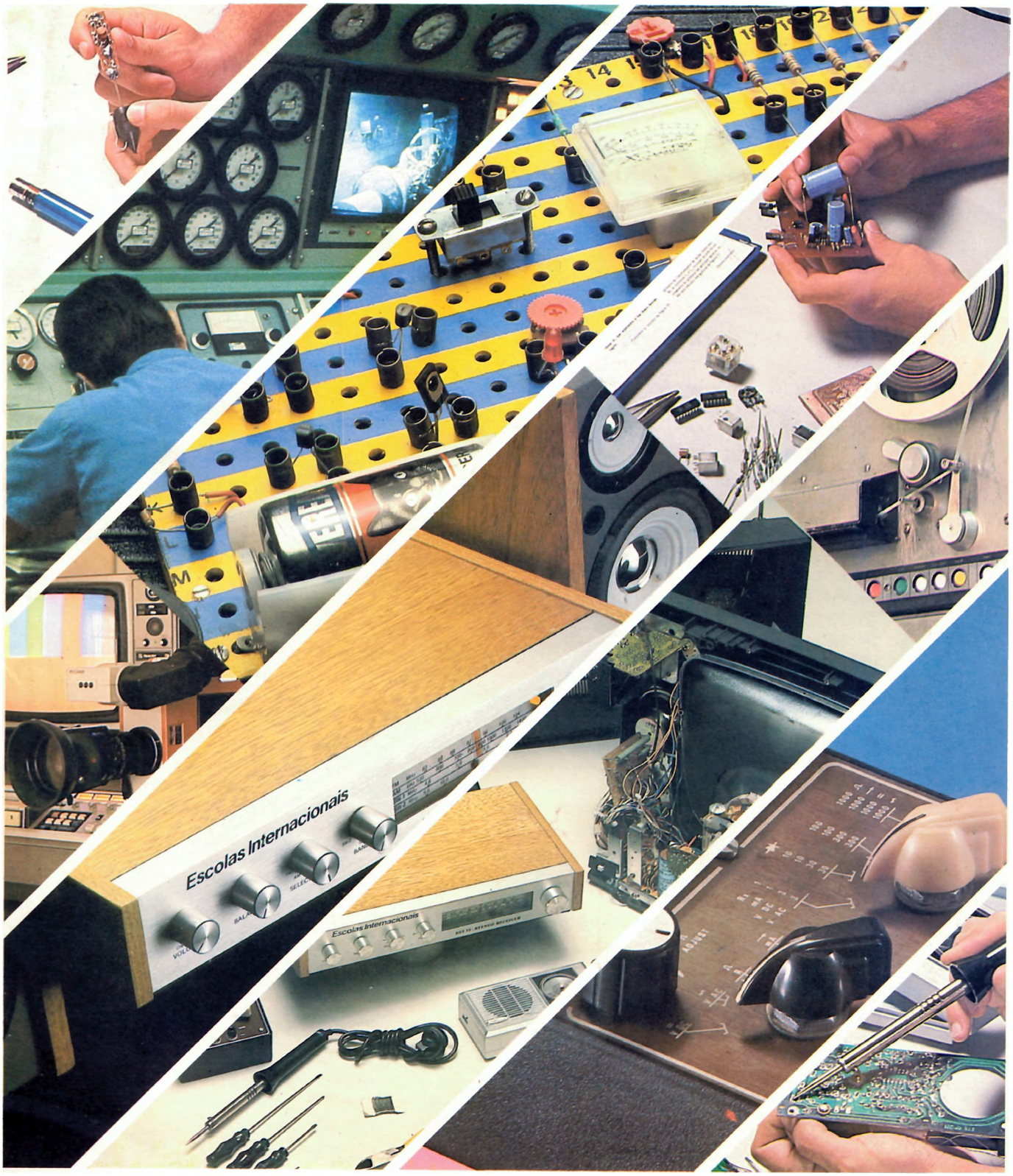
CAPACITÂNCIA E CAPACITORES REATÂNCIA CAPACITIVA



Escolas Internacionais

Referência
020

Índice Geral

LIÇÃO Nº 9 – CAPACITÂNCIA E CAPACITORES
REATÂNCIA CAPACITIVA

Introdução 9
1. Capacitor elétrico 9
2. Cargas elétricas 10
3. Corrente de deslocamento 11
4. Capacitância de capacitores 12
5. Unidade de capacitância 13
6. Fatores que influem na capacitância 15
7. Constante dielétrica 16
8. Rigidez dielétrica 18
9. Construção de capacitores 18
10. Determinação da capacitância 19
11. Capacitores ligados em paralelo 21
12. Capacitores ligados em série 22
13. Tensão nos capacitores 23
14. Relações de fase nos circuitos capacitivos 24
15. Reatância capacitiva 25
16. Impedância de circuitos capacitivos 27
17. Fator de mérito de capacitores 29
18. Constante de tempo de circuitos capacitivos 30
19. Tipos de capacitores 32
20. Capacitores fixos 32
21. Capacitores de mica 33
22. Capacitores eletrolíticos 33
23. Polaridade de capacitores eletrolíticos 34
24. Funcionamento de capacitores eletrolíticos 35
25. Características de capacitância e de isolação dos capacitores eletrolíticos . 36
26. Capacitores de poliester metalizado 38
27. Capacitores de poliester não metalizado. 40
28. Capacitores de filme de poliestireno 41
29. Capacitores cerâmicos 42
30. Capacitores variáveis 44
31. Capacitores de ajuste 45
Exame da Lição nº 9 47

Conteúdo didático programado e elaborado pela equipe técnico-pedagógica das Escolas Internacionais.

Copyright - International Textbook Company - ICS - International Correspondence Schools - Scranton, Pennsylvania - USA - Copyright - Direitos exclusivos no Brasil para ESCOLAS INTERNACIONAIS - São Paulo, SP - Brasil.

Reservados todos os direitos. Proibida a reprodução total ou parcial do texto e das ilustrações por qualquer forma ou meio, sem prévia autorização por escrito dos detentores do copyright. Edições ou reproduções não autorizadas estarão sujeitas às penalidades da Lei.

Escolas Internacionais

Impresso no parque gráfico das Escolas Internacionais do Brasil.

Introdução

Nesta lição você irá estudar detalhadamente o capacitor – um outro elemento que constitui os circuitos.

Em linhas gerais, o capacitor é um dispositivo que permite armazenar cargas elétricas. Você irá conhecer como eles são construídos, como podem ser carregados eletricamente, as formas em que eles podem ser combinados, e os efeitos que eles produzem sobre os circuitos elétricos.

Os capacitores também exercem uma oposição à passagem da corrente elétrica. Esta oposição recebe o nome de reatância capacitiva. Você aprenderá, nesta lição, como se determina a oposição total (impedância) em circuitos que contêm capacitores.

Ao final desta lição serão descritos vários tipos de capacitores que se encontram à venda no mercado, bem como as respectivas aplicações.

Capacitância e Capacitores Reatância Capacitiva

1- Capacitor elétrico

Existem dispositivos que são construídos com a finalidade de armazenar uma determinada quantidade de eletricidade.

O armazenamento de cargas elétricas é feito através de uma combinação entre condutores e isolantes.

