

**Universidade do Minho**



Departamento de Electrónica Industrial

Laboratórios Integrados II

## **CIRCUITOS OSCILADORES**

Trabalho Prático nº 1

## Índice

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>OBJECTIVOS DO TRABALHO</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>ETAPAS DO TRABALHO</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>CALENDARIZAÇÃO</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>3</b>
<b>6</b>	<b>AVALIAÇÃO</b>	<b>3</b>
<b>7</b>	<b>OSCILADOR DE RELAXAÇÃO</b>	<b>4</b>
7.1	DIMENSIONAMENTO DO OSCILADOR DE RELAXAÇÃO (PREPARAÇÃO PARA A 1ª AULA)	4
7.2	MONTAGEM E SIMULAÇÃO DO OSCILADOR DE RELAXAÇÃO	5
<b>8</b>	<b>OSCILADOR SINUSOIDAL EM PONTE WIEN</b>	<b>5</b>
8.1	DIMENSIONAMENTO DO OSCILADOR EM PONTE DE WIEN (PREPARAÇÃO PARA A 2ª AULA)	6
8.2	MONTAGEM E SIMULAÇÃO DO OSCILADOR EM PONTE DE WIEN	6
<b>9</b>	<b>OSCILADOR DE COLPITTS</b>	<b>7</b>
9.1	DIMENSIONAMENTO DO OSCILADOR DE COLPITTS (PREPARAÇÃO PARA A 3ª AULA)	7
9.2	MONTAGEM DO OSCILADOR DE COLPITTS	7

## 1 Introdução

---

Num sistema electrónico, de um modo geral, é necessário dispor de um oscilador ou de um gerador de onda. A existência de uma fonte regular de oscilações é essencial em qualquer instrumento de medida de acontecimentos cíclicos, em qualquer instrumento que inicialize medidas ou processos e em qualquer instrumento que envolva fenómenos periódicos. Por exemplo, osciladores ou geradores de ondas são usados em multímetros digitais, osciloscópios, rádios, computadores e quase todos os periféricos de computadores. Não é um exagero afirmar que um circuito oscilador, de qualquer tipo, é um ingrediente tão fundamental quanto uma fonte de alimentação.

As características requeridas a cada oscilador dependem do tipo de aplicação. Se esse oscilador é usado como fonte de pulsos regularmente espaçados, por exemplo como *clock* para um circuito digital, então o factor mais importante é uma rápida transição de um nível para outro (*slew rate*). Se esse oscilador é utilizado para gerar a base de tempo de um frequencímetro, então é importante que tenha uma boa estabilidade e precisão. A capacidade de ajuste da frequência de oscilação é, também, fundamental num oscilador local de um dispositivo transmissor ou receptor de dados. A capacidade de gerar formas de ondas precisas é essencial na construção de um amplificador horizontal de um osciloscópio. O controlo de amplitude, estabilidade da frequência de oscilação e uma baixa distorção são, também, parâmetros importantes nos geradores de ondas. Os geradores de ondas dividem-se em duas categorias: osciladores sintonizados (*tuned oscillators*) e osciladores de relaxação (*relaxation oscillators*).

Osciladores sintonizados usam os conceitos da teoria dos sistemas. É criado um par de pólos complexos conjugados exactamente colocados no eixo imaginário do plano complexo para garantir a instabilidade do circuito e a consequente oscilação.

Osciladores de relaxação utilizam dispositivos biestáveis tais como: interruptores, *Schmitt triggers*, portas lógicas e *flip-flops* que repetidamente carregam e descarregam um condensador. Ondas triangulares, ondas tipo dente de serra, quadradas e pulsos são obtidos facilmente com este tipo de osciladores.

