ITEM D)

Os circuitos de Coletor Comum são comumente empregados como um estágio de saída. De forma resumida, esses circuitos possuem, aproximadamente, um ganho de tensão unitário, i.e., os sinais de entrada são praticamente replicados na saída.

Além disso, para garantir o ganho de tensão unitário, ele possui uma resistência de entrada elevada e uma baixa resistência de saída - dessa forma, utiliza-se em aplicações nas quais uma elevada resistência de fonte deve ser conectada a uma carga de valor pequeno, atuando semelhantemente a um *buffer*.

Algumas das aplicações deste tipo de circuito são: amplificação de áudio, receptores de rádio e termistores.

PARTE 2

Montou-se o circuito eletrônico da figura 6, que apresenta a topologia de um amplificador Base Comum.

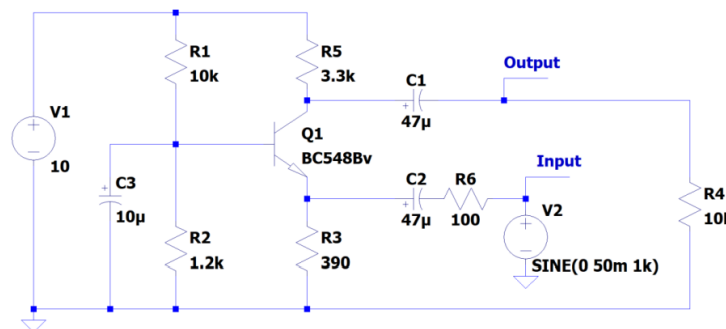


Figura 6: Circuito eletrônico da parte 2.

ITEM A)

Assim como na topologia de coletor comum, o funcionamento do circuito está pautado na variação da tensão V_{BE} . A aplicação de um sinal alternado no emissor do circuito provoca flutuações na tensão

base-emissor, que por sua vez produz flutuações nas correntes de coletor, base e emissor, já que estas são proporcionais à corrente de polarização multiplicada por um fator exponencial, dependente de V_{BE} .

Portanto, as flutuações de corrente no emissor, pela lei de Ohm, produzem alterações de tensão na carga R_5 , donde é coletada a saída do circuito.

A equação de ganho do circuito pode ser expressa por:

$$A_v = \frac{(g_m r_o + 1)(R_5 || R_4)}{(R_5 || R_4) + r_o}$$

considerando a resistência finita de saída do transistor. Ainda, se $r_o \gg (R_5 || R_4)$, a equação pode ser aproximada para:

$$A_v = g_m(R_5 || R_4)$$

ITEM B)

Avalia-se, neste item, a polarização do transistor utilizado na prática. As tensões de base, emissor e coletor, V_b , V_e e V_c , respectivamente, e a corrente do coletor, I_c , foram colocadas na tabela 2, em que:

$$I_c = \frac{V_1 - V_e}{R_5}$$

A tabela com os valores medidos e calculados se encontra logo abaixo:

Tensão/Corrente	Valor
V_b [V]	1,04V
V_e [V]	0,392
V_c [V]	6,70
I_c [mA]	1,00

Tabela 2: Polarização do TBJ.

ITEM C)

Aplicou-se um sinal senoidal pequeno de frequência $f = 1kHz$, no *input* do circuito, até $1V_{pico}$ na saída. Então, pode-se mostrar alguns dos resultados no seguintes itens:

1. Tensão de entrada e saída do osciloscópio: A figura 7 apresenta as tensões de entrada e saída vista do osciloscópio

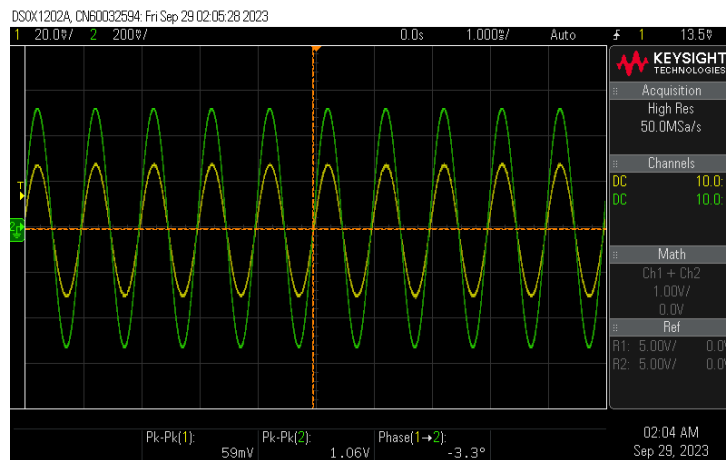


Figura 7: Tensão de entrada e saída do osciloscópio.

