INSTITUTO FEDERAL
CEARÁ
Campus Fortaleza

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO
SISTEMAS LINEARES

Alunos: Mateus Rodrigues Alves
Luiz Matheus Sena

Sumário

Introdução

Podemos dizer que no estudo de sinais um dos assuntos mais importantes é o estudo da resposta ao impulso de tensão, estudar o comportamento de um determinado sistema quando submetido a essa condição de entrada ajuda-nos a entender como ele se comportará quando submetido a outros tipos de sinais.

Já o estudo do degrau de tensão (um sinal que sai de zero a um em um determinado instante de tempo) nos ajuda a refletir sobre a reação do sistema quando do acionamento de uma chave, é uma perfeita equivalência.

Finalmente ao estudar a resposta de certos circuitos à entrada senoidal, podemos ter uma ideia de como esses circuitos agem sobre entradas periódicas, ao mudar a frequência dessa senóide podemos perceber também qual a influencia dos componentes ativos (e seu arranjo no circuito) sobre determinadas faixas de frequência.

Esse trabalho busca exatamente analisar esses aspectos nos circuitos elétricos propostos: resposta ao impulso, resposta ao degrau de tensão e resposta a entrada senoidal. Todos os circuitos foram modelados matematicamente e simulados no software de simulação de circuitos elétricos LTspice. Utilizou-se também a ferramenta matemática Scilab para plotar os gráficos das deduções matemáticas para fins de comparação.

1. Transitório: Resposta ao impulso

A primeira parte do trabalho consiste na simulação dos circuitos solicitados e a observação da reação destes circuitos à entrada de um impulso de tensão. Primeiramente, faz-se necessário relembrar a definição de impulso unitário. A função impulso é definida por (LATHI,B.P.) e tem a seguinte forma:

$$\delta(t) = 0, para\ t \neq 0$$
$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t)dt = 1 \quad (1.1)$$

De forma resumida esse sinal tem uma grande amplitude durante pouquíssimo tempo quando $t = 0$. A representação desse sinal em termos práticos é impossível, mas como o experimento é somente uma simulação bastou-se apenas realizar algumas alterações em um gerador de onda quadrada para que um sinal próximo ao impulso fosse obtido.

Ajustou-se o período da onda para 10 segundos, tempo bastante superior ao período do transitório de forma que um novo pulso não seria gerado dentro do tempo do transitório. Modificou-se a largura de pulso para 1ms, ao passo que a amplitude foi alterada para 1kV. Assim, em $t = 0$ um pulso de tensão de 1KV será gerado durante 1ms, ao calcular a área sob a região retangular que o pulso representa obtemos o valor 1, que de acordo com a Equação 1.1 acima é o esperado.

Para todos os circuitos buscou-se fazer uma análise matemática para modelar o comportamento esperado deles ao se introduzir um impulso de tensão. Para isso utilizou-se a fórmula, encontrada em (LATHI,B.P.):

$$h(t) = b_0\delta(t) + modos\ característicos$$

ou ainda

$$h(t) = b_0\delta(t) + [P(D)y_n(t)]u(t) \quad (1.2)$$

A resposta a um impulso $h(t)$ de um circuito é igual aos modos característicos, determinados a partir da equação característica proveniente da equação diferencial do circuito, somados a um impulso de amplitude b_0. Na maioria dos casos b_0 será igual a 0 e um impulso não será visualizado na saída do circuito. É importante lembrar que b_0 só será diferente de zero se o grau da maior derivada do lado direito da equação diferencial do circuito for igual ao grau da maior derivada do lado esquerdo. $P(D)$ é a equação que acompanha o termo da entrada $x(t)$.

1.1. Circuito 1 – Circuito RC Série

O primeiro circuito simulado foi um circuito RC série. A *Figura 1* fornece uma visão geral do circuito montado.

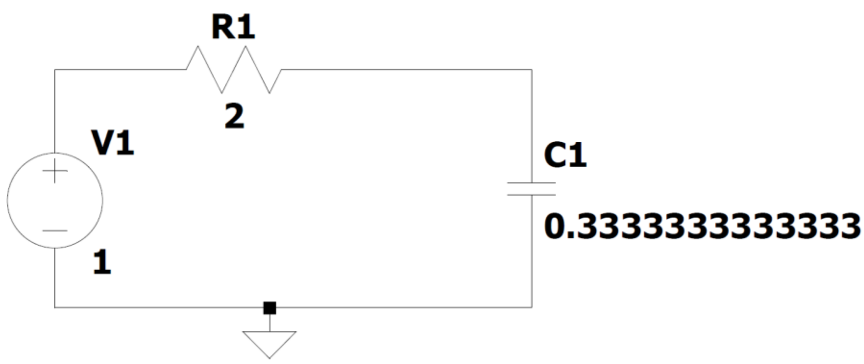

Figura 1 – Circuito RC série

Podemos realizar uma análise matemática do circuito para confirmar o comportamento esperado. Primeiramente descobrimos a equação diferencial que representa esse circuito.

Para tanto podemos aplicar lei dos nós ao nó PR1 logo acima do capacitor, com isso sabemos que:

$$ic(t) = \frac{x(t) - Vc(t)}{R} \qquad (1.3)$$

Mas sabemos também que:

$$ic(t) = C\frac{dVc}{dt} \qquad (1.4)$$

Combinando as equações 1.3 e 1.4 , utilizando o operador D para simplificar a derivada e substituindo $Vc(t)$ por $y(t)$, teremos:

$$CDy = \frac{x - y}{R}$$

Finalmente, fazendo os necessários ajustes, a equação diferencial que representa este circuito será:

$$(D + \frac{1}{RC})\, y(t) = \frac{x(t)}{RC}$$

$$aplicando\ os\ valores\ finais$$

$$(D + 1.5) = x(t) \qquad (1.5)$$

Aplicando as condições iniciais $y(t) = 0$ e $y'(t) = 1$ à equação característica $\lambda + 1.5 = 0$ e percebendo que $P(D) = 1.5$, a partir da equação 1.2 encontramos que a resposta esperada ao impulso nesse circuito será:

$$h(t) = (1 - e^{-1.5t})V\ para\ t \geq 0$$

Isso quer dizer que a resposta esperada ao impulso de tensão nesse circuito é uma exponencial decrescente começando em 1.5V. Em outras palavras, em $t = 0$ o capacitor será carregado muito rapidamente para 1.5V e a partir dai ele se descarregará aos poucos sobre o resistor do circuito.