## 2 Objectivos do trabalho

---

Após este trabalho, o aluno deve:

- saber identificar os dois tipos de realimentação: positiva e negativa.
- compreender e saber explicar o funcionamento de sistemas realimentados positiva e negativamente.
- compreender e saber explicar os mecanismos de regulação de amplitude num oscilador.
- saber utilizar as metodologias de análise e perceber a não validade da função de transferência em sistemas com realimentação positiva.
- saber distinguir um oscilador de relaxação de um oscilador sintonizado.

Para atingir estes objectivos, os alunos irão estudar o funcionamento de três osciladores:

- O oscilador de relaxação
- O oscilador sinusoidal em ponte Wien
- O oscilador de Colpitts

### 3 Etapas do trabalho

---

Para atingir os objectivos propostos os alunos deverão executar o trabalho em três etapas, nomeadamente:

- Realização dos cálculos teóricos, tendo como objectivo a previsão do comportamento do circuito proposto.
- Realização da montagem dos circuitos anteriormente projectados e registo dos resultados obtidos.
- Comparação dos resultados obtidos na prática com os resultados teóricos, tentando encontrar justificação para possíveis diferenças.

Estas etapas serão realizadas para cada um dos circuitos propostos.

### 4 Calendarização

---

O trabalho tem uma duração prevista de 3 **aulas**. De modo a cumprir o prazo estabelecido prepare convenientemente o trabalho. Não se esqueça que este é um dos parâmetros da sua avaliação nas aulas laboratoriais.

Cada oscilador deverá ser montado e testado durante 1 aula. Como existem 3 circuitos, o trabalho poderá ser efectuado em 3 aulas.

### 5 Bibliografia

---

A bibliografia recomendada é:

- *Electrónica*, Malvino, McGraw Hill.
- *Introduction to Electronics Design*, F. H. Mitchell, Prentice Hall.
- Bibliografia e apontamentos da disciplina de electrónica.

### 6 Avaliação

---

Na **primeira aula**, os alunos deverão entregar ao docente a resolução manuscrita das questões referentes aos cálculos analíticos dos itens **7.1**.

Na **segunda aula** deverá ser entregue a resolução analítica dos itens **8.1** assim como os resultados e comentários relativos ao ponto **7.2**.

Na **terceira aula**, será entregue a resolução analítica dos itens **9.1** assim como os resultados e comentários relativos ao ponto **8.2**.

Na **aula seguinte**, serão entregues os resultados e comentários relativos ao ponto **9.2**.

Estas resoluções pretendem-se **manuscritas**, sendo efectuadas por cada grupo, fora das aulas, como preparação do trabalho. Como só há uma aula para cada trabalho, é essencial esta preparação anterior, para que tenha tempo de montar e testar o circuito durante a aula.

**No final de cada montagem o grupo deverá solicitar ao docente a verificação da mesma** (evitando assim as situações em que: “a montagem já funcionou e logo agora é que não funciona?!”). Proceda à sua montagem de forma modular e organizada, para que a detecção de eventuais erros seja facilitada.

## 7 Oscilador de relaxação

Os osciladores de relaxação são usados como fontes geradoras de ondas quadradas, sendo também designados por multivibradores astáveis. Obtêm-se recorrendo a dispositivos biestáveis tais como portas lógicas e *Schmitt Triggers* para produzirem ondas quadradas e ainda um elemento dependente do tempo como uma malha RC, LC ou um cristal de quartz como ajuste da frequência de oscilação.

Este tipo de osciladores são caracterizados por um *slew rate* elevado e boa estabilidade da frequência de oscilação, deste modo estão bastante divulgados e existem em muitos circuitos digitais como circuitos de temporização. O exemplo mais comum é o circuito integrado (C.I.) 555 introduzido pela Signetics em 1970, multivibrador astável mais conhecido do nosso tempo e cuja base de funcionamento é exactamente o oscilador de relaxação. Este multivibrador astável é obtido a partir de um comparador regenerativo (*Schmitt Trigger*) (ver figura 1) que tem na malha de realimentação negativa um circuito RC e cuja frequência de oscilação depende dos valores destes dois componentes.