Se pegarmos duas placas metálicas (condutores) e as separarmos por uma lâmina de vidro (isolante), teremos um dispositivo capaz de armazenar eletricidade.

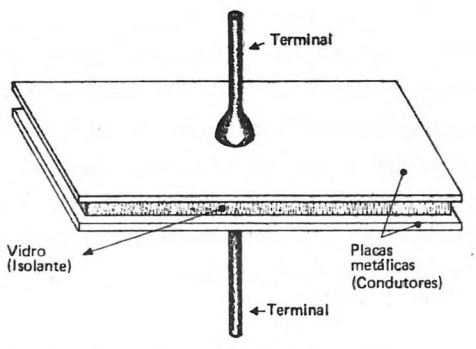


Fig. 1 – Capacitor de placas paralelas.

O dispositivo que apresenta a capacidade de armazenar uma determinada quantidade de eletricidade é chamado de ***capacitor.***

Em linhas gerais, os capacitores são construídos de modo que dois condutores fiquem separados por um isolante.

O material isolante empregado para isolar os dois condutores de um capacitor é chamado de dielétrico. Os dois condutores de um capacitor chamam-se placas.

No esquema apresentado na figura 1, o isolante usado para separar as duas placas metálicas é o vidro. Assim, o vidro é o ***dielétrico*** desse capacitor.

Algumas pessoas consideram o termo "condensador" como sinônimo de "capacitor". Entretanto, seguindo a recomendação da ***ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas,*** empregaremos durante todo o curso somente o termo "capacitor" para designar os dispositivos que apresentam a capacidade de acumular eletricidade.

2-Cargas elétricas

O armazenamento das cargas elétricas em um capacitor é conseguido através da ligação dos terminais do capacitor a uma fonte de tensão, por exemplo, uma bateria.

A bateria faz com que as placas do capacitor fiquem carregadas elétricamente: uma placa ficará carregada positivamente, e a outra placa ficará carregada negativamente.

Como as placas de um capacitor são separadas por um dielétrico (isolante), mesmo depois de desfeita a ligação entre o capacitor e a bateria, as cargas elétricas permanecerão armazenadas no capacitor. A ***descarga*** do capacitor ocorrerá quando existir um caminho que possibilite os elétrons sairem do terminal negativo e se dirigirem para o terminal positivo.

Para que você possa compreender como se dá a carga de um capacitor, vamos considerar um circuito que contenha uma bateria ligada aos terminais de um capacitor.

A figura 2 apresenta o esquema de um circuito que permitirá armazenar cargas elétricas no capacitor. Este circuito consta de uma bateria (E), um capacitor onde os condutores são placas metálicas e o dielétrico é o vidro, e uma chave (Ch) que permite abrir ou fechar o circuito.

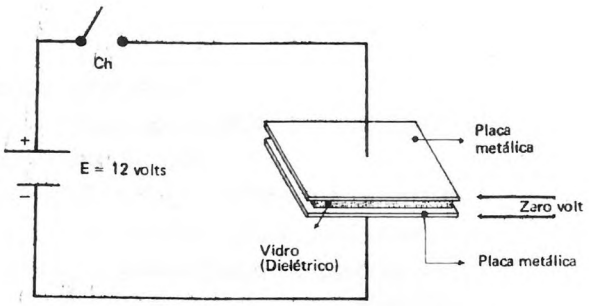


Fig. 2 — Circuito para carregar um capacitor.

Observe na figura 2 que a chave (Ch) encontra-se aberta. Isso significa que ainda não está completa a ligação entre a bateria e o capacitor. Nesta situação inicial, o capacitor está ***descarregado,*** isto é, as duas placas metálicas estão ***elétricamente neutras:*** número de cargas positivas igual ao número de cargas negativas. Como as duas placas estão descarregadas, não existe uma tensão entre os terminais do capacitor. Desse modo, o ***potencial elétrico ou voltagem entre as placas é igual a zero.***

Quando a chave (Ch) for fechada, o circuito ficará completo. Com o circuito fechado o capacitor será carregado através da bateria. A figura 3 mostra o esquema do circuito com o capacitor sendo carregado.

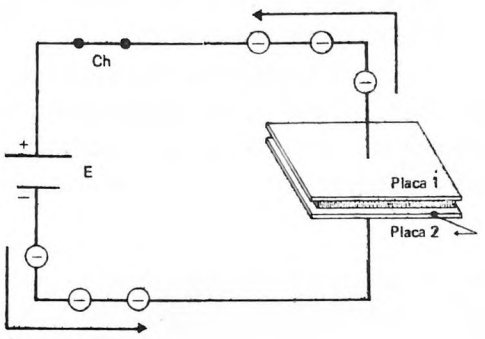


Fig. 3 — Elétrons saindo pelo polo negativo da bateria e se dirigindo à placa 2; outros elétrons saem da placa 1 e se dirigem ao polo positivo da bateria.

Direitos reservados

A placa que se encontra ligada ao polo positivo da bateria, ficará carregada positivamente. A explicação de acordo com a Teoria Eletrônica é a seguinte: alguns elétrons livres da placa (1) são atraídos pelo polo positivo da bateria. Como a placa (1) perde cargas negativas (elétrons), ela se torna carregada positivamente. Quanto mais elétrons deixarem a placa, mais positiva ela ficará. Esta transferência de elétrons da placa (1) para o polo positivo da bateria deixará de existir, quando a placa ficar tão positiva quanto o polo positivo da bateria.

A placa que se encontra ligada ao polo negativo da bateria, ficará carregada negativamente. A explicação de acordo com a Teoria Eletrônica é a seguinte: os elétrons saem do polo negativo da bateria e se dirigem para a placa (2). Como a placa (2) recebe cargas negativas (elétrons), ela se torna carregada negativamente. Quanto mais elétrons chegarem à placa (2), mais negativa ela ficará. Esta transferência de elétrons do polo negativo da bateria para a placa (2) deixará de existir, quando a placa (2) ficar tão negativa quanto o polo negativo da bateria.

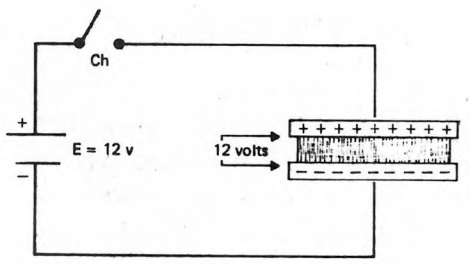


Fig. 4 — Capacitor com a mesma tensão que a bateria (estado de plena carga).

Quando deixar de existir a transferência de elétrons entre as placas metálicas do capacitor e os polos da bateria, ***o capacitor apresentará um potencial elétrico ou voltagem igual ao da bateria.*** Observe na figura 4 que o potencial elétrico da bateria é de 12 volts, e o potencial elétrico do capacitor também é de 12 volts. O capacitor está, então, com plena carga (carga completa).

Depois de carregado, o capacitor pode ser retirado do circuito e, mesmo assim, ele continuará apresentando uma voltagem entre os seus terminais.

