

FILTROS CAPACITIVOS

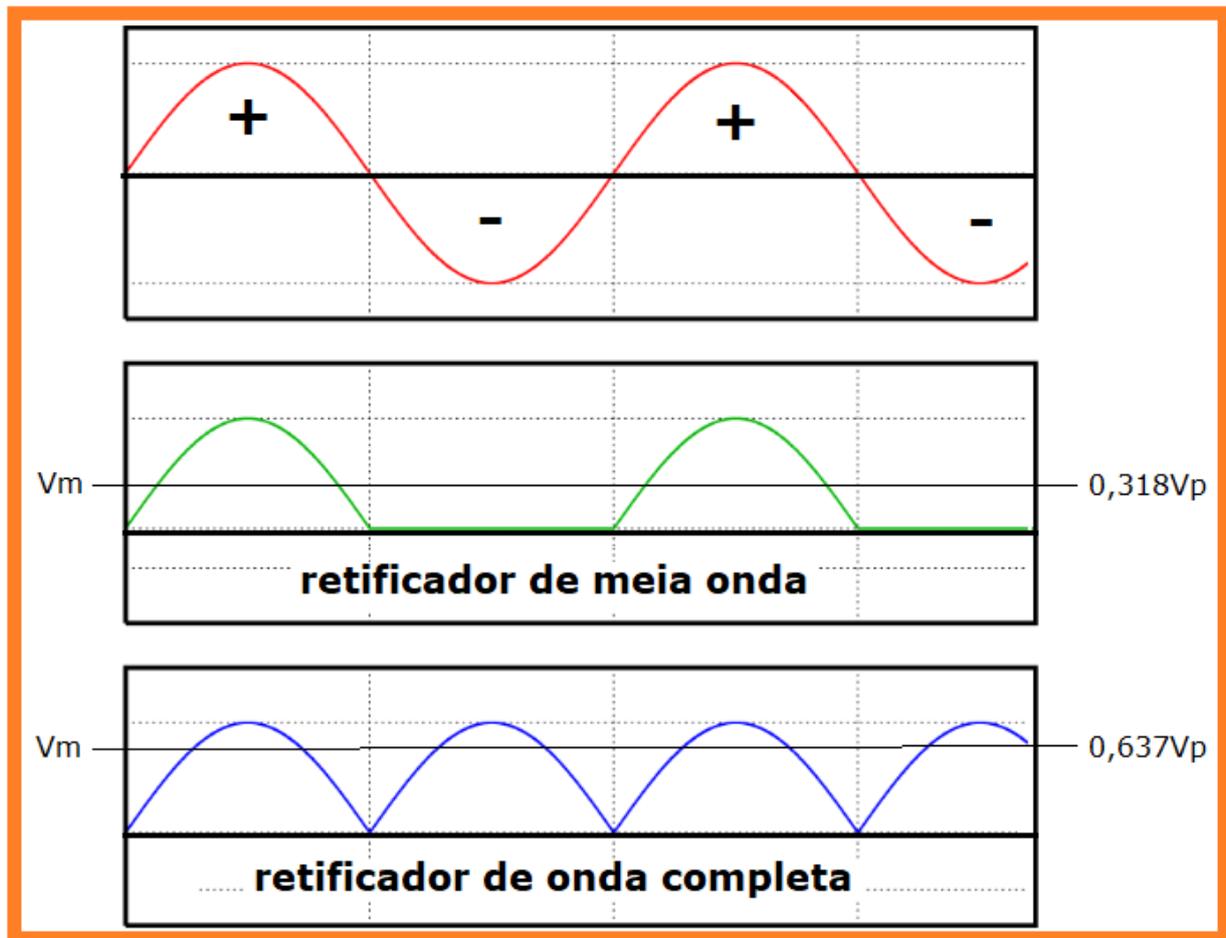
CÁLCULOS

ANÁLISE DA TENSÃO DE RIPPLE (E_r)

Temos visto até agora retificadores de meia onda e retificadores de onda completa, analisando apenas o valor médio retificado na carga, carga esta que, que pode ser um circuito eletrônico de baixa, média ou alta complexidade.

Na carga temos então uma tensão contínua pulsante, e na maioria das vezes dependendo do tipo de circuito essa tensão é inadequada.

A função de um circuito de filtro, normalmente o mais usado é o filtro capacitivo, é tornar a tensão de saída retificada o mais constante possível, muito próxima de uma tensão contínua fornecida por uma pilha ou bateria.



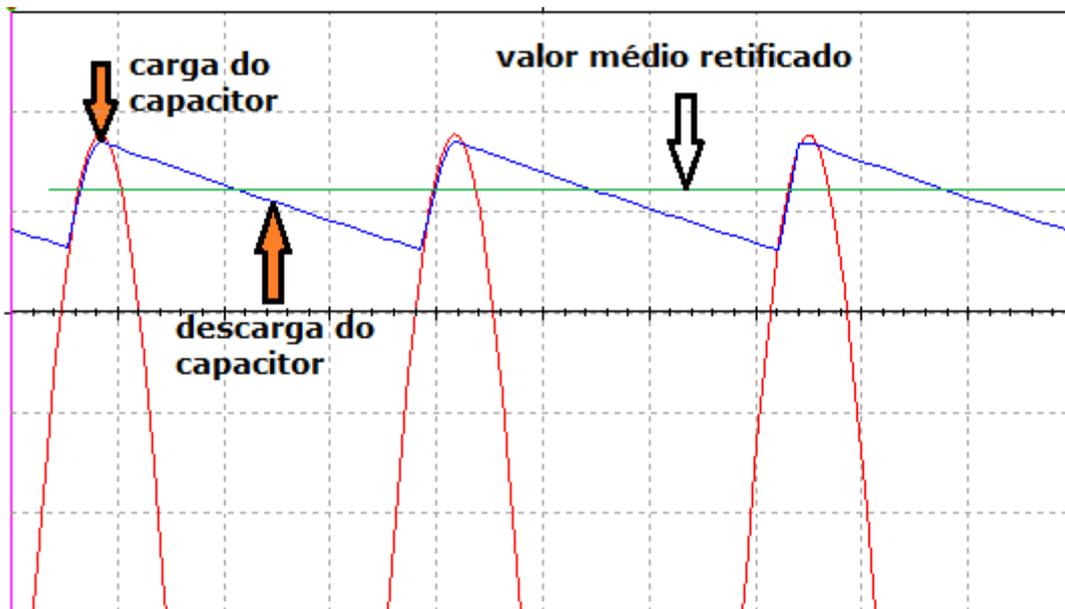
Tensões retificadas – meia onda e onda completa sem circuito de filtro

Observa-se ao se comparar a *retificação de meia onda* com a *retificação de onda completa*, que ambas possuem flutuação acentuada portanto, não tem aplicabilidade na quase totalidade de circuitos eletrônicos.