A *Figura 2* mostra o gráfico proveniente do experimento. Podemos ver que ele condiz com o esperado, o formato é de uma exponencial começando em 1.5 V e tendendo a zero a medida que t tende a infinito.

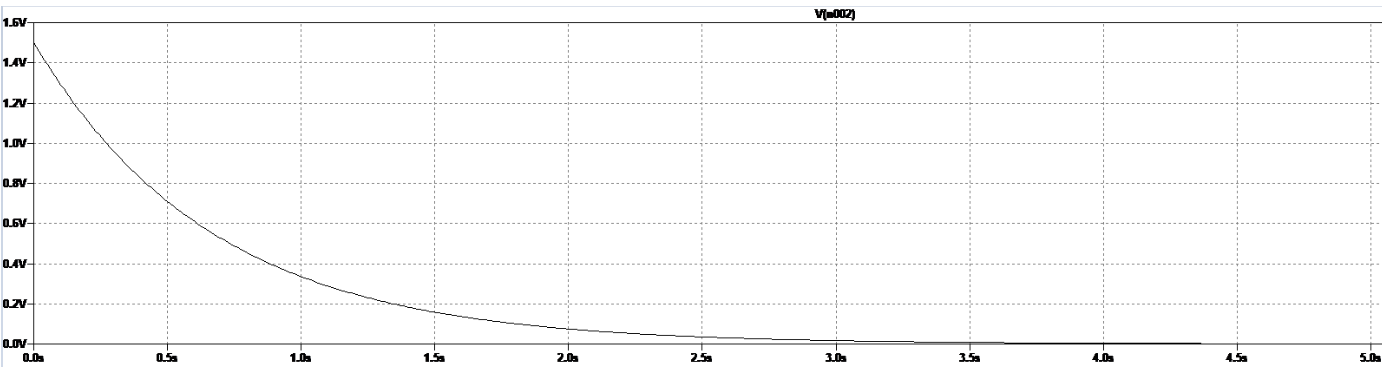

Figura 2 – Gráfico da simulação de 0 a 5 segundos

1.2. Circuito 2 – Circuito RL Série

O próximo circuito simulado foi um circuito RL série. A *Figura 3* fornece uma visão do circuito montado.

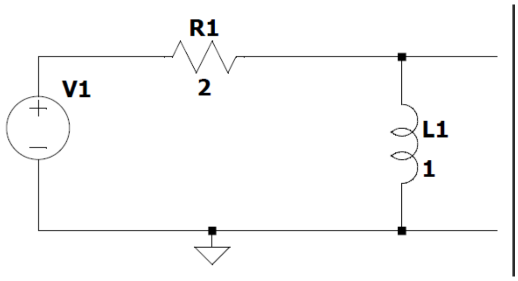

Figura 3 – Circuito RL série

Analogamente ao circuito anterior, realizemos uma análise matemática para determinar a resposta ao impulso de tensão. Primeiramente descobrimos a equação diferencial que representa esse circuito. Aplicaremos novamente a lei dos nós ao nó logo acima do indutor, assim sabemos que:

$$il(t) = \frac{x(t) - Vl(t)}{R} \quad (1.6)$$

Mas sabemos também que:

$$il(t) = \frac{1}{L}\int_{-\infty}^{t} Vl(t) \quad (1.7)$$

Combinando as equações 1.6 e 1.7, utilizando o operador D para simplificar a integral e substituindo $Vl(t)$ por $y(t)$, temos:

$$\frac{y}{LD} = \frac{x - y}{R}$$

Finalmente, fazendo os necessários ajustes, a equação diferencial que representa este circuito será:

$$(D + \frac{R}{L})\, y(t) = Dx(t)$$

$$aplicando\ os\ valores\ finais$$

$$(D + 2) = Dx(t)\ (1.8)$$

Aplicando as condições iniciais $y(t) = 0$ e $y'(t) = 1$ à equação característica $\lambda + 2 = 0$ e percebendo que $P(D) = D$, encontramos que a resposta esperada ao impulso nesse circuito será:

$$h(t) = (\delta(t) - 2\ e^{-2t})V\ para\ t \geq 0$$

Observe que como o maior grau de D em ambos os lados da equação diferencial era igual a 1, $b0$ será igual a 1 e um impulso de tensão é esperado na saída, juntamente com os modos característicos , começando em -1 e caindo até zero (de forma mais rápida que o circuito do capacitor, pois o exponente de e é -2). O impulso de saída tem mesma amplitude do de entrada, 1 KV.

A *Figura 4* mostra que o resultado do experimento era o esperado.

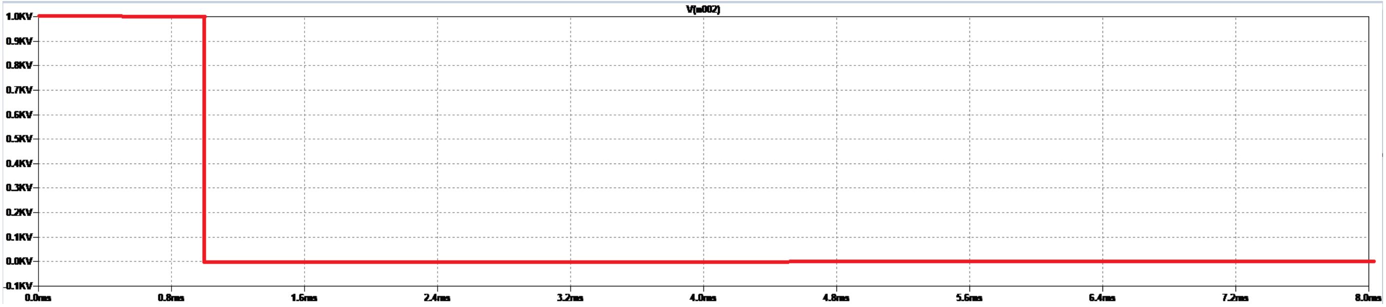

Figura 4 – Gráfico da simulação de 0 a 8 ms

1.3. Circuito 3 - Circuito LC Paralelo Com R Em Série

O próximo circuito simulado foi um circuito com um capacitor e um indutor em paralelo e um resistor em série com eles. A *Figura 5* contém uma visão do circuito montado.

