

## Carga e descarga de um capacitor

### MEDIÇÃO DOS TEMPOS DE CARGA E DESCARGA

- Registro pontual do percurso da tensão do capacitor ao carregar um capacitor por meio da medição dos tempos de carga.
- Registro pontual do percurso da tensão do capacitor ao descarregar um capacitor por meio da medição dos tempos de descarga.
- Determinação das resistências e capacidades internas por medição do tempo de carga ou de descarga em comparação com parâmetros externos conhecidos.

UE3050105

09/16 JöS/UD



Fig. 1: Aparelho de carga e de descarga em operação com par de resistores/capacitores externo (esquerda) e interno (direita).

### FUNDAMENTOS GERAIS

Num circuito de corrente contínua, a corrente somente passa pelo capacitor durante procedimentos de ligar ou desligar. Através da corrente, o capacitor é carregado ao ligar, até que a tensão aplicada seja atingida, e descarregado ao desligar, até que seja alcançada a tensão zero.

Para um circuito de corrente contínua com capacidade  $C$ , resistência  $R$  e tensão contínua  $U_0$ , vale, ao ligar

$$(1) \quad U(t) = U_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

e, ao desligar,

$$(2) \quad U(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

com a constante temporal

$$(3) \quad \tau = R \cdot C.$$

Para verificação desta relação, na experiência são medidos os tempos necessários para alcançar tensões equivalentes previamente selecionadas. Para isto, o cronômetro é iniciado com o processo de carga ou de descarga e, em seguida, parado por um circuito comparador, assim que a tensão equivalente é alcançada. Através da medição para diferentes tensões equivalentes, a curva de carga ou de descarga é investigada pontualmente.

Na prática, o tempo também é interessante

$$(4) \quad t_{5\%} = -\ln(5\%) \cdot R \cdot C \approx 3 \cdot R \cdot C,$$

em que a tensão do capacitor atinge 5% do valor inicial  $U_0$  na

descarga e, na carga, em que ela chega a 5% do valor final  $U_0$ . Através da medição de  $t_{5\%}$  podem ser determinados, por exemplo, os parâmetros  $R$  e  $C$ .

## LISTA DE APARELHOS

1	Aparelho de carga e descarga @230V	1017781 (U10800-230)
ou		
1	Aparelho de carga e descarga @115V	1017780 (U10800-115)
1	Capacitor 1000 $\mu$ F, 16 V, P2W191009957	1017806 (U333106)
1	Resistor 10 k $\Omega$ , 0,5 W, P2W19	1012922 (U333030)
Adicionalmente recomendado:		
1	Multímetro digital P1035	1002781 (U11806)

## COLOCAÇÃO EM OPERAÇÃO

- Conectar o aparelho de carga e descarga à rede elétrica por meio da fonte de alimentação fornecida com o aparelho.

## ORIENTAÇÕES GERAIS

Nas posições INTERN 1, INTERN 2 ou INTERN 3 do seletor, o capacitor interno está conectado com os conectores de entrada para a capacidade externa. Capacitor interno e externo, neste caso, estão ligados em paralelo.

- Para medições nos pares RC internos, não conectar capacidades externas.

O tempo de carga ou de descarga medido é influenciado por tempos de ressalto que podem ser ampliados por uma rotação insegura do seletor de funções.

- Girar o seletor de funções rapidamente.
- Para a determinação exata do tempo, se necessário, executar cada medição pelo menos três vezes e calcular a média delas.
- Selecionar somente pares R/C externos cuja constante de tempo é  $R \cdot C > 4$  s.

## REALIZAÇÃO

### Medição de pares internos de resistências / capacitores

- Remover resistências e capacitores externos.
- Ajustar o seletor para INTERN 1, INTERN 2 ou INTERN 3.

### Medição de pares externos de resistências / capacitores

- Conectar resistência externa e capacitor externo.
- Ajustar o seletor para EXTERN.

### Medição do tempo de carga $t_c$

- Colocar o seletor de funções na posição CHARGE – STOP.
- Ajustar o interruptor gradativo para o valor desejado.

- Apertar rapidamente o botão RESET, para zerar o contador digital.
- Colocar o seletor de funções na posição CHARGE – START, para iniciar a carga e a medição do tempo.
- Anotar o tempo medido, assim que o contador parar.

### Medição do tempo de descarga $t_{DC}$

- Proceder da mesma forma que com a curva de carga, porém colocar o seletor de funções na posição DISCHARGE – STOP ou DISCHARGE – START.

### Determinação do tempo $t_{5\%}$

O tempo  $t_{5\%}$  pode ser determinado tanto por uma medição da carga quanto também da descarga (vide explicações sobre a equação (4)). Uma precisão maior pode ser obtida por meio da formação da média das duas medições:

- Medir o tempo de carga  $t_{c, 5\%}$  para 9,5 V.
- Medir o tempo de descarga  $t_{DC, 5\%}$  para 0,5 V.
- Formar a média  $(t_{c, 5\%} + t_{DC, 5\%}) / 2 = t_{5\%}$ .

