Laboratório 2 - 13/04/25

João Mateus de Almeida Ambrósio - Larissa Batista Ribas

Turma S25

Análise do circuito

Cálculos das potências da carga

O circuito original se encontra na Figura 1.

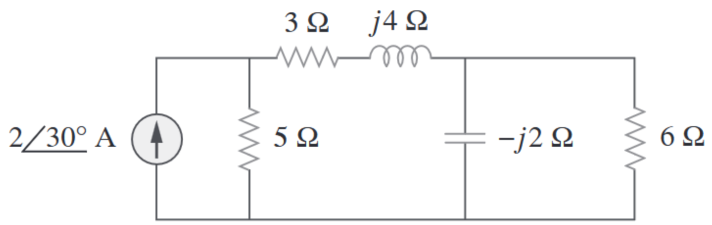

Figura 1: Circuito original

Para o cálculo das potências na carga, é necessário determinar a impedância equivalente do circuito. Para isso, inicialmente calcula-se o paralelo entre 6Ω e $-2j$.

$$Z_1 = 6\Omega \parallel (-j2\Omega)$$

Em seguida, soma-se esse resultado as impedâncias em série $3\,\Omega + j4\,\Omega$:

$$Z_2 = Z_1 + (3\,\Omega + j4\,\Omega)$$

Por fim, esse Z_2 está em paralelo com o 5Ω:

$$Z_{eq} = Z_2 \parallel 5\Omega$$

O que com valores resulta em:

$$Z_{eq} = 4.22\angle 30^\circ \parallel 5\Omega$$

$$Z_{eq} = 2.37\angle 17.08^\circ\Omega$$

Após o cálculo da impedância, o circuito se transforma na Figura 2

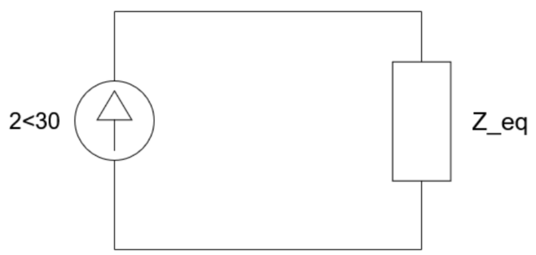

Figura 2: Circuito equivalente com a impedância

Após saber a impedância e tendo a corrente pode-se calcular o valor da tensão: $V = Z_{eq}I$. Dessa forma:

$$V = 2.37\angle 17.08^\circ \times 2\angle 30^\circ$$
$$V = 4.47\angle 47.08^\circ V$$

Agora, sabendo a tensão e a corrente, é possível calcular as potências na carga.

Potência Aparente

A potencia aparente é dada por:

$$S = VI^*$$

Com os valores achados, tem-se:

$$S = (4.47\angle 47.08^\circ \times 2\angle 30^\circ)\text{VA}$$

$$S = (9.48\angle 17.08^\circ)\text{VA}$$

Em polar, esse valor significa a potência aparente na carga. Passando esse resultado para a forma retangular, tem-se:

$$S = (9.06 + 2.78j)\text{VA}$$

O que significa que a potência ativa é $P = 9.06$W e a potência reativa é de $Q = 2.78$VAR

Após encontrar a potência ativa e a potência aparente pode calcular o fator de potência através da fórmula: $FP = \frac{P}{S}$, então:

$$FP = \frac{9.06}{9.48} = 0.95$$

Cálculo dos valores visto por cada elemento do circuito

Antes de calcular as grandezas em cada elemento, é necessário determinar as correntes no circuito. Para isso, foram utilizadas as correntes da Figura 3.

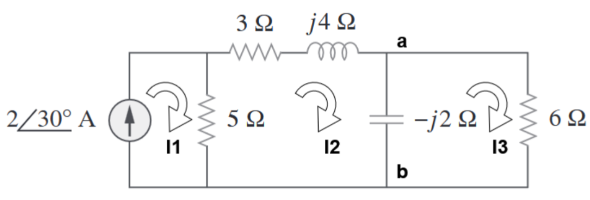

Figura 3: Circuito com as correntes de malha

Como pode ser observado na imagem, o valor da corrente I1 é $2\angle 30^\circ A$.