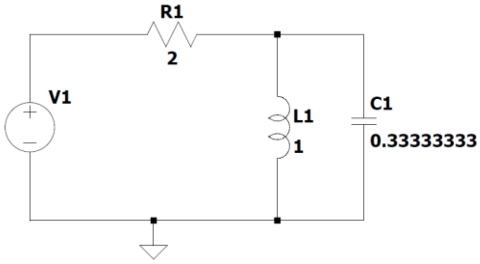

Figura 5 – Circuito RLC

Analogamente aos circuitos anteriores, realizemos uma análise matemática para determinar a resposta ao impulso de tensão. Primeiramente descobrimos a equação diferencial que representa esse circuito. Assim, aplicaremos mais uma vez a lei dos nós ao nó PR1, logo após o resistor:

$$ir(t) = ic(t) + il(t) \ (1.9)$$

Mas sabemos também que:

$$il(t) = \frac{1}{L}\int_{-\infty}^{t} Vl(t) \ (1.10)$$

$$e$$

$$ic(t) = C\frac{dVc}{dt} \ (1.11)$$

Combinando as equações 1.9 a 1.11, utilizando o operador D para simplificar a integral e substituindo $Vl(t) e\ Vc(t)$ por $y(t)$, temos:

$$\frac{x - y}{R} = \frac{LCD^2y + y}{LD}$$

Finalmente, fazendo os necessários ajustes, a equação diferencial que representa este circuito será:

$$(D^2 + \frac{D}{RC} + \frac{1}{LC})\, y(t) = \frac{Dx(t)}{RC}$$

$$aplicando\ os\ valores\ finais:$$

$$(D^2 + 1.5D + 3)y(t) = 1.5Dx(t) \ \ (1.12)$$

Aplicando as condições iniciais $y(t) = 0$ e $y'(t) = 1$ à equação característica $\lambda + 1.5\lambda + 3 = 0$ encontramos que a resposta esperada ao impulso nesse circuito será:

$$\mathrm{h(t)} = 1.5\ e^{0.75t} \cos\left(\frac{\sqrt{39}}{4}t\right) - \frac{-3\sqrt{39}}{26}\ e^{0.75t}\ \mathrm{sen}\left(\frac{\sqrt{39}}{4}t\right),\ \text{para } t \geq 0$$

Assim o circuito irá inicia sem funcionamento em t = 0 com 1.5V e irá oscilar (como uma soma de senoe cosseno por conta das trocas de energia entre capacitor e indutor) sendo amortecido para zero. A *Figura 6* mostra que o resultado da simulação está de acordo com o esperado. Observe que a função acima tem sem mínimo global (aproximadamente –5) em $t \cong 2.5$. Observando a figura abaixo, pode-se reparar que algo parecido acontece.

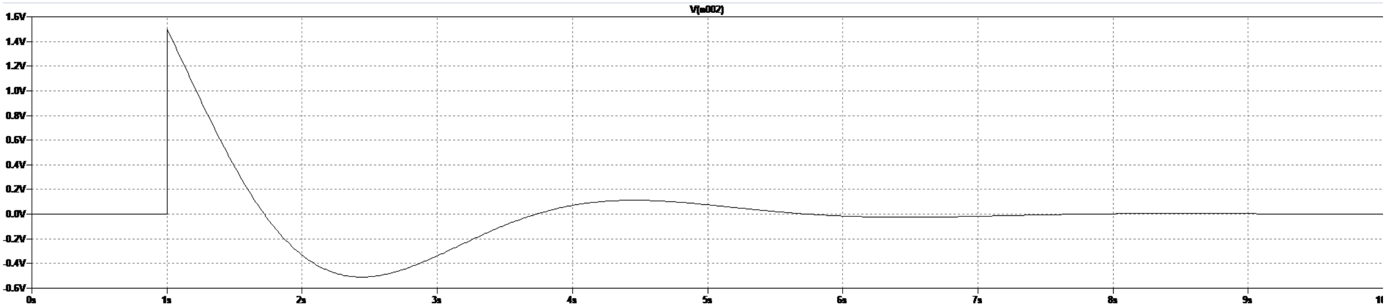

Figura 6 – Gráfico da simulação de 0 a 10 segundos

1.4. Circuito 4 – RLC série

O próximo circuito simulado foi um circuito com um capacitor, um resistor e um indutor em série. A *Figura 7* fornece uma visão do circuito montado.

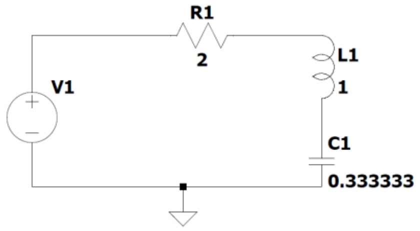

Figura 7 – Circuito RLC série

Realizemos a análise matemática para determinar a resposta ao impulso de tensão. Primeiramente descobrimos a equação diferencial que representa esse circuito. A lei das malhas será utilizada na única malhar do circuito:

$$Vr(t) + Vc(t) + Vl(t) = x(t) \quad (1.13)$$

Mas sabemos também que:

$$Vl(t) = L\frac{dil(t)}{dt} \, (1.14)$$

$$e$$

$$ic(t) = C\frac{dVc}{dt} \ (1.15)$$

Combinando as equações 1.13 a 1.15, utilizando o operador D para simplificar a integral, substituindo $Vc(t)$ por $y(t)$ e percebendo que $ic = il$, temos:

$$RCDy + y + LCD^2y = x$$

Finalmente, fazendo os necessários ajustes, a equação diferencial que representa este circuito será:

$$(D^2 + \frac{RD}{L} + \frac{1}{LC})\, y(t) = \frac{x(t)}{LC}$$

$$aplicando\ os\ valores\ finais:$$

$$(D^2 + 2D + 3)y(t) = 3x(t) \quad (1.16)$$

Aplicando as condições iniciais $y(t) = 0$ e $y'(t) = 1$ à equação característica $\lambda + 2\lambda + 3 = 0$ encontramos que a resposta esperada ao impulso nesse circuito será:

$$\text{h(t)} = -2\, e^{-t} \cos(\sqrt{2}\ t) + \sqrt{2}\, e^{-t} \operatorname{sen}(\sqrt{2}\ t) + 1\ \delta(t), \text{ para } t \geq 0$$