Pode-se observar também que a flutuação da tensão na saída do retificador de onda completa é menos acentuada, uma vez que os dois semiciclos da tensão de entrada estão presentes na saída.

Quando um capacitor é ligado em paralelo com a carga, mais precisamente na saída do retificador, este atua como filtro capacitivo proporcionando mais estabilidade na saída da tensão retificada.

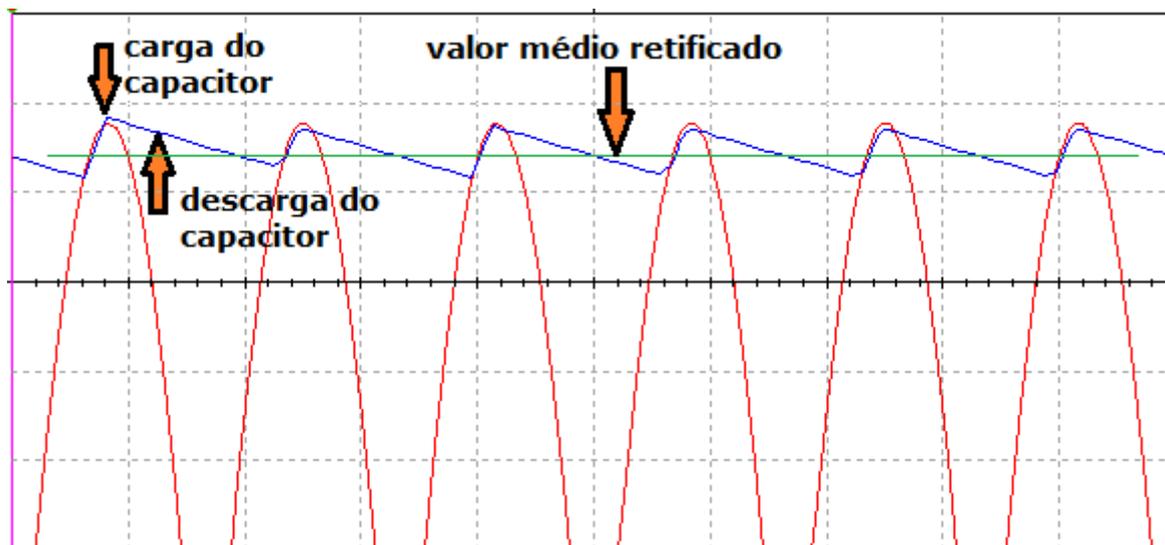
A figura abaixo ilustra o efeito do capacitor de filtro em relação a tensão aplicada na carga, para um retificador de meia onda:



A diferença entre o *valor retificado máximo* e o *valor retificado mínimo*, é comumente denominada "tensão de ripple" (E_r ou V_r);

Quando maior for o valor da capacitância do capacitor menor será E_r , a mais próxima de uma tensão contínua pura estará o valor retificado médio.

Para um retificador de onda completa, mantendo-se os valores da tensão a ser retificada, valor da capacitância do capacitor de filtro e a mesma carga, a tensão de ripple (E_r) será menor, uma vez que na saída do retificador teremos os dois semiciclos presentes.



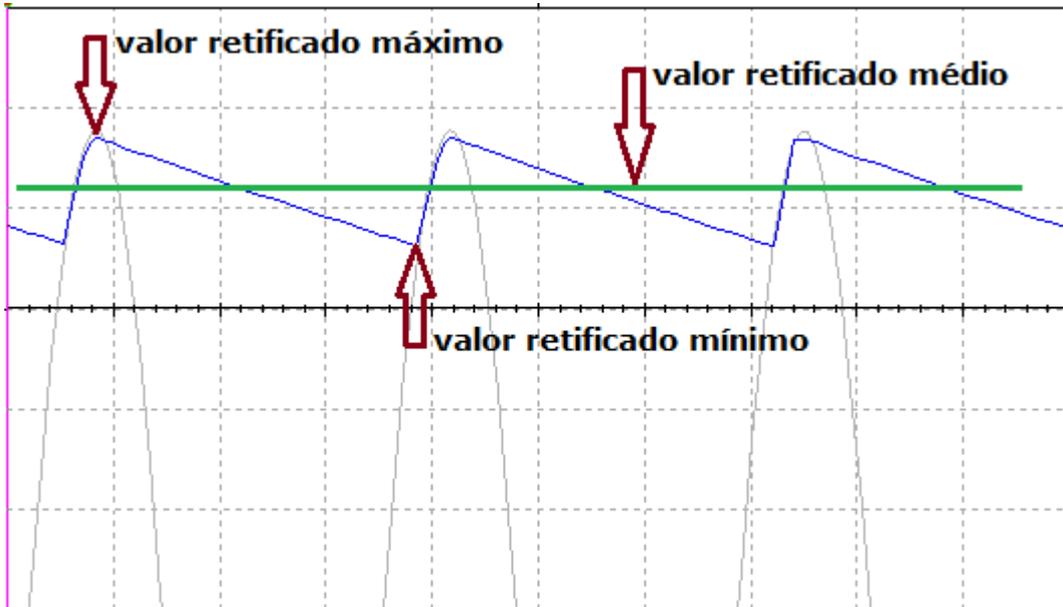
Com boa precisão podemos calcular o valor médio retificado (V_m) na carga:

$$V_m = \frac{V_{ret(max)} + V_{ret(min)}}{2}$$

ou

$$V_m = V_{ret(max)} - \frac{E_r}{2}$$

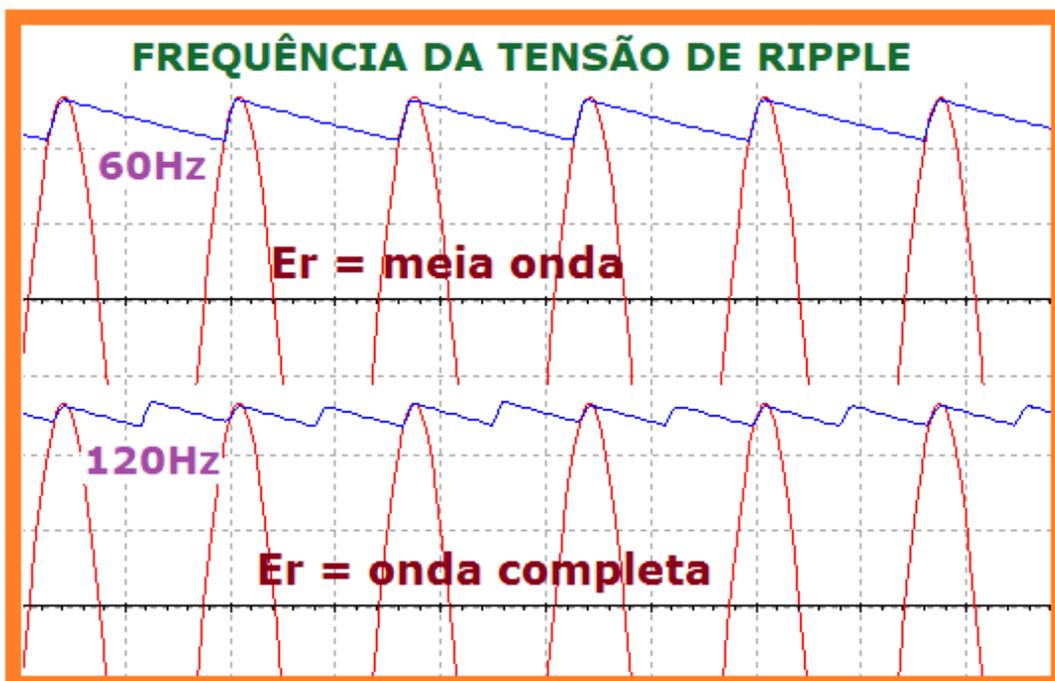
Lembrar que as fórmulas acima podem ser aplicadas para cálculo do valor médio retificado tanto para *retificadores de meia onda* quanto para *retificadores de onda completa*.



FREQUÊNCIA DA TENSÃO DE RIPPLE

A frequência da tensão de ripple (E_r) é um parâmetro muito importante que deve ser considerado quando do cálculo para dimensionar o valor da capacitância do capacitor a ser empregado no processo de filtragem.

Na figura abaixo, cujas medidas foram obtidas a partir da retificação de uma tensão alternada com frequência de 60Hz pode-se observar a diferença entre a frequência da tensão de ripple para retificadores de *meia onda* e *onda completa*.



Frequência da tensão de ripple para retificador de meia onda: **60Hz**

Frequência da tensão de ripple para retificador de onda completa: **120Hz**

Sabendo-se que o período é o inverso da frequência, teremos então respectivamente:

$$1/f = 1/60 = 16,666\text{ms}$$

$$1/f = 1/120 = 8,333\text{ms}$$

CÁLCULO DO CAPACITOR DE FILTRO

Para calcular o valor do capacitor de filtro, utiliza-se frequentemente a fórmula abaixo, que proporciona uma excelente aproximação:

$$C = \frac{I \cdot T}{E_r}$$

C = valor da capacitância do capacitor em Farads

I = corrente consumida pela carga

E_r = tensão de ripple

T = período (16,666ms para meia onda e 8,333ms para onda completa), caso a frequência da tensão a ser retificada seja 60Hz.

Sabendo-se que a frequência é o inverso do período, podemos então utilizar a fórmula abaixo, que o resultado será o mesmo:

$$C = \frac{I}{f \cdot E_r}$$

onde, *f* é a frequência da tensão de ripple

CÁLCULO DA TENSÃO DE RIPPLE (E_r)

Conhecendo os parâmetros: a) capacitância do capacitor de filtro, corrente consumida pela carga e as características do retificador (meia onda ou onda completa), podemos utilizar as fórmulas:

$$E_r = \frac{I \cdot T}{C} \quad \text{ou} \quad E_r = \frac{I}{f \cdot C}$$

Lembrando que $E_r = V_{ret(max)} - V_{ret(min)} \div 2$

EXEMPLO – CÁLCULO DO CAPACITOR DE FILTRO PARA RETIFICADOR DE MEIA ONDA:

Um retificador de meia onda alimenta uma carga de 200 ohms, a partir de uma tensão alternada de 48 volts. Qual deve ser o valor do capacitor para esse retificador para que a tensão de ripple (E_r) na carga seja de no máximo 1,5 volts?

Solução:

a) calculando o valor de pico da tensão ou V_{ret(max)} na carga:

$$V_p = (48 \times 1,41) - 0,7 = 66,98 \text{ volts}$$

b) calculando a corrente na carga:

$$I = V_m / 200 \text{ ohms}$$

$$I = (66,98 - E_r / 2) / 200 \text{ ohms}$$

$$I = (66,98 - 0,75) / 200 = 66,23 / 200 = 331,15 \text{ mA}$$

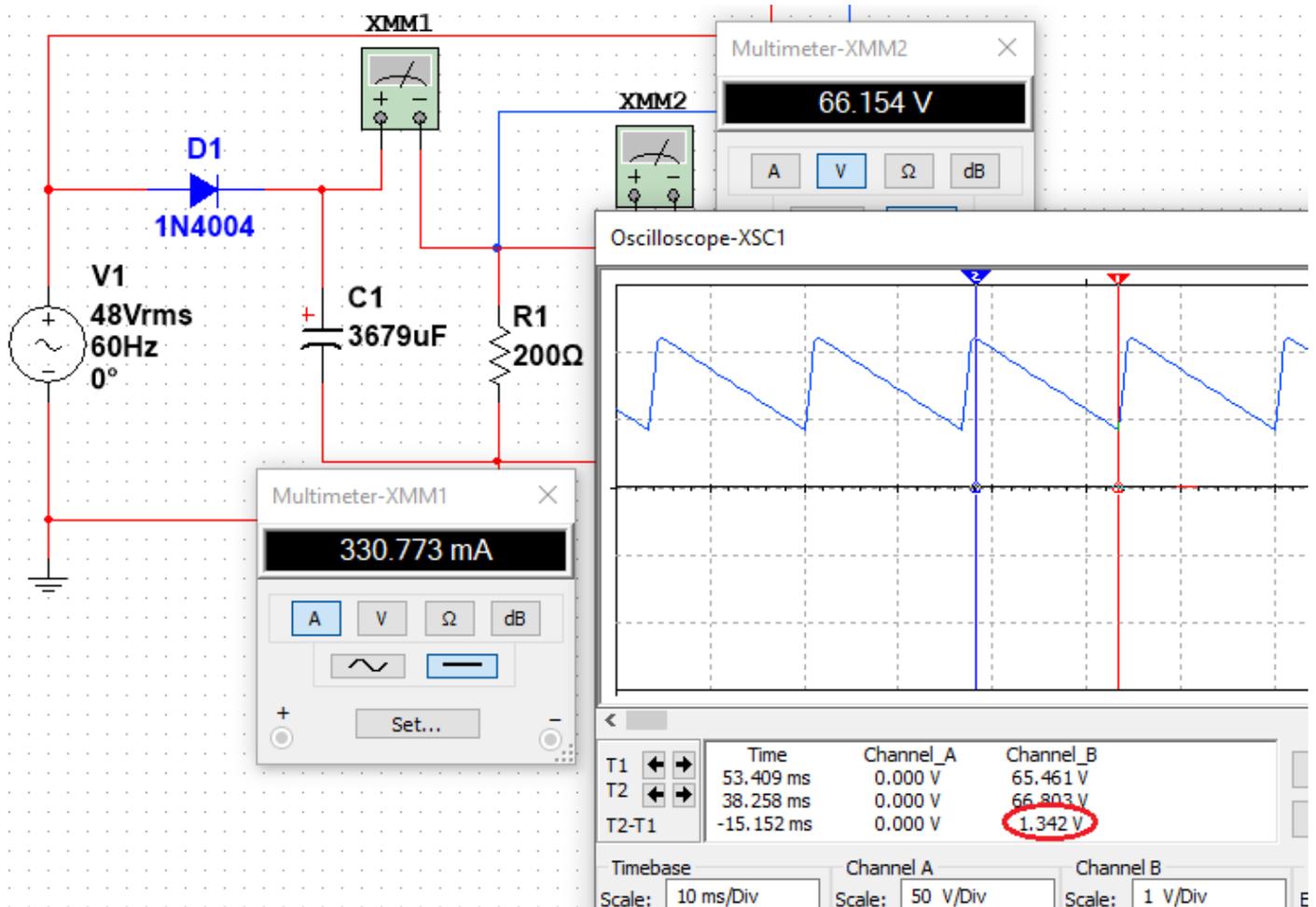
c) calculando o capacitor:

$$C = (I \times T) / E_r$$

$$C = (331,15 \text{ mA} \times 16,666 \text{ ms}) / 1,5$$

$$\mathbf{C = 3.679 \mu F}$$

Para o valor do capacitor calculado, a tensão de ripple deverá ser de no máximo 1,5 volts. Vamos verificar no simulador:



Tensão de ripple medida = 1,489 volts (base para cálculo = 1,5 volts)

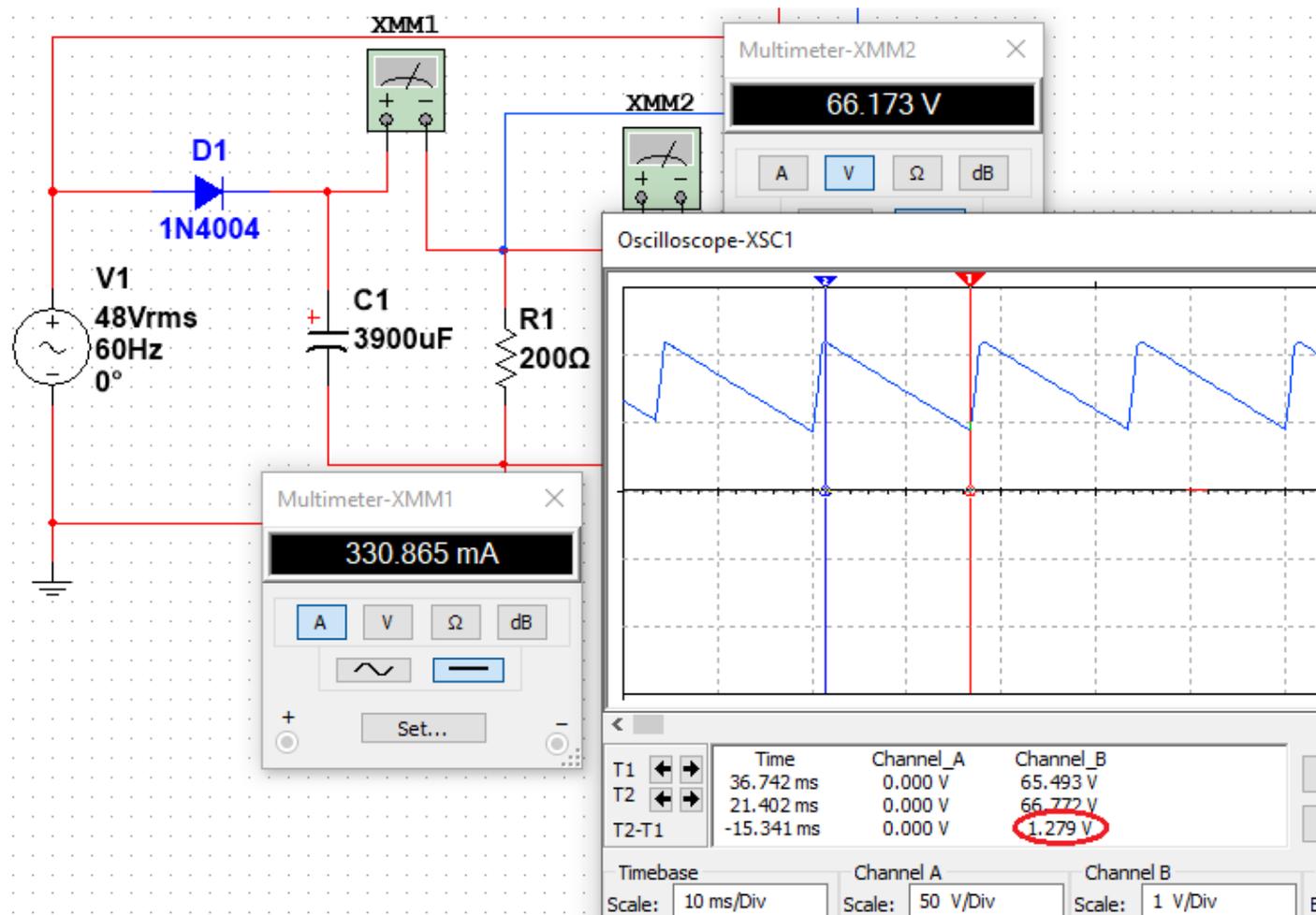
Corrente medida = 330,773mA (calculada = 331,15mA)

Tensão medida na carga = 66,154 volts (calculada = 66,23 volts)

CONCLUSÃO: a fórmula apresentada atende perfeitamente os padrões para cálculos.

Observação: O valor de 3.679uF está fora de padrões comerciais. Na prática adota-se valor comercial imediatamente acima do valor calculado, no caso 3.900uF.

