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

Análise de Circuitos

3º Trabalho de Laboratório

Novembro de 2001

Elaborado por:
António Serralheiro
João Freire

Aluno nº __________, _____________________________________, Turma________, Turno ___
Aluno nº __________, _____________________________________, Turma________, Turno ___
Aluno nº __________, _____________________________________, Turma________, Turno ___

Data:_________

INTRODUÇÃO AO ESTUDO DE CIRCUITOS DINÂMICOS

À semelhança dos guias de laboratório anteriores, assinalam-se por $\boxed{\text{T}}$, $\boxed{\text{E}}$, $\boxed{\text{C}}$ e $\boxed{\text{S}}$ *os tópicos de «respostas» teórica, experimental, comentário e simulação, respectivamente.*

1. CIRCUITO R-C DE 1ª ORDEM

1.1 INTRODUÇÃO

São variadìssimas as aplicações em que intervêm os componentes dinâmicos (condensadores e bobinas). Estão nestes casos os circuitos de filtragem, de compensação, de atraso, etc. Começaremos o nosso estudo pela análise da resposta temporal de um circuito simples (fonte de tensão, resistência e condensador).

Como sabe, admitimos para o condensador a seguinte VIC[1], $i_C(t) = C\frac{d\,v_C(t)}{d\,t}$, o que significa que a corrente que percorre o condensador é proporcional às variações da tensão aos seus terminais. Se explicitarmos a tensão v_C em função da corrente i_C, teremos agora, $v_C(t) = \int_{t_0}^{t} i_C(\tau)\,d\tau + v_C(t_0)$, em que $v_C(t_0)$ representa a tensão que o condensador apresentava (inicialmente) no instante $t = t_0$.

NOTA: *<u>Não coloque, durante os ensaios a realizar, as entradas do osciloscópio em **AC**.</u>*

1.2 CIRCUITO RC DE 1ª ORDEM PASSA-BAIXO (INTEGRADOR)

$\boxed{\text{T}}$

- Comece por analisar o circuito da figura 1, obtendo a equação que relaciona a tensão de saída $v_C(t)$ com a fonte de tensão independente (tensão de entrada), $v_S(t)$. Apresente os seus cálculos em termos de R e de C.

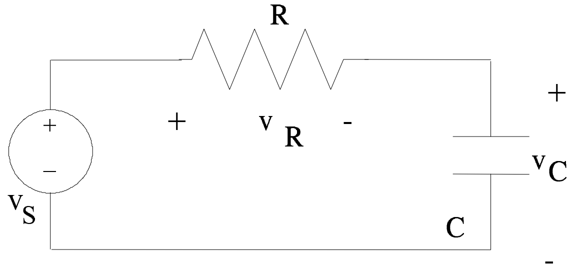

Figura 1. Circuito RC passa-baixo.

[1] VIC, característica corrente-tensão de um elemento eléctrico.

T

- Considerando que $v_S(t)$ é um escalão unitário (função de Heaviside), determine analìticamente $v_C(t)$, sabendo que o condensador se encontrava inicialmente descarregado.

T

- A partir do resulado anterior, preencha a tabela seguinte, em que τ representa a constante de tempo (produto RC) do circuito:

t	$v_C(t)$ [V]	$[v_C(t) / v_C(\infty)]$ x 100 %
τ		
2τ		
3τ		
4τ		
5τ		
6τ		
7τ		
8τ		
9τ		
10τ		

Tabela 1. Tensão do condensador em função de múltiplos da constante de tempo

T

- Represente gràficamente $v_C(t)$ obtido (use papel milimétrico). Indique as escalas utilizadas.

E

- Realize o circuito representado na figura 1, utilizando para R uma resistência de 10kΩ e para C um condensador de 100nF. Coloque em $v_S(t)$ um gerador de onda quadrada, escolhendo um período de 10ms. Represente a tensão $v_C(t)$ obtida:

S

- Utilizando o programa de simulação PSPICE disponibilizado, confirme a resposta anterior.

