INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Secção de Sistemas e Controlo

Análise de Circuitos

1º Trabalho de Laboratório

Março de 2001

Elaborado por:
António Serralheiro
João Freire

Aluno nº _____, _____, Turma_____, Turno ___
Aluno nº _____, _____, Turma_____, Turno ___
Aluno nº _____, _____, Turma_____, Turno ___

Data: _____

INTRODUÇÃO AO USO DO OSCILOSCÓPIO

0 - INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

Com este trabalho pretende-se iniciar o aluno na utilização do osciloscópio como aparelho de medida e de observação de grandezas eléctricas. Começa-se por apresentar o osciloscópio do ponto de vista funcional, e indicam-se algumas técnicas de medida de tensões e de períodos de sinais.

Neste guia são indicados um conjunto de passos que deverão ser seguidos de modo a se atingirem os objectivos deste trabalho. Repare-se que se assinalam, respectivamente, com (**T**) ou (**E**) ou ainda com (**C**), os pontos que requerem uma análise teórica ou trabalho experimental, ou ainda os pontos que necessitem de comentários.

Este primeiro trabalho de laboratório é dividido em duas sessões práticas. É aconselhável iniciar a segunda sessão no ponto 2 deste guia.

1 - OSCILOSCÓPIO

1.1 - INTRODUÇÃO AO SEU PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Atente na figura 1, onde se apresenta um diagrama contendo um tubo de raios catódicos. Neste tubo, como pode verificar, existe um conjunto de eléctrodos, *a* e *b*,destinados a produzirem um feixe de electrões que incidem num alvo fosforescente *f* (mostrador), produzindo um ponto luminoso, cuja intensidade é função da energia contida no feixe de electrões *e*. No interior do tubo de raios catódicos, encontram-se dois pares de placas *c* e *d*, perpendiculares entre si, mas paralelas ao feixe de electrões. Quando se aplica uma tensão a um dos pares de placas de deflexão (por exemplo, nas de deflexão vertical, *d*), cria-se um campo eléctrico que irá desviar o feixe de electrões (figura 2). Quanto maior for este campo, maior será o desvio sofrido pelo feixe em relação à sua trajectória original. Deste modo, a distância do ponto luminoso ao centro do mostrador tem uma correspondência directa com a amplitude da tensão aplicada nas placas. Basta, portanto, dotar o mostrador de uma escala métrica para que se possa (a menos de uma constante de proporcionalidade) determinar a tensão aplicada. Se a tensão aplicada for sinusoidal, o feixe ir-se-á deslocar alternadamente para cima e para baixo, produzindo um «rasto» no mostrador (figura 3). Se o período de oscilacão desta tensão for suficientemente baixo (comparado com os tempos de persistência do mostrador e da retina humana) ter-se-á um segmento de recta que poderemos associar ao contradomínio do sinal aplicado nas placas.

Repare-se que, deste modo, obtivemos um processo de medir a tensão aplicada, mas ainda não podemos determinar qual a sua «forma».

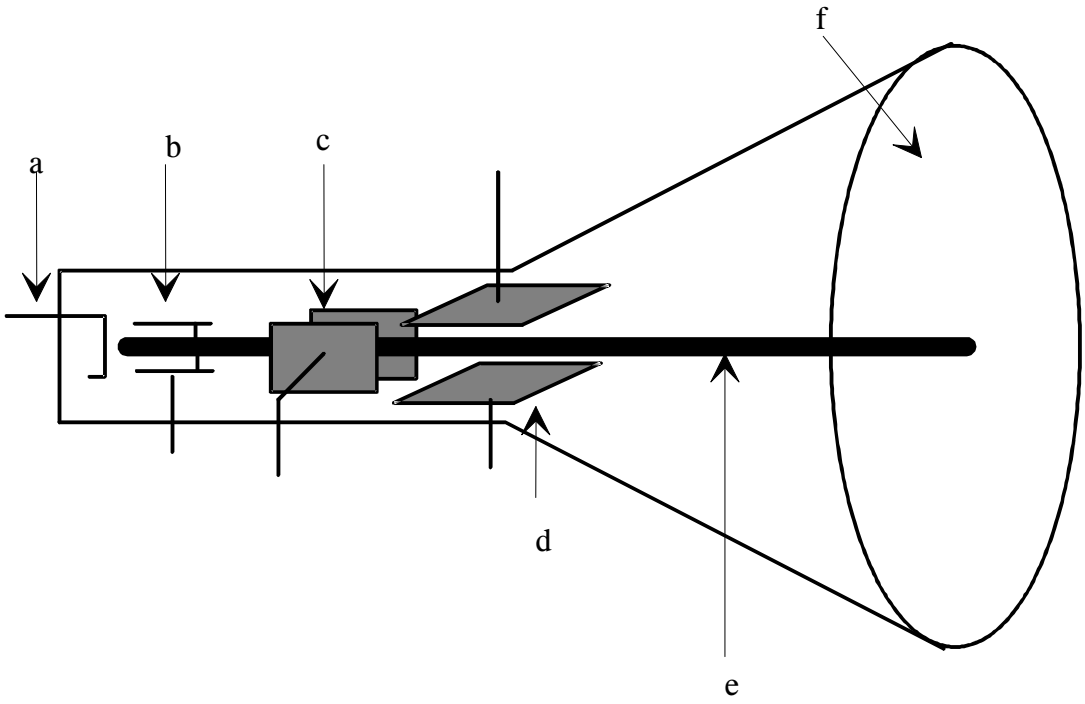


Figura 1 - Diagrama esquemático (simplificado) do tubo de raios catódicos: a - cátodo, b - ânodo, c - placas de deflexão horizontal, d - placas de deflexão vertical, e - feixe de electrões, f - alvo fosforescente.