Isto garante que o valor da tensão de ripple se mantenha abaixo do valor proposto no cálculo do projeto da fonte. Veja abaixo a simulação com capacitor de 3.900uF, onde pode-se observar que o valor da tensão de ripple diminuiu:

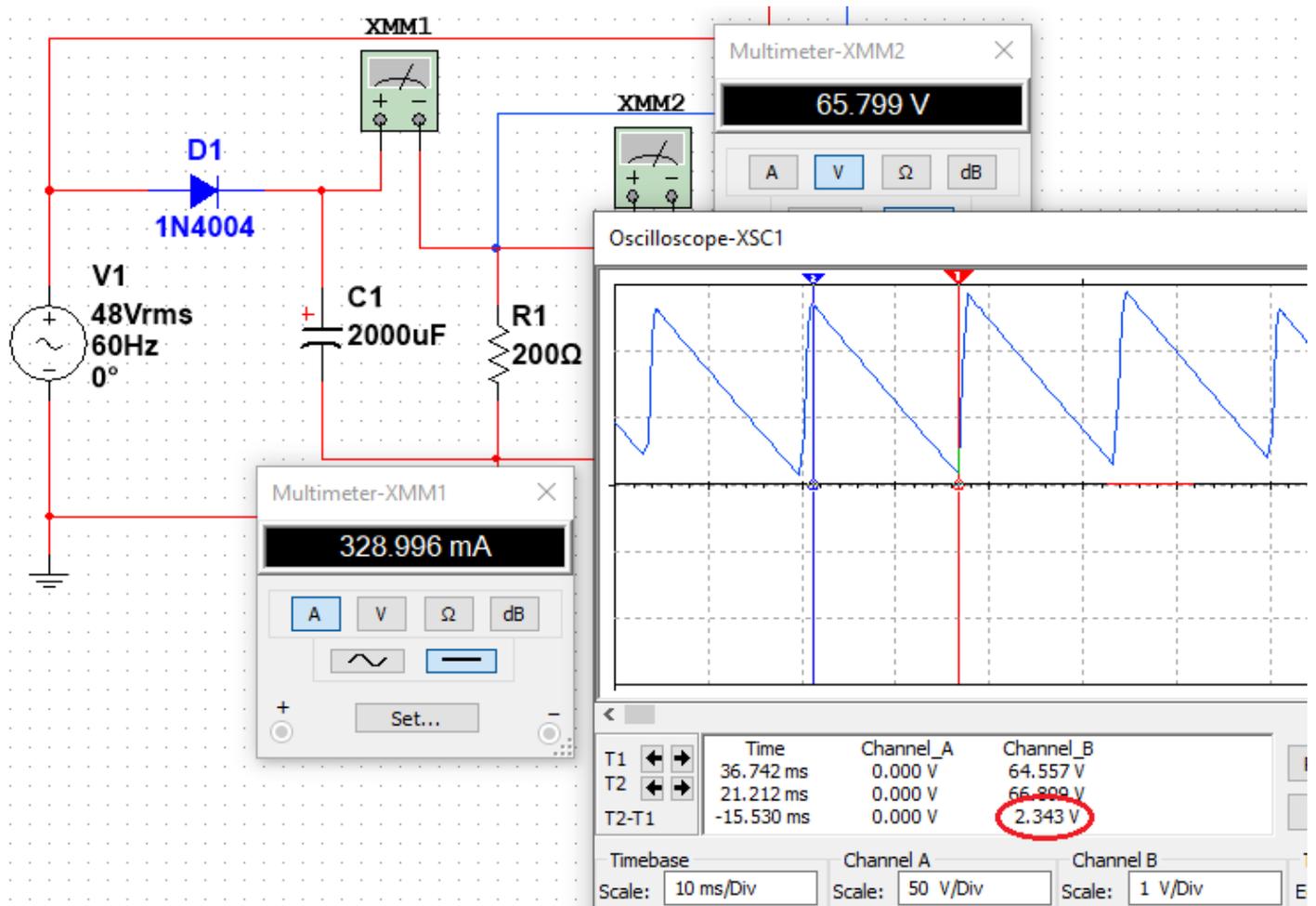


Se compararmos os valores medidos de corrente e tensão em relação ao capacitor inicialmente calculado (3.769uF) verificaremos que as alterações dos valores de tensão e corrente na carga se elevaram discretamente, devido a uma diminuição também discreta do valor da tensão de ripple.

Isto nos leva a concluir que o aumento da capacitância do capacitor leva a uma diminuição da tensão de ripple.

Valores calculados	Valor medido com capacitor de 3.769uF	Valor medido com capacitor de 3.900uF
Corrente na carga = 331,15mA	Corrente na carga = 330,773mA	Corrente na carga = 330,865mA
Tensão na carga = 66,23 volts	Tensão na carga = 66,154 volts	Tensão na carga = 66,173 volts
Tensão de ripple = 1,5 volts	Tensão de ripple = 1,342 volts	Tensão de ripple = 1,279 volts

Para que fique bem clara a relação entre o valor da capacitância do capacitor e a tensão de ripple, vamos simular o mesmo circuito, porém com um capacitor de 2000uF onde poderemos verificar um aumento da tensão de ripple.



Conforme podemos verificar, um aumento da tensão de ripple provocou uma queda de tensão na carga e consequentemente uma diminuição da corrente no circuito.

Valores calculados	Valor medido com capacitor de 3.769uF	Valor medido com capacitor de 3.900uF	Valor medido com capacitor de 2.000uF
Corrente na carga = 331,15mA	Corrente na carga = 330,773mA	Corrente na carga = 330,865mA	Corrente na carga = 328,996mA
Tensão na carga = 66,23 volts	Tensão na carga = 66,154 volts	Tensão na carga = 66,173 volts	Tensão na carga = 65,799 volts
Tensão de ripple = 1,5 volts	Tensão de ripple = 1,342 volts	Tensão de ripple = 1,279 volts	Tensão de ripple = 2,343 volts

EXEMPLO – CÁLCULO DA TENSÃO DE RIPPLE:

A partir da fórmula abaixo, podemos calcular a tensão de ripple máxima, em função de uma determinada carga:

EXEMPLO:

Vamos tomar como exemplo um circuito em que se observa:

- corrente da carga: 500mA
- valor do capacitor: 2.000uF
- tipo de retificação: meia onda