Em seguida, foram escritas as equações das malhas I2 e I3.

Malha I2:

$$(5 + 3 + 4j - 2j)I2 \ + \ 2j \ I3 \ = \ 5(2\angle 30^\circ)$$

Malha I3:

$$2j \ I2 \ + \ (6 - 2j) \ I3 \ = \ 0$$

Resolvendo esse sistema de duas incógnitas, obtêm-se os seguintes valores:

$$I1 \ = \ 2\angle 30°A$$

$$I2 \ = \ 1.12\angle 15.65°A$$

$$I3 \ = \ 0.36\angle -55.91°A$$

Com essas informações, podemos agora calcular as grandezas nos elementos do circuito.

Para R1 $= 5\Omega$

Considerando o nó (b) como referência (terra), a corrente que atravessa o resistor $R1$ é dada por:

$$I_{R1} = I1 \ - \ I2$$
$$I_{R1} = 2\angle 30° - 0.36\angle -55.91°$$
$$I_{R1} = 0.95\angle 46.9°A$$

Com o valor da corrente e da resistência conhecidas, a tensão em $R1$ pode ser calculada.

$$V_{R1} = R1 I_{R1}$$
$$V_{R1} = 5(0.95\angle 46.9°)$$
$$V_{R1} = 4.78\angle 46.9°V$$

Agora, calculamos os valores de potência.
Potência aparente:

$$S_{R1} = VI^*$$
$$S_{R1} = 4.78\angle 46.9° \times 0.95\angle -46.9°$$
$$S_{R1} = 4.54 \text{ VA}$$

Como ele é um resistor, ele possui carga puramente resistiva, então não possui potência reativa, portando $Q = 0$ VAR e a potência aparente é a mesma da potência ativa:

$$P_{R1} = 4.54 \ W$$

.

Para R2 $= 3\Omega$

$$I_{R2} = I2 = 1.12\angle 15.65^\circ$$

Com o valor da corrente e da resistência conhecidas, a tensão em $R2$ pode ser calculada.

$$V_{R2} = R2I2$$
$$V_{R2} = 3(1.12\angle 15.65^\circ)$$
$$V_{R2} = 3.35\angle 15.65^\circ V$$

Agora, calculamos os valores de potência.
Potência aparente:

$$S_{R2} = VI^*$$
$$S_{R2} = 3.35\angle 15.65^\circ \times 1.12\angle - 15.65^\circ$$
$$S_{R2} = 3.76 \text{ VA}$$

Como o $R2$ também é um resistor, de carga puramente resistiva, ele não possui potência reativa, portando $Q = 0$ VAR e a potência aparente é a mesma da potência ativa:

$$P_{R2} = 3.76 \text{ W}$$

Para R3 $= 6\Omega$

$$I_{R3} = I3 = 0.36\angle - 55.91^\circ$$

Com o valor da corrente e da resistência conhecidas, a tensão em $R2$ pode ser calculada.

$$V_{R3} = R3I3$$
$$V_{R3} = 6(0.36\angle - 55.91^\circ)$$
$$V_{R3} = 2.16\angle - 55.91^\circ V$$

Agora, calculamos os valores de potência.
Potência aparente:

$$S_{R3} = VI^*$$
$$S_{R3} = 2.16\angle - 55.91^\circ \times 0.36\angle 55.91^\circ$$
$$S_{R3} = 0.78 \text{ VA}$$