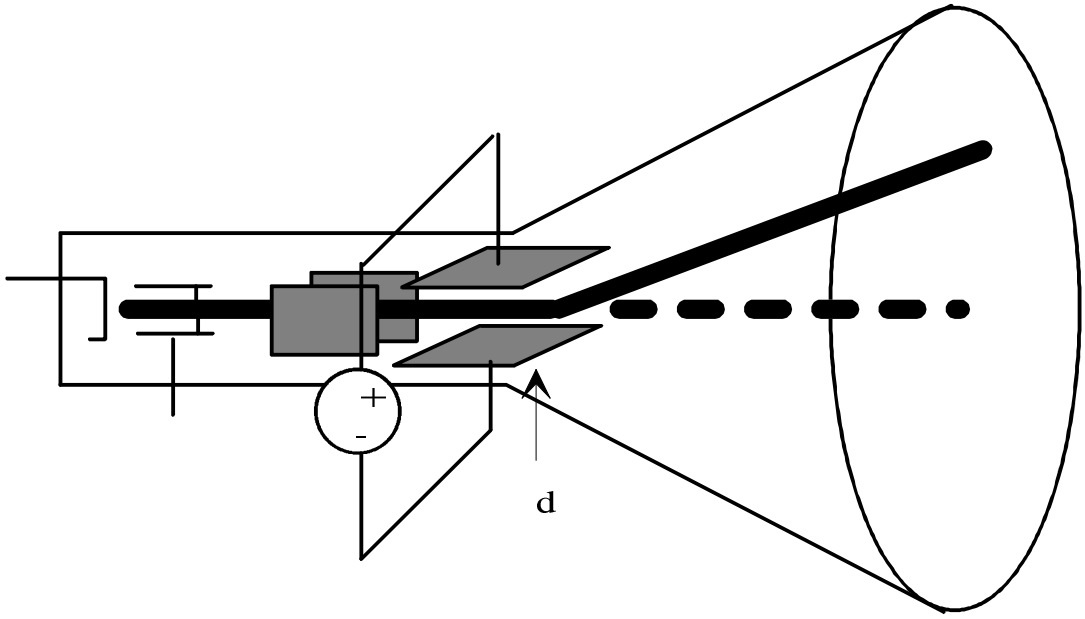


Figura 2 - Deslocamento (na verical) do feixe de electrões pelo efeito de um campo eléctrico entre o par de placas *d*.

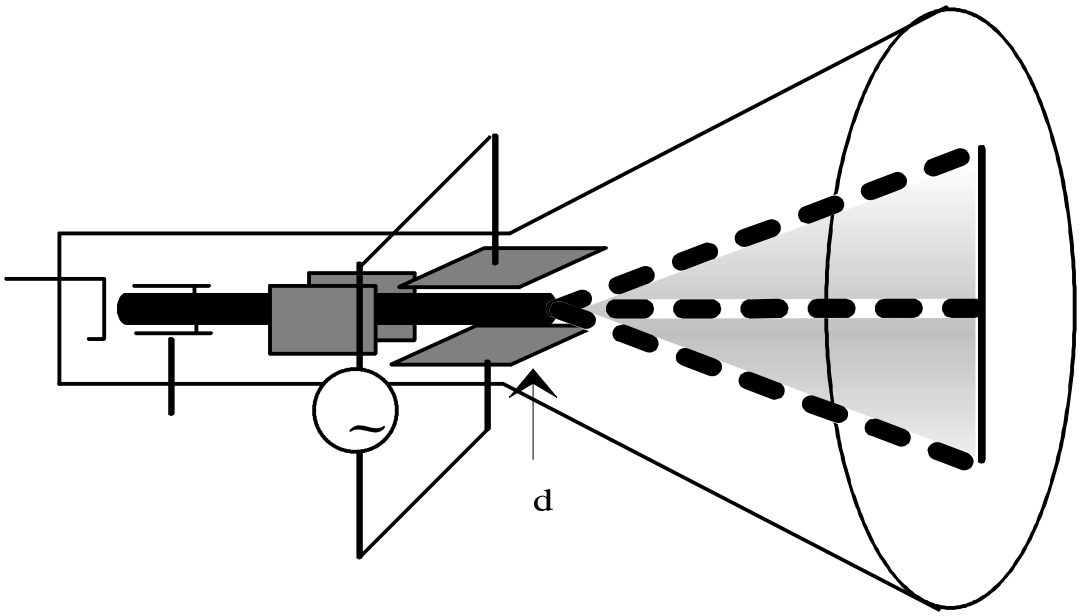


Figura 3 - Rasto produzido no mostrador por um feixe desviado alternadamente para cima e para baixo.

1.2 - (T)

Neste ponto pretende-se que o aluno seja capaz de prever qual a imagem produzida no mostrador aplicando diversas tensões nas placas de deflexão vertical. Assim, considere inicialmente que se aplica nas placas *d* uma tensão periódica como a que se exemplifica na figura 4 (onda triangular). Desenhe qual o resultado (rasto) que espera obter no mostrador. JUSTIFIQUE A SUA RESPOSTA!

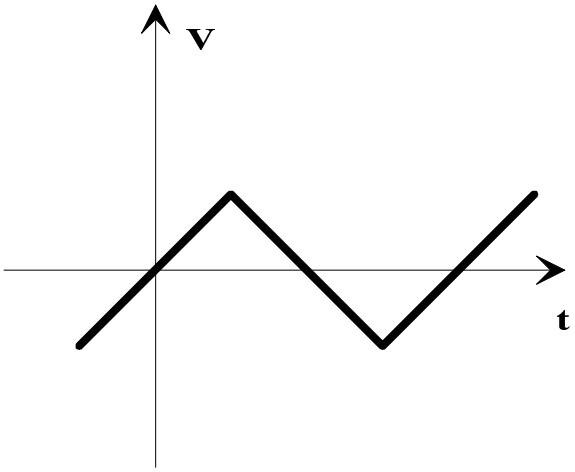


Figura 4 - Onda triangular.

1.3 - (T)

Considere que se aplica nas placas *d* uma outra tensão periódica como a que se exemplifica na figura 5 (onda quadrada). Desenhe qual seria o resultado que esperaria obter no mostrador. JUSTIFIQUE A SUA RESPOSTA!

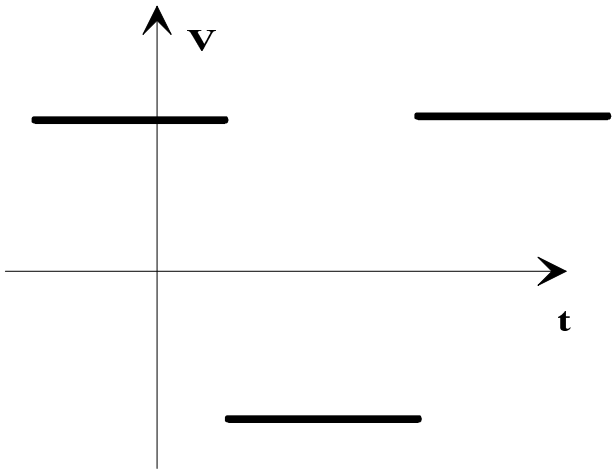


Figura 5 - Onda Quadrada.

1.4 - (E)

Pretende-se, agora, verificar na prática os resultados anteriores. Comece por ligar prèviamente o osciloscópio, uma vez que é necessário esperar que este «aqueça» (lembre-se do seu aparelho de televisão...). Seleccione no gerador de sinais (mas sem o ligar) um sinal triangular com uma amplitude de aproximadamente 3V[1]. Coloque um cabo apropriado na saída do gerador de sinais[2], e tenha especial atenção em distinguir o terminal do sinal do terminal da «massa» (referência). Nos cabos coaxiais, o primeiro é assinalado por uma pinça crocodilo ou ficha banana de côr **vermelha** e o segundo pelo crocodilo ou ficha de côr **preta**. Seleccione no gerador de sinais uma frequência de 1000 Hz.