O circuito série irá iniciar em t = 0 com 0V por causa da função seno e irá oscilar sendo amortecido para zero de forma semelhante ao circuito anterior. A *Figura 8* mostra que o resultado da simulação foi o esperado. Vale ressaltar que o máximo global da equação acima ocorre em t = 1.7 (aproximadamente 880mV), observe que algo parecido ocorre no gráfico.

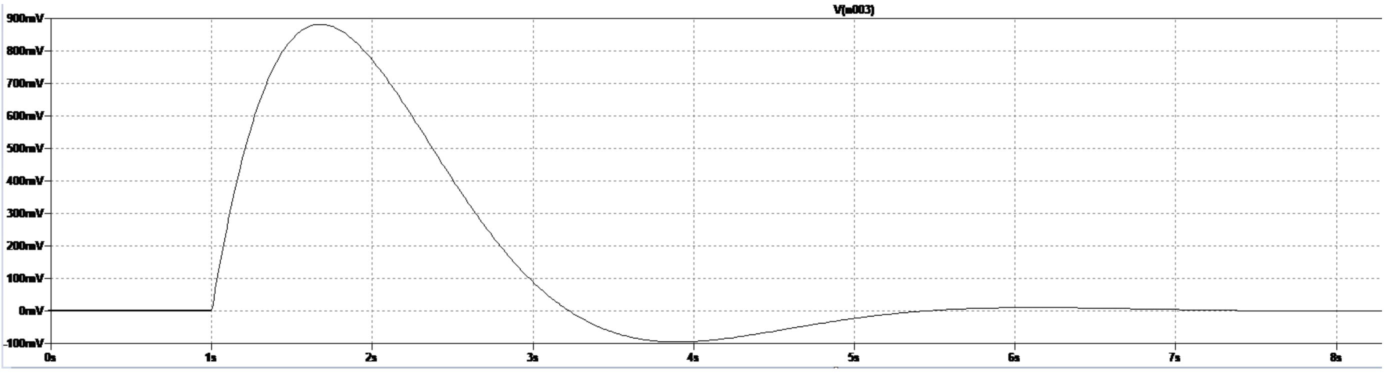

Figura 8 – Gráfico da simulação de 0 a 8 segundos

1.5 Circuito 5 – Circuito de malha Composta

O próximo circuito simulado foi um circuito com dois capacitores em paralelo, dois resistores e dois indutores em série. A *Figura 9* fornece uma visão do circuito montado.

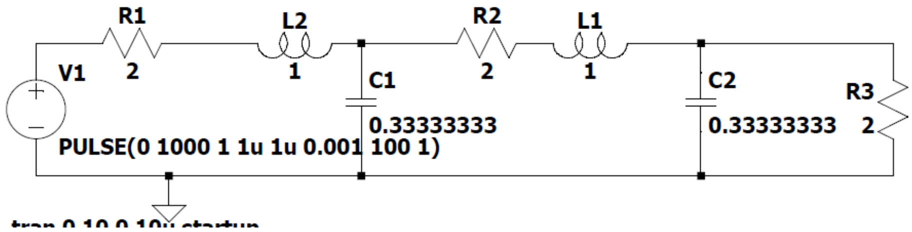

Figura 9 – Circuito de Malha Composta

Fazendo análise de malha no circuito, temos :

malha 1:

$X(s) = (2 + s) * I1(s) + \frac{3}{s} * I2(s)$

malha 2:

$(2 + s) * I3(s) + \frac{3}{s} * I4(s) - \frac{3}{s} * I2(s) = 0$

malha 3:

$2 * I5(s) - \frac{3}{s} * I4(s) = 0 \Rightarrow I5(s) = \frac{3}{2s} * I4(s) \Rightarrow I4(s) * \frac{2s}{3} *I5(s)$

Agora, analisamos os nós do circuito:

nó 1:

$I1(s) = I2(s) + I3(s)$

nó 2:

$I3(s) = I4(s) + I5(s) \Rightarrow I3(s) = (1 + \frac{2s}{3}) * I5(s)$

Conseguinte substituímos I4(s) e I3(s) na equação referente à malha 2:

$[(2+s) * (1+\frac{2}{s}) + (\frac{3}{s}) *(\frac{2s}{3})] * I5(s) = \frac{3}{s} * I2(s) \Rightarrow$

$[2 + \frac{4s}{3} + s + \frac{2s^2}{3}] * I5(s) = \frac{3}{s} * I2(s) \Rightarrow$

$[\frac{2s^2}{3} + \frac{7s}{3} + 4] * I5(s) = \frac{3}{s} *I2(s) \Rightarrow$

$I2(s) = [\frac{2s^2}{9} + \frac{7s}{9} + \frac{4}{3}] * I5(s)$

Substituindo I3(s) e I2(s) na equação do nó 1:

$$I(s) = I2(s) + I3(s) \Rightarrow I1(s) = \left(\frac{2s^2}{9} + \frac{7s}{9} + \frac{4}{3} + \frac{2s}{3} + 1\right) * I5(s) \Rightarrow$$

$$I1(s) = \left(\frac{2s^2}{9} + \frac{7s}{9} + 2s + 1\right) * I5(s)$$

Conseguinte substituímos I1(s) e I2(s) na equação referente à malha 2:

$$X(s) = (2+s) * \left(\frac{2s^2}{9} + \frac{7s^2}{9} + 2s + 1\right) * I5(s) + 3s * \left(\frac{2s^2}{9} + \frac{7s}{9} + \frac{4}{3}\right) * I5(s) \Rightarrow$$