Como o $R3$ também é um resistor, ele não possui potência reativa, portando $Q = 0$ VAR e a potência aparente é a mesma da potência ativa:

$$P_{R3} = 0.78 \text{ W}$$

Para o indutor $L = j4$

A corrente no indutor é:

$$I_R = I2 = 1.12\angle 15.65° A$$

Com os valores de corrente e indutância calcula-se a tensão no indutor:

$$V_L = LI2$$
$$V_L = j4(1.12\angle 15.65°)$$
$$V_L = 4.48\angle 105.65° V$$

Agora, calculamos os valores de potência.
Potência aparente:

$$S_L = VI^*$$
$$S_L = 4.48\angle 105.65° \times 4.48\angle 105.65°$$
$$S_L = 5.02\angle 90°\text{VA}$$

Passando esse valor para a forma retângular, obtem-se:

$$S_L = 5.02j$$

Ou seja, no indutor não há a potência ativa $(P = 0W)$, ele só possui a potência reativa $Q = 5.02\text{VAR}$ e a potência aparente $S = 5.02\text{VA}$.

Para o capacitor $C = -j2$

A corrente no capacitor é:

$$I_C = I2 - I3 = 1.12\angle 15.65° - 0.36\angle - 55.91°$$
$$I_C = 1.06\angle 34.4° A$$

Com os valores de corrente e capacitância calcula-se a tensão no capacitor:

$$V_C = CI2$$
$$V_C = -j2(1.06\angle 34.39°)$$
$$V_C = 2.12\angle - 55.6° V$$

Agora, calculamos os valores de potência.
Potência aparente:

$$S_C = VI^*$$
$$S_C = 2.12\angle - 55.6° \times 1.06\angle - 34.4°$$
$$S_C = 2.25\angle - 90°\text{VA}$$

Passando esse valor para a forma retângular, obtem-se:

$$S_C = -2.25j$$

Ou seja, no capacitor não há a potência ativa $(P = 0W)$, ele só possui a potência reativa $Q = -2.25\text{VAR}$ e a potência aparente $S = 2.25\text{VA}$, pois é uma carga puramente reativa.

Cálculo sem as cargas de $-j2$ e 6Ω

Retirando as cargas, resulta nesse circuito da Figura 4:

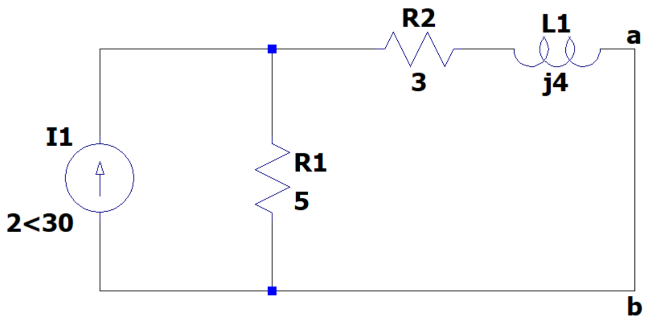

Figura 4: Circuito com as correntes de malha

Fazendo o cálculo das impedâncias, tem-se primeiro L1 e R2 em série, resutando em:

$$Z_1 = (3 + j4)\Omega$$

E esse valor está em paralelo com R1, o que dá:

$$Z_{th} = (2.5 + 1.25j)\Omega$$
$$Z_{th} = 2.79\angle 26.56°\Omega$$

Para que haja a máxima transferência de potência, a impedância da carga Z_l deve ser o conjugado da impedância de Z_{th}.

$$Z_l = Z_{th}^* = 2.79\angle - 26.56\Omega$$

A tensão de Thévenin nos terminais (a) e (b) é dada por:

$$V_{th} = Z_{th} I_1$$
$$V_{th} = (2.79\angle 26.56°)(2\angle 30°)$$
$$V_{th} = 5.58\angle 56.56° \text{ V}$$

Com isso, a potência máxima transferida é:

$$P_{max} = \frac{|V_{th}|^2}{4 \cdot R_{th}} = \frac{(5.58)^2}{4 \cdot 2.5} \approx 3.11 \text{ W}$$

Simulação

Com base nessas informações, o circuito foi implementado no simulador *LTSpice*, conforme ilustrado na Figura 5.