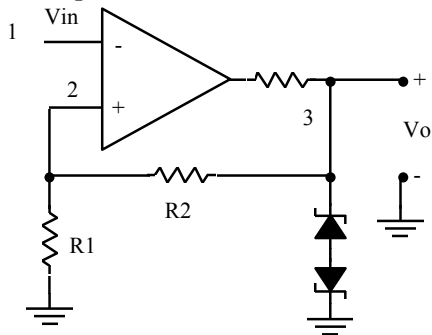


Figura 1

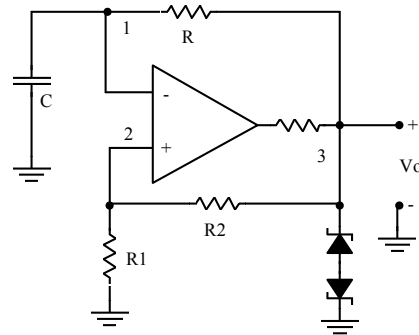


Figura 2

Com um circuito idêntico ao da figura 2 obtém-se um oscilador cuja saída varia entre dois níveis de tensão determinados pelos díodos zener. Além destes parâmetros (frequência de oscilação, níveis de tensão da saída) é também possível ajustar o *Duty Cycle* (D). Esta grandeza obtém-se da relação entre o tempo em que a saída está alta e o tempo em que a saída está baixa. Se estes tempos forem iguais então o D é igual a 50%:

$$D = \frac{T_{ON}}{T}$$

em que  $T = 1/f$  e  $f$  é a frequência de oscilação.

### 7.1 Dimensionamento do oscilador de relaxação (preparação para a 1ª aula)

- 1) Relativamente à figura 1 refira-se à utilização dos díodos zener e da resistência ligada entre a saída do OPAMP e o ponto 3.
- 2) Dimensione os componentes do circuito da figura 1, de forma a limitar a saída a um máximo de aproximadamente +6 e -6 Volt. Deve também garantir uma histerese suficiente para garantir o correcto funcionamento do comparador regenerativo.
- 3) Considere o mesmo circuito e determine a característica  $V_o = f(V_{in})$  tendo em conta a alínea 2. Trace um gráfico dessa característica.
- 4) Considere a montagem do multivibrador astável da figura 2, sendo a malha de realimentação negativa composta por um condensador  $C = 100\text{nF}$  e uma resistência  $R = 1\text{k}\Omega$ . Calcule a frequência de oscilação da saída. Esboce as formas de onda que obterá nos pontos 1, 2 e 3.

- 5) Indique as alterações necessárias de modo a obter um circuito com capacidade de variação de Duty Cycle.

## 7.2 Montagem e Simulação do Oscilador de Relaxação

- 1) Monte o circuito da figura 1 e obtenha experimentalmente a característica  $V_o = f(V_{in})$  variando a tensão de entrada. Comente quaisquer diferenças relativamente aos valores previstos.
- 2) Acrescente ao circuito já montado o condensador e a resistência que formam a montagem da figura 2. Visualize as formas de onda no condensador e na saída. Meça com um osciloscópio o período de oscilação e compare com o valor calculado e com o resultado da simulação anterior.

## 8 Oscilador sinusoidal em ponte Wien

Osciladores em ponte Wien são usados sempre que se deseje um gerador de sinusóides puras, isto é sinusóides com distorção muito reduzida, com baixa ou média frequência. Assim, este tipo de osciladores tornaram-se clássicos devido à sua simplicidade. Por exemplo, quando se testa equipamento de audio (tal como *hi-fi*) utilizam-se sinusóides, com a menor distorção possível, como entradas de teste. O circuito da figura 3 implementa um oscilador em ponte Wien em que a frequência de oscilação é dada pela equação  $f_0 = 1/(2\pi RC)$ . Esta montagem consiste num AmpOp com *feedback* simultaneamente negativo e positivo. O *feedback* negativo é realizado através das resistências R1 e R2, o positivo obtém-se das duas malhas RC sendo uma em paralelo e outra em série.