3- Corrente de deslocamento

Depois que um capacitor é carregado elétricamente, os seus terminais apresentarão cargas de sinais contrários. Tomando como exemplo o capacitor da figura 4, uma placa está carregada positivamente, enquanto que a outra placa está carregada negativamente. Porém, o ***número de cargas positivas numa placa é igual ao número de cargas negativas na outra placa.***

Como conseqüência da existência dessas cargas elétricas nas placas do capacitor, aparecerá uma força elétrica no espaço entre as placas.

O espaço onde agem as forças elétricas de atração ou de repulsão é chamado de campo elétrico.

No caso do capacitor da figura 4, o espaço entre as placas é ocupado por uma lâmina de vidro, que funciona como dielétrico. Então, existe um campo elétrico no dielétrico que separa as duas placas.

Os ***dielétricos*** são, em geral, bons isolantes. Isto significa que estes materiais praticamente ***não têm elétrons livres.*** Todos os elétrons estão fortemente ligados ao núcleo do átomo e, por isso, são difíceis de serem retirados do átomo.

Entretanto, como o dielétrico se encontra dentro do campo elétrico produzido pelas placas, os seus elétrons sofrem influências das forças elétricas. A ***placa positiva*** exerce uma ***força de atração*** sobre os elétrons do dielétrico, enquanto que a ***placa negativa*** exerce uma ***força de repulsão.***

Apesar disso, ***nenhum elétron é arrancado do dielétrico,*** porque estão fortemente ligados ao núcleo de seus átomos.

Porém, como conseqüência da interação entre as placas carregadas e o dielétrico, os elétrons sofrem uma deformação na órbita que descrevem ao redor do núcleo dos átomos do dielétrico.

As órbitas dos elétrons são deformadas pelas forças de atração e repulsão existentes entre as placas do capacitor. Esta deformação depende da intensidade das cargas das placas. Quanto maior a intensidade das cargas nas placas, maior a deformação nas órbitas dos elétrons.

É muito difícil mostrar a deformação real das órbitas dos elétrons no dielétrico de um capacitor. Em todo caso, você poderá ter uma boa idéia do que realmente acontece, nas figuras que se seguem.

Quando o capacitor está descarregado, as suas placas não exercerão as forças de atração e repulsão sobre os elétrons do dielétrico. Isso porque ***não existe força elétrica quando as placas estão descarregadas.***

Desse modo, os ***elétrons não sofrerão uma deformação nas suas órbitas.*** A figura 5 representa uma situação desse tipo. As órbitas dos elétrons são representadas por círculos, cujo centro é o núcleo do átomo.

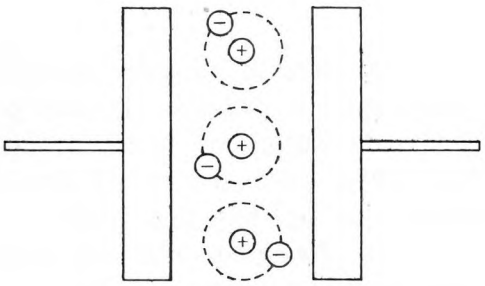


Fig. 5 — Com as placas descarregadas, não existe deformação nas órbitas dos elétrons.

Por outro lado, ***quando as placas estiverem carregadas, as órbitas sofrerão um deslocamento em direção à placa positiva.*** Observe a representação da deformação na figura 6, onde a placa da esquerda está carregada positivamente.

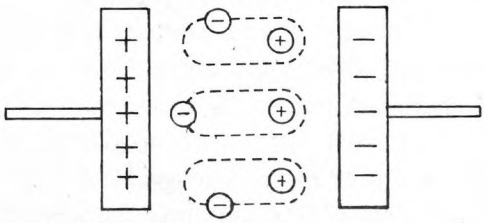


Fig. 6 — Potencial positivo na placa da esquerda.

É óbvio, que se a placa da direita estiver carregada positivamente, a deformação sofrida pelas órbitas será no sentido contrário daquele apresentado na figura 6. Constate isso comparando as figuras 6 e 7.

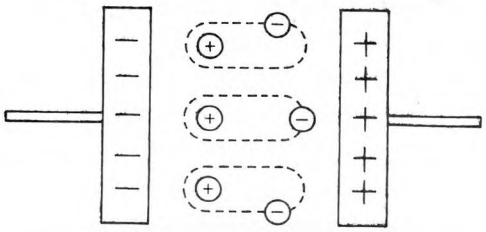


Fig. 7 — Potencial positivo na placa da direita.

Se uma ***f.e.m. alternada*** for aplicada às placas de um capacitor, ***os elétrons do dielétrico não podem assumir uma órbita fixa,*** pois precisam ajustar continuamente suas órbitas de acordo com o valor instantâneo da tensão aplicada. Quando a tensão alternada for igual a zero, as órbitas podem ser consideradas circulares, como está indicado na figura 5. Porém, nas metades positivas e negativas de cada ciclo de alternância da tensão, as órbitas assumem as posições indicadas nas figuras 6 e 7.

O deslocamento contínuo dos elétrons no dielétrico, devido à aplicação de tensão C.A. nas placas do capacitor, é chamado de ***corrente de deslocamento*** do circuito. Deve-se lembrar que a corrente normal de um circuito chama-se ***corrente de condução.***

4-Capacitância de capacitores

Você viu no capítulo 2 desta lição como se carrega eletricamente um capacitor. A bateria, através do polo positivo, retira elétrons de uma das placas, ao mesmo tempo em que cede elétrons para a outra placa, através do polo negativo. Desse modo, as placas do capacitor ficam carrega-

das com cargas elétricas de sinais contrários, porém em igual quantidade. E como conseqüência, o capacitor passa a apresentar uma diferença de potencial ou tensão entre as placas. E como você já viu, depois de algum tempo a tensão entre as placas do capacitor será igual à tensão da bateria.

Neste capítulo você irá conhecer a relação que existe entre a quantidade de cargas elétricas acumuladas no capacitor, e a tensão exercida pela fonte. Para facilitar a compreensão, vamos fazer uma analogia entre um capacitor e um botijão de gás.

Um botijão de aço, igual a estes usados nas cozinhas para alimentar o fogão, pode conter uma quantidade maior ou menor de gás. Para que o gás seja colocado em um botijão, é necessário exercer uma pressão, para que o gás seja empurrado para dentro. Quanto maior a quantidade de gás que se queira armazenar no botijão, maior a pressão que deve ser exercida.

Um capacitor se comporta de forma semelhante a um botijão. Ele pode conter uma quantidade maior ou menor de cargas elétricas. E para que as cargas elétricas sejam armazenadas no capacitor, é necessário exercer uma "pressão elétrica", ou melhor, uma tensão elétrica.

A quantidade de cargas elétricas armazenadas num capacitor depende da tensão exercida sobre as placas. Quanto maior a tensão, maior a quantidade de cargas armazenadas no capacitor.

Voltando a fazer a comparação com o gás, sabe-se que dois botijões diferentes em tamanho podem conter a mesma quantidade de gás. Para isso, basta exercer uma pressão maior no botijão menor.

Se tivermos capacitores de tamanhos diferentes, e quisermos armazenar a mesma quantidade de cargas elétricas, teremos que proceder de forma semelhante ao gás.