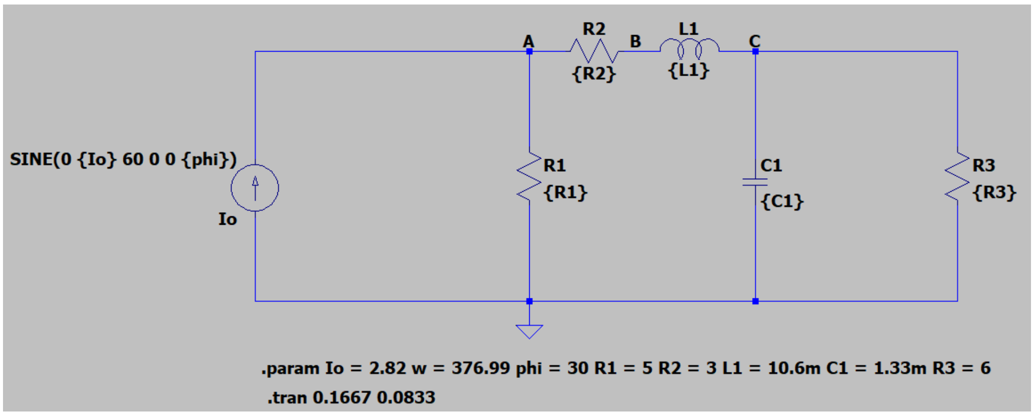

Figura 5: Montagem do circuito com seus respectivos parâmetros

Através do simulador, é possível ver como a tensão e a corrente se comportam em cada dispositivo. Como R1 não possui nenhum componente reativo conectado à ele, tensão e fase estão sincronizados conforme a Figura 6 ilustra.

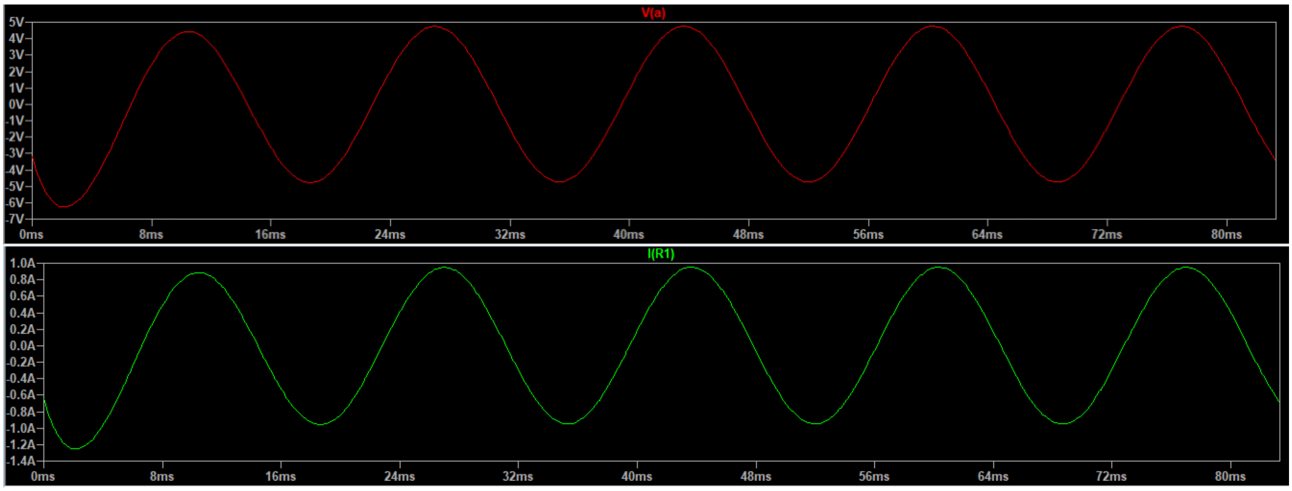

Figura 6: Tensão e corrente no Resistor 1

Já no resistor 2, como existe um elemento indutivo conectado em série com ele, a tensão fica adiantada 90º em relação a corrente (Figura 7).