No osciloscópio, coloque na entrada do canal **2** (por vezes assinalado pela letra **Y**) um cabo coaxial que deverá ligar ao gerador de sinais através do cabo que ligou anteriormente. Respeite as convenções sinal-massa, ligando os terminais vermelhos um ao outro bem como os pretos entre si. Se trocar as ligações estará a curto-circuitar a saída do gerador de sinais[3] através da «massa» do laboratório que é comum a todas as «massas» dos aparelhos nele ligados à rede de alimentação eléctrica.

Procure no painel frontal do osciloscópio todos os interruptores e/ou selectores que indiquem **XY** e coloque-os nessa posição. Procure ainda o ajuste de sensibilidade do canal 2 (é um comutador que apresenta vários valores, normalmente em por saltos 1 - 2 - 5) e coloque-o na posição **1**[4]. Tenha especial atenção em colocar os comutadores DC-AC-GND dos canais de entrada do osciloscópio na posição **DC.**

Não se preocupe, neste momento, em perceber todos os passos que irá percorrer: a sequência de experiências que lhe são propostas levá-lo-ão intuitivamente a conhecer o funcionamento do osciloscópio.

Ainda no painel frontal do osciloscópio, procure junto do ecrán os comandos de intensidade e de focagem do feixe de electrões, e regule-os de modo a ter um ponto brilhante, mas não em excesso, e o mais redondo que for possível. Usando os comandos assinalados pelas símbolos ⇳ e ⇔, desloque esse ponto até ao centro do mostrador.

Ligue agora o gerador de sinais. Deverá observar uma recta vertical no mostrador. Ajuste a amplitude de saída do gerador de modo a ter um segmento de recta com 6 quadrados de comprimento (+3 V a -3V).

1.4.1 Confirme a resposta dada em 1.2.

---

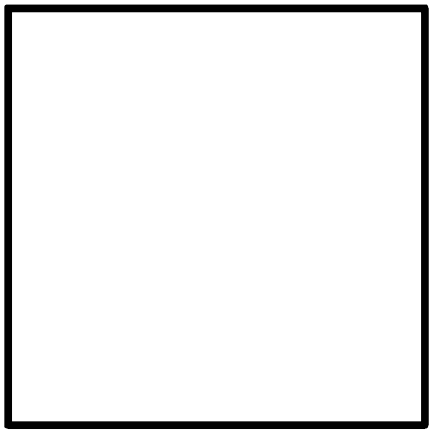
[1] Deve procurar no painel um interruptor que selecciona as diferentes formas de onda da tensão de saída, e colocá-lo na posição pretendida. Quanto à tensão de saída, ela é escolhida através de um potenciómetro que, consoante os modelos do equipamento, pode ou não estar graduado em Volt (se não estiver, coloque o potenciómetro numa posição intermédia...).

[2] Provàvelmente a saída do aparelho ou é feita através de dois terminais (alvéolos) ou através de uma ficha coaxial BNC. Deverá utilizar um cabo apropriado ao tipo de saída.

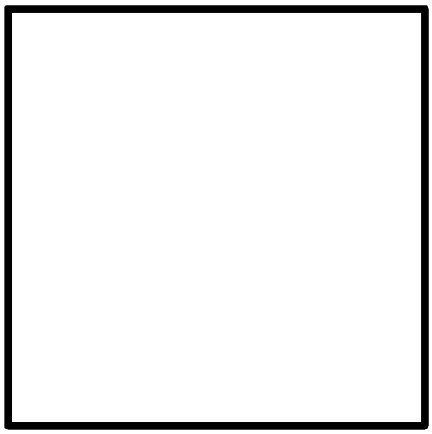
[3] Este curto-circuito não é, normalmente, destrutivo! Mas, para que a sua sessão de laboratório possa correr nas melhores condições, aconselha-se o aluno a verificar cuidadosamente todas as ligações que efectuar.

[4] Acabou de ajustar a sensibilidade do canal 2 para 1V por cada cm (quadrícula) de desvio. Assim, uma deflexão para baixo, em relação à posição inicial, de 2,4cm corresponde a uma tensão de -2,4V.

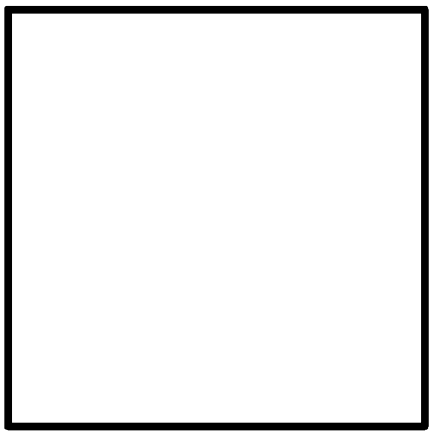
1.4.2 Diminua a frequência do sinal do gerador para 100Hz. O que observa?



1.4.3 Diminua a frequência do sinal do gerador para 10Hz. O que observa?



1.4.4 Diminua a frequência do sinal do gerador para 0,5Hz. O que observa?

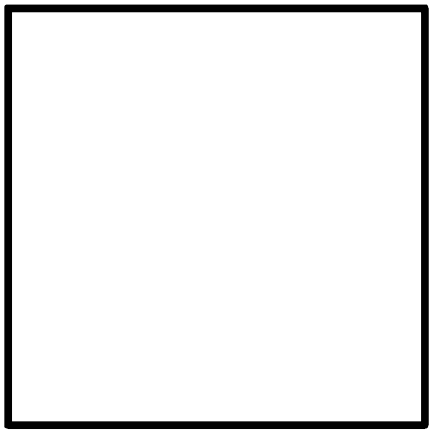


1.5 (E) ENSAIOS COM A ONDA QUADRADA

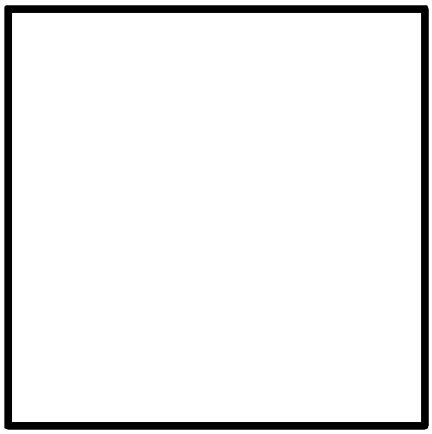
Selccione novamente 1000Hz para a frequência do sinal de saída do gerador, mas coloque o comutador da forma de onda para uma onda quadrada.

1.5.1 Confirme a resposta dada em 1.3.

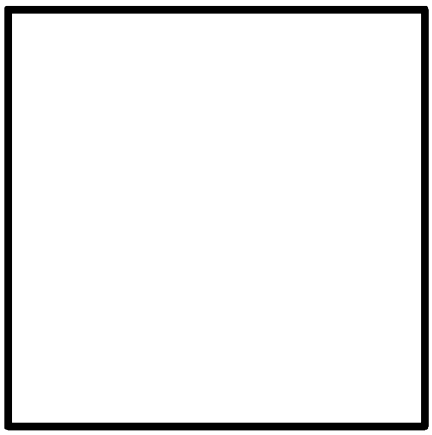
1.5.2 Diminua a frequência do sinal do gerador para 100Hz. O que observa?