Aplicando a fórmula:

$$E_r = \frac{I \cdot T}{C}$$

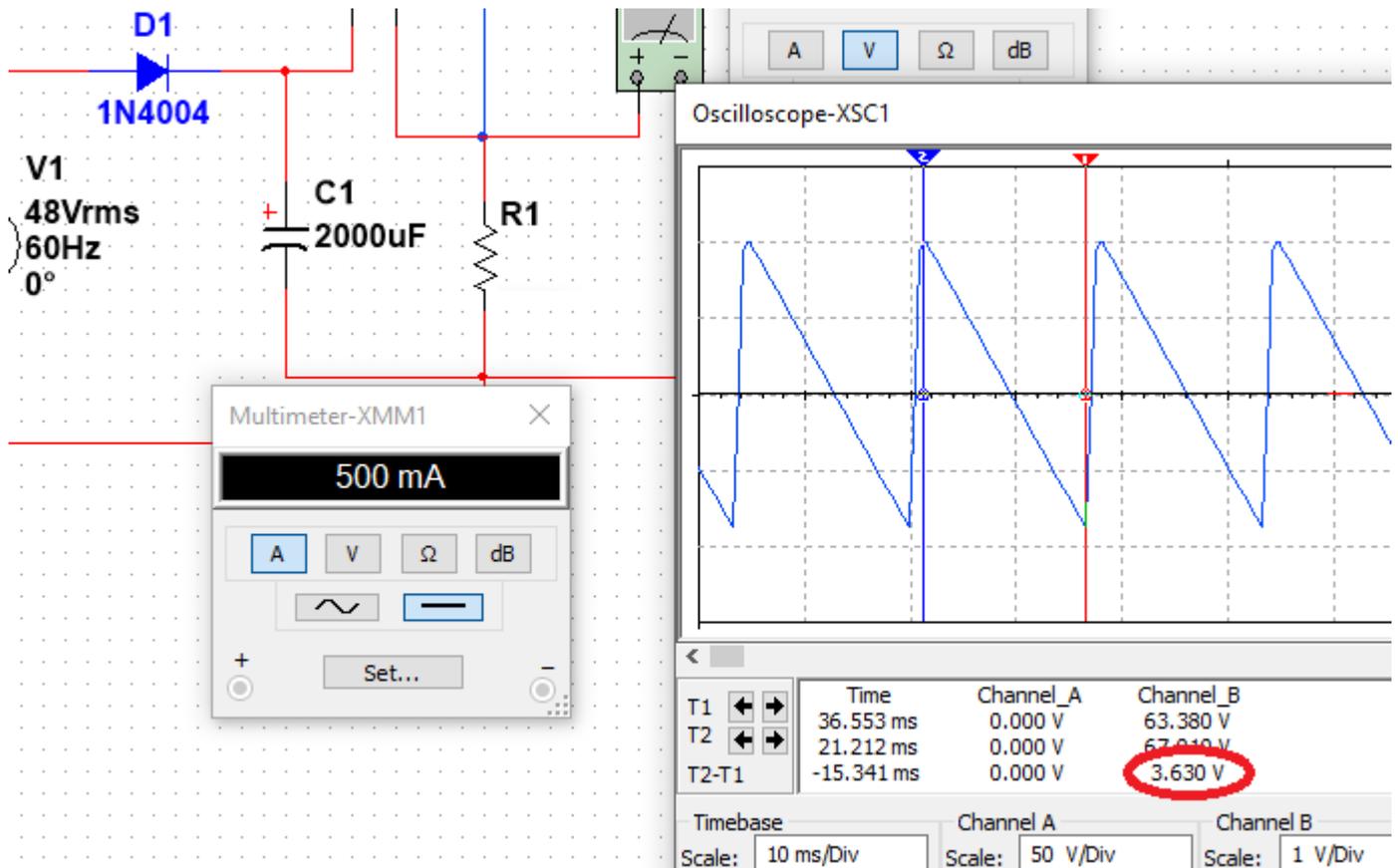
$$I = 500\text{mA}$$

$$T = 16,666\text{ms}$$

$$C = 2.000\mu\text{F}$$

$$E_r = (0,5 \times 16,666\text{ms}) / 2.000\mu\text{F}$$

$$E_r = 4,17 \text{ volts}$$



EXEMPLO – CÁLCULO DO CAPACITOR DE FILTRO PARA RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA:

Um retificador de onda COMPLETA alimenta uma carga de 200 ohms, a partir de uma tensão alternada de 55 volts. Qual deve ser o valor do capacitor para esse retificador para que a tensão de ripple (E_r) na carga seja de no máximo 3 volts?

Solução:

a) calculando o valor de pico da tensão ou $V_{ret(max)}$ na carga:

$$V_p = (55 \times 1,41) - 0,7 = 76,85 \text{ volts}$$

b) calculando o valor médio retificado na carga:

$$V_m = V_p - E_r/2 = 76,85 - 1,5 = 75,35 \text{ volts}$$

c) calculando a corrente na carga:

$$I = 75,35 \text{ volts} / 200 \text{ ohms} = 376,75 \text{mA}$$

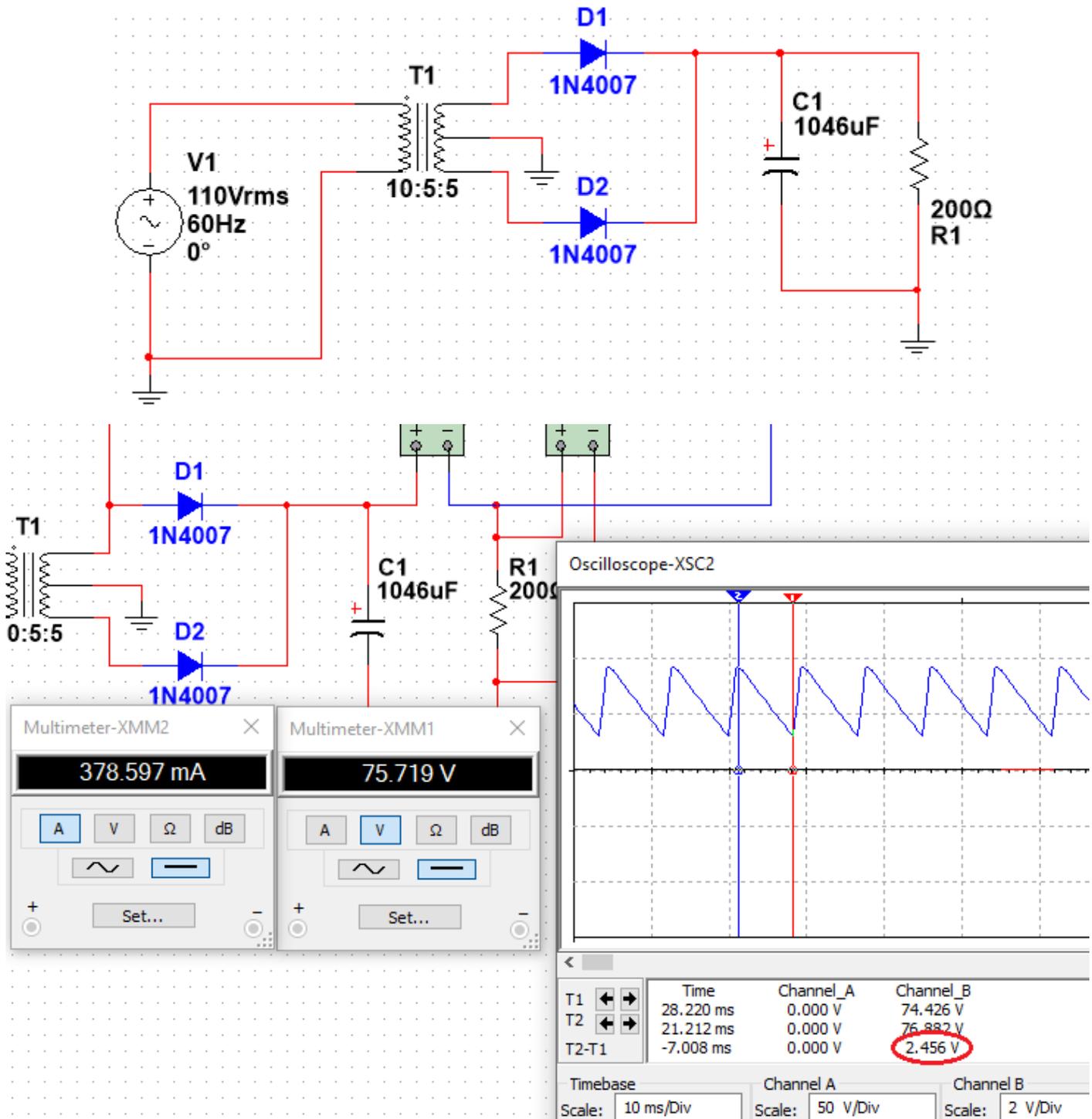
d) calculando o capacitor:

$$C = (I \times T) / E_r$$

$$C = (376,75 \text{mA} \times 8,333 \text{ms}) / 3$$

$$C = 1.046 \mu\text{F}$$

Podemos então adotar o valor comercial mais próximo, por exemplo, 1.000uF



Observando os resultados da simulação:

$$E_r = 2,456 \text{ volts (base de cálculo = 3 volts)}$$

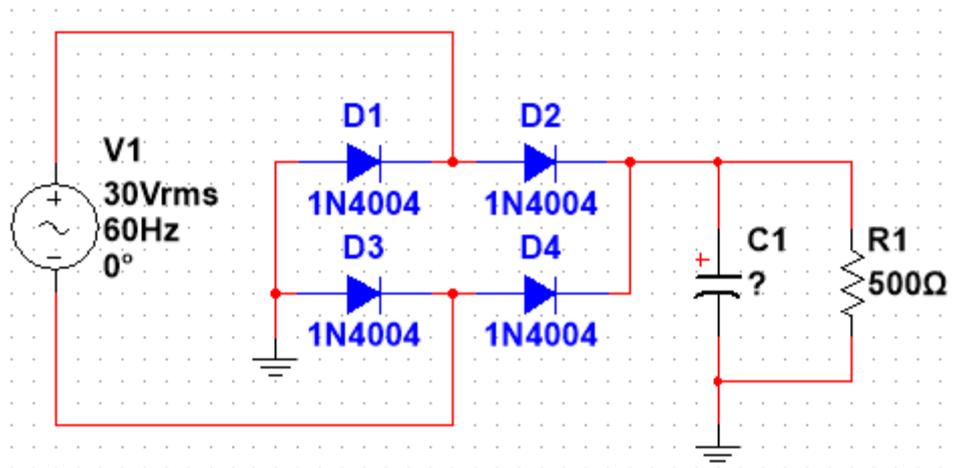
$$V_m = 75,719 \text{ volts (calculado = 75,35 volts)}$$

$$\text{Corrente na carga} = 378,597\text{mA (calculada = 376,75mA)}$$

EXERCÍCIO RESOLVIDO:

Calcule o valor do capacitor de filtro, para o circuito em questão:

- tensão E_r máxima desejada = 2,4 volts
- tensão a ser retificada = 30 volts
- valor da carga = 500 ohms
- tipo de retificação = retificação em ponte (onda completa)



Solução:

a) cálculo do valor de pico da tensão retificada:

$$V_p = (30 \times 1,41) - 2V_d \rightarrow 42,3 - 1,4 = 40,9 \text{ volts}$$

b) cálculo da corrente na carga:

$$I = V_m / 500$$

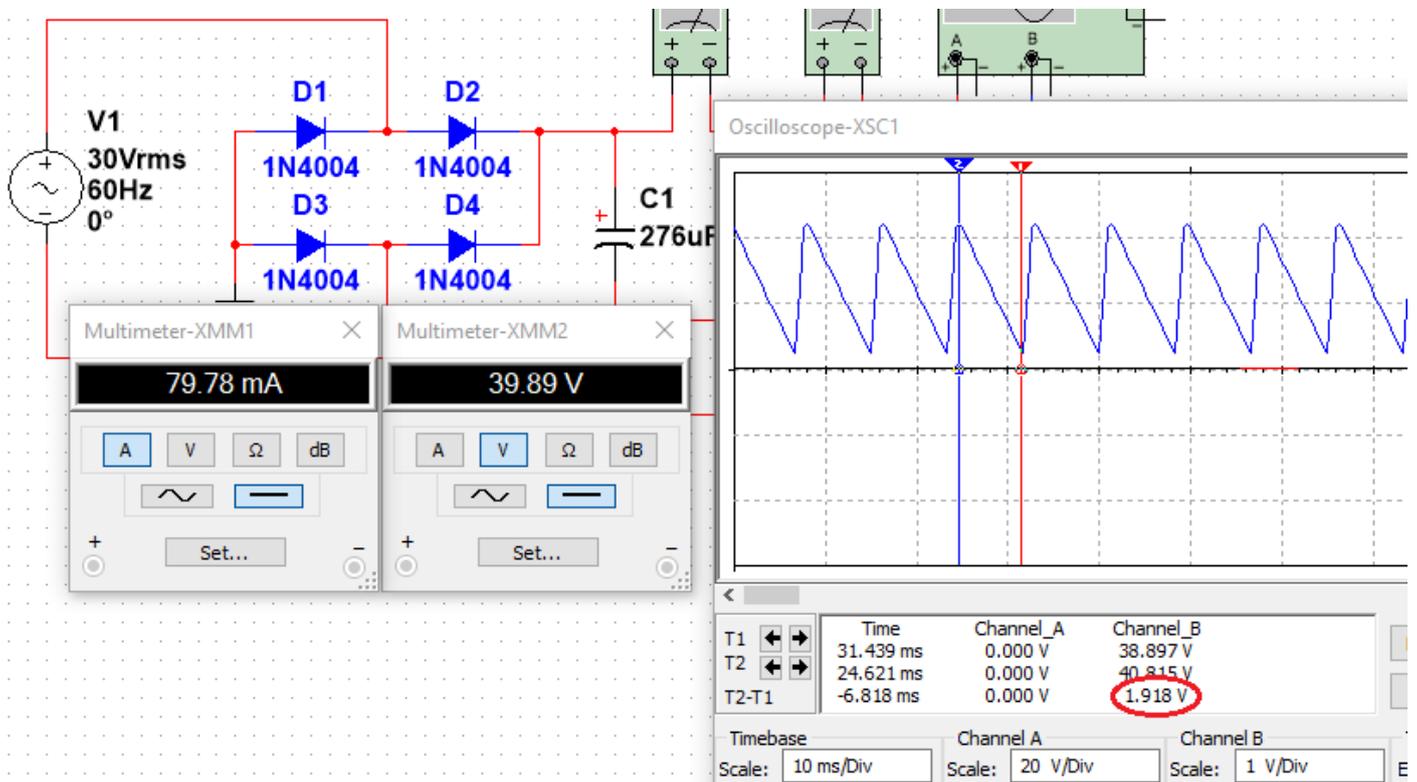
$$I = (V_p - E_r / 2) / 500 \rightarrow I = 40,9 - (2,4 / 2) / 500$$