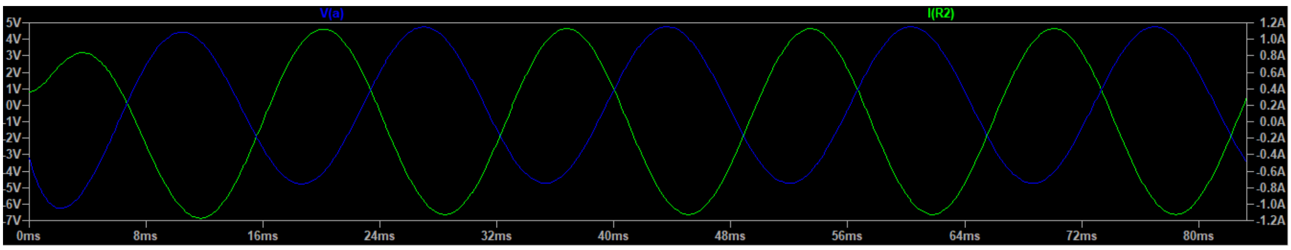

Figura 7: Tensão e corrente no Resistor 1

Assim como o caso anterior, o indutor L1 apresenta a mesma característica de adiantamento de tensão, a Figura 8 comprova esse comportamento.

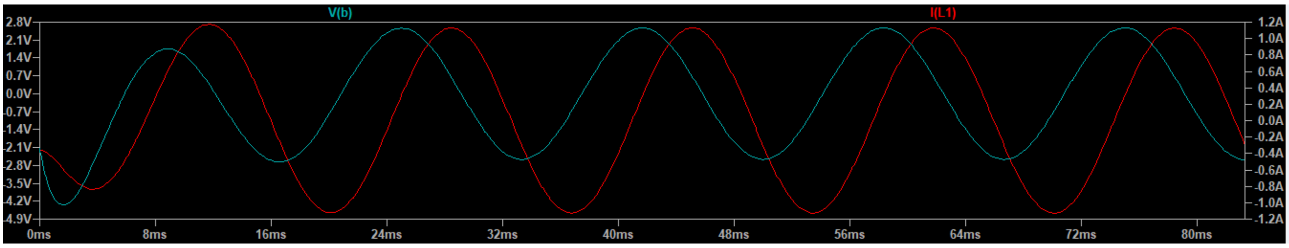

Figura 8: Tensão e corrente no Indutor 1

Agora para o capacitor C1 temos um comportamento contrário, a tensão fica atrasada em relação a corrente por um fator de 90$^{\underline{o}}$ (Figura 9)

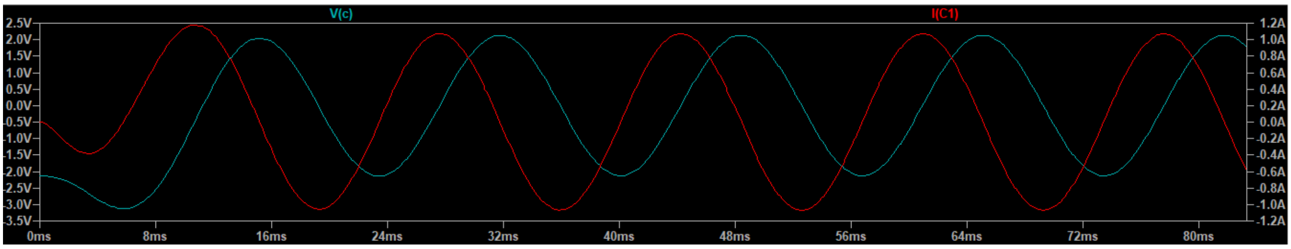

Figura 9: Tensão e corrente no Capacitor 1

E por fim, como o último resistor 3 está sozinho naquele ramo, a tensão e a corrente dele devem estar em fase como a Figura 10 mostra.