Dois capacitores de tamanhos diferentes podem acumular a mesma quantidade de cargas elétricas. Para que isso seja feito, basta aumentar a tensão no capacitor menor.

Assim sendo, quanto menor for o capacitor, maior deverá ser a tensão para caber uma determinada quantidade de eletricidade.

À medida que as cargas elétricas vão sendo acumuladas num capacitor, aumentará cada vez mais a tensão entre as placas do capacitor. E é baseado nesta relação entre a quantidade de cargas elétricas e a tensão, que se define a capacidade eletrostática ou capacitância de um capacitor.

A ***capacidade eletrostática*** ou ***capacitância*** de um capacitor é determinada pela quantidade de carga necessária para elevar a diferença de potencial entre as placas em uma unidade.

É preciso, finalmente, ressaltar o seguinte: da mesma forma que um botijão pode explodir por excesso de pressão, o capacitor também pode explodir, se entre as suas placas existir uma tensão excessiva.

5-Unidade de capacitância

A unidade de medida da capacitância dos capacitores é o ***farad,*** cujo símbolo é a letra "F".

Direitos reservados

Um farad (1 F) é a capacitância de um capacitor que pode ser carregado com potencial de 1 volt, pela aplicação de uma corrente de 1 ampère, durante o intervalo de tempo de 1 segundo.

Entretanto, um capacitor que seja capaz de satisfazer a definição do farad, terá dimensões tão grandes que não caberia na maioria dos equipamentos eletrônicos. Por essa razão, usa-se os sub-múltiplos do farad: ***milifarad*** (mF), ***microfarad*** (μF), ***nanofarad*** (nF), ***picofarad*** (pF), ***femtofarad*** (fF) e ***attofarad*** (aF).

Os sub-múltiplos do farad apresentam os seguintes valores, em relação ao farad:

$1\ mF = 1 \times 10^{-3}\ F$
$1\ \mu F = 1 \times 10^{-6}\ F$
$1\ nF = 1 \times 10^{-9}\ F$
$1\ pF = 1 \times 10^{-12}\ F$
$1\ aF = 1 \times 10^{-18}\ F$

Antigamente eram usadas duas outras unidades: micromicrofarad ($\mu\mu$F) e kilopicofarad (kpF). Estas duas unidades foram substituídas, respectivamente, pelas unidades picofarad e nanofarad.

As seguintes fórmulas permitem fazer a conversão entre as unidades de medida de capacitância:

$$(\text{valor em milifarad}) = 1\,000 \times (\text{valor em farad}) \quad (9.1)$$

$$(\text{valor em microfarad}) = 1\,000\,000 \times (\text{valor em farad}) \quad (9.2)$$

$$(\text{valor em nanofarad}) = 1\,000\,000\,000 \times (\text{valor em farad}) \quad (9.3)$$

$$(\text{valor em picofarad}) = 1\,000\,000\,000\,000 \times (\text{valor em farad}) \quad (9.4)$$

$$(\text{valor em microfarad}) = 1\,000 \times (\text{valor em milifarad}) \quad (9.5)$$

$$(\text{valor em microfarad}) = 0,000\,001 \times (\text{valor em picofarad}) \quad (9.6)$$

$$(\text{valor em nanofarad}) = 1\,000 \times (\text{valor em microfarad}) \quad (9.7)$$

$$(\text{valor em milifarad}) = 0,000\,001 \times (\text{valor em nanofarad}) \quad (9.8)$$

$$(\text{valor em milifarad}) = 0,000\,000\,001 \times (\text{valor em picofarad}) \quad (9.9)$$

$$(\text{valor em nanofarad}) = 0,001 \times (\text{valor em picofarad}) \quad (9.10)$$

$$(\text{valor em femtofarad}) = 1\,000 \times (\text{valor em picofarad}) \quad (9.11)$$

$$(\text{valor em attofarad}) = 0,000\,000\,000\,001 \times (\text{valor em microfarad}) \quad (9.12)$$

Exemplo

Converter os seguintes valores de microfarads em farads, nanofarads e picofarads: a) 25 μF; b) 0,0015 μF; c) 0,22 μF.

Solução

a) Para converter microfarad em farad é necessário aplicar a fórmula 9.2:

$$(\text{valor em microfarad}) = 1\,000\,000 \times (\text{valor em farad})$$

$$(\text{valor em farad}) = \frac{(\text{valor em microfarad})}{1\,000\,000}$$

$$(\text{valor em farad}) = \frac{25}{1\,000\,000} = 0,000\,025$$

$\therefore$ 25 μF = 0,000025 F

Para converter microfarad em nanofarad, basta aplicar a fórmula 9.7:

$$(\text{valor em nanofarad}) = 1\,000 \times (\text{valor em microfarad})$$

$$(\text{valor em nanofarad}) = 1\,000 \times 25 = 25\,000$$

$\therefore$ 25 μF = 25 000 nF

Direitos reservados

A conversão de microfarad em picofarad é feita através da fórmula 9.6:

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{microfarad}\end{matrix}\right) = 0{,}000\,001 \times \left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{picofarad}\end{matrix}\right)$$

$$\frac{\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{microfarad}\end{matrix}\right)}{0{,}000\,001} = \frac{25}{0{,}000\,001}$$

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{picofarad}\end{matrix}\right) = 25\,000\,000$$

$\therefore$ 25μF = 25 000 000 pF

b) A conversão de microfarad em farad é dada através da fórmula 9.2:

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{microfarad}\end{matrix}\right) = 1\,000\,000 \times \left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{farad}\end{matrix}\right)$$

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{farad}\end{matrix}\right) = \frac{\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{microfarad}\end{matrix}\right)}{1\,000\,000} = \frac{0{,}0015}{1\,000\,000}$$

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{farad}\end{matrix}\right) = 0{,}000\,000\,001\,5$$

$\therefore$ 0,001 5μF = 0,000 000 001 5 farad

A fórmula 9.7 converte microfarad em nanofarad:

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{nanofarad}\end{matrix}\right) = \left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{microfarad}\end{matrix}\right) \times 1\,000$$

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{nanofarad}\end{matrix}\right) = 0{,}001\,5 \times 1\,000 = 1{,}5$$

$\therefore$ 0,001 5μF = 1,5 nF

A fórmula 9.6 converte microfarad em picofarad:

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{microfarad}\end{matrix}\right) = 0{,}000\,001 \times \left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{picofarad}\end{matrix}\right)$$

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{picofarad}\end{matrix}\right) = \frac{\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{microfarad}\end{matrix}\right)}{0{,}000\,001} = \frac{0{,}001\,5}{0{,}000\,001}$$

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{picofarad}\end{matrix}\right) = 1\,500$$

$\therefore$ 0,001 5μF = 1500 pF

c) Através da fórmula 9.2, fazemos a conversão de microfarad para farad:

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{microfarad}\end{matrix}\right) = 1\,000\,000 \times \left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{farad}\end{matrix}\right)$$

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{farad}\end{matrix}\right) = \frac{\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{microfarad}\end{matrix}\right)}{1\,000\,000} = \frac{0{,}22}{1\,000\,000}$$

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{farad}\end{matrix}\right) = 0{,}000\,000\,22$$

$\therefore$ 0,22μF = 0,000 000 22 F

A conversão de microfarad para nanofarad é dada pela fórmula 9.7:

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{nanofarad}\end{matrix}\right) = 1\,000 \times \left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{microfarad}\end{matrix}\right)$$

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{nanofarad}\end{matrix}\right) = 1\,000 \times 0{,}22 = 220$$

$\therefore$ 0,22μF = 220 nF

Pela fórmula 9.6 temos a conversão de microfarad em picofarad:

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{microfarad}\end{matrix}\right) = 0{,}000\,001 \times \left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{picofarad}\end{matrix}\right)$$

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{picofarad}\end{matrix}\right) = \frac{\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{microfarad}\end{matrix}\right)}{0{,}000\,001} = \frac{0{,}22}{0{,}000\,001}$$

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{picofarad}\end{matrix}\right) = 220\,000$$

$\therefore$ 0,22μF = 220 000 pF

6-Fatores que influem na capacitância

Conforme você já viu nos capítulos anteriores, o capacitor é um dispositivo que permite armazenar cargas elétricas, para serem utilizadas em outro momento. Cada capacitor apresenta a sua capacitância, isto é, capacitores diferentes podem armazenar quantidades diferentes de cargas elétricas.

Neste capítulo iremos estudar quais são os fatores que influem na capacitância de um capacitor, ou seja, quais são os fatores que determinam a quantidade de cargas elétricas que podem ser armazenadas em um capacitor, para uma determinada tensão aplicada.

Se considerarmos um capacitor de placas planas e paralelas, como o esquematizado na figura 1, poderemos armazenar uma quantidade maior ou menor de cargas elétricas, dependendo da área dessas placas. Um capacitor que apresenta placas com uma área maior, poderá armazenar uma quantidade maior de cargas elétricas, enquanto que um capacitor que apresente placas com área menor, poderá armazenar uma quantidade menor de cargas elétricas.

A capacitância de um capacitor é diretamente proporcional à área das placas. Quanto maior a área, maior a capacidade de armazenar cargas elétricas.

Um outro fator que influi na capacitância é a distância que separa as placas metálicas ou os condutores do capacitor.

Quanto mais próximas ficarem as placas de um capacitor de placas paralelas, maior será a quantidade de cargas que pode ser armazenada, para uma dada tensão aplicada. Por exemplo: se um capacitor cujas placas estão separadas por uma lâmina de vidro com 2 mm de espessura tiver uma capacitância igual a 10, a sua capacitância passará para 20 se a espessura do vidro for reduzida para 1 mm.

A capacitância de um capacitor de placas planas e paralelas é inversamente proporcional à distância entre as placas. Diminuindo-se a separação entre as placas, a capacitância aumenta.

Finalmente, um terceiro fator que influi na capacitância de um capacitor é o material utilizado como dielétrico. A capacitância pode ser aumentada ou diminuída, mudando-se a substância usada para separar as placas.

Por exemplo: a capacitância de um capacitor que apresenta o ar como dielétrico pode ser aumentada, colocando-se entre as placas a mesma espessura de outro material, como o vidro ou papel.

A capacitância de um capacitor depende do material usado como dielétrico.

A qualidade dos diversos tipos de materiais utilizados como dielétricos em capacitores é apresentada no capítulo seguinte — "Constante Dielétrica".

Em resumo, a capacitância de um capacitor depende do tamanho e do formato das placas do capacitor, da espessura e do material utilizado como dielétrico.

7- Constante dielétrica

Qualquer material isolante colocado entre as placas de um capacitor é chamado de dielétrico.

Quanto maior a carga elétrica acumulada entre as placas de um capacitor, melhor o dielétrico. Todos os dielétricos são isolantes, porém, nem todos os isolantes são bons dielétricos. O ar seco, por exemplo, é um bom isolante, mas um dielétrico ruim.

A medida da capacidade que o dielétrico apresenta em acumular cargas nos capacitores é chamada de ***permissividade.***

Cada material apresenta a sua permissividade. ***Quanto maior a permissividade, maior a capacitância de um capacitor,*** ou seja, é capaz de acumular maior quantidade de eletricidade. Por exemplo: o ar apresenta uma permissividade menor que o vidro. Logo, um capacitor que apresenta o vidro como dielétrico terá maior capacitância do que um capacitor que apresenta o ar com dielétrico.

Em termos práticos, utiliza-se um outro fator para fazer a comparação entre as qualidades dos diversos materiais usados como dielétrico. Este fator é a ***permissividade relativa*** ou ***constante dielétrica.***

Direitos reservados

A constante dielétrica de um dielétrico é definida através da razão entre as capacitâncias de dois capacitores. Um capacitor apresenta como dielétrico o material considerado, e o outro capacitor apresenta como dielétrico o ar seco.

A determinação da constante dielétrica de um determinado material é feita da seguinte maneira: inicialmente mede-se a capacitância de um capacitor, cujo dielétrico é o ar seco. Em seguida, para o mesmo capacitor, troca-se o ar seco pelo material cuja constante dielétrica se quer determinar e mede-se a nova capacitância do capacitor. A razão (quociente) entre o valor da capacitância com o outro dielétrico, e o valor da capacitância com o ar seco como dielétrico, dará a constante dielétrica do material considerado.

Desse modo, o ar seco é tomado como dielétrico referencial, para se medir a constante dielétrica de todos os outros materiais.

O ar seco, à pressão atmosférica normal, é considerado o material padrão para a determinação das constantes dielétricas de todos os dielétricos. A sua constante dielétrica foi, arbitrariamente, fixada em 1.

Quase todos os outros dielétricos apresentam uma constante dielétrica superior a 1.

Os valores das constantes dielétricas dos diversos materiais utilizados como dielétricos são apresentados na Tabela I.

TABELA I

Permissividade relativa ou constante dielétrica de diversos materiais

Material	Constante dielétrica (K)
Água destilada	81
Aguarrás	2,15 a 2,43
Álcool etílico	25,8
Álcool metílico (de madeira)	31,2
Ar seco à pressão ordinária	1
Ar rarefeito a, aproximadamente, 0,001 mm de pressão	0,94
Ar rarefeito a, aproximadamente, 5 mm de pressão	0,999
Azeite de oliveira	3 a 3,16
Borracha da Índia, pura	2,22 a 2,5
Cêra de abelhas	1,86
Cêra de parafina	2 a 2,5
Ebonite	2,5 a 3,5
Fibra vulcanizada	5 a 8
Glicerina	56,2
Goma-laca	2,24 a 3,84
Gutapercha	3,3 a 4,9
Isolantite	3,6
Madeira de bordo	3 a 4,5
Madeira de carvalho	3 a 6
Mica	4,6 a 8
Óleo de rícino	4,67
Óleo de transformador	2,5
Papel manilha	1,5
Petróleo	2,13
Porcelana	4,38
Quartzo	1,77 a 2,55
Resina	3 a 3,7
Vaselina	2,2
Vidro de chumbo, densidade 3 a 3,5	5,4 a 8
Vidro "crown" duro	2,48
Vidro "flint", densidade 4,5	9,9
Vidro "flint", densidade 2,87	6,6

Nos capacitores encontrados no comércio, a permissividade dos dielétricos é geralmente muito maior que a do ar seco.