1.5.3 Diminua a frequência do sinal do gerador para 10Hz. O que observa?



1.5.4 Diminua a frequência do sinal do gerador para 0,5Hz. O que observa?

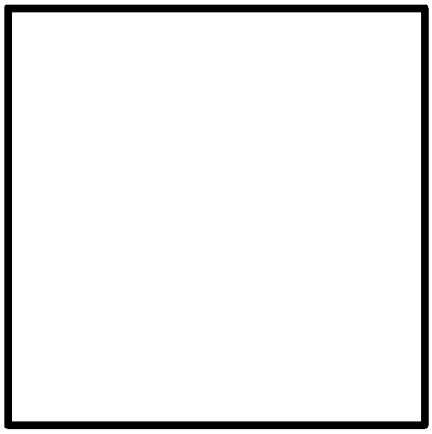


1.6 BASE DE TEMPO

Como já se apercebeu, usando o osciloscópio tal como lhe foi sugerido, apenas pode medir a tensão do sinal aplicado no canal 2 (Y), não podendo ver a sua «forma».

1.6.1 Base de Tempo «manual»

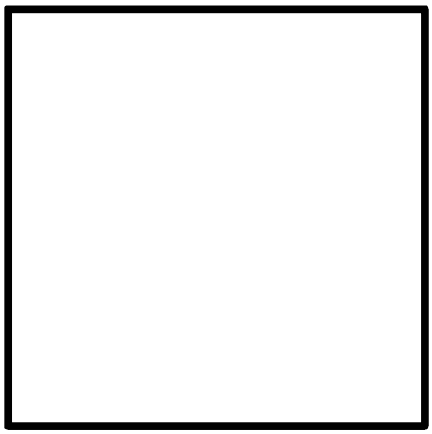
(1) Seleccione uma onda triangular de 20Hz de frequência, que lhe produzirá um segmento de recta vertical centrado no mostrador. Utilizando o potenciómetro ⇔, desloque o segmento de recta para o canto esquerdo do mostrador. Rodando-o ràpidamente, desloque o feixe de electrões para a direita. O que observa?



Acabou de aplicar, através do potenciómetro ⇔ uma tensão variável nas placas de deflexão horizontal (placas *c*, figura 1). Para compreender o efeito destas placas no trajecto do feixe electrónico, basta «rodar» de 90º os ensaios que efectuou...

A imagem obtida no mostrador resulta agora da composição das duas funções aplicadas nas placas. Como se compreende fàcilmente, é de todo o interesse efectuar de um modo automático o procedimento anterior. Mas, faltam-nos ainda outros aspectos! O feixe electrónico foi deslocado para a direita, mas deveria regressar à sua posição original (à esquerda do mostrador). Além disso, só se obteve uma imagem que ràpidamente desapareceu do mostrador. Como obter então uma imagem permanente? A resposta é, todavia, simples: basta repetir, *ad nauseam*, os procedimentos anteriores.

(2) Assim sendo, desenhe, justificando, qual deve ser a forma de onda da tensão a aplicar nas placas *c*?



Estamos, deste modo, a construir uma «base de tempo» que nos permite ver a forma de onda das tensões aplicadas no canal 2 do osciloscópio.

1.6.2 Base de Tempo «automática»

Como verificou, se aplicarmos nas placas de deflexão horizontal uma função como aquela que se apresenta na figura 6, poderemos observar a forma de onda da tensão de entrada.

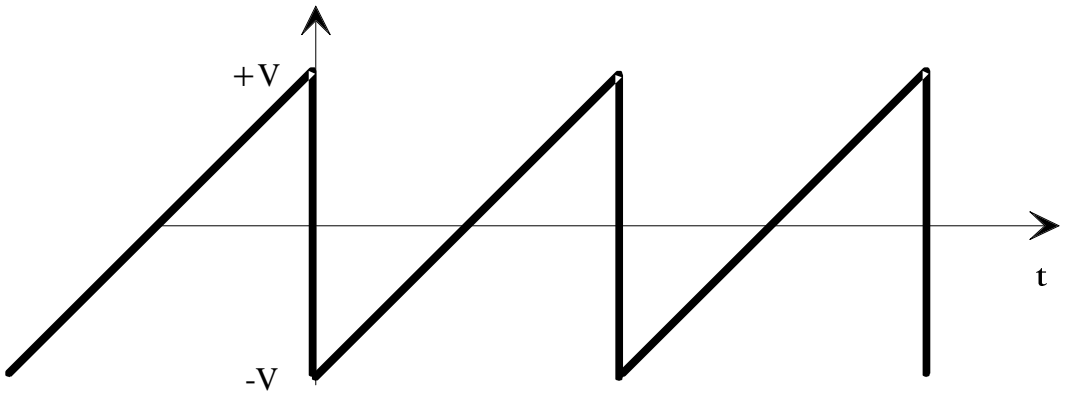
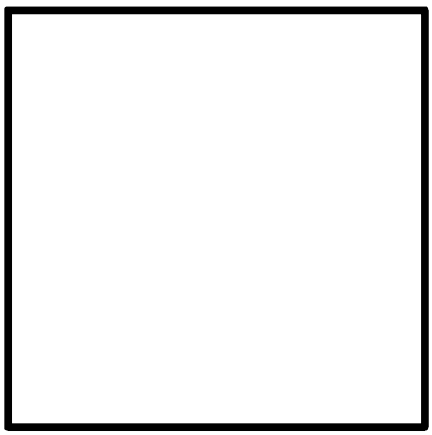


Figura 6 - Tensão gerada na base de tempo do osciloscópio.

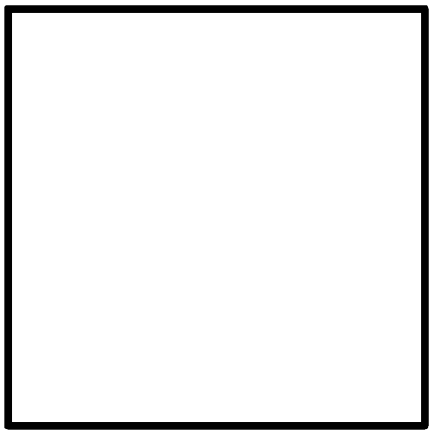
Repare na figura 6: a tensão aplicada às placas *c* de deflexão horizontal «parte» de um valor negativo (-V), para que o feixe comece no lado esquerdo do mostrador, e vai progressivamente aumentando até a um valor máximo + V de modo a deslocar o feixe para a direita. Se este aumento for linear, então vemos que há uma correspondência directa entre o tempo e o desvio do feixe electrónico na horizontal. Teremos agora que fazer regressar o feixe à sua posição inicial o mais ràpidamente possível, de modo a reiniciar o processo de «varrimento» do mostrador. Por isso o tempo de transição de +V para -V deve ser o mais curto possível.