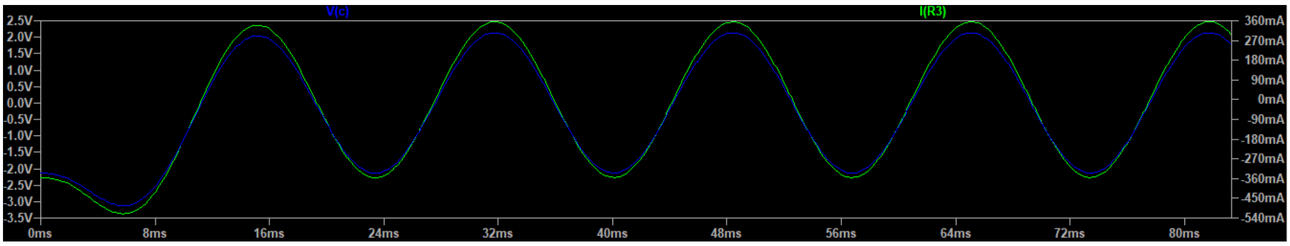

Figura 10: Tensão e corrente no Resistor 3

Resultados da simulação

O *LTSpice* permite capturar o valor eficaz de tensão e corrente, a Figura 11 mostra os valores obtidos para cada um desses itens.

SPICE Output Log: C:\Users\User\Desktop\circuitos B\EaD\Lab 2\Lab EAD 2 A.log

```
LTspice 24.0.12 for Windows
Circuit: * C:\Users\User\Desktop\circuitos B\EaD\Lab 2\Lab EAD 2 A.asc
Start Time: Sun Apr 13 14:29:34 2025
solver = Normal
Maximum thread count: 4
tnom = 27
temp = 27
method = modified trap
Direct Newton iteration for .op point succeeded.

vr1rms: RMS(v(a))=4.85303 FROM 0 TO 0.0833
vr2rms: RMS(v(a) - v(b))=3.3076 FROM 0 TO 0.0833
vl1rms: RMS(v(b) - v(c))=4.40059 FROM 0 TO 0.0833
vc1rms: RMS(v(c))=2.35006 FROM 0 TO 0.0833
vr3rms: RMS(v(c))=2.35006 FROM 0 TO 0.0833
ir1rms: RMS(i(r1))=0.970607 FROM 0 TO 0.0833
ir2rms: RMS(i(r2))=1.10253 FROM 0 TO 0.0833
il1rms: RMS(i(l1))=1.10253 FROM 0 TO 0.0833
ic1rms: RMS(i(c1))=1.03426 FROM 0 TO 0.0833
ir3rms: RMS(i(r3))=0.391676 FROM 0 TO 0.0833

Total elapsed time: 0.337 seconds.
```

Figura 11: Resultado da simulação

onde,

- VR1RMS: Tensão eficaz no resistor 1.
- VR2RMS: Tensão eficaz no resistor 2.
- VR3RMS: Tensão eficaz no resistor 3.
- VL1RMS: Tensão eficaz no indutor 1.
- VC1RMS: Tensão eficaz no capacitor 1.
- IR1RMS: Corrente eficaz no resistor 1.
- IR2RMS: Corrente eficaz no resistor 2.
- IR3RMS: Corrente eficaz no resistor 3.
- IL1RMS: Corrente eficaz no indutor 1.
- IC1RMS: Corrente eficaz no capacitor 1.

Conclusão

Essa atividade permitiu entender como a potência ativa, reativa e aparente se comportam em cada dispositivo. Além disso, devido as características de alguns componentes, foi analisado como esses dispositivos se relacionam com um possível atrasado ou adiantamento da tensão ou corrente. Além do mais, foi revisto alguns conceitos sobre quando a máxima transferência da potência ocorre.