$$X(s) = \left(\frac{2s^4}{9} + \frac{11s^2}{9} + \frac{38s^2}{9} + \frac{22s}{3} + 6\right) * I5(s) \Rightarrow$$

$$9 * X(s) = (2s^4 + 11s^3 + 38s^2 + 66s + 54) * I5(s) \Rightarrow$$

$$I5(s) = \frac{9 * X(s)}{2s^4 + 11s^3 + 38s^2 + 66s + 54}$$

Observando o circuito é possível atribuir que:

$$Y(s) = 2 * I5(s) \Rightarrow I5(s) = \frac{Y(s)}{2}$$

Por fim, fazendo a equivalência entre as duas equações obtidas, temos então:

$$\frac{Y(s)}{2} = X(s) * \frac{9}{2s^4 + 11s^3 + 38s^2 + 66s + 54} \Rightarrow H(s) = \frac{18}{2s^4 + 11s^3 + 38s^2 + 66s + 54}$$

O circuito irá iniciar em t = 0 com 0V por causa da função seno e irá oscilar sendo amortecido para zero de forma semelhante ao circuito anterior. A *Figura 10* mostra que o resultado da simulação foi o esperado. Vale ressaltar que o máximo global da equação acima ocorre em t = 2.20 (aproximadamente 280mV), observe que algo parecido ocorre no gráfico.

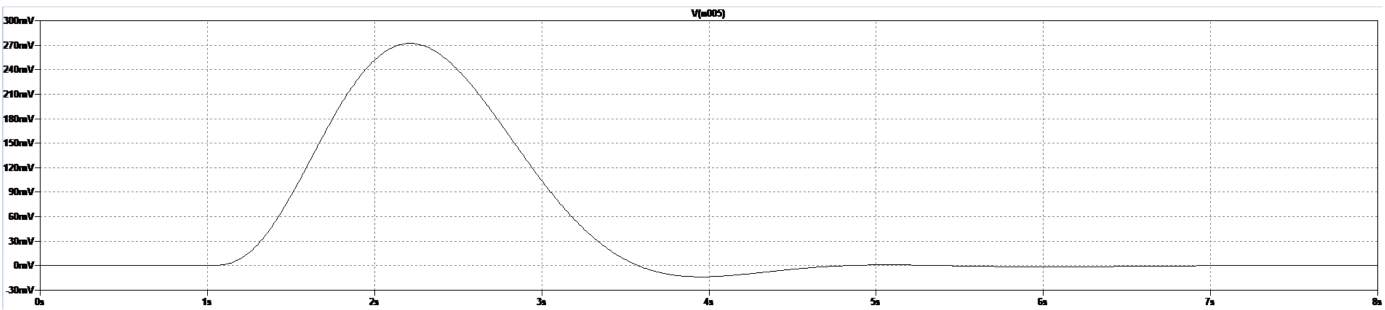

Figura 10 – Gráfico da simulação de 0 a 10 segundos

2. Transitório: Resposta ao degrau de tensão

A segunda parte do trabalho consiste em simular e analisar a resposta ao degrau de tensão nos circuitos anteriores. Novamente utilizou-se o gerador de onda quadrada ajustando-se o duty cycle para algo em torno de 90%, assim em $t = 0$ a tensão sai de 0 para 1V e permanecerá assim até muito tempo depois do período transitório. Para $t < 0$, a tensão é zero.

Assumindo então que para $t < 0$ todos os circuitos estão descarregados, ou seja, não possuem condições iniciais, podemos encontrar a resposta ao degrau de tensão simplesmente calculando a resposta de estado nulo do sistema. Para tanto, utilizou-se a fórmula exibida em (SMITH, STEPHEN):

$$y(t) = x(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(r)h(t-r)dr \quad (2.1)$$

Ou seja, a resposta do sistema será a convolução da entrada com a resposta ao impulso de tensão. Observe que $h(t)$ já foi encontrado, e que a convolução de $x(t) * h(t)$ é igual à de $h(t) * x(t)$, assim torna-se simples analisar a resposta ao degrau apenas utilizando a tabela de convoluções apresentada em (LATHI,B.P.), nos casos mais complicados utilizando a integral de convolução.

Os circuitos montados são idênticos aos da seção anterior, por isso não serão repetidos aqui.

2.1. Circuito 1 – Circuito RC Série

Iniciamos por relembrar a resposta ao impulso desse sistema:

$$h(t) = (1 - e^{-1.5t})V \; para \; t \geq 0$$

Assumindo que $x(t) = u(t)$, e utilizando o par número 5 da tabela de convolução, teremos que:

$$y(t) = 1.5 \; e^{-1.5t} u(t)$$

Assim, espera-se que a tensão no capacitor em $t = 0$ seja 0V (pois em 0- ela era 0V e o capacitor não admite mudança brusca de tesão) e que ela cresça como uma curva exponencial e se aproxime cada vez mais de 1V. Observe que depois de muito tempo, não haverá mudança de tensão no capacitor o que faz a corrente que passa por ele ser zero, o capacitor agirá como um aberto, toda a tensão da fonte (1V) estará sobre ele. A *Figura 11* mostra que o resultado da simulação condiz com o deduzido.