E

- Sabendo que para t = RC (s) = 10^{-3}s, a tensão aos terminais do condensador $v_C(t)$, atinge 63,2% do valor máximo da tensão de entrada, determine **experimentalmente** a constante de tempo do circuito da figura 1.

C

- Compare este resultado experimental com o seu valor teórico.

E

- Diminua o período do sinal de entrada $v_S(t)$ para 1ms. Esboce agora a tensão $v_C(t)$:

S

- Utilizando o programa de simulação PSPICE disponibilizado, confirme a resposta anterior.

C

- Explique as alterações que obteve ao usar um período (para a tensão de entrada) de 1ms em vez de 10 ms.

E

- Diminua o período do sinal de entrada para 0,1ms. Esboce novamente a tensão $v_C(t)$.

S

- Utilizando o programa de simulação PSPICE disponibilizado, confirme a resposta anterior.

C

- Explique as alterações que obteve ao usar um período (para a tensão de entrada) de 0,1ms em vez de 1ms.

T

- Repare que a tensão aos terminais do condensador se aproxima do integral da tensão de entrada. Por este facto, o circuito em causa também se denomina por circuito integrador (*imperfeito*). Tente arranjar um critério que nos permita determinar em que condições $v_C(t) = K \int v_S(\tau)\, d\tau$. Como explica este comportamento para $v_C(t)$?

E

- Verifique experimentalmente a sua resposta, usando uma tensão sinusoidal na entrada.

1.3 ESTUDO DA VARIAÇÃO DA TENSÃO DE SAÍDA (TERMINAIS DO CONDENSADOR) COM A FREQUÊNCIA

Deve ter reparado que, excitando por uma onda sinusoidal o circuito da figura 1, a tensão de saída apresentava uma desfasagem em relação à tensão de entrada; desfasagem essa que variava com a frequência. No entanto, e ao se comportar como um integrador, a desfasagem era constante e de $-\frac{\pi}{2}$ radianos.

E S

- **Mudando a resistência R de 10 kΩ para 1,5 kΩ** e usando uma tensão sinusoidal de 1 V de pico-a-pico (V_{Spp} = 1V) para $v_S(t)$, preencha a seguinte tabela:

Frequência	**Tensão de saída (V_{Cpp})** **(experimental)**	**20 $\log_{10} V_{Cpp}$** **(experimental)**	**20 $\log_{10} V_{Cpp}$** **(simulação)**	**desfasagem entre v_C e v_S (em radianos)** **(experimental)**	**desfasagem entre v_C e v_S (em radianos)** **(simulação)**
100 Hz					
200 Hz					
400 Hz					
800 Hz					
1 kHz					
2 kHz					
4 kHz					
8 kHz					
10 kHz					
20 kHz					
40 kHz					
80 kHz					

Tabela 2. Variação dos módulo e fase da tensão de saída com a frequência.

- A partir dos valores da tabela anterior, obtenha dois gráficos experimentais (usando papel semi-logarítmico) que representem a evolução de 20 $\log_{10} V_{Cpp}$ e da desfasagem $\Delta\phi = \phi_{vc} - \phi_{vs}$ em função do logaritmo da frequência log(f). Estes gráficos são denominados **diagramas de BODE de amplitude e de fase**. No primeiro, uma escala logarítmica é usada no eixo horizontal — log(f), logaritmo dos valores da 1ª coluna da tabela 2; para eixo das ordenadas, utilizam-se os valores da 3ª coluna da tabela 2, e que representam em **decibel*** a variação da amplitude da saída (para uma entrada unitária). No segundo caso (diagrama de Bode de fase), usa-se o mesmo eixo horizontal, mas o eixo das ordenadas contém a diferença de fase $\Delta\phi$ entre as tensões (sinusoidais) de saída v_C e de entrada v_S, coluna 5. Como no circuito em causa, v_C está em atraso em relação a v_S, esta diferença de fase é <u>negativa</u>. **Nota: represente, também, nos seus gráficos os resultados da simulação (colunas 4 e 6) por forma a aferir da qualidade das suas medidas** (use, se possível, outra côr).