$$I = (40,9 - 1,2) / 500 = 79,4\text{mA}$$

c) cálculo do capacitor:

$$C = \frac{I \cdot T}{E_r}$$

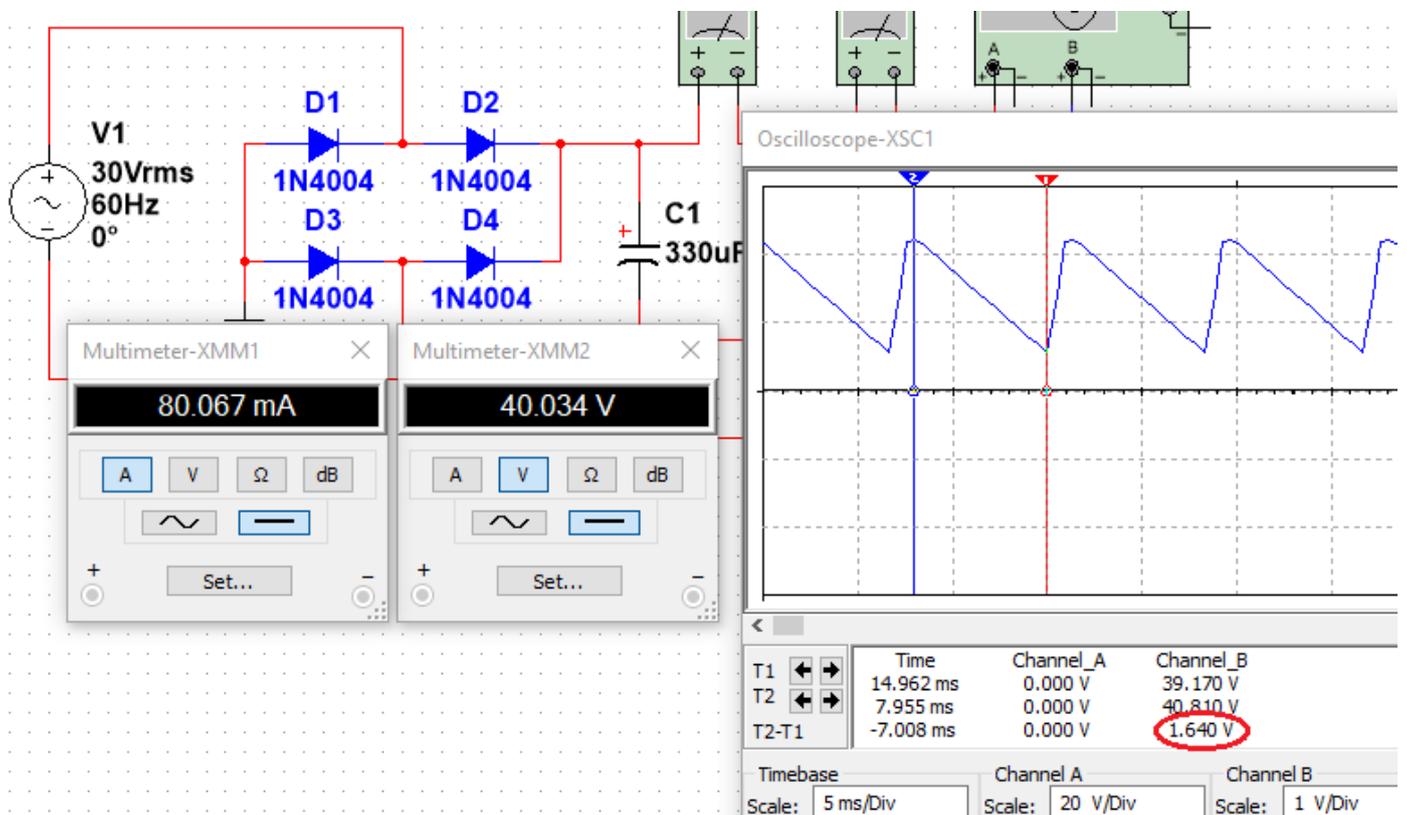
$$C = (79,4\text{mA} \times 8,33\text{ms}) / 2,4 \rightarrow 275,69\mu\text{F} \approx 276\mu\text{F}$$



Lembrando que, ao se aumentar a capacitância do capacitor de filtro, a tensão de ripple (E_r) tende a diminuir.

Como a valor de 276uF não é comercial, adota-se na prática um valor comercial acima do valor calculado, no caso, 330uF.

Para o mesmo circuito, porém com um capacitor de filtro de 330uF, calcule os valores da corrente e tensão na carga, orientando-se pelos valores lidos:



Tensão de ripple (Er) lida = 1,64 volts

a) calculando o valor de pico na carga:

$$V_p = (30 \times 1,41) - 1,4 = 40,9 \text{ volts}$$

b) calculando o valor médio retificado (Vm) na carga:

$$V_m = V_p - E_r/2$$

$$V_m = 40,9 - 1,64 / 2 = 40,9 - 0,82 = 40,08 \text{ volts}$$

Valor medido: 40,034 volts

c) calculando a corrente na carga:

$$I = 40,08 / 500 = 80,16\text{mA}$$

Valor medido: 80,067mA