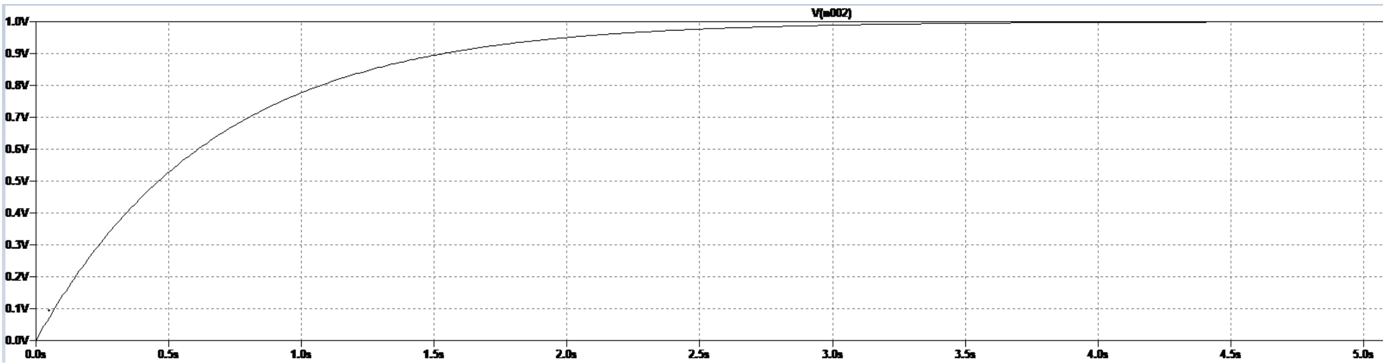

Figura 11 – Gráfico da simulação de 0 a 5 segundos

2.2. Circuito 2 – Circuito RL Série

Analogamente ao circuito anterior, realizemos a convolução da resposta ao impulso encontrada anteriormente com a função degrau:

$$h(t) = (\delta(t) - 2\ e^{-2t})V\ para\ t \geq 0$$

A resposta, utilizando a propriedade distributiva da convolução e os pares 1 e 2 da tabela, será:

$$y(t) = (e^{-2t})u(t)$$

Neste circuito, espera-se que em $t = 0$ a tensão no indutor seja de 1V, já que ele não admite mudança repentina de corrente em t = 0 a corrente nele será zero e a tensão total da fonte estará sobre ele. A tensão então cairá exponencialmente (muito rápido, por causa do exponente muito pequeno) para zero (com a falta de mudança de corrente a tensão no indutor será zero). A *Figura 12* mostra exatamente isso.

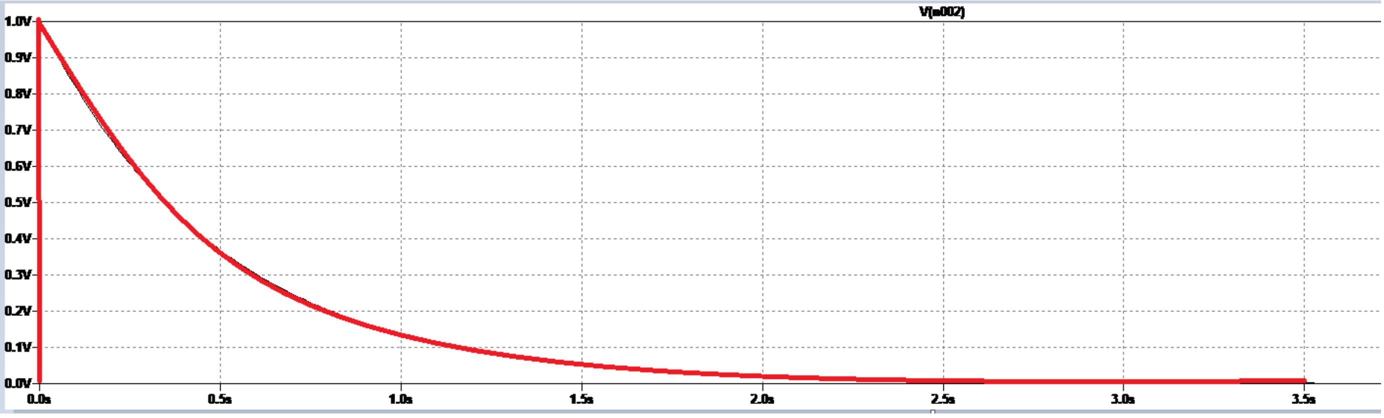

Figura 12 – Gráfico da simulação de 0 a 3.5 segundo

2.3. Circuito 3 - Circuito LC Paralelo Com R Em Série

Observemos a resposta ao impulso desse circuito:

$$\mathrm{h(t)} = 1.5\ e^{0.75t} \cos\left(\frac{\sqrt{39}}{4}t\right) - \frac{-3\sqrt{39}}{26}\ e^{0.75t}\ \mathrm{sen}\left(\frac{\sqrt{39}}{4}t\right),\ \mathrm{para}\ t \geq 0$$

Nesse caso, com o aparecimento do cosseno e do seno faz-se necessária a aplicação da fórmula 2.1. O calculo das integrais está fora dos objetivos deste trabalho, por isso apresentamos apenas o resultado final da resposta ao degrau de tensão:

$$\mathrm{y(t)} = (e^{0.75t}\frac{2\sqrt{39}}{13}\ \mathrm{sen}\left(\frac{\sqrt{39}}{4}t\right))u(t)$$

Desse modo, fica fácil perceber que em $t = 0$ a função seno zera a resposta e para t tendendo a infinito a resposta será oscilatória e amortecida, tendendo a zero por conta da função exponencial. O circuito também a ajuda-nos a deduzir a resposta do sistema, em $t = 0$ a tensão sobre o capacitor (e por estar em paralelo com ele, no indutor) será zero, pois aquele não admite mudança brusca de tensão. Com o passar do tempo a falta de mudança de corrente no indutor fará com que a tensão sobre ele seja zero, entretanto o capacitor e o indutor irão interagir durante algum tempo (trocando energia) de forma que antes de se estabilizar a tensão no capacitor irá oscilar. A *Figura 13* comprova o que foi encontrado analiticamente.