2. O ganho de tensão do amplificador e a fase do sinal de saída, em relação à entrada: De acordo com o que foi apresentado na figura 7, tem-se que

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{509.1}{12.09} = 42,1V/V$$

e a o sinal está defasado de, aproximadamente 180° , desconsiderando os 13.9° que provavelmente são devidos a capacitâncias indesejadas e outras características de um BJT real.

3. O ponto, evidente, de operação em que as distorções iniciaram a se tornarem mais evidentes na saída do amplificador: O ponto em que as distorções se iniciaram foi, aproximadamente, $V_{distorção} = 500mV$.

A figura 8 mostra um ponto de distorção.

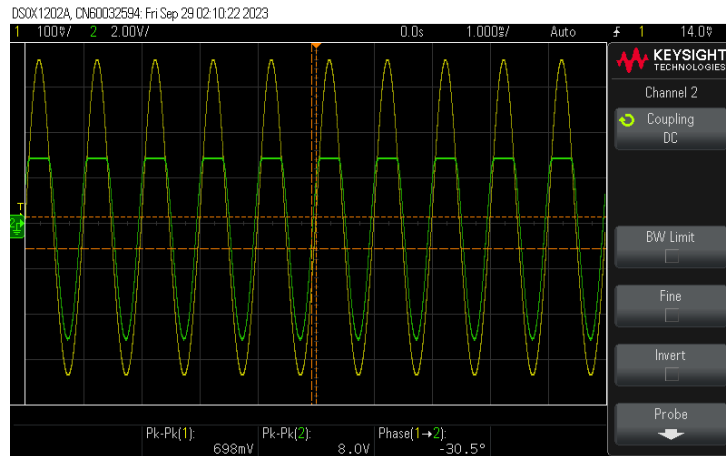


Figura 8: Ponto de distorção.

As distorções ocorrem devido a alguns fatores como a região de operação e limitação de alimentação. Ou seja, para uma entrada de sinal muito alta, o transistor pode atingir sua saturação, onde não pode amplificar mais o sinal. Isso corta o sinal de saída, levando a distorções e respostas não lineares dos transístores.

4. Operação do circuito no modo XY: A figura 9 mostra o modo de operação XY do circuito Base Comum.

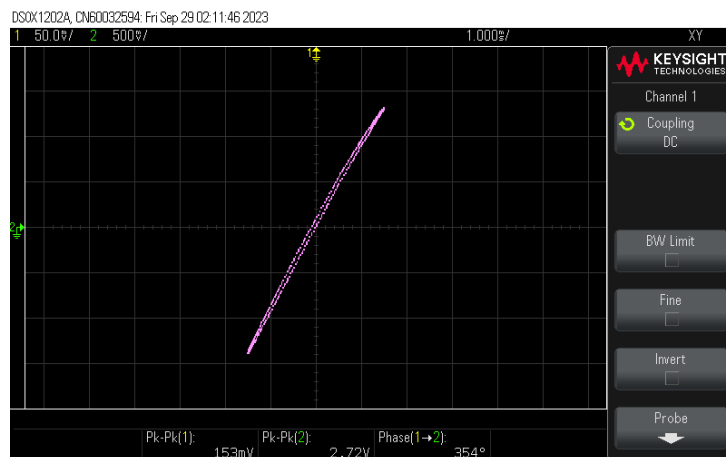


Figura 9: Modo de operação XY sem distorção

A imagem 10 mostra também o modo XY do mesmo circuito, apesar de um modo de operação distorcido.