Inicialmente, os capacitores pequenos foram construídos utilizando-se o papel ou mica como dielétrico. Atualmente, o uso maior é de ***filmes plásticos*** (como os de poliester, poliestireno, policarbonato) e os ***discos cerâmicos*** (como os esteatites e titanatos).

Exemplo 1

Qual é o fator de aumento na capacitância se o espaço entre as placas de um capacitor de ar for preenchido com: a) cera de abelha; b) mica; c) óleo de transformador?

Direitos reservados

Solução

A razão entre a nova capacitância e a capacitância com dielétrico de ar, é a mesma que a razão entre as constantes dielétricas dos dois materiais. Desse modo, basta dividir a constante dielétrica do material considerado pela constante dielétrica do ar seco, de acordo com os valores fornecidos pela Tabela I.

a) $\frac{\text{constante dielétrica da cera de abelha}}{\text{constante dielétrica do ar seco}} = \frac{1,86}{1} = 1,86.$

Portanto, a capacitância do capacitor com cera de abelha como dielétrico, será 1,86 vezes maior que a capacitância do capacitor com o ar seco como dielétrico.

b) A razão entre o valor da constante dielétrica da mica e o valor da constante dielétrica do ar dependerá da qualidade da mica utilizada. A capacitância do capacitor será 4,6 a 8 vezes maior do que o capacitor com ar seco como dielétrico.

c) $\frac{\text{constante dielétrica do óleo de transformador}}{\text{constante dielétrica do ar seco}} = \frac{2,5}{1} = 2,5$

Portanto, trocando-se o ar seco pelo óleo de transformador, a capacitância do capacitor será 2,5 vezes maior.

Exemplo 2

Qual será a alteração na capacitância de um capacitor se o seu dielétrico de papel manilha for substituído por: a) óleo de rícino; b) mica; c) ar seco?

Solução

a) De acordo com a Tabela I, o papel manilha apresenta uma constante dielétrica igual a 1,5 e o óleo de rícino tem uma constante igual a 4,67. Então, como vai ser feita uma troca por um dielétrico que apresenta uma constante dielétrica maior, a capacitância do capacitor também será maior.

$\frac{\text{constante dielétrica do óleo de rícino}}{\text{constante dielétrica do papel manilha}} = \frac{4,67}{1,5} = 3,1$

Portanto, a capacitância do capacitor será 3,1 vezes maior.

b) A constante dielétrica da mica é maior do que a constante dielétrica do papel manilha. Portanto, a capacitância do capacitor aumentará.

$\frac{4,6}{1,5}$ a $\frac{8}{1,5}$ = 3,1 a 5,3 vezes maior.

c) Trocando-se o papel manilha pelo ar seco a capacitância do capacitor diminuirá, pois o ar seco apresenta uma constante dielétrica menor.

$\frac{1}{1,5}$ = 0,67 vezes o valor original, ou

$\frac{1,5}{1}$ = 1,5 vezes menor.

8-Rigidez dielétrica

Todos os dielétricos conseguem desempenhar sua função em um capacitor até determinados valores limites de tensão. Acima desses ***valores máximos de tensão*** que o material isolante consegue suportar, os elétrons que se encontram na placa negativa conseguem passar para a placa positiva, através do dielétrico.

Quando isso acontece, o capacitor não pode mais armazenar cargas elétricas, pois o material isolante foi perfurado pelos elétrons e, conseqüentemente, deixou de existir a isolação entre as placas do capacitor.

Chama-se ***rigidez dielétrica*** à máxima diferença de potencial que se pode aplicar a um material isolante sem que ocorram perfurações.

A rigidez dielétrica de um dielétrico é determinada colocando-o entre dois eletrodos metálicos, e aumentando aos poucos a tensão entre os dois eletrodos, até que uma faísca elétrica salte através do material isolante. Neste momento diz-se que ocorreu a ***ruptura do dielétrico,*** ou que o dielétrico foi ***perfurado.***

A diferença de potencial entre os eletrodos na etapa imediatamente anterior à perfuração é a máxima tensão, em volts, que o dielétrico pode suportar.

Dividindo-se esta tensão máxima pela espessura, em metros, do material isolante, tem-se a ***rigidez dielétrica*** em ***volts por metro.***

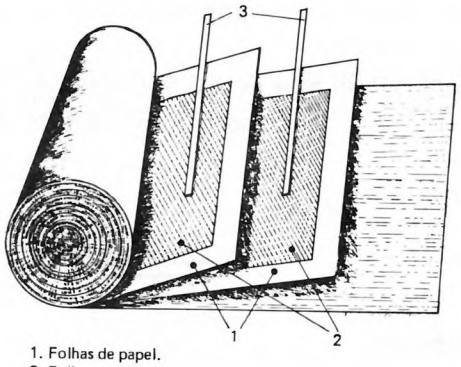
9-Construção de capacitores

Há uns 15 ou 20 anos atrás, os capacitores usados nos aparelhos de rádio e televisão eram relativamente grandes. Isso não

Direitos reservados

trazia nenhum inconveniente, porque os aparelhos eletrônicos funcionavam com válvulas e precisavam ser grandes, pois necessitavam de bastante ventilação.

Um tipo de capacitor que apresenta um volume relativamente grande pode ser construído conforme o desenho apresentado na figura 8.



1. Folhas de papel.
2. Folhas metálicas.
3. Terminais.

Fig. 8 — Construção de um capacitor com dielétrico de papel.

Um capacitor com dielétrico de papel é construído, enrolando-se tiras de papel juntamente com duas tiras longas de folha metálica. As folhas metálicas ficam separadas uma da outra pelo papel, que neste capacitor funciona como dielétrico. As tiras da folha metálica são um pouco mais estreitas que as tiras de papel, para que à isolação seja a melhor possível.

Enquanto as tiras de papel estão sendo enroladas junto com as tiras metálicas, são colocados dois fiozinhos metálicos. Cada um destes fiozinhos metálicos entram em contato com somente uma das tiras metálicas. Estes fiozinhos metálicos ficam projetados para fora, pois eles serão utilizados como terminais do capacitor.

Depois que as folhas de papel e as tiras metálicas são enroladas, toda a peça é cozinhada em óleo ou parafina para que seja retirada toda a umidade que o material tenha absorvido. O óleo e a parafina evitam, também, que a umidade penetre no capacitor posteriormente.

Após o cozimento, as tiras enroladas são compactadas, colocadas em invólucros metálicos ou de papel, e finalmente seladas para uma proteção adicional.

Este processo de fabricação de capacitores permitia obter capacitores de boa qualidade, com valores entre 1 a 470 nF, e tensão de trabalho de até 1 kV.

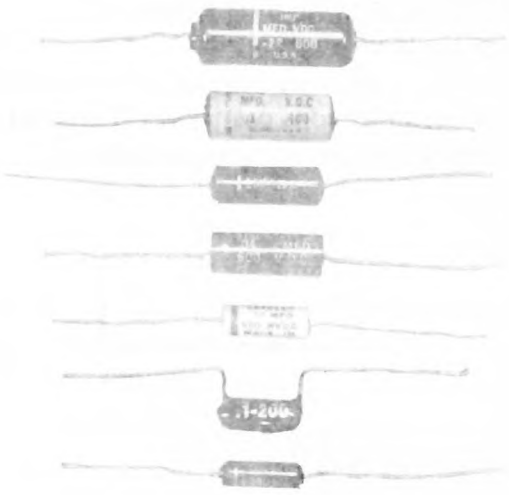


Fig. 9 — Capacitores de papel.

