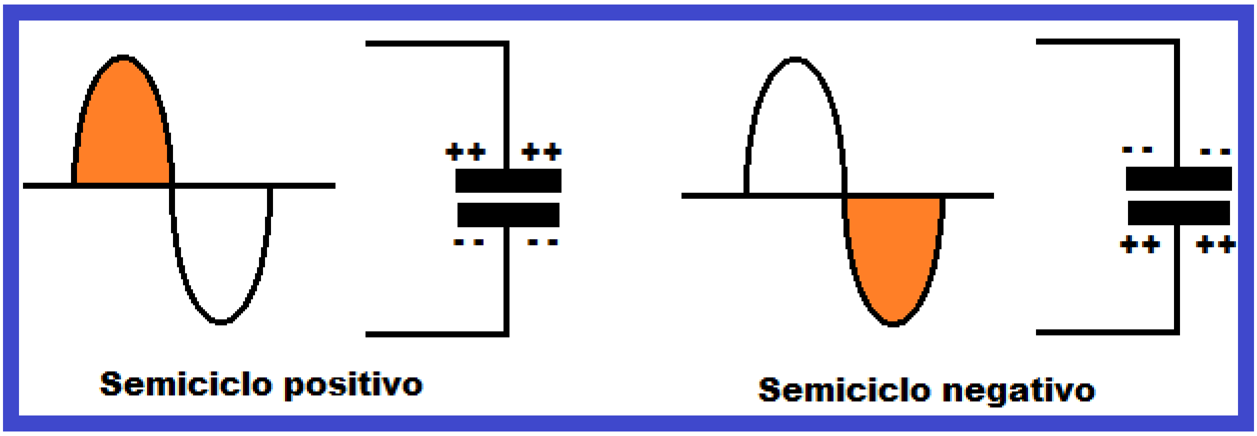
CAPACITOR

COMPORTAMENTO DO CAPACITOR EM *CORRENTE ALTERNADA*

O capacitor tem um comportamento totalmente diferente em AC (Alternating Current) ou CA (Corrente Alternada), pois enquanto em DC (Direct Current) ou CC (Corrente Contínua) comporta-se praticamente como um isolante após carregado, em AC oferece uma resistência à passagem da corrente a qual denominamos *REATÂNCIA CAPACITIVA*, expressa como XC, cuja unidade de medida é o ohm (Ω).

A figura abaixo ilustra o comportamento do capacitor em AC



Embora as cargas elétricas (elétrons) não atravessem as placas ou armaduras do capacitor, devido a alternância da polaridade da tensão aplicada na entrada, circulará pelo circuito uma corrente alternada.

Essa corrente será proporcional à velocidade com que ocorre essa alternância, neste caso, determinada pela frequência da tensão que está sendo aplicada.

Portanto, um capacitor ligado a uma fonte AC permite a circulação de corrente no circuito, devido ao processo de cargas e descargas consecutivas em função da alternância de polaridade da tensão AC.

Isto representa uma resistência à circulação da corrente no circuito, a qual denominamos *Reatância Capacitiva ou XC*, que é expressa em “ohms (Ω)”.

A fórmula para calcular a reatância capacitiva é:

$$XC = \frac{1}{2\pi f C}$$

XC = reatância capacitiva em ohms (Ω)
2π = constante (2 x 3,14 = 6,28)
f = frequência da tensão/corrente alternada em hertz (Hz)
C = capacitância do capacitor em farads (F)

A reatância capacitiva (XC) é inversamente proporcional a frequência, ou seja, amentando a frequência da tensão aplicada e reatância capacitiva diminui.

Vejamos alguns exemplos:

1) Calcular a XC de um capacitor de 47uF, submetido a uma frequência de 60Hz

$$XC = \frac{1}{2\pi fC}$$

XC = 1 / (6,28 x 60 x 47uF)

XC = 1 / 0,0177096 = **56,467 ohms**

2) Calcular a XC de um capacitor de 47uF, submetido a uma frequência de 600Hz

$$XC = \frac{1}{2\pi fC}$$

XC = 1 / (6,28 x 600 x 47uF)

XC = 1 / 0,177096 = **5,647 ohms**

3) Calcular a XC de um capacitor de 47uF, submetido a uma frequência de 10Hz

$$XC = \frac{1}{2\pi fC}$$

XC = 1 / (6,28 x 10 x 47uF)

XC = 1 / 0,0029516 = **338,8 ohms**

CONCLUSÕES:

1 - A reatância capacitiva de um capacitor depende apenas da sua capacitância e da freqüência da rede AC

2 - A reatância capacitiva diminui com o aumento da freqüência

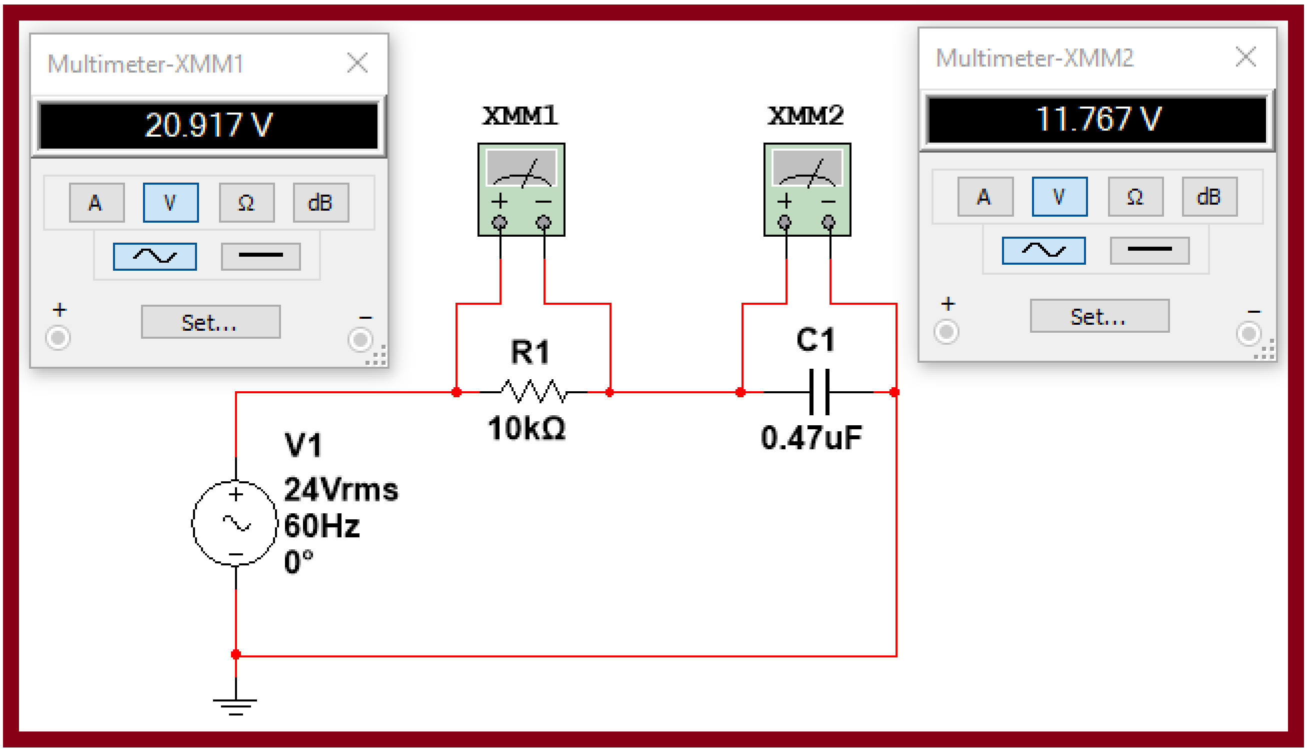
3 - A reatância capacitiva diminui com o aumento da capacitância