(E)

(1) Identifique, no painel frontal do osciloscópio o comutador da base de tempo, retire-o da posição **XY** em que estava[5] (ensaios anteriores) e experimente colocá-lo na posição 1ms/div. Escolha para frequência do sinal do gerador um valor próximo de 1kHz. O que observa?



(2) Coloque agora a base de tempo em 200μs/div. O que observa?



Repare que nestas duas experiências, (1) e (2) se manteve o mesmo sinal de entrada, apenas se mudou a escala dos tempos!

- ***Como medir a frequência do sinal de entrada (canal 2?)***

  Supondo que na horizontal teremos (neste último caso, base de tempo em 200μs/div) cada divisão a valer 200μs, se procurarmos o número de divisões entre dois máximos consecutivos do sinal (por exemplo 4,8 divisões), então o período do sinal será de 200μs x 4,8 = 960μs, o que corresponde a uma frequência de $\frac{1}{960 \,.\, 10^{-6}} \approx 1040\text{Hz}$.

- ***Como medir a tensão do sinal de entrada (canal 2?)***

[5] Ao colocarmos este comutador em XY, estamos a desligar a base de tempo do osciloscópio (que gera sinais como o representado na figura 6, de diferentes frequências) e poderemos ligar às placas de deflexão horizontal o sinal presente na entrada 1 (por vezes assinalada por X).

Supondo que na vertical teremos que, como se indicou no início deste guia, cada divisão vale 1V, se procurarmos o número de divisões (na vertical) entre o máximo e o mínimo (por exemplo: 3,1 divisões) e se multiplicarmos este valor por 1V/divisão, teremos que a tensão pico-a-pico do sinal é de 3,1divisão x 1V/divisão = 3,1 V.

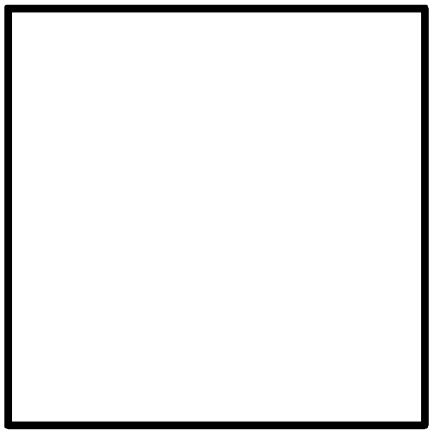
1.6.3 Sincronismo da base de tempo

O processo de obter uma sequência de imagens no mostrador, de modo a termos a sensação de que se trata de uma imagem fixa e permanente, tem de ser completado. Assim, para cada alternância da base de tempo teremos uma imagem no mostrador. Se o início do varrimento não se efectuar no mesmo ponto do sinal de entrada, teremos uma falta de sincronismo entre a base de tempo e o sinal a observar, resultando numa sucessão de imagens móveis.

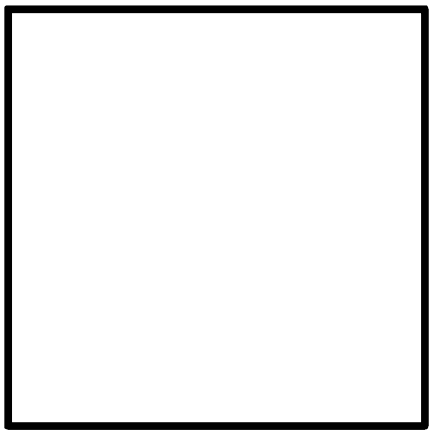
(E)

O sincronismo pode ser comandado pelo botão *trigger* que deverá localizar no painel do osciloscópio. Procure o selector *SOURCE* e coloque-o em CH2 (canal 2); procure o selector *MODE* e coloque-o em AUTO. Rode agora o comando trigger e anote as figuras que observa:

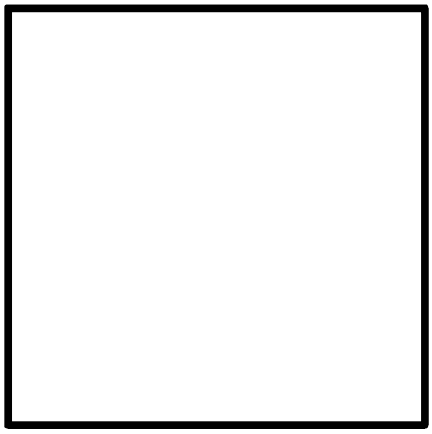
- (1) todo para a esquerda (perda de sincronismo):



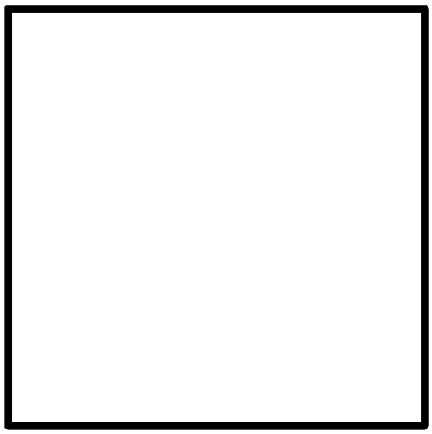
- (2) todo para a direita (perda de sincronismo):



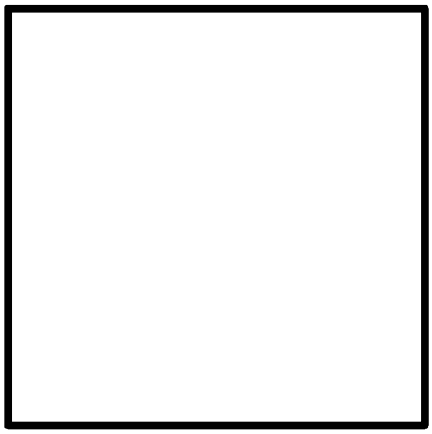
- (3) sensìvelmente a meio (em sincronismo)



- (4) rodado para a esquerda (em sincronismo)



- (5) rodado para a direita (em sincronismo)



NOTA: Deverá ter reparado que as formas de onda observadas em (1) a (5), dependem da posição do potenciómetro de *trigger*.

1.7 OUTRAS FUNCIONALIDADES

1.7.1 (E, C) Expansão da base de tempo

Existe, na maioria dos aparelhos a possibilidade de expandir (normalmente por um factor de 5 ou de 10) o varrimento horizontal. Este comando permite-nos observar com mais pormenor certos troços do sinal de entrada. Tenha em atenção que ao expandir horizontalmente o sinal, está a diminuir a base de tempo pelo factor de expansão. Assim, se tiver a base de tempo em 2ms/div, e se a expansão for de 5x, estará, na prática, a usar uma base de tempo de 400μs/div.

Neste caso qual a vantagem deste comando - não bastaria escolher o novo valor da base de tempo em vez de colcar um comando extra no aparelho? Tente elaborar um ensaio que lhe permita dar a resposta e descreva-o cuidadosamente!