Entretanto, graças ao desenvolvimento tecnológico, o processo de fabricação desse tipo de capacitor pôde ser melhorado.

Atualmente, em vez de usar tiras metálicas, é feito uma deposição do metal sobre a superfície do material isolante. Este processo é chamado de ***metalização.***

As camadas metálicas obtidas pelo processo de metalização são muito mais finas, o que permitiu diminuir o tamanho físico dos capacitores, sem sacrifício das suas capacitâncias.

Com relação ao material isolante, passou-se a usar filmes de material plástico, como o poliestireno, poliester, policarbonato, etc. E o invólucro também foi substituído por impregnação com resinas, as quais proporcionam resultados melhores.

Com este moderno processo de fabricação de capacitores, conseguiu-se também estender a faixa dos valores das capacitâncias. Existem capacitores deste tipo desde 1 pF até 10 μF. As tensões de trabalho também foram adequadas à "era dos semicondutores", pois estes, na grande maioria dos casos, trabalham com tensões menores que 20 volts.

10-Determinação da capacitância

Como você já sabe, o capacitor é um dispositivo elétrico destinado a armazenar cargas elétricas.

A capacidade eletrostática ou capacitância de um capacitor depende da área

das placas, do tipo e da espessura do material empregado como dielétrico.

A capacitância de um capacitor, como os mostrados nas figuras 1 e 8, pode ser determinada através da seguinte fórmula:

$$C = \frac{8{,}85 \times A \times K}{d} \qquad (9.13)$$

C = capacitância, em pF (picofarad).
A = área de uma face das placas, em (metro)^2
K = constante dielétrica do material isolante, dada pela Tabela I.
d = espessura do dielétrico, em metro.

Quando se vai construir um capacitor com uma determinada capacitância, e necessita-se conhecer a área requerida para as placas metálicas, basta aplicar a fórmula seguinte:

$$A = \frac{C \times d}{8{,}85 \times K} \qquad (9.14)$$

Exemplo 1

Qual é a capacitância de um capacitor de 2 placas, medindo cada uma 100 mm x 50 mm, e separadas por uma lâmina de mica com 0,25 mm de espessura e constante dielétrica igual a 5?

Solução

Para podermos aplicar a fórmula 9.13, temos que transformar as medidas que foram dadas em milímetros (mm) para metros (m). Sabendo-se que 1 metro corresponde a 1 000 milímetros, teremos os seguintes valores:

metro	*milímetro*
1	1 000
x	100

$x = \frac{100 \times 1}{1\,000} \Rightarrow x = 0{,}1 \text{ m} \therefore \underline{100 \text{ mm} = 0{,}1 \text{ m}}$

metro	*milímetro*
1	1 000
x	50

$x = \frac{50 \times 1}{1\,000} \Rightarrow x = 0{,}05 \text{ m} \therefore \underline{50 \text{ mm} = 0{,}05 \text{ m}}$

metro	*milímetro*
1	1 000
x	0,25

$x = \frac{0{,}25 \times 1}{1\,000} \Rightarrow x = 0{,}000\,25 \text{ m}$

$\therefore \underline{0{,}25 \text{ mm} = 0{,}000\,25 \text{ m}}$

A área da placa é dada pelo produto da largura pelo comprimento. Para este capacitor teremos:

$A = 0{,}1 \text{ m} \times 0{,}05 \text{ m} \Rightarrow A = 0{,}005 \text{ m}^2$

Aplicando-se a fórmula 9.13 determinaremos o valor da capacitância do capacitor:

$$C = \frac{8{,}85 \times A \times K}{d} \Rightarrow C = \frac{8{,}85 \times 0{,}005 \times 5}{0{,}00025}$$

$$\underline{C = 885 \text{ pF}}$$

Exemplo 2

Qual é a capacitância em nanofarads de um capacitor formado por 2 placas medindo cada uma 60 cm x 4,5 cm, e tendo por dielétrico uma folha de papel manilha com espessura de 0,1 mm?

Solução

Inicialmente vamos transformar as dimensões que estão dadas em centímetros e milímetros, para metros:

metro	*centímetro*
1	100
x	60

$x = \frac{60 \times 1}{100} \Rightarrow x = 0{,}60 \text{ m} \therefore \underline{60 \text{ cm} = 0{,}60 \text{ m}}$

metro	*centímetro*
1	100
x	4,5

$x = \frac{4{,}5 \times 1}{100} \Rightarrow x = 0{,}045 \text{ m} \therefore \underline{4{,}5 \text{ cm} = 0{,}045 \text{ m}}$

metro	*milímetro*
1	1 000
x	0,1

$x = \frac{0{,}1 \times 1}{1\,000} \Rightarrow x = 0{,}0001 \text{ m}$

$\therefore \underline{0{,}1 \text{ mm} = 0{,}0001 \text{ m}}$

A área que cada placa metálica apresentará será:

$A = 0{,}60 \text{ m} \times 0{,}045 \text{ m} \Rightarrow A = 0{,}027 \text{ m}^2$

Consultando a Tabela I, encontraremos para o papel manilha o seguinte valor para a constante dielétrica: K = 1,5.

Aplicando-se a fórmula 9.13 teremos o valor da capacitância:

$$C = \frac{8{,}85 \times A \times K}{d} \Rightarrow C = \frac{8{,}85 \times 0{,}027 \times 1{,}5}{0{,}0001}$$

$C = 3\,584$ pF.

Observe que o valor da capacitância obtido através da fórmula 9.13 é em picofarad (pF). Mas, o enunciado da questão pede o valor da capacitância em nanofarad (nF). Precisamos, então, fazer a conversão da unidade. Para isso é necessário aplicar a fórmula 9.10:

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{nanofarad}\end{matrix}\right) = 0{,}001 \times \left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{picofarad}\end{matrix}\right)$$

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{nanofarad}\end{matrix}\right) = 0{,}001 \times 3\,584 = 3{,}584 \text{ ou } 3{,}6$$

$\therefore C = 3{,}6$ nF

11- Capacitores ligados em paralelo

Um circuito pode apresentar mais de um capacitor. Uma das formas de se combinar capacitores é ligá-los em paralelo.

Observe na figura 10 o esquema de três capacitores ligados em paralelo. Os capacitores estão representados pelo símbolo ⊣⊢

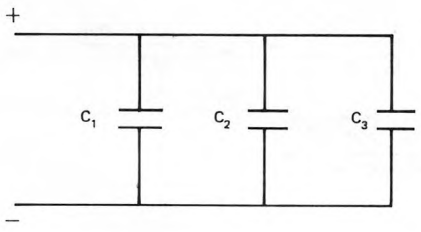


Fig. 10 – Capacitores ligados em paralelo.

Cada um dos capacitores da figura 10 apresenta um determinado valor de capacitância. Da mesma forma como foi feito para resistores e indutores, podemos determinar o valor da capacitância equivalente dos capacitores ligados em paralelo.