### Registro da curva de carga

- Colocar o interruptor gradativo em tensão de comparação em 0,5 V e determinar o tempo de carga conforme "medição do tempo de carga".
- Para a medição do próximo valor, ajustar o interruptor gradativo para o valor seguinte e repetir todas as etapas.

### Registro da curva de descarga

- Colocar o interruptor gradativo em tensão de comparação em 9,5 V e determinar o tempo de descarga conforme "medição do tempo de descarga".
- Para a medição do próximo valor, ajustar o interruptor gradativo para o valor seguinte e repetir todas as etapas.

### Determinação da capacidade externa e interna, bem como dos resistores internos

- Colocar o seletor de funções para o par R/C sucessivamente em INTERN 1, INTERN 2 e INTERN 3 e medir respectivamente três vezes os tempos  $t_{c, 5\%}$  e  $t_{DC, 5\%}$ , conforme descrito acima. Anotar os valores na Tab. 5 e determinar o tempo  $t_{5\%}$ .
- Conectar o capacitor externo. Colocar o seletor de funções para o par R/C, por exemplo, em INTERN 3 e medir respectivamente três vezes os tempos  $t_{c, 5\%}$  e  $t_{DC, 5\%}$ , conforme descrito acima. Anotar os valores na Tab. 5 e determinar o tempo  $t_{5\%}$ .
- Conectar adicionalmente o resistor externo. Colocar o seletor de funções para o par R/C em EXTERN e medir respectivamente três vezes os tempos  $t_{c, 5\%}$  e  $t_{DC, 5\%}$ , conforme descrito acima. Anotar os valores na Tab. 5 e determinar o tempo  $t_{5\%}$ .

## EXEMPLO DE MEDIÇÃO

Tab. 1: Tempos de carga e descarga do par R/C interno 1.

$U_C / V$	$t_C / s$	$t_{DC} / s$
0,5	0,3	14,1
1,0	0,5	10,7
2,0	1,0	7,5
3,0	1,6	5,6
4,0	2,3	4,3
5,0	3,1	3,2
6,0	4,1	2,4
7,0	5,5	1,7
8,0	7,3	1,1
9,0	10,6	0,5
9,5	13,8	0,3

Tab. 3: Tempos de carga e descarga do par R/C interno 3.

$U_C / V$	$t_C / s$	$t_{DC} / s$
0,5	1,1	63,8
1,0	2,2	48,6
2,0	4,6	33,8
3,0	7,3	25,2
4,0	10,4	19,2
5,0	14,2	14,6
6,0	18,9	10,7
7,0	24,9	7,7
8,0	33,6	4,8
9,0	49,1	2,4
9,5	65,8	1,3

Tab. 2: Tempos de carga e descarga do par R/C interno 2.

$U_C / V$	$t_C / s$	$t_{DC} / s$
0,5	0,5	32,6
1,0	1,2	24,8
2,0	2,3	17,3
3,0	3,8	12,9
4,0	5,3	9,8
5,0	7,2	7,4
6,0	9,6	5,5
7,0	12,7	3,9
8,0	17,0	2,5
9,0	24,6	1,3
9,5	32,4	0,7

Tab. 4: Tempos de carga e descarga do par R/C externo.

$U_C / V$	$t_C / s$	$t_{DC} / s$
0,5	0,6	33,7
1,0	1,1	25,8
2,0	2,4	17,8
3,0	3,7	13,3
4,0	5,5	10,1
5,0	7,4	7,6
6,0	9,8	5,7
7,0	13,0	3,9
8,0	17,7	2,5
9,0	26,5	1,3
9,5	37,8	0,7

Tab. 5: Tempos de carga e descarga  $t_{C,5\%}$  e  $t_{DC,5\%}$  dos três pares R/C internos, do par R/C interno 3 em ligação em paralelo com o capacitor externo, do par R/C externo, bem como os tempos  $t_{5\%}$  da formação da média.

Modo	$t_{C, 5\%} / s$			$t_{DC, 5\%} / s$			$t_{5\%} / s$
INTERN 1	13,8	14,0	13,8	14,1	14,1	13,9	14,0
INTERN 2	32,4	32,4	32,1	32,6	32,6	32,4	32,4
INTERN 3	65,8	63,9	63,4	63,8	64,5	63,5	64,1
INTERN 3 + $C_{EXT}$	100,3	99,9	99,7	97,1	97,0	97,0	98,5
EXTERN	37,8	37,4	36,6	33,7	33,5	33,6	35,4

## AVALIAÇÃO

### Registro das curvas de carga e descarga

- Representar graficamente as tensões ajustadas  $U_C$  contra os tempos de carga e descarga  $t_c$  e  $t_{dc}$  medidos (Tab. 1 – 4).

As Fig. 2 e 3 mostram um exemplo de curva de carga e descarga para o par R/C interno 3. Os processos exponenciais esperados conforme equações (1) e (2) são confirmados.

### Determinação da capacidade externa e interna, bem como dos resistores internos

Com resistência externa conhecida  $R_{ext} = 10\text{ k}\Omega$  (tolerância de 5%), calcula-se a capacidade externa  $C_{ext}$  conforme (4) a partir do tempo  $t_{5\%} = t_{5\%, ext}$  (Tab. 5):

$$(5) \quad C_{ext} = \frac{t_{5\%, ext}}{3 \cdot R_{ext}} = \frac{35,4\text{ s}}{3 \cdot 10\text{ k}\Omega} = 1180\text{ }\mu\text{F}.$$

Este valor corresponde, no âmbito da tolerância especificada de 20%, com o valor nominal de  $1000\text{ }\mu\text{F}$ .

Para os tempos  $t_{5\%}$ , determinados para o par R/C interno 3 sem e com capacitor externo conectado, vale, conforme equação (4):

$$(6) \quad t_{5\%, 3} = 3 \cdot R_{int, 3} \cdot C_{int}$$

e

$$(7) \quad t_{5\%, 3ext} = 3 \cdot R_{int, 3} \cdot (C_{int} + C_{ext}).$$

A divisão da equação (7) pela equação (6) e a inserção dos tempos da Tab. 5 resulta em:

$$(8) \quad C_{int} = C_{ext} \cdot \frac{t_{5\%, 3}}{t_{5\%, 3ext} - t_{5\%, 3}} = 1180\text{ }\mu\text{F} \cdot \frac{64,1\text{ s}}{98,5\text{ s} - 64,1\text{ s}} = 2199\text{ }\mu\text{F}$$

Este valor corresponde, no âmbito da tolerância especificada de 10%, com o valor nominal de  $2000\text{ }\mu\text{F}$ .

Finalmente, obtém-se as três resistências internas ainda desconhecidas  $R_{int, i}$  a partir dos tempos de carga e descarga pertinentes (Tab. 5) e da capacidade interna anteriormente determinada  $C_{int}$ :

$$(9) \quad R_{int, i} = \frac{t_{5\%, i}}{3 \cdot C_{int}} \quad \text{mit } i = 1, 2, 3$$

Disto, resulta:

$$(10) \quad R_{int, 1} = \frac{14,0\text{ s}}{3 \cdot 2199\text{ }\mu\text{F}} = 2122\text{ }\Omega.$$

$$(11) \quad R_{int, 2} = \frac{32,4\text{ s}}{3 \cdot 2199\text{ }\mu\text{F}} = 4911\text{ }\Omega.$$

$$(12) \quad R_{int, 3} = \frac{64,1\text{ s}}{3 \cdot 2199\text{ }\mu\text{F}} = 9717\text{ }\Omega.$$

Os valores correspondem bem aos valores nominais  $2,2\text{ k}\Omega$ ,  $5,1\text{ k}\Omega$  e  $10\text{ k}\Omega$ .

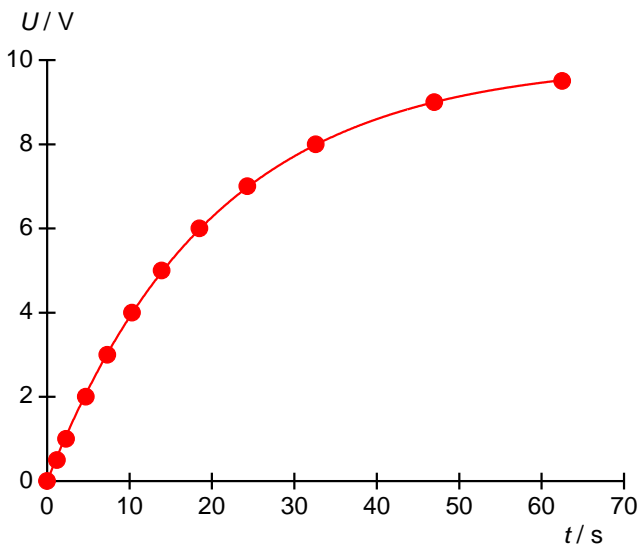


Fig. 2: Curva de carga de par RC interno 3.

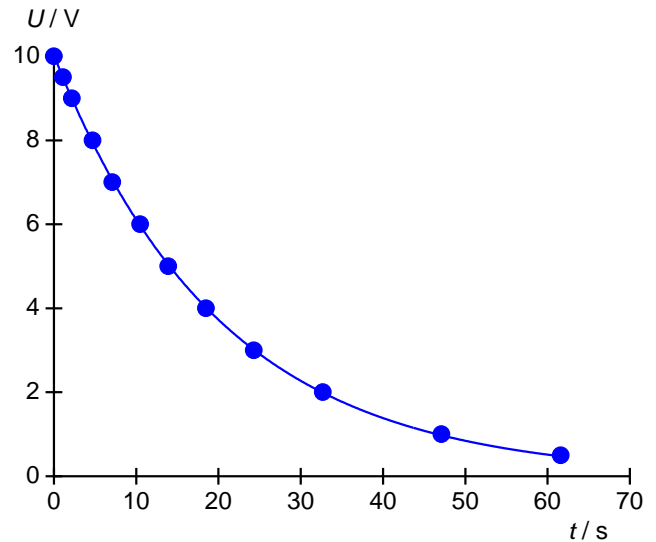


Fig. 3: Curva de descarga de par RC interno 3.