4 - A reatância capacitiva não depende do valor de tensão CA, ou seja, da amplitude da tensão aplicada aos terminais do capacitor

DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DE UM CAPACITOR ASSOCIADO EM SÉRIE COM UM RESISTOR EM CIRCUITO AC

REATÂNCIA CAPACITIVA, IMPEDÂNCIA, TENSÃO E CORRENTE

A partir de uma simulação no Multisim, vamos analisar o comportamento de um capacitor associado a um resistor alimentado por uma tensão AC, conforme mostra o circuito a seguir:



Tensão aplicada na entrada: 24V – 60Hz
Tensão medida no resistor: 20,917V
Tensão medida no capacitor: 11,767V

Procedimentos:

1 – calculando o valor de XC

$$XC = \frac{1}{2\pi fC}$$

XC = 1 / (6,28 x 60 x 0,47uF)

XC = 1 / 0,0001771 = **5.646,6 ohms (arredondando: 5,647kΩ)**

2 – calculando o valor da Rt (impedância “Z”)

Neste caso devido ocorrer uma defasagem entre as tensões no resistor e capacitor, a Rt é denominada “impedância”, representada pela letra **Z**.

A relação de fase entre a tensão no resistor e capacitor é de 90 graus, conforme teremos a oportunidade de verificar em simulação mais adiante.

A fórmula para calcular a impedância (Z) é:

$$Z = \sqrt{R^2 + XC^2}$$

$$Z = \sqrt{10k^2 + 5{,}647k^2} = \sqrt{131{,}889k}$$

$$\mathbf{Z = 11{,}484k\Omega}$$

3 – calculando a corrente total

$$It = 24 / 11{,}484k\Omega = \mathbf{2{,}09mA}$$

4 – calculando a tensão nos extremos de R1

$$VR1 = 10k\Omega \cdot 2{,}09mA = \mathbf{20{,}9V}$$

5 – calculando a tensão nos extremos de C1

$$VC1 = 5{,}647k\Omega \cdot 2{,}09mA = \mathbf{11{,}8V}$$

6 – aplicando o conceito de LKT

Neste caso, a soma linear das tensões VR1 e VC1 não se aplica, uma vez que essas tensões estão defasadas em 90 graus.

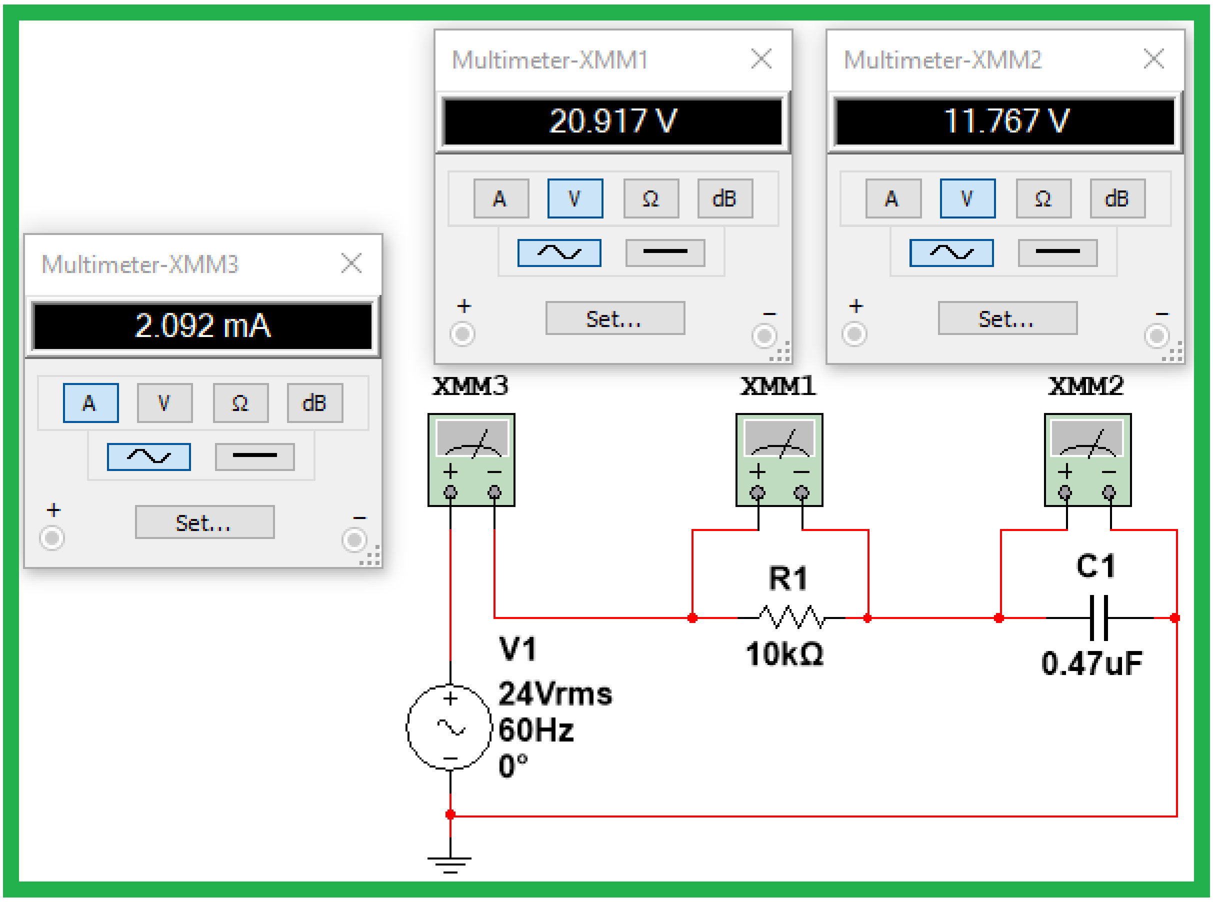
Aplica-se então a fórmula:

$$V1 = \sqrt{VR1^2 + VC1^2}$$

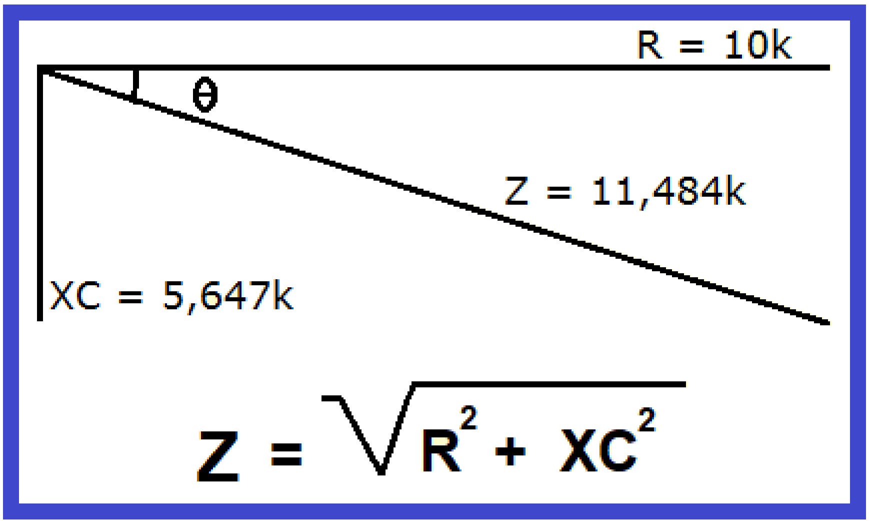
$$V1 = \sqrt{20{,}9^2 + 11{,}8^2} = \sqrt{436{,}81 + 139{,}24} = \sqrt{576{,}05}$$

