

## Resistência de um capacitor no circuito de corrente alternada

### DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CAPACITIVA EM DEPENDÊNCIA DA CAPACIDADE E DA FREQUÊNCIA

- Determinação da amplitude e da fase da resistência capacitiva em dependência da capacidade.
- Determinação da amplitude e da fase da resistência capacitiva em dependência da frequência.

UE3050111

04/18 UD

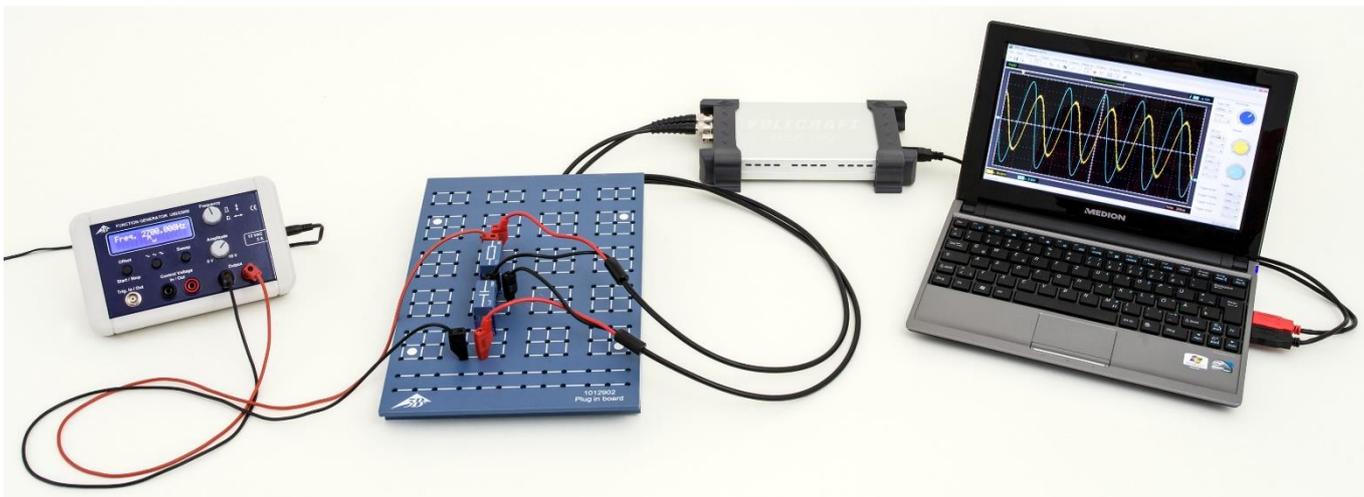


Fig. 1: Disposição de medição

### FUNDAMENTOS GERAIS

Cada alteração da tensão num capacitor causa uma corrente através do capacitor. Caso seja aplicada tensão alternada, então corrente alternada fluirá com um deslocamento de fase em relação à tensão. Matematicamente, esta relação pode ser descrita da forma mais simples quando se utiliza corrente, tensão e resistência como grandezas complexas e se observa suas partes reais.

A partir da equação do capacitor, obtém-se imediatamente

$$(1) \quad I = C \cdot \frac{dU}{dt}$$

I: corrente, U: tensão, C: capacidade

A aplicação de uma tensão

$$(2) \quad U = U_0 \cdot \exp(j \cdot 2\pi \cdot f \cdot t)$$

causa, então a corrente

$$(3) \quad I = i \cdot \omega \cdot C \cdot U_0 \cdot \exp(i\omega t)$$

e se pode atribuir à capacidade C a resistência complexa

$$(4) \quad X_C = \frac{U}{I} = \frac{1}{i \cdot \omega \cdot C} = \frac{1}{i \cdot 2\pi \cdot f \cdot C}$$

A parte real de cada uma das grandezas é mensurável, então

$$(5) \quad U = U_0 \cdot \cos \omega t$$

$$(6) \quad I = \omega \cdot C \cdot U_0 \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = I_0 \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$(7) \quad X_C = \frac{U_0}{I_0} = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

Na experiência, um gerador de função fornece tensão alternada com frequências de até 5 kHz. Um osciloscópio de dois canais registra corrente e tensão, de forma que a amplitude e a fase de ambas as grandezas sejam investigadas. A corrente através do capacitor corresponde à queda de tensão através de um resistor de medição  $R$ , cujo valor é desprezível em relação à resistência capacitiva.

Opcionalmente, o registro de corrente e tensão também pode ser realizado com o registrador de dados VinciLab, o Software Coach 7 e sensores de tensão.

**LISTA DE APARELHOS**

1	Placa de encaixe para elementos de montagem	1012902 (U33250)
1	Resistor 1 Ω, 2 W, P2W19	1012903 (U333011)
1	Resistor 10 Ω, 2 W, P2W19	1012904 (U333012)
3	Capacitor 1 μF, 100 V, P2W19	1012955 (U333063)
1	Capacitor 0,1 μF, 100 V, P2W19	1012953 (U333061)
1	Gerador de funções FG 100 @230V	1009957 (U8533600-230)
ou		
1	Gerador de funções FG 100 @115V	1009956 (U8533600-115)
1	Conjunto de cabos para experiências, 1 mm <sup>2</sup>	1002840 (U13800)
1	Osciloscópio PC, 2x25 MHz	1020857 (U11830)
2	Cabo HF, BNC / conector de 4 mm	1002748 (U11257)
opcional		
1	VinciLab	1021477 (UCMA-001)
1	Coach 7, licença escolar 5 anos	1021522 (UCMA-18500)
ou		
1	Coach 7, licença universitária 5 anos	1021524 (UCMA-185U)
2	Sensor de voltagem 10 V, diferencial	1021680 (UCMA-0210i)
1	Sensor de voltagem 500 mV, diferencial	1021681 (UCMA-BT32i)
1	Cabo de sensor	1021514 (UCMA-BTsc1)

**MONTAGEM E EXECUÇÃO**

- Montar a disposição de medição (Fig. 1) conforme diagrama de ligações (Fig. 2) com a resistência  $R=1\ \Omega$  e um um dos capacitores  $C=1\ \mu\text{F}$ .
- Conectar a linha de medição para captação do decurso da tensão  $U_R(t) = R \cdot I(t)$  sobre a resistência de medição ao canal CH1 e a linha de medição para captação do decurso da tensão  $U_C(t)$  sobre o capacitor ao canal CH2 do osciloscópio.

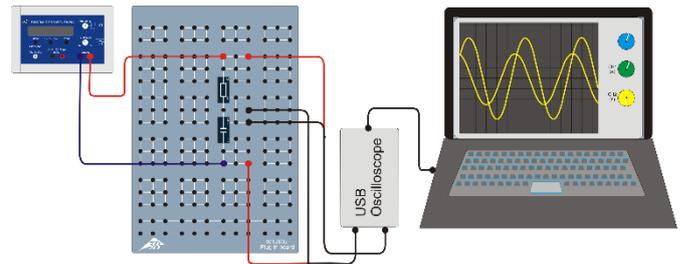
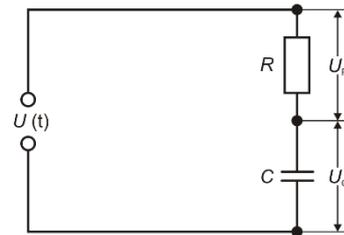


Fig. 2: Diagrama de ligações (em cima) e esquema da montagem (em baixo).

- Ajustar os parâmetros a seguir do osciloscópio PC:
 

Horizontal:	
Base temporal:	50 μs/div
Posição horizontal trigger:	0.0 ns
Vertical:	
CH1:	
Divisão da escala da tensão:	50 mV/div DC
Posição zero:	0.0 divs
CH2:	
Divisão da escala da tensão:	1 V/div DC
Posição zero:	0.0 divs
Trigger:	
Single (não Alternate)	
Fonte:	CH2
Modo:	Edge
Flanco:	Rise
Limiar:	0.000 mV
TrigMode:	Auto
- Se for o caso, adaptar os parâmetros Time/DIV e Volts/DIV durante as séries de medição de forma que os sinais sejam representados de forma ideal.
- Ajustar a frequência  $f = 4000\ \text{Hz}$ .
- Ajustar, no gerador de funções, a forma de sinal seno e a amplitude do sinal de entrada para  $U_0 = 4\ \text{V}$ . Adicionalmente, ajustar o controlador de amplitude de forma que o máximo e o mínimo do sinal de seno corresponda, no canal CH2 do osciloscópio, a 4 caixinhas (com 1 V / caixinha).

Como o valor da resistência de medição  $R$  é desprezível perante a resistência capacitiva  $X_C$  com as frequências observadas, vale, em boa aproximação,  $U_{C0} \approx U_0 = 4\ \text{V}$ .

**Deslocamento de fase entre corrente e tensão**

- Observar e anotar a posição relativa dos decursos da tensão  $U_C(t)$  e  $U_R(t)$  sobre o capacitor e da resistência de medição.

**Dependência da capacidade da resistência capacitiva**

- Com auxílio do capacitor 0,1 μF, bem como das ligações em série e em paralelo dos três capacitores 1 μF, gerar as capacidades da Tab. 1, ler as amplitudes  $U_{R0}$  no osciloscópio e anotar na Tab. 1.

**Dependência da frequência da resistência capacitiva**

- Utilizar o capacitor 1 μF, bem como o resistor 10 Ω como resistência de medição.
- No gerador de funções, ajustar sucessivamente as frequências da Tab. 2, ler as amplitudes  $U_{R0}$  no osciloscópio e anotar na Tab. 2.

**EXEMPLO DE MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO**

**Deslocamento de fase entre corrente e tensão**

O sinal da corrente está deslocado em relação ao sinal da tensão por um quarto de período para a direita (Fig. 3).

A corrente pelo capacitor corre adiante da tensão no capacitor na fase em 90°, pois a corrente de carga (sinal positivo) e de descarga (sinal negativo) são máximas, pois a tensão alcança a sua passagem pelo zero.

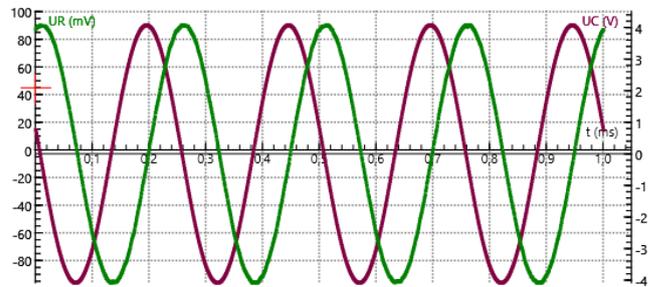
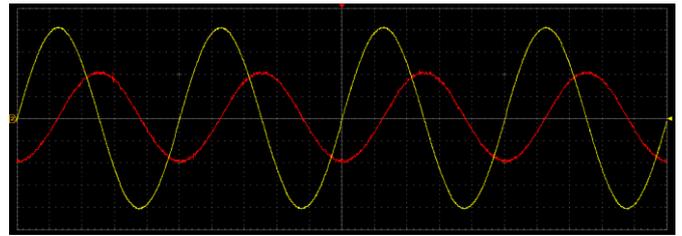


Fig. 3: Capacitor no circuito de corrente alternada: Percurso da corrente e da tensão. Em cima: Registro com osciloscópio PC (corrente: vermelho, tensão: amarelo). Em baixo: Registro com VinciLab / Coach7 (corrente: verde, tensão: violeta).

Tab. 1: Dependência da capacidade da resistência capacitiva,  $f = 4000 \text{ Hz}$ ,  $R = 1 \text{ } \Omega$ ,  $U_0 = 4 \text{ V}$ .

C μF	$U_{R0}$ mV	$1/C$ 1/μF	$I_0=U_{R0}/R$ mA	$X_C=U_0/I_0$ Ω
0,10	9,3	10,0	9,3	430,1
0,33	32,1	3,0	32,1	124,6
0,50	51,1	2,0	51,1	78,3
0,67	67,8	1,5	67,8	59,0
1,00	101,7	1,0	101,7	39,3
2,00	204,3	0,5	204,3	19,6

Tab. 2: Dependência da frequência da resistência capacitiva,  $C = 1 \text{ } \mu\text{F}$ ,  $R = 10 \text{ } \Omega$ ,  $U_0 = 4 \text{ V}$ .

f Hz	$U_{R0}$ mV	$1/f$ 1/kHz	$I_0=U_{R0}/R$ mA	$X_C=U_0/I_0$ Ω
200	50	5,00	5	800
300	78	3,33	8	513
500	127	2,00	13	315
1000	255	1,00	26	157
2000	493	0,50	49	81
3000	733	0,33	73	55
4000	993	0,25	99	40
5000	1203	0,20	120	33

**Dependência da capacidade e da frequência da resistência capacitiva**

- Aplicar as resistências capacitivas  $X_C$  contra os valores inversos da capacidade (Tab. 1, Fig. 4) e a frequência (Tab. 2, Fig. 5).

De acordo com a equação (4), a resistência capacitiva  $X_C$  é proporcional ao valor inverso da frequência  $f$  e ao valor inverso da capacidade  $C$ . Nos diagramas correspondentes, os valores de medição estão, assim, no âmbito da precisão de medição, em uma reta de origem.

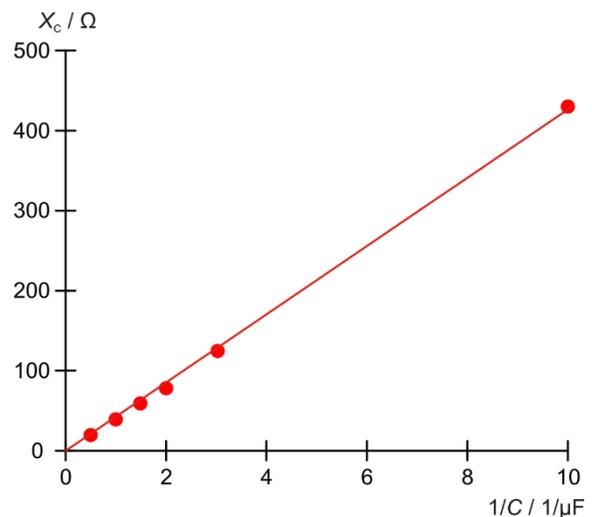


Fig. 4: Resistência capacitiva  $X_C$  como função do valor inverso da capacidade  $C$ .

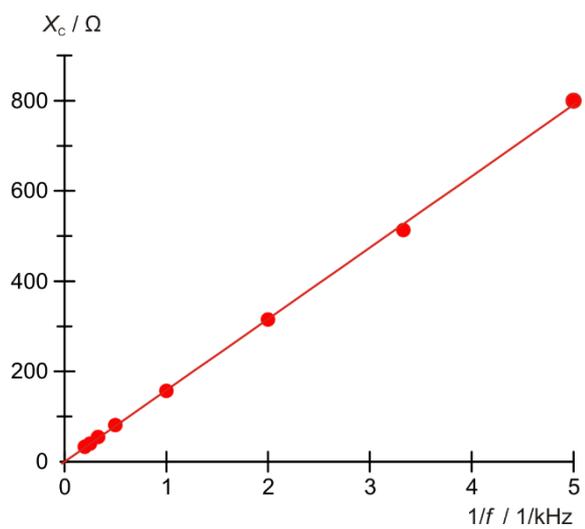


Fig. 5: Resistência capacitiva  $X_c$  como função do valor inverso da frequência  $f$ .