1.7.2 (E) Expansão da sensibilidade de entrada

À semelhança do comando anterior, existe também a possibilidade de aumentar a sensibilidade da entrada do osciloscópio (aumentar a escala vertical - tensões). Tente localizar esse comando e ensaie a sua funcionalidade. Convém, neste ponto esclarecer uma questão que tem vindo a ser escamoteada:

- o sinal de entrada não é aplicado directamente nas placas de deflexão vertical;
- o sinal passa primeiramente por um atenuador variável (o comutador da sensibilidade de entrada (o tal que está graduado em Volt/divisão...);

- é, depois, amplificado normalmente por um amplificador com saídas equilibradas e de ganho fixo[6], adicionando-lhe uma tensão contínua que permite deslocar o sinal na vertical (o tal botão ⇳);
- finalmente é aplicado nas placas de deflexão vertical.

1.7.3 Visualização de dois canais de entrada em simultâneo

Geralmente todos os osciloscópios têm pelo menos dois canais de entrada. Sendo o feixe electrónico único, põe-se, portanto, a questão de saber como utilizá-lo para mostrar dois sinais diferentes. A solução consiste na multiplexagem temporal dos dois sinais que, contudo, pode ser feita de duas maneiras:

- «amostrando» alternadamente cada um dos canais de entrada durante cada varrimento do mostrador (modo *sampling* - em cada período é necessário um número elevado de amostras para se reproduzir fielmente a forma do sinal);
- «ligando» o canal 1 ao amplificador de deflexão vertical durante um período de varrimento da base de tempo, e quando o feixe é reposicionado no lado esquerdo do mostrador, é ligado o canal 2 ao amplificador de deflexão vertical para o próximo varrimento. Assim, cada canal tem alternadamente «atribuído» um período da base de tempo (modo *alternate*).

A desvantagem óbvia do 2º processo é a de se produzir cintilação no mostrador para frequências baixas da base de tempo (sendo, por isso, este modo utilizado geralmente para frequências elevadas). Quanto ao modo de sampling, que não apresenta o inconveniente anterior, não é recomendável a sua utilização para as altas frequências da base de tempo porque implicaria o uso de electrónica de amostragem de alta velocidade, o que aumentaria consideràvelmente o custo do equipamento.

A selecção destes modos de visualização é feita, ou através de um comutador apropriado, ou automàticamente pelo próprio comutador da base de tempo. Neste caso, para velocidades de varrimento inferiores a 1ms/div, é usualmente seleccionado o modo *sampling*, ao passo que, para velocidades superiores a 1ms/div, se comuta normalmente para o modo *alternate*.

Tenha em atenção que havendo dois canais de entrada põe-se o problema de seleccionar um deles para a sincronização da base de tempo. Para este efeito encontrará um comutador SOURCE no painel do osciloscópio.

1.7.4 Modo DC, AC e GND

A entrada de cada um dos canais do osciloscópio, antes de ser amplificada passa por um comutador que permite uma das três possibilidades:

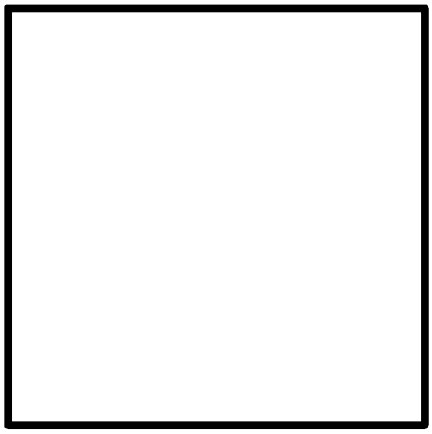
- Modo DC - ligação directa ao amplificador;
- Modo GND - ligação da entrada do amplificador à massa, utiliza-se para acertar o traço horizontal no mostrador na quadrícula desejada;
- Modo AC - ligação ao amplificador através da inserção de um condensador. Neste caso tem-se a possibilidade de retirar a componente contínua do sinal. Contudo, no modo AC

[6] Pode parecer estranho primeiro atenuar-se o sinal e depois amplificá-lo. No entanto, existem algumas boas razões para tal procedimento, mas...

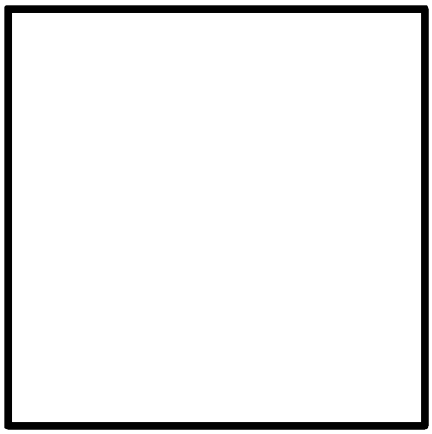
introduz-se uma atenuação suplementar nas baixas frequências do sinal, distorcendo a sua representação no mostrador se for de baixas frequências.

(E)

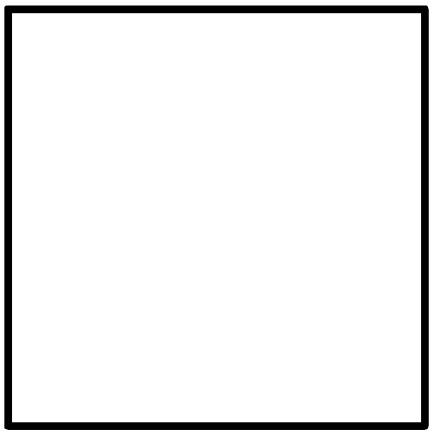
(1) Aplique uma onda quadrada de período 20ms e de 3V de amplitude na entrada 1 (ou 2) do osciloscópio e use o modo DC. Esboce o sinal obtido no mostrador:



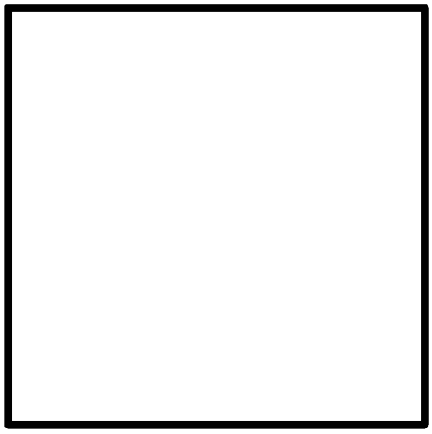
(2) Coloque agora a entrada 1 (ou 2) no modo AC e esboce o sinal no mostrador:



(3) Use agora uma sinusoide de 20Hz de frequência (mantenha ainda o modo AC) e esboce o sinal que observa no mostrador:



(4) Coloque a entrada no modo DC e esboce o resultado:



(5) Qual a atenuação ocorrida com a sinusoide (observações (3) e (4))ao usar o modo AC?

(6) Repita (3) e (4) usando agora uma frequência de 10Hz. A atenuação manteve-se ou, pelo contrário, aumentou? Comente.