$$\mathbf{V1 = 24V}$$

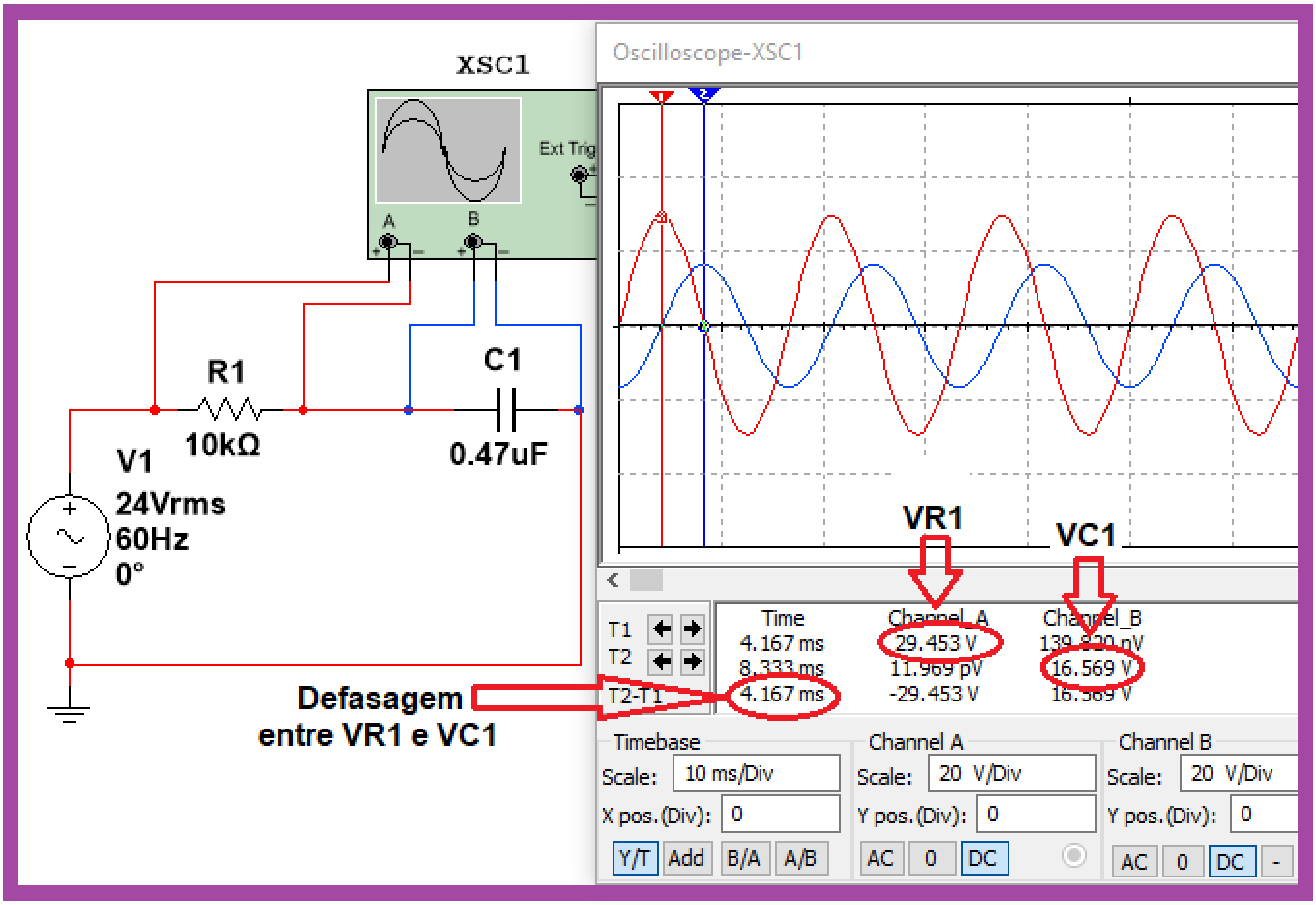
Veja na figura abaixo o resultado da simulação, incluindo o medidor de corrente:



A figura abaixo representa o diagrama fasorial (vetorial) da combinação do resistor com a reatância capacitiva.



A figura abaixo mostra uma visão geral das medidas feitas com o osciloscópio:



Vejamos como interpretar os valores lidos:

1 – Defasagem entre as tensões VR1 e VC1

Conforme mostra a leitura T2-T1, temos um tempo de 4,167ms. Observe o posicionamento dos cursores 1 e 2 (vermelho e azul)

Aplicando regra de 3, podemos calcular e defasagem em graus dessas tensões.

A partir do cálculo do período (T) da frequência da tensão aplicada, neste caso, 24Vrms e frequência de 60Hz:

$$T = 1 / f$$
$$T = 1 / 60Hz = 16{,}667ms$$

Aplicando a regra de 3:

$$16{,}667ms \quad = \quad 360^o$$

$$4{,}167ms \quad = \quad x$$

$$x = (360 \times 4{,}167) / 16{,}667ms = \mathbf{90^o}$$

2 – Cálculo dos valores eficazes ou RMS de VR1 e VC1

Os valores de tensões medidos nos voltímetros (XMM1 e XMM2) na simulação são valores eficazes ou RMS.

As medidas obtidas no osciloscópio: VR1 = 29,453V e VC1 = 16,569V são valores de pico (observe o posicionamento dos cursores 1 e 2).

A partir da fórmula para calcular o valor de pico de uma tensão senoidal:

$$Vp = Vef \,.\, 1{,}41 \quad \text{ou} \quad Vp = Vrms \,.\, 1{,}41$$

Podemos calcular os valores eficazes ou “rms” de VR1 e VC1

$$Vrms = Vp / 1{,}41$$

VR1 = 29,453 / 1,41 = **20,889Vrms**

VC1 = 16,569 / 1,41 = **11,751Vrms**

Análise do mesmo circuito, porém com frequência de 600Hz

Para reforçar os conhecimentos teóricos sobre o assunto, faremos a análise do mesmo circuito, porém aumentando a frequência em 10 vezes (600Hz).

Como consequência, teremos a alteração do valor de XC, com a consequente alteração dos valores das tensões VR1 e VC1 bem como, da corrente total.

Embora a frequência da tensão aplicada (V1) aumente 10 vezes, a defasagem entre as tensões VR1 e VC1 não se alterará, continuando em 90 graus.

Cálculo de XC:

$$XC = 1 / (2\pi fC) = 1 / (6{,}28 \times 600 \times 0{,}47uF) = \mathbf{564{,}665\ ohms}$$

Cálculo de Z:

$$Z = \sqrt{R^2 + XC^2}$$

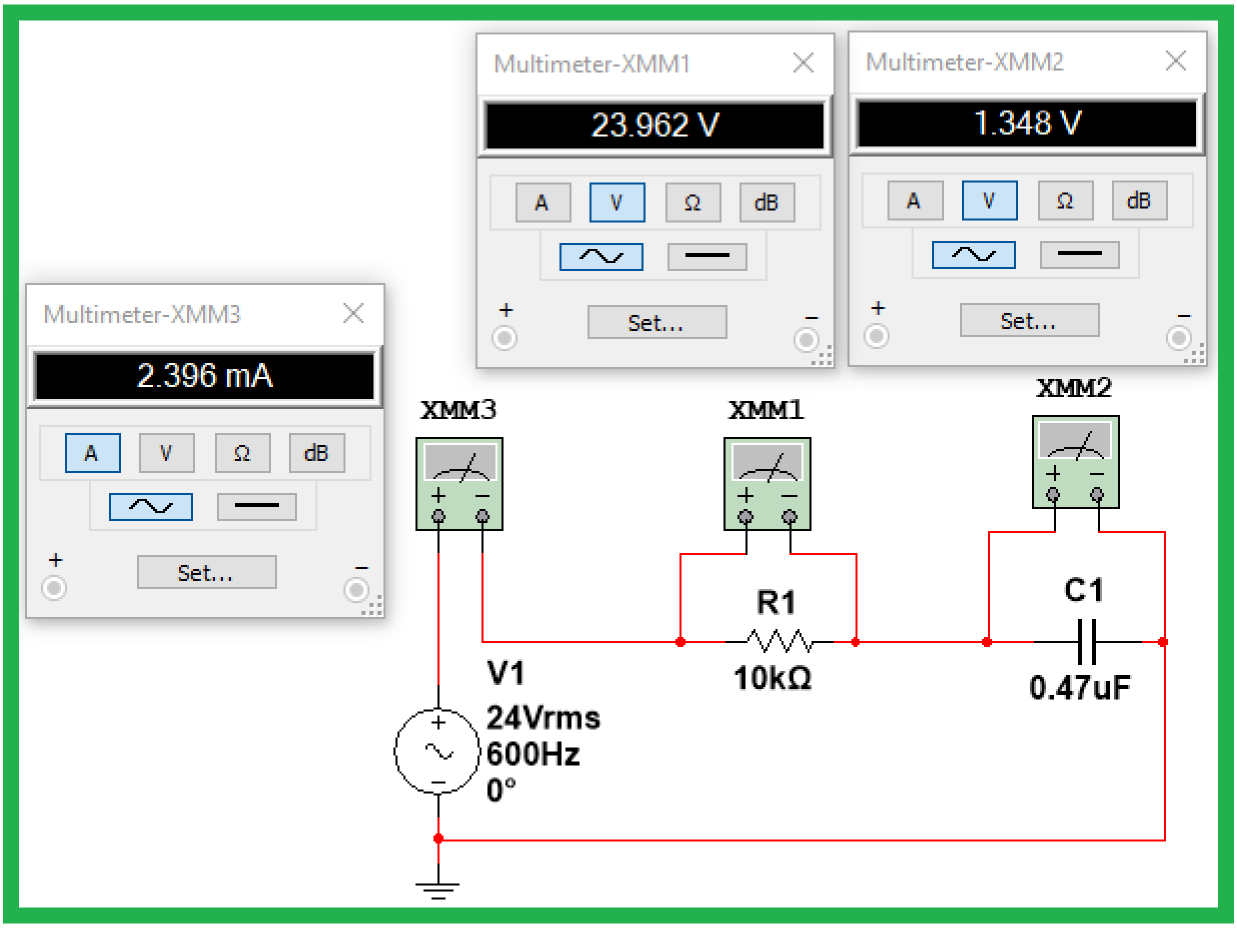
$$Z = \sqrt{10k^2 + 564{,}665^2} = \sqrt{100{,}319k}$$

$$\mathbf{Z = 10.016\ ohms}$$

Cálculo da corrente total:

IT = 24 / 10.016 ohms = **2,396mA**

O resultado da simulação é mostrado na figura abaixo:



Somando vetorialmente as tensões VR1 e VC1, teremos a tensão aplicada na entrada do circuito:

$$V1^2 = VR1^2 + VC1^2$$

$$V1^2 = 23,962^2 + 1,348^2$$

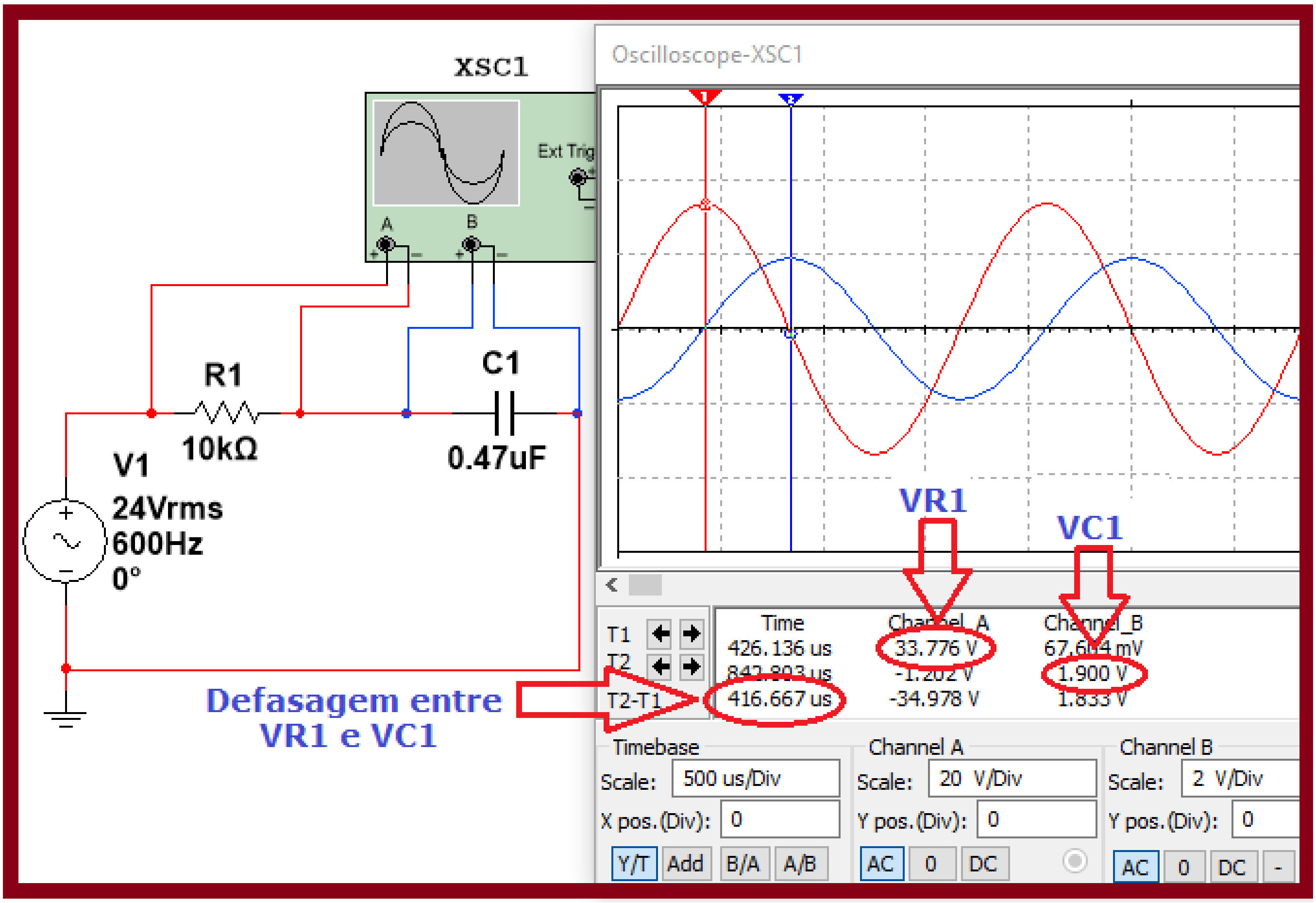
$$V1^2 = 574,177 + 1,817$$

$$V1 = \sqrt{575,994} = 24V$$

Análise dos valores das tensões medidas em R1 e C1 e defasagem entre essas tensões

A figura a seguir mostra uma visão geral das medidas feitas nos extremos do resistor e do capacitor, bem como do tempo em que ocorre a defasagem entre essas duas tensões (VR1 e VC1).

É importante salientar que, embora a frequência da tensão na entrada tenha sido aumentada para 600Hz (10 vezes mais), isto não altera a relação de fase entre as tensões no resistor e capacitor.



1 – cálculo da defasagem

Tempo medido (T2-T1) = 416,667us

Período (T) da frequência da tensão aplicada: T = 1 / f ➔ 1 / 600 = 1.667us

1.667us = 360º

416,667us = x

x = (416,667 x 360) / 1.667 = 89,982°

2 – cálculo da tensão RMS em R1

VR1 = 33,776V (a tensão medida é tensão de pico)

Vrms = 33,776 / 1,41

VR1 = 23,954Vrms

3 – cálculo da tensão RMS em C1

VC1 = 1,9V (a tensão medida é tensão de pico)

Vrms = 1,9 / 1,41

VC1 = 1,348Vrms

$$V1 = \sqrt{575,994} = 24V$$

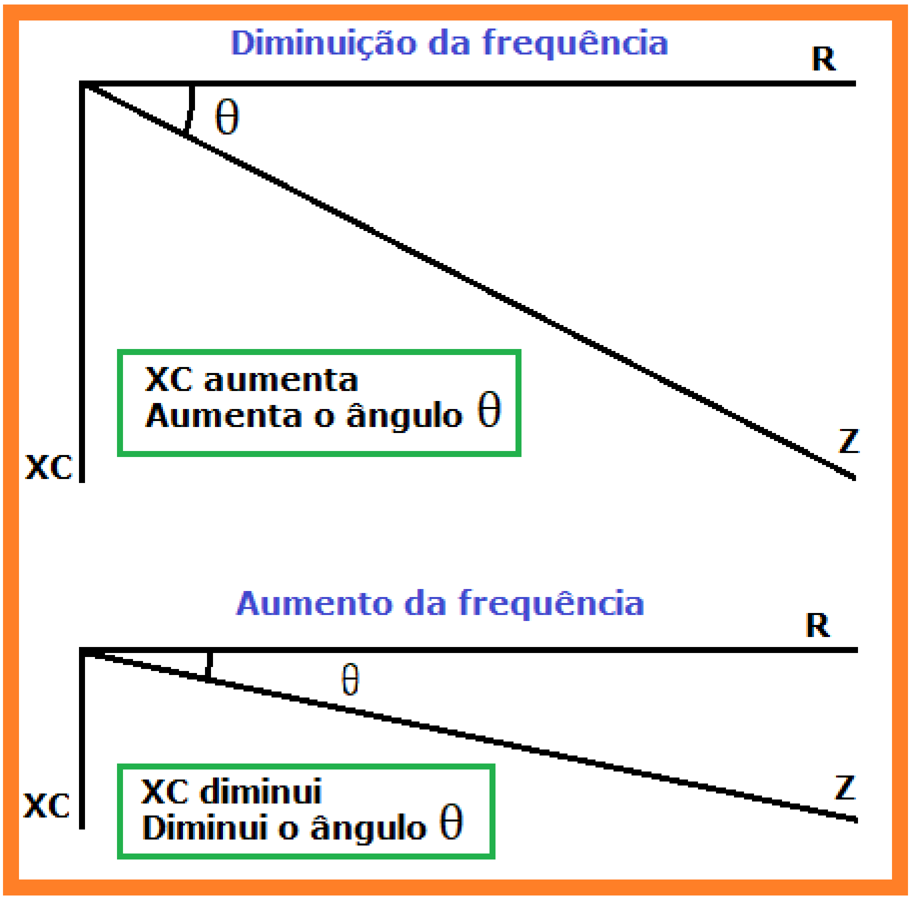
RELAÇÃO DE FASE ENTRE A TENSÃO DE ENTRADA (V1) E TENSÃO NO RESISTOR (VR1) E TENSÃO NO CAPACITOR (VC1)

Podemos verificar que o circuito que estamos analisando trata-se de uma associação em série, entre um resistor e um capacitor alimentado por uma tensão V1, logo, a corrente será comum para os dois componentes.

A alteração da frequência da tensão de entrada ocasionará uma alteração da impedância (Z) alterando também a corrente total no circuito.

Assim, um aumento da frequência provocará uma diminuição da XC, tornando a corrente mais resistiva. Se R for 10 ou mais vezes maior do que XC a tendência da defasagem é “zero” e podemos considerar a corrente total como *“resistiva”.*

A figura abaixo mostra uma comparação vetorial em relação ao ângulo de defasagem com o valor da reatância capacitiva XC.



Obviamente, se XC for 10 ou mais vezes maior do que R, a tendência da defasagem é “90º”, daí então podemos considerar a corrente total como capacitiva.

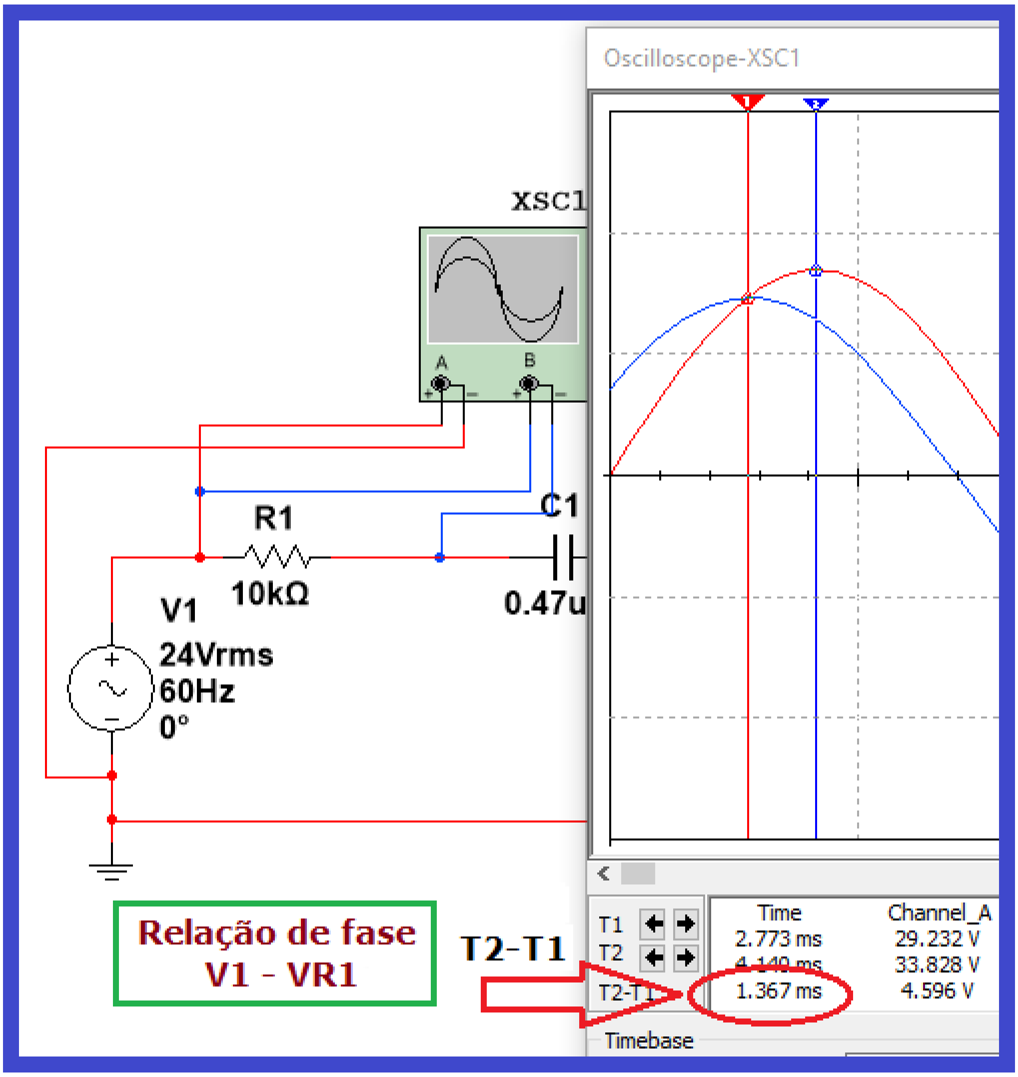
O cálculo do ângulo θ é dado pela fórmula:

$$\mathbf{tg}\ \theta = XC/R$$

Outra opção:

$$\mathbf{cos}\ \theta = R/Z$$

A seguir, a simulação comparando defasagem entre V1 e VR1:



O valor calculado anteriormente para XC é: 5,647k

tg θ = 5,647 / 10k = 0,5647 = 29,453º

Utilizando para os cálculos os valores lidos no osciloscópio:

T2-T1 = 1,367ms

Aplicando a regra de 3:

16,667ms = 360º

1,367ms = x

x = (1,367 x 360) / 16,667 = 29,527º

Podemos então considerar que o ângulo de defasagem entre a impedância Z (11,484k) resistor R (10k) é praticamente 29,5º.

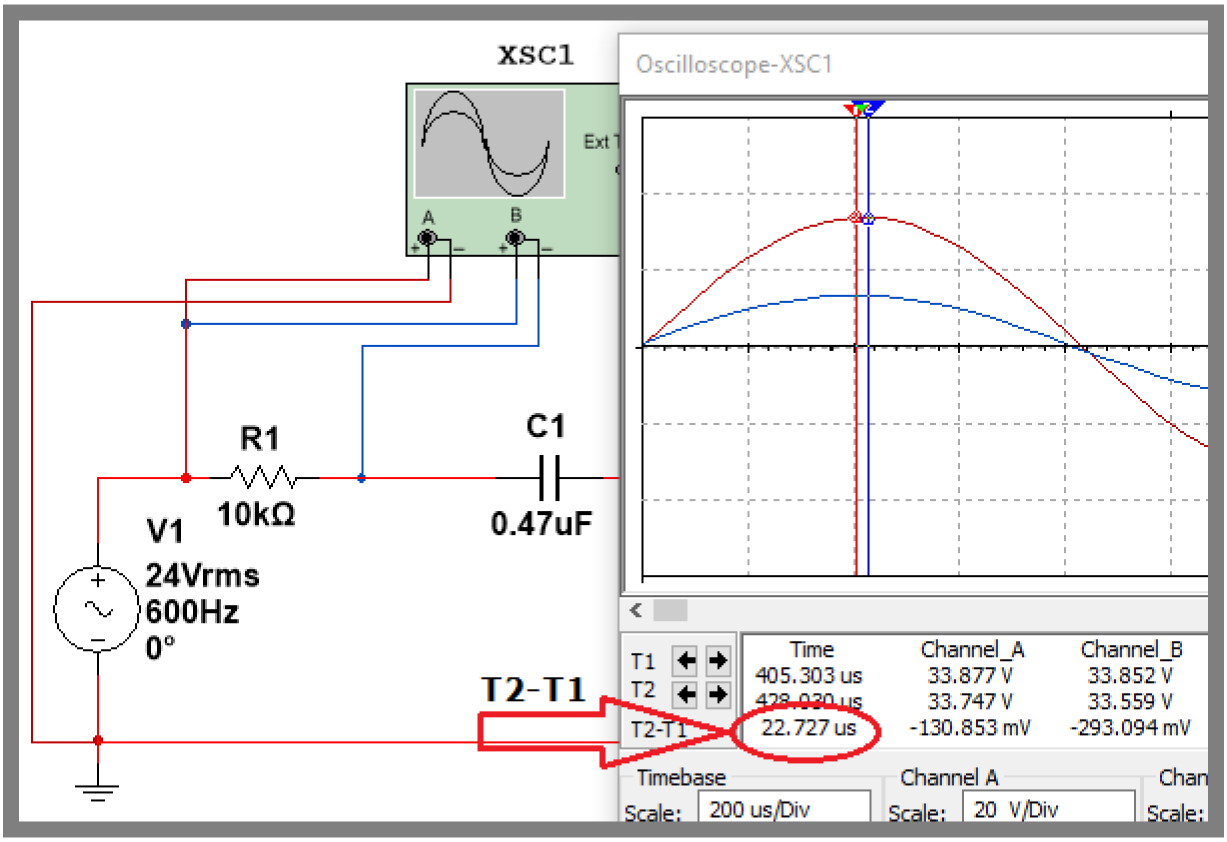
Se subtrairmos 29,5º de 90º, teremos o ângulo de defasagem entre a impedância Z e a reatância capacitiva XC (90º – 29,5º = 60,5º)

Utilizando a fórmula: cos θ = R/Z

cos θ = 10k / 11,484k = 0,8707767 = 29,451º

A figura a seguir ilustra a simulação com a frequência da tensão de entrada (V1) aumentada 10 vezes em relação a frequência de 60Hz.

Observe que, praticamente tensão entre V1 e VR1 estão em fase, o que indica que a corrente que circula pelo circuito pode ser considerada como “resistiva”.



Calculando:

Período da frequência: T = 1 / 600Hz = 1,667ms

Aplicando regra de 3:

1,667ms = 360º

0,022727ms = x

x = (0,022727 x 360) / 1,667 = 4,9°

A figura a seguir ilustra a simulação com a frequência da tensão de entrada (V1) 10 vezes menor em relação a frequência de 60Hz.