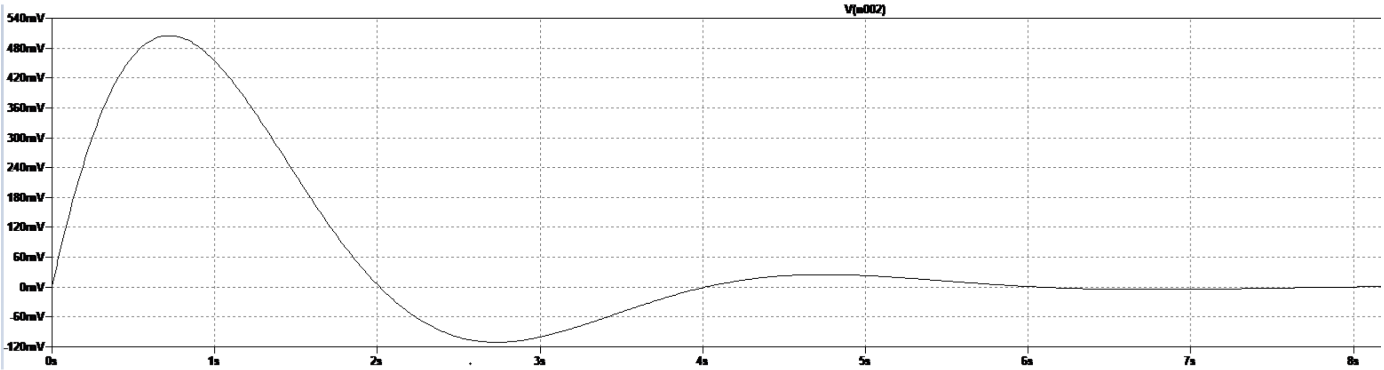

Figura 13 – Gráfico da simulação de 0 a 8 segundo

2.4. Circuito 4 – RLC Série

Realizemos a análise matemática para determinar a resposta ao degrau de tensão. Primeiramente, lembremos a resposta ao impulso do sistema:

$$h(t) = -2\, e^{-t} \cos(\sqrt{2}\, t) + \sqrt{2}\, e^{-t} \operatorname{sen}(\sqrt{2}\, t) + 1\, \delta(t), \text{ para } t \geq 0$$

Novamente faremos uso da integral de convolução para encontrar a resposta ao degrau de tensão. O cálculo da integral não é demonstrado neste trabalho. A resposta ao degrau de tensão será então:

$$y(t) = (1 - \sqrt{2}\, e^{-t} \operatorname{sen}(\sqrt{2}\, t))\, u(t)$$

Observando a reposta, vemos que em $t = 0$ a resposta é 1. Quando t tende a infinito, percebemos que o termo que contém a exponencial tenderá a zero, sobrando apenas o valor constante 1, o sinal então oscila (como uma soma de seno e cosseno) e se aproxima de 1. Através do circuito chegamos a mesma conclusão, em t = 0 o capacitor terá tensão 0, pois não admite mudança brusca de tensão, depois de algum tempo o capacitor (depois de interagir com o indutor trocando energia) irá agir como um aberto tendo sobre si toda a tensão da fonte de 1V. A *Figura 14* exibe o resultado esperado.

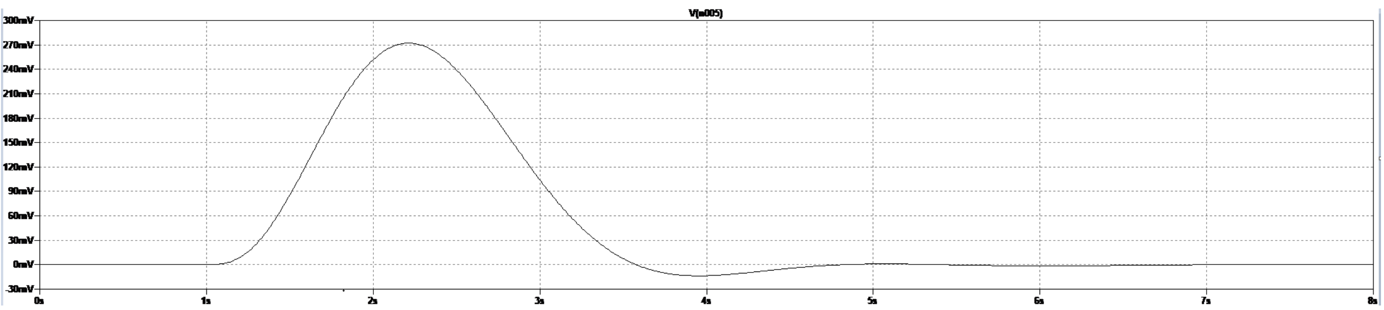

Figura 14 – Gráfico da simulação de 0 a 8 segundos

2.5 Circuito 5 – Circuito de malha composta

Realizemos a análise matemática para determinar a resposta ao degrau de tensão. Primeiramente, lembremos a resposta ao impulso do sistema:

$$H(s) = \frac{18}{2s^4 + 11s^3 + 38s^2 + 66s + 54}$$

Novamente faremos uso da integral de convolução para encontrar a resposta ao degrau de tensão. O cálculo da integral não é demonstrado neste trabalho. A resposta ao degrau de tensão será então:

$$y(t) = [\ A\cos(bt) + B\,\mathrm{sen}(bt)]\ e^{nz}\ u(t)$$

Ao saber que r1 = -1.51076 – 0.998968 i , r2 = -1.51076 + 0.998968 i , r3 = -1.23924 – 2.5875 i e r4 = -1.23924 + 2.5875 i são os 4 polos da função de transferência. Desse modo, o valor negativo na exponencial gera uma função oscilatória que decresce exponencialmente usa amplitude. A *Figura 15* exibe o resultado esperado.

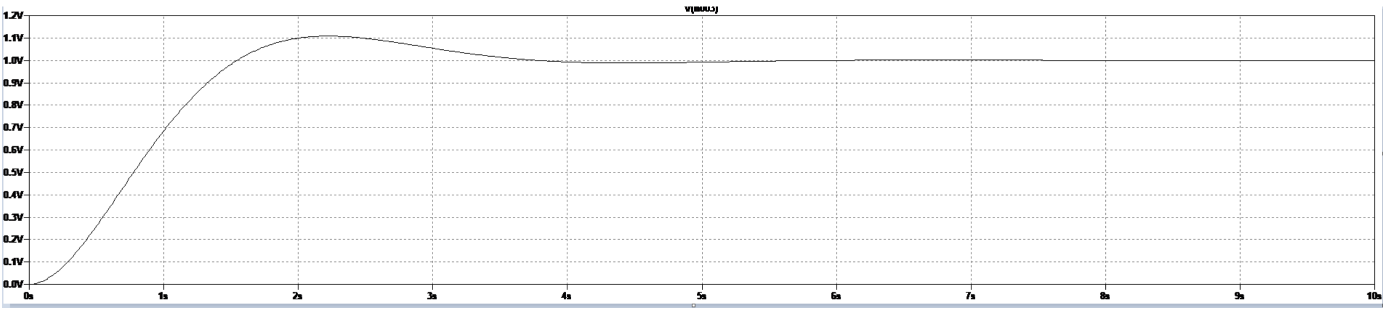

Figura 15 – Gráfico da simulação de 0 a 10 segundos

3. Circuito 6 – Filtro PB de 3ª ordem

A terceira parte do trabalho consiste em encontar os valores adequados para os resistores e capacitores do circuito apresentado na questão (figura 16), de tal forma que a a resposta em freqência corresponda a uma filtro PB que obedeça ao gabarito indicado (figura 17).