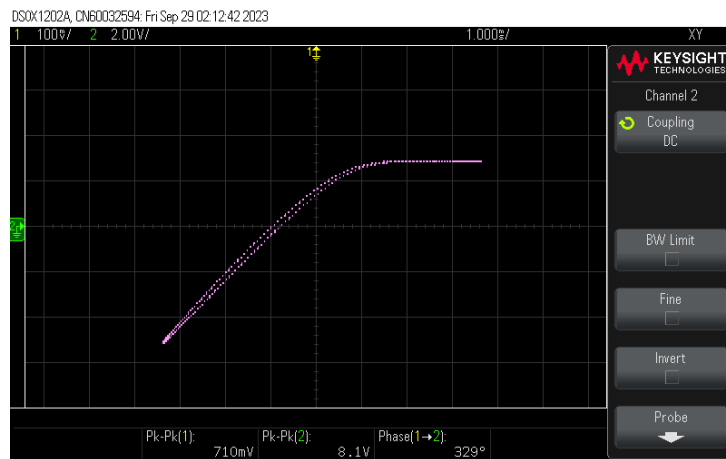


Figura 10: Modo de operação XY com distorção

Quando varia-se a amplitude do sinal de entrada, percebe-se que há uma distorção no modo de operação XY do circuito - isso pode ser visto comparando as figuras 9 e 10, respectivamente, sem e com distorção.

Quando não houve distorção a figura apresentou uma curva totalmente afim; a variação de amplitude implicou numa curva afim até um determinado ponto, em seguida de uma curva constante.

ITEM D)

Os circuitos de Base Comum possuem uma resistência de entrada baixa, uma resistência de saída numericamente igual a uma resistência acoplada ao V_{cc} , ganho de corrente próximo a um.

Apesar de também possuir ganhos moderados de tensão, o circuito não é utilizado como um amplificador de tensão. O Base Comum é geralmente utilizado buffer de corrente com ganho unitário e respostas em altas frequências.

Algumas das aplicações deste tipo de circuito são: osciladores de alta frequência, amplificadores de rádio frequência e receptores de rádio.

PARTE 3

Montou-se o circuito eletrônico da figura 11, que apresenta a topologia de um amplificador Emissor Comum.

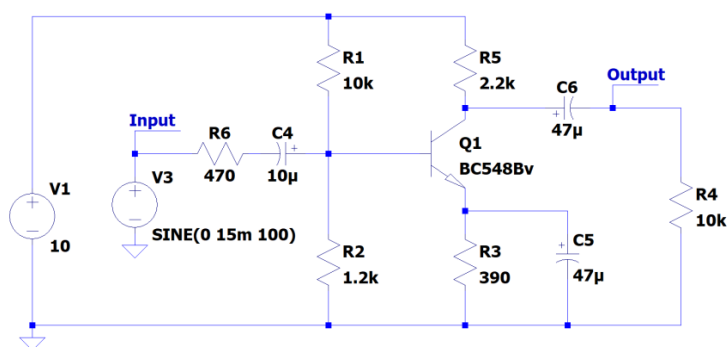


Figura 11: Circuito eletrônico da parte 3.

ITEM A)

De forma semelhante ao coletor comum, a aplicação de um sinal AC na base produz flutuações na tensão V_{BE} , que por sua vez faz variar a corrente de coletor do circuito, e novamente, essa corrente AC produzirá flutuações de tensão no resistor R_5 .

A equação de ganho do circuito, com o capacitor de bypass C_5 , é expressa por:

$$A_v = -g_m(R_5 || R_4)$$

que é o mesmo ganho em módulo que a topologia base comum, contudo, com uma defasagem de 180° .

ITEM B)

Avalia-se, neste item, a polarização do transistor utilizado na prática. As tensões de base, emissor e coletor, V_b , V_e e V_c , respectivamente, e a corrente do coletor, I_c , foram colocadas na tabela 3, em que:

$$I_c = \frac{V_{cc} - V_c}{R_5}$$

A tabela com os valores medidos e calculados se encontra logo abaixo:

Tensão/Corrente	Valor
V_b [V]	1,016
V_e [V]	0,372
V_c [V]	7,7
I_c [mA]	1,045

Tabela 3: Polarização do TBJ.