C

- Observe o diagrama de Bode de amplitude que desenhou. Porque se denomina este circuito de *PASSA-BAIXO*?

1.4 CIRCUITO RC PASSA-ALTO (DERIVADOR)

O circuito da figura 2 é semelhante ao da figura trocando-se a resistência com o condensador. Considera-se a tensão de saída aos terminais da resistência, em vez do condensador.

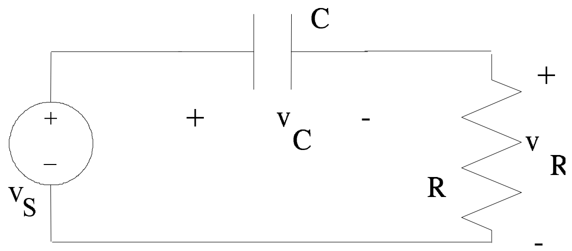

Figura 2. Circuito RC passa-alto

---

* O decibel (*dB*) é a décima parte do Bell (*B*) e define-se como sendo igual a 20 vezes o logaritmo decimal do módulo de uma dada relação. Convém notar que, em verdade, o B é uma unidade adimensional, uma vez que exprime um logaritmo de um quociente. No nosso caso, trata-se do quociente entre as amplitudes das tensões de saída e de entrada, e quando estas são sinusoidais, tem o nome de **ganho** do circuito. Assim, o ganho (expresso em dB) será:
$20 \log_{10} \left| \frac{V_{Cm}}{V_{Sm}} \right|$ o que, para v_S unitário dá apenas $20 \log_{10} |V_{Cm}|$.

T

- Tente apresentar uma aplicação em que este circuito possa ser útil.

E

- Realize o circuito da figura 2, usando para R uma resistência de 10kΩ e para C um condensador de 100nF. Use uma onda rectangular para v_S de período 10 ms. Esboce a tensão aos terminais da resistência:

E

- Determine agora experimentalmente a constante de tempo da tensão de saída. Neste caso, ao fim de t = RC segundos, a tensão na resistência desceu 63,2% do seu valor máximo.

T

- Repare que v_R se aproxima da derivada da entrada. Tente apresentar um critério que compare o período da tensão de entrada com a constante de tempo do circuito, para que ele se comporte como um diferenciador:

E S

- Colocando uma tensão sinusoidal de 1 V_{pp}, e mudando novamente R para 1,5kΩ, preencha a tabela seguinte:

Frequência	**Tensão de saída (V_{Cpp}) (experimental)**	**$20 \log_{10} V_{Cpp}$ (experimental)**	**$20 \log_{10} V_{Cpp}$ (simulação)**
100 Hz			
200 Hz			
400 Hz			
800 Hz			
1 kHz			
2 kHz			
4 kHz			
8 kHz			
10 kHz			
20 kHz			
40 kHz			
80 kHz			

Tabela 3. Variação do módulo da tensão de saída com a frequência.

- A partir dos valores da tabela anterior, obtenha dois gráficos (usando papel semi-logarítmico) que representem a evolução de $20 \log_{10} V_{Cpp}$. Como já sabe, este gráfico é denominado *diagrama de BODE de amplitude.*

Nota: represente, também, nos seu gráfico os resultados da simulação por forma a aferir da qualidade das suas medidas (use, se possível, outra côr).

C

- Resuma o comportamento deste circuito com a frequência:

C

- Porque se denomina de *PASSA-ALTO* este circuito?

C

- Qual o seu comportamento a uma tensão contínua em v_S?

☛ Foi-lhe chamada a atenção, no início deste trabalho, para **NÃO** colocar a entrada do osciloscópio em **AC**. Se o fizer, equivale a medir tensões (nodais) através de um circuito do tipo do indicado na figura 2, em que R = 1MΩ.

C

- Baseando-se nos ensaios efectuados, tente dimensionar uma experiência para determinar qual a capacidade que o osciloscópio internamente coloca em série com a entrada: