

CAPACITÂNCIA. CAPACITORES. ASSOCIAÇÃO DE CAPACITORES. RIGIDEZ DIELÉTRICA

Capacitor e Capacitância

Capacitor é qualquer conjunto formado por dois condutores separados por um isolante. Os condutores são as PLACAS ou ARMADURAS do capacitor, e o isolante é o seu DIELÉTRICO.

Simbolicamente, o capacitor é representado como mostra a Fig. IX-1. Os traços horizontais representam as placas, o espaço entre eles é o dielétrico e os traços que saem dos segmentos que representam as placas são condutores para ligação.

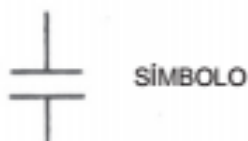


FIG. IX-1

Um capacitor é utilizado para armazenar cargas elétricas. Quando suas placas são ligadas aos terminais de uma fonte, a que é ligada ao negativo recebe elétrons do mesmo, e da outra placa saem elétrons para o terminal positivo da fonte.

Durante quanto tempo há deslocamento de elétrons?

Apenas durante o tempo necessário para que se estabeleça o equilíbrio elétrico entre os terminais da fonte e as placas do capacitor. Quando isto acontece, a diferença de potencial entre as placas é igual à diferença de potencial entre os terminais da fonte.

É importante frisar que a tensão entre as placas do capacitor é resultante das cargas adquiridas pelas mesmas.

A intensidade da corrente de carga é máxima no instante em que as placas são ligadas, e cai a zero quando elas adquirem potenciais iguais aos dos terminais da fonte.

Se pusermos em contato as placas de um capacitor carregado, haverá uma corrente de descarga, pois os elétrons em excesso numa das placas irão se deslocar para a outra, onde há falta de elétrons. Essa corrente durará o tempo necessário para que sejam neutralizadas as cargas das placas; será máxima no início da

operação e será nula quando o capacitor estiver totalmente descarregado.

A CARGA DE UM CAPACITOR É A CARGA DE UMA DE SUAS PLACAS; elas apresentam, evidentemente, cargas de valores iguais embora de sinais opostos. Quanto maior a carga de um capacitor, maior a diferença de potencial entre suas placas.

Dá-se o nome de CAPACITÂNCIA (C) DE UM CAPACITOR à carga que o mesmo deve receber, para que entre suas placas se estabeleça uma diferença de potencial unitária. A unidade de capacitância é o COULOMB POR VOLT (C/V) ou FARAD (F).

O FARAD exprime a capacitância de um capacitor que precisa receber uma carga de UM COULOMB para que entre suas placas se estabeleça uma diferença de potencial de UM VOLT. Do exposto é fácil concluir que

$$C = \frac{Q}{E}$$

donde

$$Q = C \cdot E \quad \text{e} \quad E = \frac{Q}{C}$$

- C = capacitância em FARADS (F)
 Q = carga adquirida pelo capacitor, em COULOMBS (C)
 E = tensão entre as placas do capacitor, em VOLTS (V)

O farad é uma unidade muito grande, e, por este motivo, são usados normalmente os seguintes submúltiplos:

- Microfarad (μF) = 0,000.001 Farad
 Nanofarad (nF) = 0,000.000.001 Farad
 Picofarad (pF) =
 = 0.000.000.000.001 Farad

A capacitância de um capacitor depende inversamente da distância entre suas placas (espessura do dielétrico), diretamente da área útil de um dos lados de uma de suas placas e do dielétrico. Variações de temperatura e umidade podem alterar a capacitância e são fatores que não devem ser esquecidos quando se faz uso de capacitores.

Conhecendo o que foi exposto, o homem produz capacitores com os valores desejados, que permitem o armazenamento de cargas diversas para uso nos momentos adequados.

Associação de Capacitores

É evidente que não são fabricados capacitores com todos os valores imagináveis. Entretanto, há o recurso da associação dessas peças, o que pode ser feito de três modos:

- EM SÉRIE
- EM PARALELO
- EM ASSOCIAÇÃO MISTA

Características da Ligação em Série

Quando as peças são ligadas em série, como na Fig. IX-2, a capacitância do conjunto é menor do que qualquer um dos valores usados na ligação e pode ser calculada com a equação

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

- C_t = capacitância total ou equivalente
 C_1, C_2, C_3 , etc. = capacitâncias parciais

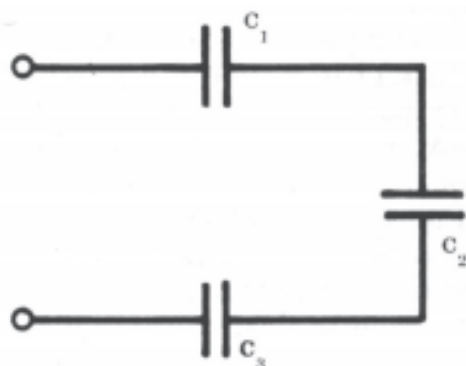
Se todos os capacitores forem iguais, bastará dividir o valor de um deles pelo número de peças usadas:

$$C_t = \frac{C}{n}$$

C_t = capacitância total ou equivalente
 C = valor de um dos capacitores iguais
 n = número de capacitores usados na associação

Trabalhando com dois capacitores de cada vez, basta multiplicar seus valores e dividir o resultado pela soma dos mesmos:

$$C_t = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$



CAPACITORES EM SÉRIE

FIG. IX-2

Quando um conjunto de capacitores em série é ligado a uma fonte de corrente contínua, todos os capacitores apresentam cargas iguais (de acordo com o processo de carga por indução), sejam quais forem suas capacitâncias:

$$Q_t = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots$$

Q_t = carga do conjunto de capacitores ou carga total fornecida pela fonte
 Q_1, Q_2, Q_3 etc. = cargas dos diversos capacitores

De acordo com a definição de capacitância, a tensão em cada capacitor

é tanto maior quanto menor é a sua capacitância, porque todos apresentam a mesma carga. A tensão entre os terminais do conjunto é igual à soma das tensões parciais:

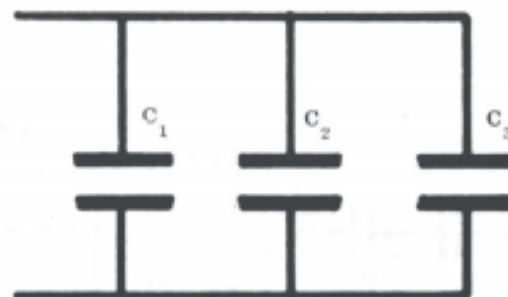
$$E_t = E_1 + E_2 + E_3 + \dots$$

E_t = diferença de potencial entre os terminais do conjunto

E_1, E_2, E_3 , etc. = tensões entre os terminais dos diversos capacitores

Características da Ligação em Paralelo

Quando os capacitores são ligados em paralelo, como se vê na Fig. IX-3, a capacitância total é a soma das capacitâncias parciais:



CAPACITORES EM PARALELO

FIG. IX-3

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

C_t = capacitância total ou equivalente

C_1, C_2, C_3 , etc. = capacitâncias parciais

Neste caso, a tensão entre os terminais do conjunto é a mesma que existe entre os terminais de cada capacitor:

$$E_t = E_1 = E_2 = E_3 = \dots$$

E_t = tensão entre os terminais do conjunto

$E_1, E_2, E_3, \text{ etc.}$ = tensões parciais

Da definição de capacitância conclui-se que cada capacitor adquire uma carga diferente (a não ser que todos tenham a mesma capacitância), diretamente proporcional à sua capacitância, e que a carga total é a soma das cargas parciais:

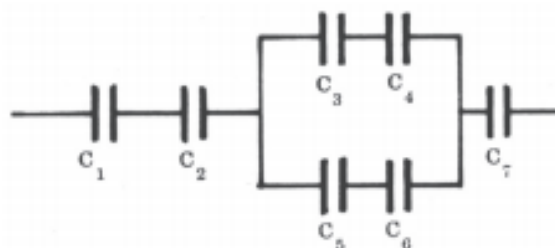
$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$$

Q_t = carga adquirida pelo conjunto

$Q_1, Q_2, Q_3, \text{ etc.}$ = cargas dos diversos capacitores

Características da Ligação Mista

Nas associações mistas, os resultados são combinações dos obtidos com as ligações estudadas.



ASSOCIAÇÃO MISTA

FIG. IX-4

Rigidez Dielétrica

Os átomos do isolante colocado entre as placas de um capacitor ficam submetidos ao campo elétrico entre elas. Os elétrons orbitais se sentem atraídos pela placa com carga positiva e os núcleos são atraídos pela placa negativa.

Essas atrações não são normalmente suficientes para libertar elétrons dos

átomos, mas quando as cargas das placas atingem determinados valores pode acontecer o fenômeno em questão, e se estabelecer uma corrente elétrica através do material até então isolante.

A tensão que existe entre as placas do capacitor quando isto ocorre é chamada TENSÃO DE RUPTURA. Os capacitores trazem indicada geralmente em seu invólucro a tensão máxima ou a tensão normal de trabalho que pode existir entre suas placas, sem que haja ruptura, com a conseqüente inutilização da peça.

Entre as características de um isolante cumpre destacar a sua RIGIDEZ DIELÉTRICA, que é a tensão necessária para causar a ruptura de uma amostra do material com uma espessura unitária.

Em geral a tensão é expressa em quilovolts e a espessura em milímetros ou centímetros.

Conclui-se do exposto que

$$\text{Rigidez dielétrica} = \frac{E_r}{e}$$

E_r = tensão de ruptura

e = espessura do isolante

EXEMPLOS:

1 – Quantos elétrons devem ser removidos de uma placa de um capacitor de 270 picofarads e adicionados à outra, para que haja uma tensão de 420 volts entre elas?

SOLUÇÃO:

$$Q = C E$$

$$Q = 270 \times 10^{-12} \times 420 = 1.134 \times 10^{-10} \text{ C}$$

$$1 \text{ C} = 6,28 \times 10^{18} \text{ elétrons}$$

$$\begin{aligned} \text{Número de elétrons} &= 1.134 \times \\ &\times 10^{-10} \times 6,28 \times 10^{18} = \\ &= 7.121,52 \times 10^8 \text{ elétrons} \end{aligned}$$

2 – Vinte capacitores de $8\mu\text{F}$ foram ligados em série. Determinar a capacitância total e a carga acumulada em cada capacitor, sabendo que o conjunto foi ligado a uma fonte de 200 volts.

SOLUÇÃO:

$$C_t = \frac{C}{n} = \frac{8}{20} = 0,4\mu\text{F}$$

$$Q = CE = 4 \times 10^{-7} \times 2 \times 10^2 = 8 \times 10^{-5} \text{ C}$$

3 – Um capacitor com uma capacitância de $80\mu\text{F}$ é ligado a uma fonte de 500 V. Calcular sua carga.

SOLUÇÃO:

$$Q = CE = 8 \times 10^{-5} \times 5 \times 10^2 = 4 \times 10^{-2} \text{ C}$$

4 – Um capacitor de $0,01\mu\text{F}$ e um de $0,04\mu\text{F}$ são ligados primeiro em paralelo e, em seguida, em série, a uma fonte de 500 V.

- Qual a capacitância total em cada caso?
- Qual a carga total em cada caso?
- Qual a carga de cada capacitor, nas duas ligações?
- Qual a diferença de potencial entre as placas de cada capacitor, nos dois casos?

SOLUÇÃO:

$$\begin{aligned} \text{a) } C_1 + C_2 &= 0,01 + 0,04 = \\ &= 0,05\mu\text{F} \text{ (em paralelo)} \\ \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} &= \frac{0,01 \times 0,04}{0,01 + 0,04} = 0,008\mu\text{F} \\ &\text{(em série)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } Q &= CE = 5 \times 10^{-8} \times 5 \times \\ &\times 10^2 = 25 \times 10^{-6} \text{ C} \\ &\text{(em paralelo)} \end{aligned}$$

$$Q = CE = 8 \times 10^{-9} \times 5 \times 10^2 = 4 \times 10^{-6} \text{ C (em série)}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } Q_1 &= C_1 E_1 = 10^{-8} \times 5 \times \\ &\times 10^2 = 5 \times 10^{-6} \text{ C} \\ Q_2 &= C_2 E_2 = 4 \times 10^{-8} \times \\ &\times 5 \times 10^2 = 2 \times 10^{-5} \text{ C} \\ &\text{(em paralelo)} \end{aligned}$$

$$Q_1 = Q_2 = 4 \times 10^{-6} \text{ C (em série)}$$

$$\text{d) } E_1 = E_2 = 500 \text{ V (em paralelo)}$$

$$\begin{aligned} E_1 &= \frac{Q_1}{C_1} = \frac{4 \times 10^{-6}}{10^{-8}} = \\ &= 400 \text{ V (em série)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_2 &= \frac{Q_2}{C_2} = \frac{4 \times 10^{-6}}{4 \times 10^{-8}} = \\ &= 100 \text{ V (em série)} \end{aligned}$$

5 – Determinar:

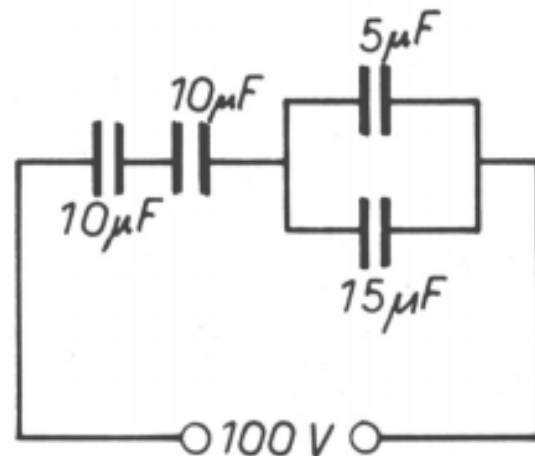


FIG. IX-5

- Q_t
- C_t
- Tensão entre as placas do capacitor de $15\mu\text{F}$

SOLUÇÃO:

$$5 + 15 = 20\mu\text{F}$$

$$\frac{10}{2} = 5\mu\text{F}$$

$$C_t = \frac{5 \times 20}{5 + 20} = 4\mu\text{F}$$

$$Q_t = C_t E_t = 4 \times 10^{-6} \times 10^2 = 4 \times 10^{-4} \text{ C}$$

A tensão no conjunto formado pelos dois capacitores de $10\mu\text{F}$ em série é:

$$E = \frac{Q}{C} = \frac{4 \times 10^{-4}}{5 \times 10^{-6}} = 80 \text{ V}$$

A tensão no conjunto formado pelos capacitores de $5\mu\text{F}$ e $15\mu\text{F}$ em paralelo é, portanto:

$$100 - 80 = 20 \text{ V}$$

Esta é a tensão entre as placas do capacitor de $15\mu\text{F}$.

6 – Determinar:

- Carga total
- Carga adquirida pelo capacitor de $30\mu\text{F}$

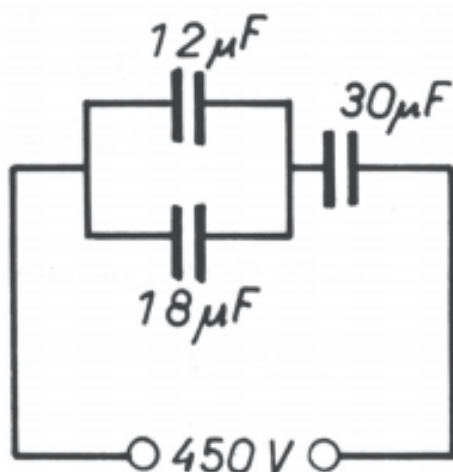


FIG. IX-6

FIG. IX-6

SOLUÇÃO:

$$12 + 18 = 30\mu\text{F}$$

$$C_t = \frac{30}{2} = 15\mu\text{F}$$

$$Q_t = C_t E_t = 15 \times 10^{-6} \times 45 \times 10 = 675 \times 10^{-5} \text{ C}$$

$$\begin{aligned} \text{Carga do capacitor de } 30\mu\text{F} &= \\ &= Q_t = 675 \times 10^{-5} \text{ C} \end{aligned}$$

PROBLEMAS

CAPACITÂNCIA. ASSOCIAÇÃO DE CAPACITORES

1 – Se 2×10^{10} elétrons forem removidos de uma placa e adicionados a outra paralela, qual será o fluxo elétrico total entre as placas condutoras? Dizer também qual a capacitância do conjunto, sabendo que a diferença de potencial entre as placas é de 180 V.

$$R.: 3 \times 10^{-9} \text{ C}; 16 \times 10^{-12} \text{ F}$$

2 – Um capacitor de 10 microfarads e um de 40 microfarads são ligados em paralelo, e o conjunto é ligado a uma fonte de 400 V. Determinar a capacitância total e a carga acumulada em cada capacitor.

$$R.: 50\mu\text{F}; 4 \times 10^{-3} \text{ C}; 16 \times 10^{-3} \text{ C}$$

3 –

$$\begin{aligned} C_1 &= 10 \text{ microfarads} \\ C_2 &= 5 \text{ microfarads} \\ C_3 &= 20 \text{ microfarads} \\ Q_2 &= 0,002 \text{ coulomb} \end{aligned}$$

Determinar:

$$\begin{array}{lll} Q_1 & E_1 & C_t \\ Q_3 & E_2 & \\ Q_t & E_3 & \\ & E_t & \end{array}$$

~t

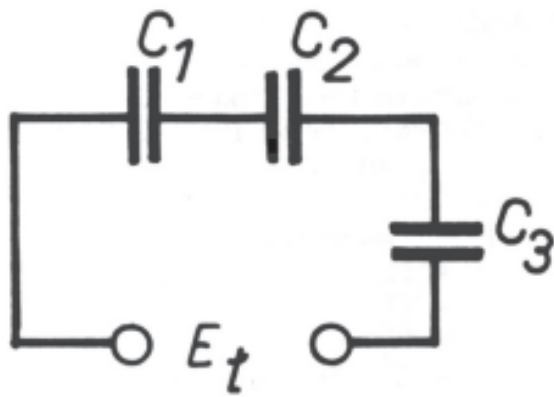


FIG. IX-7

R.: $0,002 \text{ C} - 200 \text{ V} - 28 \times 10^{-7} \text{ F}$
 $0,002 \text{ C} - 400 \text{ V}$
 $0,002 \text{ C} - 100 \text{ V}$
 700 V

4 - $C_1 = 2 \text{ microfarads}$
 $C_2 = 5 \text{ microfarads}$
 $C_3 = 3 \text{ microfarads}$
 $E_t = 100 \text{ V}$

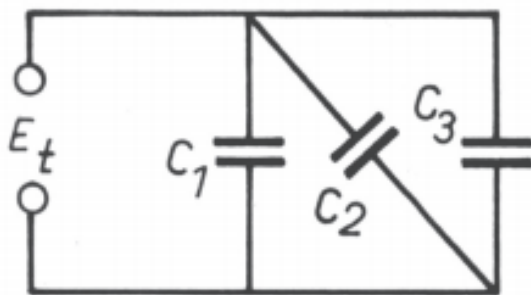


FIG. IX-8

Determinar:

$Q_1 - Q_2 - Q_3 - Q_t - C_t$

R.: $2 \times 10^{-4} \text{ C}; 5 \times 10^{-4} \text{ C}; 3 \times 10^{-4} \text{ C}; 10^{-3} \text{ C}; 10 \mu\text{F}$

5 - Determinar a carga adquirida pelo capacitor de $30 \mu\text{F}$.

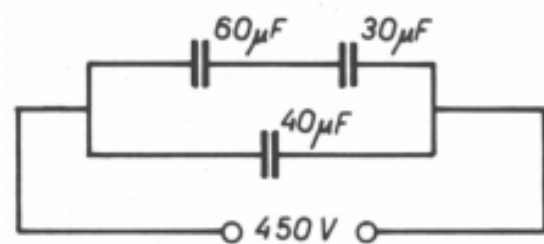


FIG. IX-9

R.: $9 \times 10^{-3} \text{ C}$

6 - Determinar: C_t
 Q_t
 E_2
 Q_2

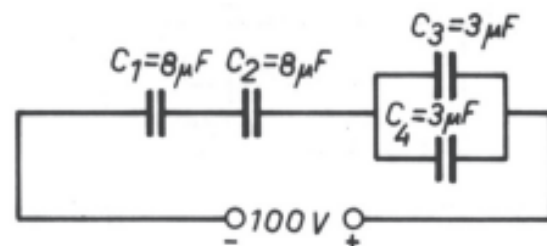


FIG. IX-10

R.: $2,4 \mu\text{F}; 24 \times 10^{-5} \text{ C}; 30 \text{ V}; 24 \times 10^{-5} \text{ C}$

7 - Determinar: C_t $C_1 = 40 \mu\text{F}$

- Q_t $C_2 = 60\mu\text{F}$
 $C_3 = 60\mu\text{F}$
 $C_4 = 60\mu\text{F}$
 $C_5 = 40\mu\text{F}$
 $C_6 = 40\mu\text{F}$

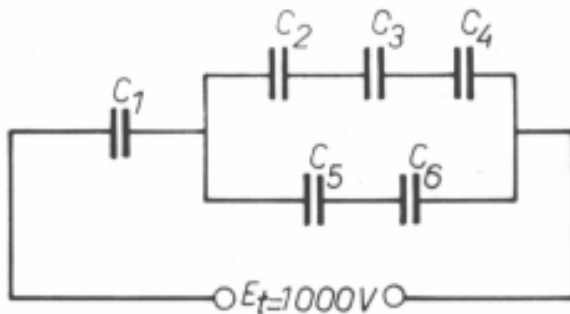


FIG. IX-11

R.: $20\mu\text{F}$; $2 \times 10^{-2} \text{ C}$

8 – No circuito abaixo, determinar a carga total e a capacitância total.

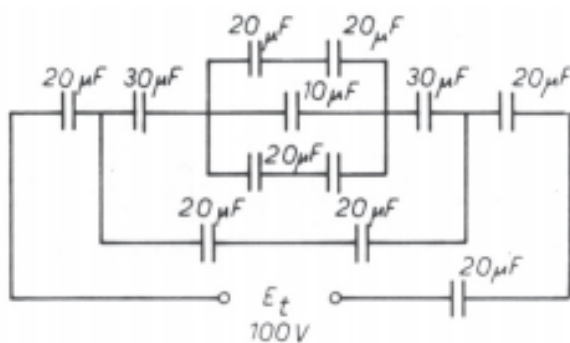


FIG. IX-12

R.: $5 \times 10^{-4} \text{ C}$; $5\mu\text{F}$

9 – Um capacitor de 20 microfarads é carregado com uma fonte de 60 V, de corrente contínua. Após ter sido desligado da fonte, é ligado imediata-

mente aos terminais de um capacitor (sem carga) de 5 microfarads. Calcular: a) a d.d.p. entre os terminais dos dois capacitores em paralelo; b) a carga de cada capacitor.

R.: 48 V; $96 \times 10^{-5} \text{ C}$; $24 \times 10^{-5} \text{ C}$

10 – Determinar:

- E_t
- Q_t
- C_t
- Tensão entre as placas do capacitor de $5\mu\text{F}$

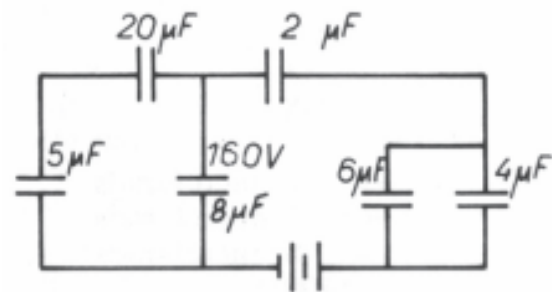


FIG. IX-13

R.: 1.370 V; $192 \times 10^{-5} \text{ C}$; $1,4\mu\text{F}$; 128 V

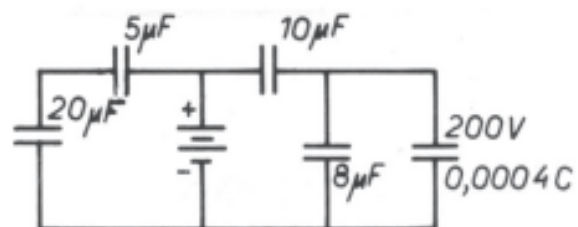


FIG. IX-14

11 – Determinar: (Fig. IX-14)

- E_t
- Q_t
- C_t
- Carga no capacitor de $5\mu\text{F}$

R.: 400 V ; $36 \times 10^{-4}\text{ C}$; $9 \times 10^{-6}\text{ F}$;
 $16 \times 10^{-4}\text{ C}$

12 – No circuito da Fig. IX-15, determinar a tensão total, a carga total, a capacitância total e a carga no capacitor de 3 microfarads.

R.: 500 V ; $0,0028\text{ C}$; $5,6\mu\text{F}$;
 $0,0003\text{ C}$

13 – Um capacitor de 1.000 microfarads é carregado até que entre suas placas se estabelece uma d. d. p. de 200 V . Se o capacitor for descarregado em $1/1.000$ segundo, qual será o valor médio da corrente durante a descarga?

R.: 200 A

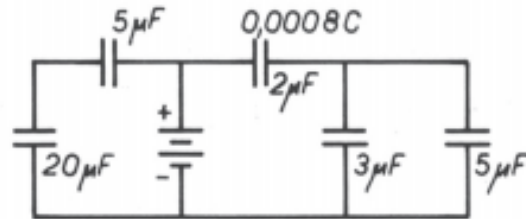


FIG. IX-15