Procedendo os cálculos:

Período da frequência: T = 1 / 6Hz = 166,667ms

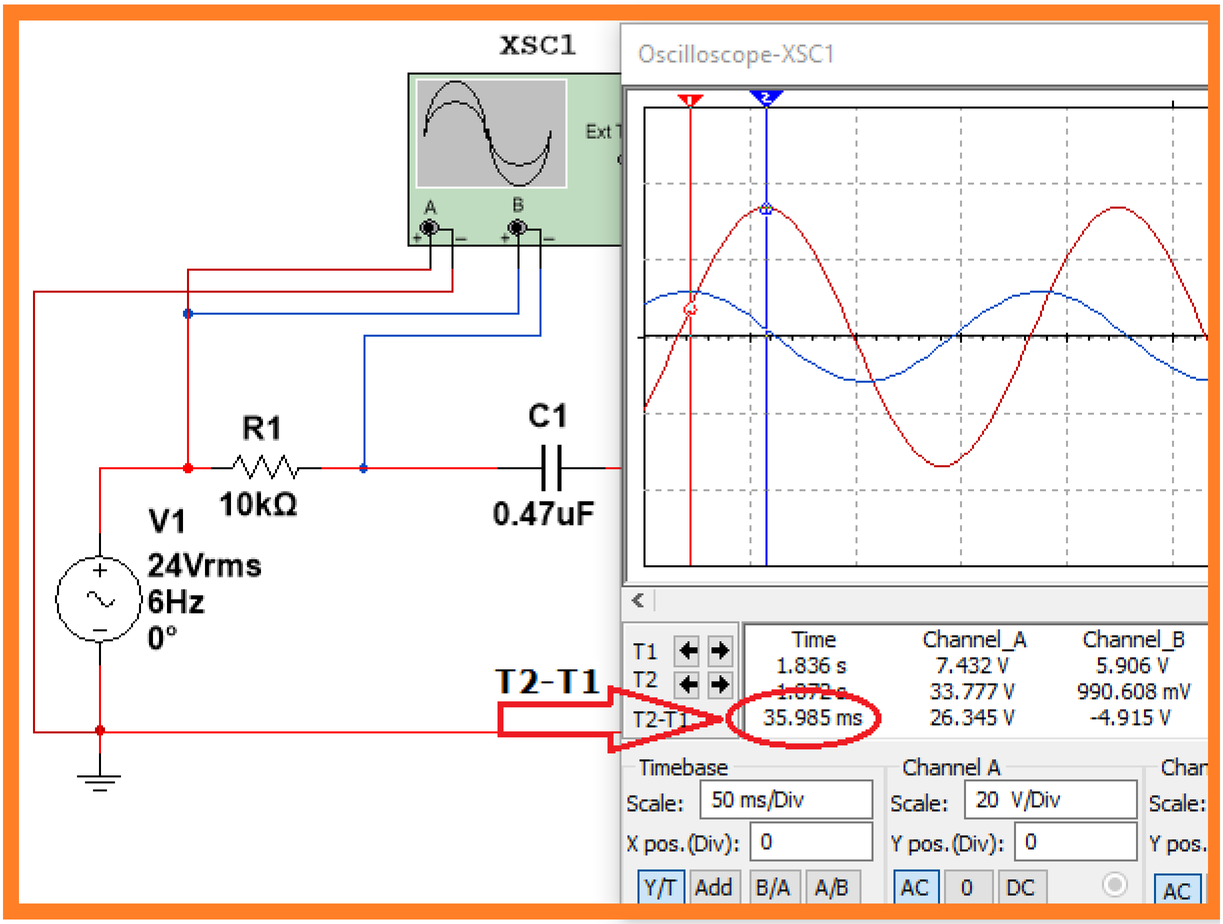
Aplicando regra de 3:

166,667ms = 360º

35,985ms = x

x = (35,985 x 360) / 166,667 = 77,73°

Podemos considerar a corrente total do circuito praticamente capacitiva.



Nestas condições a tendência da corrente total é diminuir, uma vez que a impedância (Z) tende a aumentar, conforme podemos comprovar através de cálculos.