Este circuito pode ser visto como um amplificador não inversor que amplifica a tensão da entrada não inversora  $V_p$  por um factor A (eq. 1) em que a tensão de saída é  $V_o$ . Mas a tensão na entrada não inversora, também, depende da saída (eq. 2). A equação três indica a frequência de oscilação do circuito  $f_0$ .

$$A = \frac{V_o}{V_p} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (1) \qquad B = \frac{V_p}{V_o} = \frac{1}{3 + j\left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)} \quad (2) \qquad f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3)$$

As oscilações só surgem se se verificarem as duas seguintes condições:

- um desfasamento de  $0^\circ$  do sinal proveniente da malha de *feedback* positivo,
- um ganho em malha fechada (produto do ganho A pelo ganho B) unitário.

Estas condições também se denominam *Crítério de Barkhausen*. Porém, o ganho em malha fechada pode tomar três valores distintos: maior, menor ou igual a um. Se o ganho é superior a unidade cria-se uma situação de instabilidade, da qual resulta uma oscilação cuja amplitude cresce exponencialmente. Se o ganho é inferior a um surge uma situação de estabilidade, à saída do circuito haverá uma oscilação cuja amplitude diminuirá exponencialmente até zero. Se o ganho é unitário então resulta uma situação de limiar entre a instabilidade e a estabilidade, existe um par de pólos complexos conjugados sobre o eixo imaginário, a amplitude das oscilações não cresce nem diminui exponencialmente, mantendo-se constante.

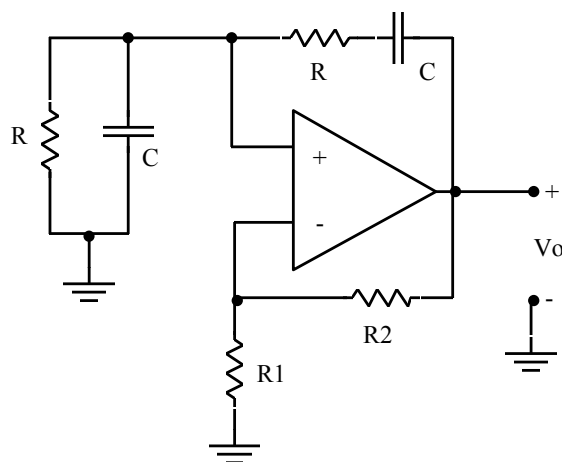


Figura 3

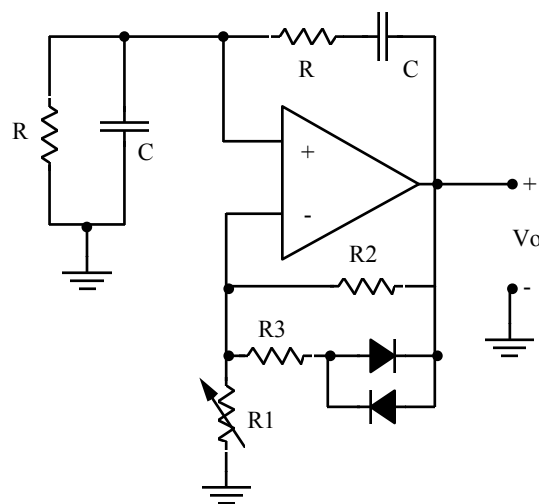


Figura 4

Levando em conta os pontos anteriores é necessário evidenciar que as oscilações com um ganho em malha fechada unitário mantêm-se com uma amplitude constante se e só se previamente existirem. Na prática o circuito da figura 3 não funciona, porquê? Por estas razões é essencial gerar essas oscilações denominando-se arranque dos osciladores. Como solucionar este problema? Aproveitando a situação de instabilidade (ganho maior que um) provoca-se o arranque das oscilações fazendo com que o ganho inicialmente seja superior a um e numa segunda fase controlar esse crescimento exponencial da amplitude das oscilações. Assim que as oscilações atingirem a amplitude desejada é necessário limitar esse crescimento, este objectivo é facilmente atingível desde que se consiga um ganho em malha fechada ligeiramente inferior à unidade. Nos circuitos práticos utiliza-se um pequeno artifício como o da figura 4.