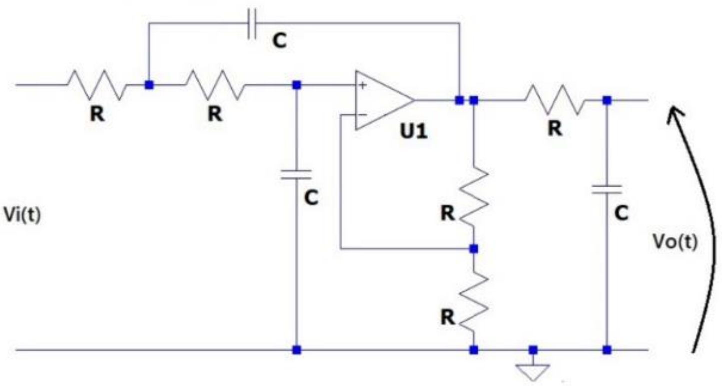

Figura 16

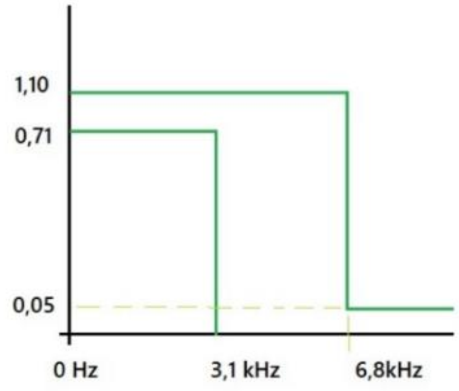

Figura 17 – Gabarito

Observando o gabarito (fig 17) e utilizando o software Scilab, foi possivel encontrar os valores aproximados para cada resistor e capacitor (fig 18) após atribuir alguns valores arbitrariamente. Tendo em vista que o circuito e cálculos são apenas teóricos e o gráfico apresentado (fig 19) foi realizado no Ltspice, podem ter algumas diferenças.

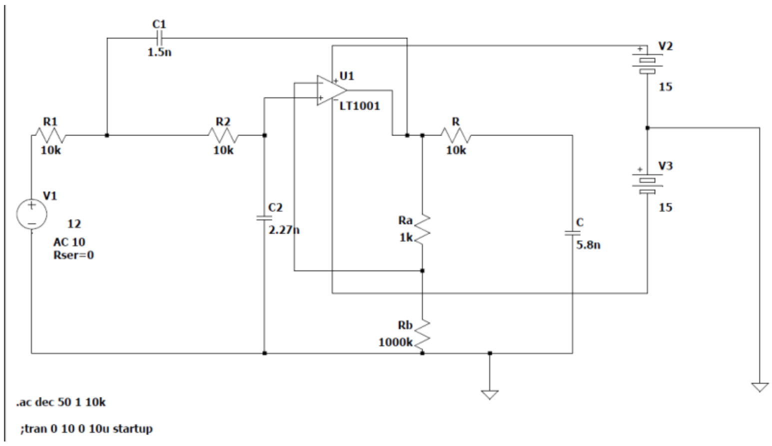

Figura 18 – Circuito

Valores encontrados aproximadamente: C=5.8nF, C1=1.5nF, C2=2.27nF, Ra=1kΩ, Rb=1000kΩ, R=10kΩ, R1=10kΩ, R2=10kΩ.

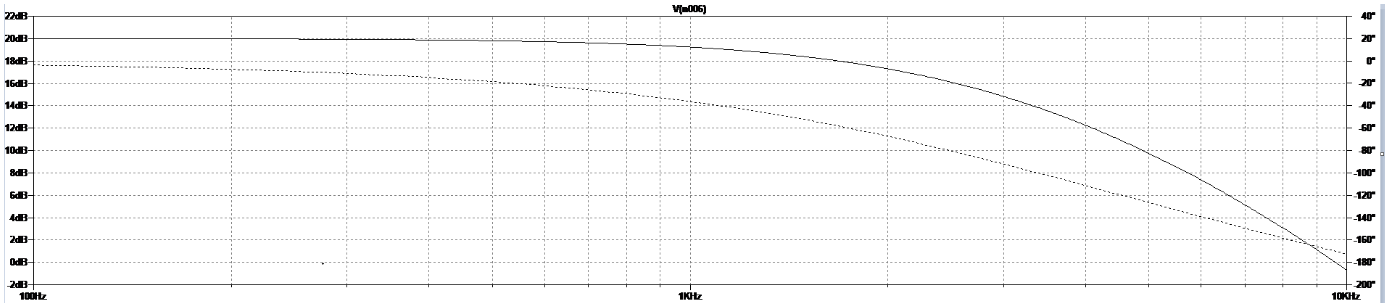

Figura 19 – Circuito

4. Conclusão

O trabalho desenvolvido teve como objetivo analisar a reação dos circuitos sugeridos a diversos tipos de sinais de forma a confirmar na prática os conceitos estuados em sala de aula na teoria. Desenvolveu-se uma abordagem analítica que apoiasse matematicamente as descobertas práticas da simulação.

De forma geral os objetivos do trabalho foram alcançados, um entendimento mais profundo sobre circuitos reativos foi desenvolvido e um melhor entendimento da ligação entre os conceitos matemáticos e os seus respectivos conceitos práticos foi obtido.

5. Bibliografia

- LATHI, B.P.. Sinais e Sistemas Lineares. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2008.
- SMITH, STEPHEN W. "13.Convolution". The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing.1 ed. São Francisco: California Technical Publishing, 1997.