1.7.5 Modo calibrado

Há por vezes a necessidade de «ajustar» a sensibilidade de entrada do osciloscópio para valores não existentes no selector rotativo (que escolhe valores em gamas 1 - 2 - 5). Para tal, existe geralmente um comutador (por vezes concêntrico ao selector rotativo), que permite «descalibrar» o atenuador de entrada. **Atenção: tenha sempre o cuidado de verificar se ele se encontra na posição CAL**(ibrated) **sempre que quiser efectuar medições.**

O modo calibrado (ou não) é também extensivo ao comutador da base de tempo, pelo que a recomendação anterior deverá ser observada em ambos os comutadores.

2 MEDIÇÕES DE AMPLITUDE, FREQUÊNCIA E FASE USANDO O OSCILOSCÓPIO

2.1 MEDIDA DE AMPLITUDE

A medida da amplitude pico-a-pico efectua-se determinando o número de divisões, na vertical, entre dois extremos do sinal e multiplicando este número pelo valor indicado no atenuador de entrada. Este assunto já foi tratado em 1.6.2.

Convém recordar que as tensões medidas pelo osciloscópio são sempre entre um dado ponto do circuito (nó) e a «massa» (nó de referência) do mesmo. Ou seja, um dos dois terminais de medida está sempre fixo. Se quisermos medir a diferença de potencial aos terminais de um dado elemento flutuante (não ligado à massa), teremos que medir a diferença de potencial entre um dos terminais e a massa e subtraí-la da diferença de potencial do outro terminal com a massa. Na figura 8 exemplifica-se este processo: pretendemos medir v_R, pelo que começamos por obter (medindo) u_1 e depois obtemos u_2. Finalmente, $v_R = u_1 - u_2$.

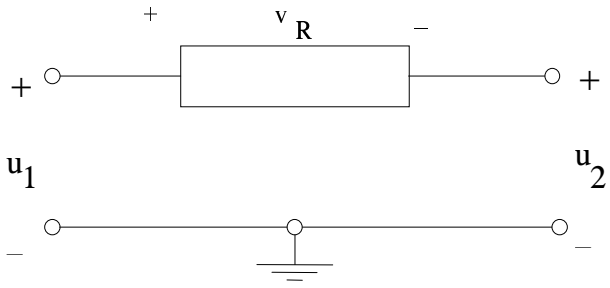


Figura 8

2.2 MEDIDA DE FREQUÊNCIA

A medida de frequência efectua-se determinando o número de divisões, na horizontal, entre dois extremos idênticos e consecutivos do sinal e multiplicando este número pelo valor indicado no comutador da base de tempo (escala de tempos). Este assunto já foi tratado em 1.6.2.

2.3 MEDIDA DE FASE

A medição da diferença de fase entre dois sinais pode ser efectuada por dois processos distintos. Apesar do uso das figuras de Lissajous ser muito divulgado, o outro método (aqui designado, por método directo) tem como principais vantagens fornecer o valor da desfasagem sem recurso ao cálculo de funções inversas e de ser mais preciso.

2.8.1 Método «directo»

Se pretendermos medir qual a diferença de fase do canal 2 em relação ao canal 1, procederemos do seguinte modo:

- comece-se por colocar ambas as entradas em GND;
- com os comandos ⇳ dos dois canais, centrem-se (na verical) os dois traços luminosos;
- com o comando de desvio horizontal ⇔, desloquem-se os traços (agora sobrepostos) para a face esquerda (princípio da quadrícula) do mostrador;
- ponha-se a entrada do canal 1 em DC, e com o comando LEVEL, ajuste-se o nível de tensão de disparo da base de tempo (trigger), sincronisada com o canal 1, de modo a que a sinusoide se inicie no lado esquerdo do mostrador;
- rode-se o comutador da base de tempo de modo a que não caiba no mostrador meio período do sinal de entrada;
- com o comando de (des)CAL(ibração) da base de tempo, faz-se coincidir meio período (180º) do sinal com o fim da escala horinzontal. Como esta tem 10 divisões, ficamos com o eixo horizontal graduado em graus (ou radianos), valendo cada divisão 18º (ou 0,31415 rad);
- colocando agora a entrada do canal 2 também em DC, procura-se na quadrícula o número de divisões entre a passagem por zero dos sinais 1 e 2, e multiplica-se por 18º (ou 0,31415 rad) para se ter a desfasagem ϕ em graus (ou radianos). Na figura 9 apresenta-se um exemplo em que o sinal no canal 2 está atrasado de ϕ em relação ao sinaldo canal 1.

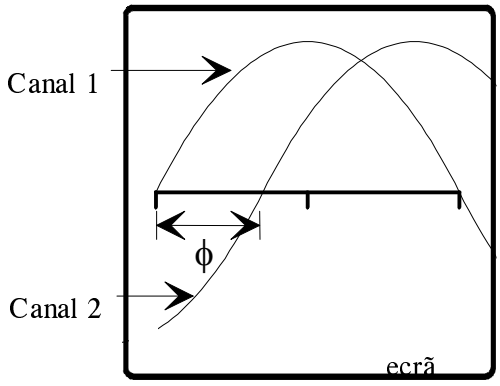


Figura 9 - Medição de desfasagens com o osciloscópio.

2.8.2 Figuras de Lissajous

Este método envolve a composição de duas funções sinusoidais: coloque o osciloscópio no modo XY, ligando o sinal de referência no canal 1 e no canal 2 o sinal cuja desfasagem se pretende medir em relação ao canal 1. Ambos os canais deverão estar no modo GND. Controle o brilho do ponto luminoso resultante e centre-o no mostrador. Coloque o canal 1 no modo DC, e ajuste o traço horizontal de modo a ficar a meio da altura. Coloque agora o canal 2 em DC e determine a diferença de fase de acordo com:

$$\phi = \text{arc sen}\,\frac{a}{b}$$

sendo a e b os segmentos de recta indicados na figura 10. Para compreender esta técnica verifique gràficamente a sua aplicação para 3 casos típicos em que a figura resultante é uma recta ou uma circunferência ($\phi = 0$ ou $\phi = 180^o$ e $\phi = 90^o$). A figura obtida designa-se figura de Lissajous.

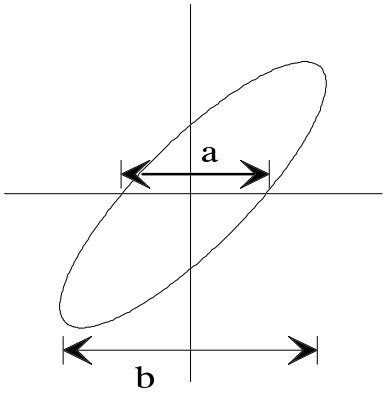


Figura 10 - Figura de Lissajous

2.8.3 (E) Determinação experimental

Utilizando a régua de montagem disponível no laboratório, realize o circuito da figura 11, usando uma resistência de 10kΩ e um condensador de 100nF. Ligue a v_1 um sinal sinusoidal de 2,5V de amplitude e varie a sua frequência de acordo com a tabela 1. Determine a desfasagem (em graus) entre v_2 e v_1, em função da frequência e anote os valores obtidos na mesma tabela:

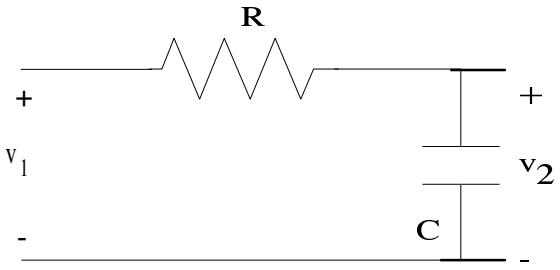


Figura 11 - Circuito RC

Tabela 1

Frequência (Hz)	Desfasagem (º)
100	
200	
400	
1000	
2000	
4000	

Um processo de verificar a «validade» das suas medições consiste em representar os valores de desfasagem obtidos no gráfico seguinte[7]:

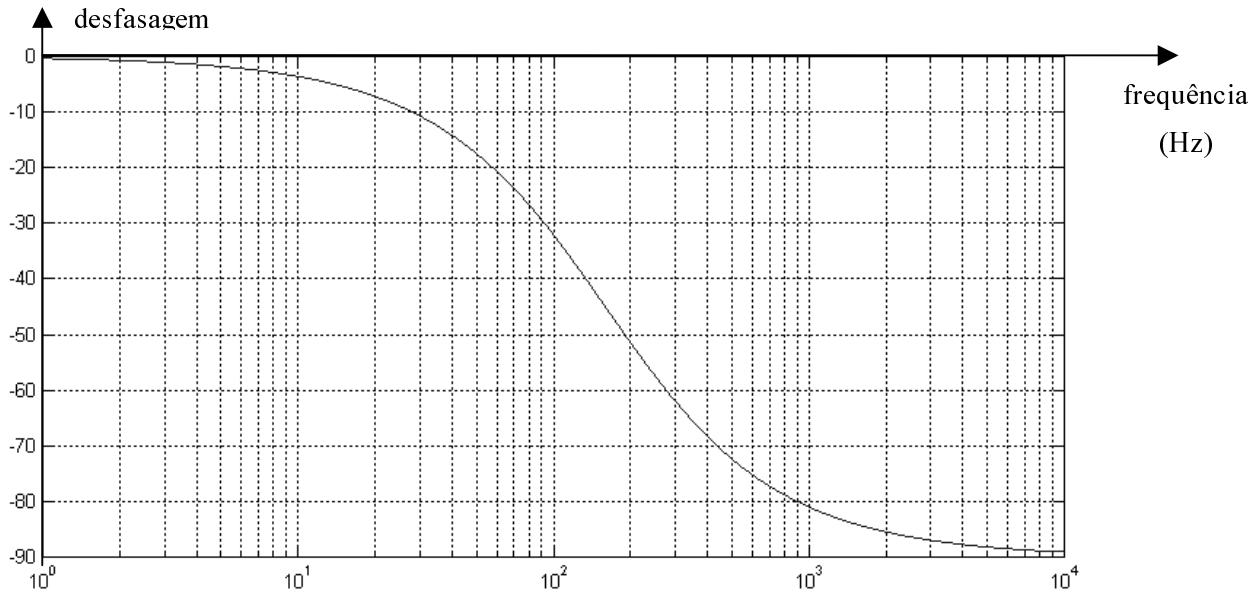


Figura 12 - Gráfico teórico da desfasagem introduzida por um circuito RC passa-baixo de 1ª ordem.

3 VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL DAS LEIS DE KIRCHHOFF

3.1 (T)

Considere o circuito da figura 13, em que R_1 = 33kΩ, R_2 = 22kΩ e R_3 = 10kΩ. Coloque em v_{s1} uma tensão contínua de 15 V e em v_{s2} uma tensão também contínua mas de +5V.

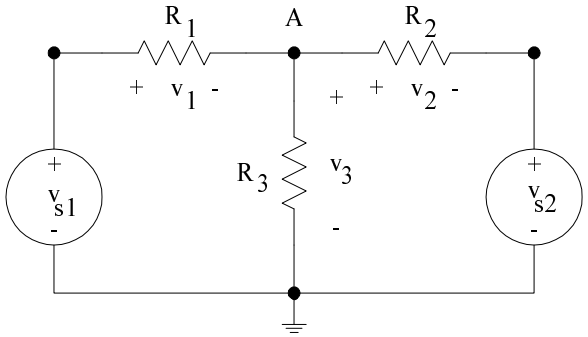


Figura 13 - Circuito resistivo para verificação das leis de Kirchhoff.

Utilizando as leis de Kirchhoff, determine as tensões v_1 , v_2 e v_3 , assinalando-as na segunda coluna da tabela 2.

[7] O gráfico apresentado é denominado «diagrama de Bode de fase» e é assunto a estudar mais tarde nesta disciplina.

3.2 (E)

Utilizando o voltímetro, meça as tensões v_1 , v_2 e v_3 , assinalando-as na terceira coluna da tabela 2: Na quarta coluna inscreva a diferença entre a segunda e terceira coluna (teórico-experimental)

Tabela 2 - das Tensões no circuito da figura 3

Tensão	Valor teórico	Valor experimental	Erro absoluto
v_{s1}			
v_{s2}			
v_1			
v_2			
v_3			

3.3 (E,C)

A partir dos valores experimentais que obteve no ponto anterior, verifique a validade das seguintes equações:

$$v_{s1} = v_1 + v_3$$

$$v_{s2} = - v_2 + v_3$$

Confirma, com os seus resultados, a lei de Kirchhoff das tensões? Se a sua resposta for negativa, apresente uma justificação para o sucedido:

3.4 (T)

Determine os valores teóricos das correntes nos ramos das resistências do circuito da figura 12, e assinale-os na segunda coluna da tabela 3. Escolha a seu gosto o sentido das correntes.

3.5 (E,C)

Usando agora o amperímetro, determine os valores das correntes no nó A da figura 12 e preencha a terceira coluna da tabela 3. Tenha especial atenção ao sentido das correntes…

Tabela 3 - das correntes nos ramos das resistências

Corrente	Valor Teórico	Valor Experimental	Erro
i_{R1}			
i_{R2}			
i_{R3}			

Enuncie e verifique a validade da lei de Kirchoff das correntes no nó A:

Comente o resultado a que chegou:

3.6 (E,C)

Usando agora o osciloscópio, refaça o ponto 3.2, preenchendo a tabela 4:

Tabela 4 - das Tensões no circuito da figura 2

Tensão	Valor teórico	Valor experimental	Erro
v_{s1}			
v_{s2}			
v_1			
v_2			
v_3			

3.6 (E,C)

A partir dos valores experimentais que obteve no ponto anterior, verifique a validade das seguintes equações:

$v_{s1} = v_1 + v_3$

$v_{s2} = - v_2 + v_3$

Confirma, com os seus resultados, a lei de Kirchhoff das tensões? Se a sua resposta for negativa, apresente uma justificação para o sucedido:

Como compara estes seus resultados (obtidos com o osciloscópio) com os do ponto 3.3?