$$Z = \sqrt{R^2 + XC^2}$$

$$XC = 1 / 2\pi fC$$

$$XC = 1 / 6,28 \times 6 \times 0,47uF = 1 / 17,71 \times 10^{-6}$$

$$XC = 56,467k\Omega$$

$$Z = \sqrt{10k^2 + 56,467k^2} = \sqrt{3.288.522.089}$$

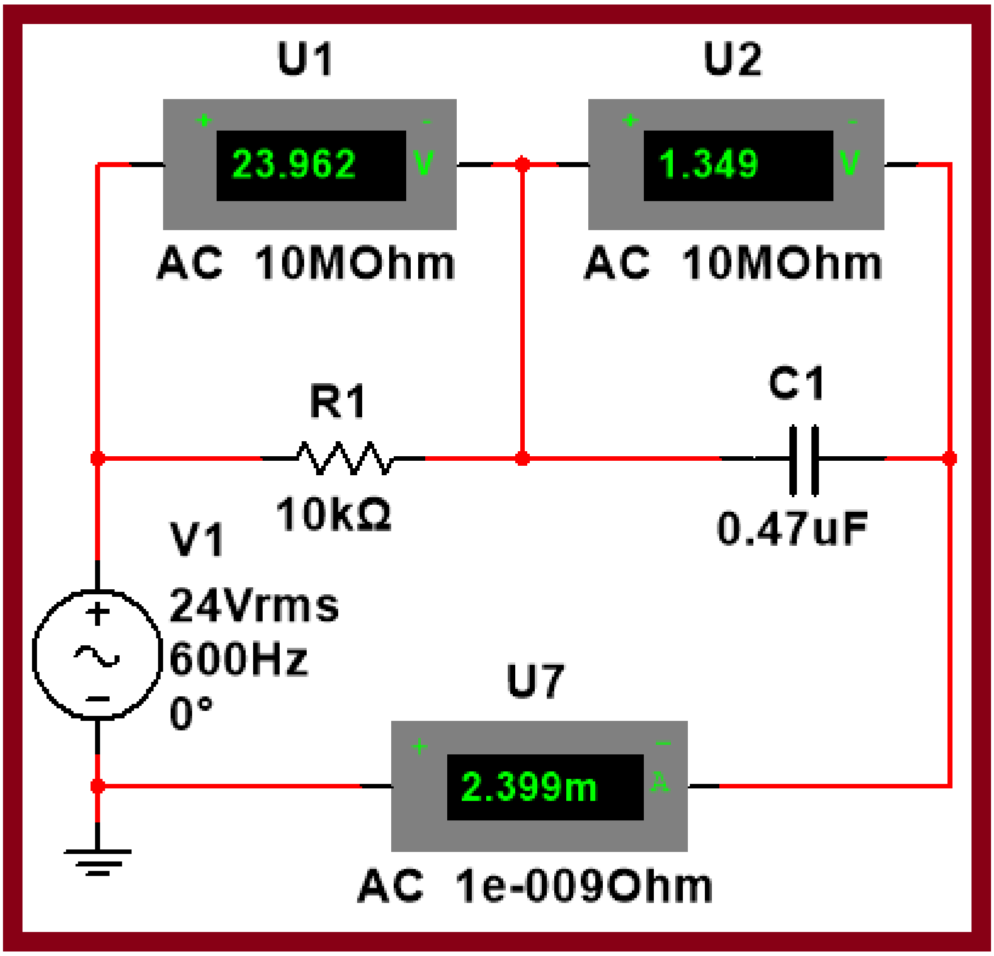
$$\mathbf{Z = 57,346k}$$

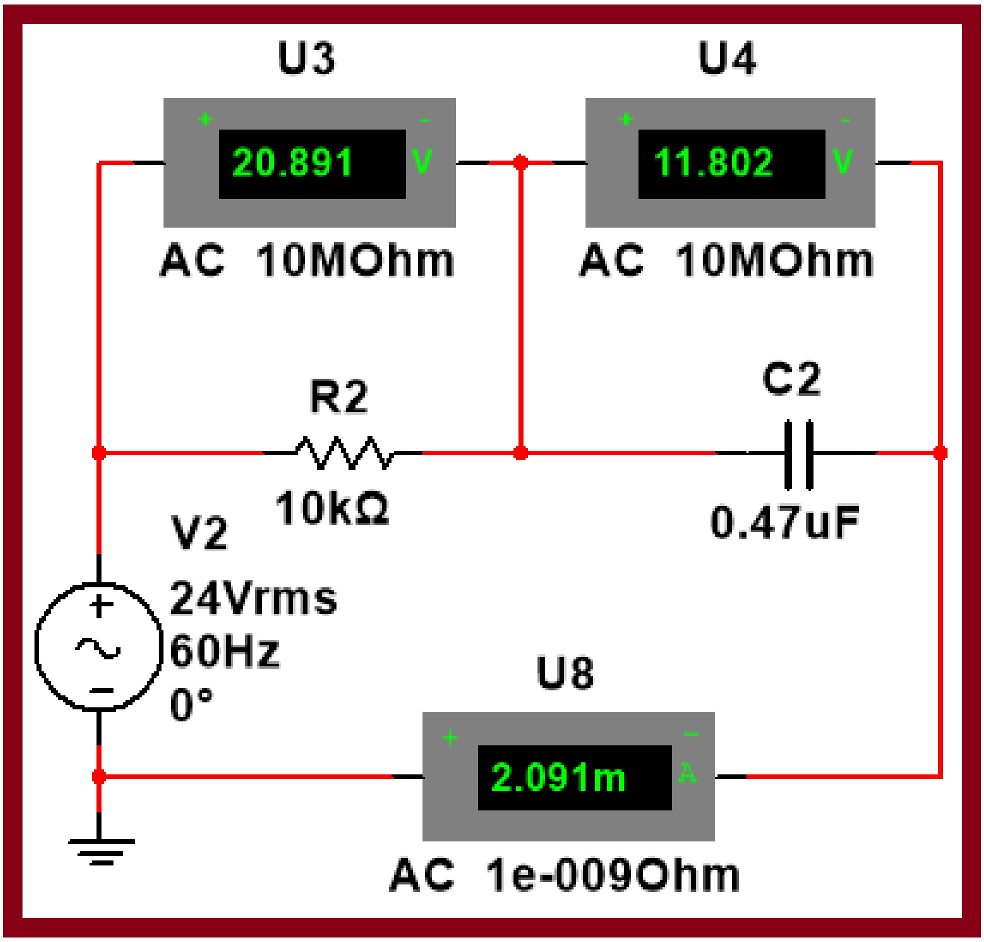
Calculando a corrente total (It)

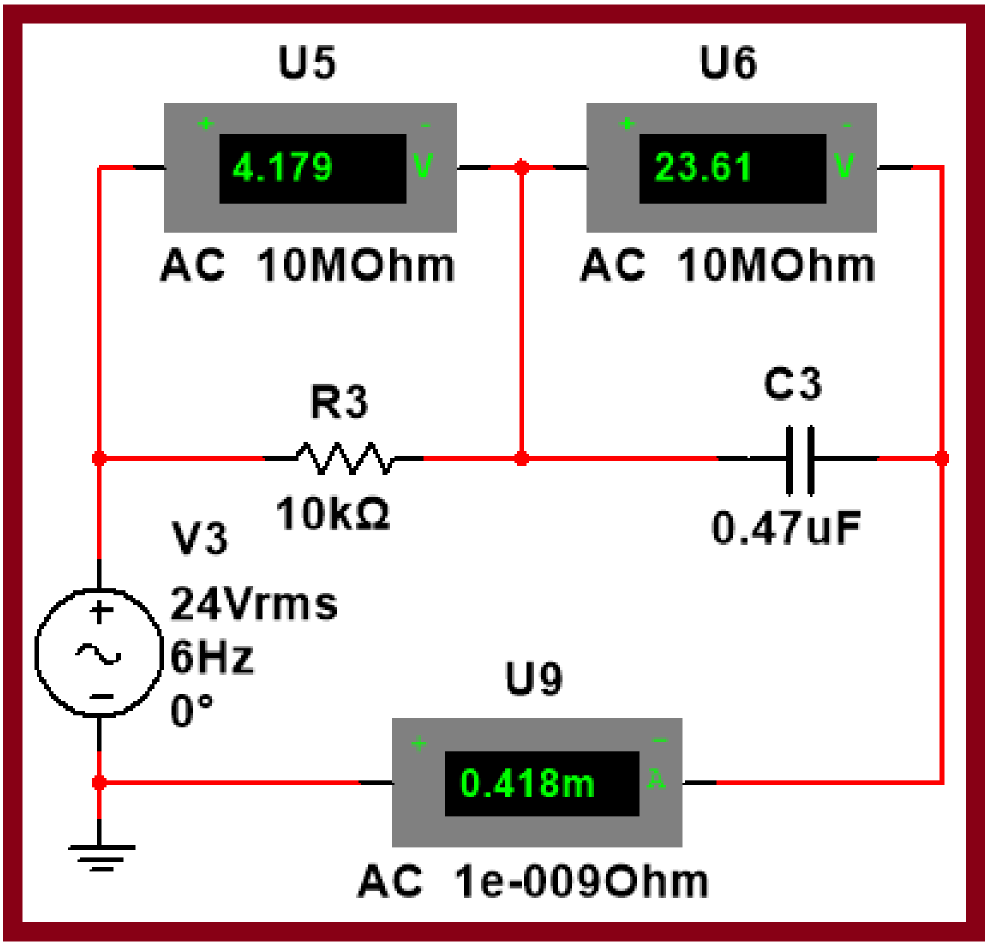
It = 24V / 57,346k = 418,512uA

As figuras a seguir mostram os valores de tensões e correntes para as frequências respectivamente de:

600Hz
60Hz
6Hz


U1
23.962
V
AC 10MOhm
U2
1.349
V
AC 10MOhm
R1
10kΩ
C1
0.47uF
V1
24Vrms
600Hz
0°
U7
2.399m
A
AC 1e-009Ohm


U3
20.891
V
AC 10MOhm
U4
11.802
V
AC 10MOhm
R2
10kΩ
C2
0.47uF
V2
24Vrms
60Hz
0°
U8
2.091m
A
AC 1e-009Ohm


U5
4.179
V
AC 10MOhm
U6
23.61
V
AC 10MOhm
R3
10kΩ
C3
0.47uF
V3
24Vrms
6Hz
0°
U9
0.418m
A
AC 1e-009Ohm