ITEM C)

Aplicou-se um sinal senoidal pequeno de frequência $f = 1kHz$, no *input* do circuito, até $500mV_{pico}$ na saída. Então, pode-se mostrar alguns dos resultados no seguintes itens:

1. Tensão de entrada e saída do osciloscópio: A figura 12 apresenta as tensões de entrada e saída vista do osciloscópio

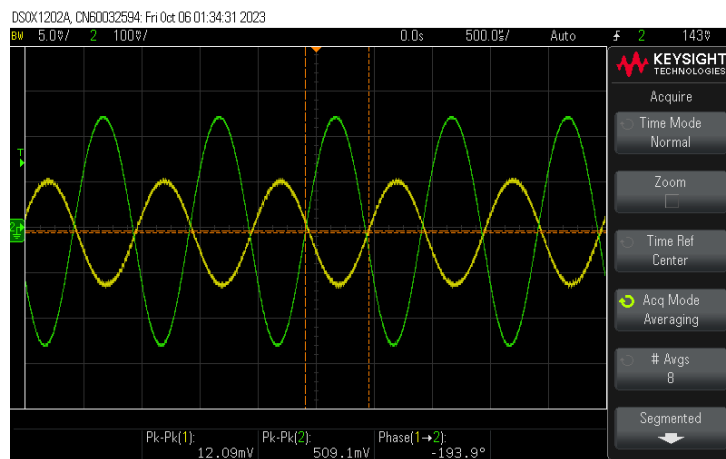


Figura 12: Tensão de entrada e saída do osciloscópio.

2. O ganho de tensão do amplificador e a fase do sinal de saída, em relação à entrada:

O ganho de tensão é dado por:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{1060}{59} = 17,97V/V$$

enquanto é visível que a fase da saída é a mesma que a da entrada, uma vez que a diferença de fase é quase nula, e provavelmente apenas reflete imperfeições dos componentes.

3. O ponto, evidente, de operação em que as distorções iniciaram a se tornarem mais evidentes na saída do amplificador: O ponto em que as distorções se iniciaram foi, aproximadamente, $V_{distorção} = 120mV$.

A figura 13 mostra um ponto de distorção.

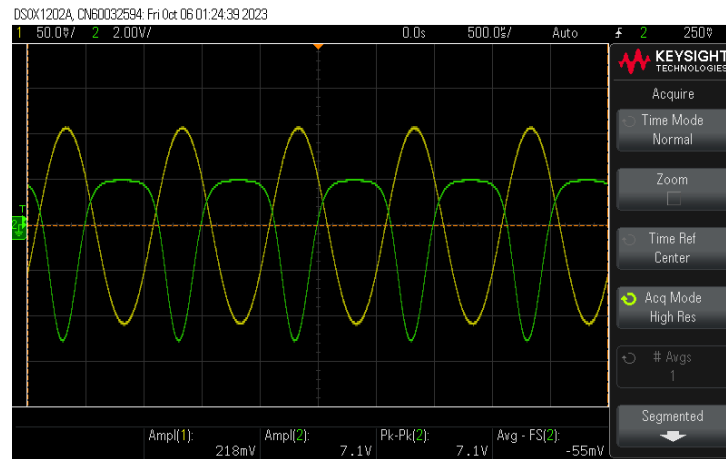


Figura 13: *Ponto de distorção.*

4. Operação do circuito no modo XY: A figura 14 mostra o modo de operação XY do circuito Emissor Comum.



Figura 14: *Modo de operação XY sem distorção*

A imagem 15 mostra também o modo XY do mesmo circuito, apesar de um modo de operação distorcido.

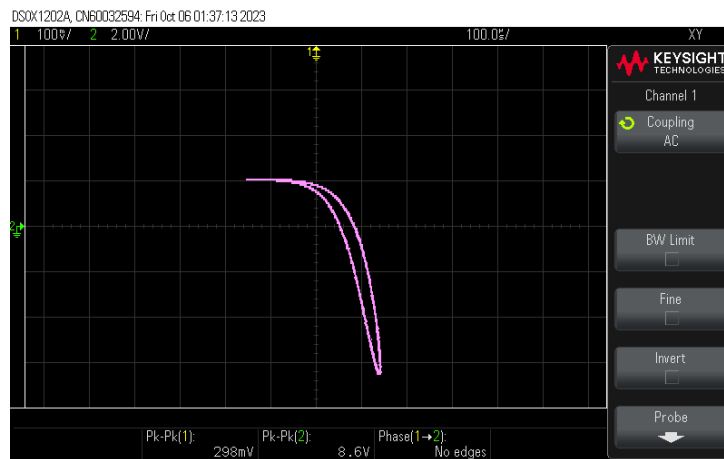


Figura 15: Modo de operação XY com distorção

5. Diminui-se a frequência do sinal de entrada para $f = 100\text{Hz}$. Houve diferença em relação ao item 2? A figura 16 mostra o comportamento da curva quando diminui-se a frequência de entrada para $f = 100\text{Hz}$.

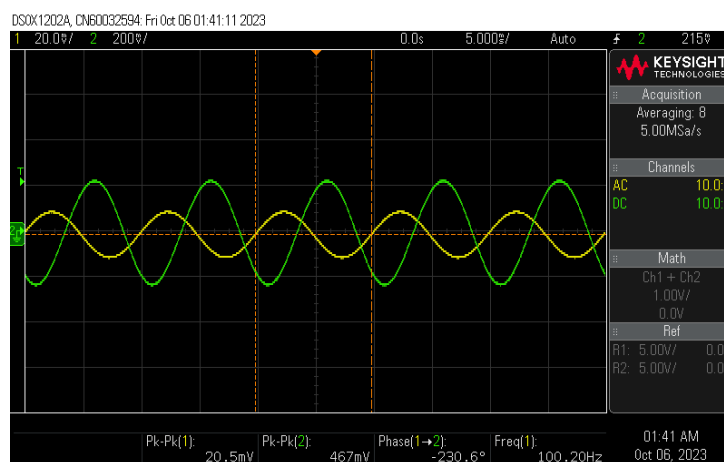


Figura 16: Tensão de entrada e saída do osciloscópio, quando $f = 100\text{Hz}$.

Percebe-se, a partir das figura 12 e 16, que a fase aumentou, em módulo, quando diminui-se a frequência de $f_1 = 1000\text{Hz}$ para $f_2 = 100\text{Hz}$, respectivamente.

ITEM D)

Os circuitos de Emissor Comum possuem algumas características, como ganho de tensão elevado e menos dependente do valor β do TBJ. Além disso, as respostas em alta frequência é melhorada em relação aos demais circuitos eletrônicos.

Uma outra característica importante do Emissor Comum é a inversão de fase - isso garante diversas aplicações eletrônicas sobre amplificação.

Algumas das aplicações deste tipo de circuito são: amplificação de sinais de áudio(provenientes de microfones, tocadores de música ou fontes de som), amplificação de sinais fracos (sensores de luz de baixa saída).

CONCLUSÕES

Pode-se estudar então a topologia de três tipos de circuitos eletrônicos amplificadores diferentes: circuitos de coletor comum, base comum e emissor comum. Para cada uma das topologias analisou-se as tensões nos terminais do TBJ e a corrente no emissor ou coletor

Inicialmente estudou-se o comportamento de tensões e corrente quando há apenas uma entrada DC, isto é, estudou-se a polarização do circuito: verificou-se uma tensão de coletor alta para os casos de base e emissor comum - o que é de se esperar, visto que havia uma carga de alta impedância conectada ao coletor do transistor, em relação aos outros terminais. A tensão de saída será determinada pela relação entre a carga e a corrente de coletor. Na topologia de coletor comum, como não houve carga conectada a este terminal, não houve valor de tensão significativa.

Em um segundo instante, analisou-se o comportamento de tensões para entrada de sinais senoidais. Pode-se verificar os momentos de distorções quando aumenta-se o sinal de entrada. Verificou-se todos os instantes de distorção, podendo aproximar a tensão em que isso ocorria para cada um dos circuitos estudados. O comportamento de distorção pode ser observado claramente quando analisou-se o modo de operação XY do osciloscópio.