### 8.1 Dimensionamento do oscilador em ponte de Wien (preparação para a 2ª aula)

Relativamente ao circuito da figura 4:

- 1) Identificar cada uma das malhas de *feedback*, positivo e negativo.
- 2) Deduza as expressões que conduzem às equações (1), (2) e (3).
- 3) Dimensionar as malhas RC série e paralelo (malha de *feedback* positivo) para que a frequência de oscilação seja 16 kHz.
- 4) Dimensionar a malha de *feedback* negativo e explicar o funcionamento da mesma.
- 5) Trace a resposta em frequência (amplitude e fase) da malha de *feedback* positivo.
- 6) Refira-se ao facto de R1 ser variável.

### 8.2 Montagem e Simulação do Oscilador em Ponte de Wien

- 1) Efectuar a montagem do circuito da figura 4. Confrontar os resultados práticos com os obtidos na preparação do trabalho. Tirar conclusões.
- 2) Varie R1 e explique o que acontece.
- 3) Retirar um dos díodos da malha de realimentação. Comentar o observado.

## 9 Oscilador de Colpitts

A figura 5 mostra o oscilador de Colpitts:

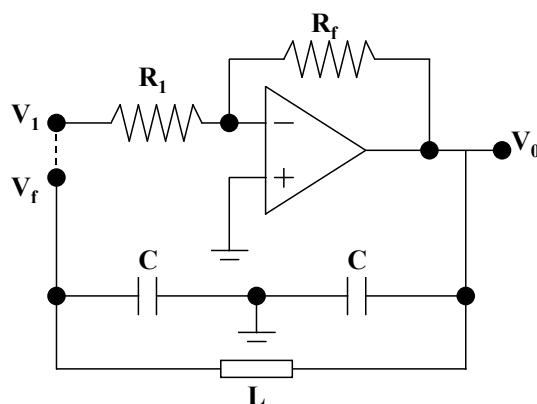


Figura 5

Este oscilador baseia-se numa configuração do tipo LC. A análise deste circuito é feita usando as mesmas considerações feitas para o Oscilador em ponte de Wien. As expressões para os Ganhos A e B assim como para frequência de Oscilação  $f_0$  são:

$$A = -\frac{R_f}{R_1} \quad (4) \quad B = \frac{-X_c^2}{R_0(jX_L - 2jX_c) + (-jX_c)(jX_L - jX_c)} \quad (5) \quad f_0 = \frac{\sqrt{2}}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (6)$$

### 9.1 Dimensionamento do oscilador de Colpitts (preparação para a 3ª aula)

- 1) Deduza as expressões que conduzem às equações (4), (5) e (6). **Sugestão:** Entre com a Resistência de Saída do AmpOp -  $R_0$  para os cálculos.
- 2) Porque é importante incluir a resistência  $R_0$  do Amplificador Operacional na análise da função de transferência?
- 3) Dimensionar a malha LC para que a frequência de oscilação seja aproximadamente 12 kHz, com um  $L = 3.3$  mH.
- 4) Dimensionar a malha constituída pelas Resistências  $R_1$  e  $R_f$ .
- 5) Trace a resposta em frequência (amplitude e fase) da malha LC.

### 9.2 Montagem do oscilador de Colpitts

- 1) Efectuar a montagem do circuito da figura 5.
- 2) Use uma técnica semelhante à usada no Oscilador em ponte de Wien para efectuar o arranque do oscilador.
- 2) Confrontar os resultados práticos com os obtidos na preparação do trabalho. Tire conclusões.