Quando capacitores estão ligados em paralelo, a capacitância equivalente é igual à soma das capacitâncias de cada um.

Se os capacitores da figura 10 apresentarem capacitâncias C_1, C_2 e C_3, a capacitância equivalente será dada pela seguinte fórmula:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 \quad (9.15)$$

Se os ***capacitores*** ligados em ***paralelo*** forem ***iguais,*** a capacitância total ou equivalente é dada pelo produto da capacitância de um deles pelo número deles:

$$C_T = n \times C \quad (9.16)$$

C_T = capacitância total.
n = número de capacitores ligados em paralelo.
C = capacitância de cada capacitor.

Exemplo 1

Qual é a capacitância total da combinação de 3 capacitores em paralelo, cujas capacitâncias são, respectivamente, 50μF, 30μF e 20μF?

Solução

Basta aplicar a fórmula 9.15 que a resposta é imediata:

$C_T = C_1 + C_2 + C_3 \Rightarrow C_T = 50 + 30 + 20$

$C_T = 100\mu$F

Exemplo 2

Qual é a capacitância total de 3 capacitores de 1,5μF ligados em paralelo?

Solução

Neste caso, os três capacitores são iguais. Logo, basta aplicar a fórmula 9.16:

$C_T = n \times C \Rightarrow C_T = 3 \times 1{,}5 \Rightarrow C_T = 4{,}5\mu$F

Direitos reservados

12-Capacitores ligados em série

Uma outra forma de se combinar capacitores em um circuito é através da ***ligação em série.***

Observe na figura 11 o esquema da ligação em série para três capacitores.

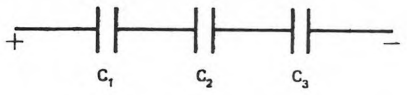


Fig. 11 – Capacitores ligados em série.

Cada um dos capacitores simbolizados na figura 11 apresenta um determinado valor de capacitância. Para os capacitores ligados em série, também podemos determinar o valor da capacitância equivalente.

O inverso do valor da capacitância equivalente é igual à soma dos inversos de cada uma das capacitâncias dos capacitores ligados em série.

A fórmula que permite determinar o valor da capacitância total ou equivalente é a seguinte:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \qquad (9.17)$$

Uma outra maneira de se escrever a fórmula 9.17 é a seguinte:

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}} \qquad (9.18)$$

Quando tivermos ***dois capacitores ligados em série,*** a capacitância equivalente pode ser determinada através da seguinte fórmula:

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \qquad (9.19)$$

Se os ***capacitores*** ligados em ***série*** forem todos ***iguais,*** a capacitância equivalente é igual à capacitância de um deles dividido pelo número de capacitores ligados em série.

$$C_T = \frac{C}{n} \qquad (9.20)$$

C_T = capacitância equivalente.
C = capacitância de um capacitor.
n = número de capacitores iguais ligados em série.

Quando um circuito apresentar capacitores ligados em série, a capacitância equivalente é sempre menor que qualquer uma delas, isto é, a capacitância equivalente é menor que a menor das capacitâncias.

Exemplo 1

Qual é o valor da capacitância equivalente à ligação em série de um capacitor de 0,5μF e um de 0,4μF?

Solução

Como são dois capacitores ligados em série, a capacitância equivalente pode ser determinada através da fórmula 9.19:

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \Rightarrow C_T = \frac{0{,}5 \times 0{,}4}{0{,}5 + 0{,}4} \Rightarrow C_T = \frac{0{,}2}{0{,}9}$$

$$C_T = 0{,}22\mu F$$

Exemplo 2

Qual é a capacitância equivalente à combinação de 3 capacitores em série, cujas capacitâncias são, respectivamente, 1,5μF, 3μF e 0,5μF?

Solução

Neste caso, a capacitância equivalente pode ser determinada através da fórmula 9.18:

Direitos reservados

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}} \Rightarrow C_T = \frac{1}{\frac{1}{1,5}+\frac{1}{3}+\frac{1}{0,5}}$$

$$C_T = \frac{1}{\frac{2}{3}+\frac{1}{3}+\frac{6}{3}} \Rightarrow C_T = \frac{1}{\frac{9}{3}} \Rightarrow C_T = \frac{3}{9}$$

$$C_T = 0,33\mu F$$

Exemplo 3

Três capacitores de 1,5μF estão ligados em série. Qual o valor da capacitância equivalente?

Solução

A capacitância equivalente, neste caso, pode ser determinada através da fórmula 9.20:

$$C_T = \frac{C}{n} \Rightarrow C_T = \frac{1,5}{3} \Rightarrow C_T = 0,5\mu F$$

Observe que nestes três exemplos apresentados, a capacitância equivalente é sempre menor que a menor das capacitâncias individuais presentes na ligação em série.

13-Tensão nos capacitores

Você já aprendeu nas lições anteriores que, quando vários resistores estão ligados em série, a corrente que os atravessa é a mesma.

O mesmo também pode ser dito para os capacitores ligados em série: a corrente que os "atravessa"é a mesma.

Desse modo, a quantidade de cargas elétricas armazenadas em capacitores ligados em série, num determinado tempo, também é igual. Isto é, ***cada capacitor em série acumula a mesma quantidade de cargas elétricas.***

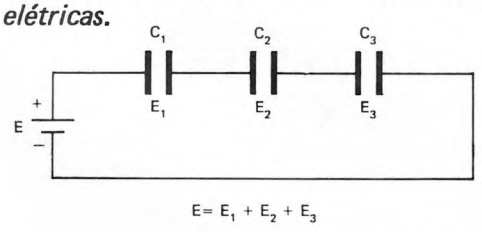


Fig. 12 — Capacitores em série acumulam a mesma quantidade de cargas elétricas.

No capítulo 4 desta lição, você aprendeu que a capacitância de um capacitor é determinada pela quantidade de carga necessária para elevar a diferença de potencial entre as placas em uma unidade. Logo, a tensão entre as placas de um capacitor pode ser determinada através da relação entre a quantidade de cargas acumuladas nas placas e a respectiva capacitância do capacitor. A fórmula 9.21 permite determinar a tensão nos terminais de um capacitor.

$$E = \frac{Q}{C} \qquad (9.21)$$

E = diferença de potencial entre os terminais do capacitor, em volts.
Q = quantidade de carga acumulada, em coulombs.
C = capacitância, em farads.

O ***coulomb*** é a unidade de medida de cargas elétricas. Um coulomb corresponde à quantidade de eletricidade que atravessa, durante 1 segundo, qualquer secção transversal de um condutor percorrido por uma corrente de 1 ampère. O elétron apresenta uma carga elétrica igual a $1,60 \times 10^{-19}$ coulomb.

No caso dos 3 capacitores representados na figura 12, a tensão em cada um deles será:

$$E_1 = \frac{Q}{C_1} \qquad E_2 = \frac{Q}{C_2} \qquad E_3 = \frac{Q}{C_3}$$

Observe que a carga em todos eles é a mesma, e o valor da tensão irá variar de acordo com a capacitância de cada um.

O capacitor menor, isto é, o capacitor que apresenta a menor capacitância, é o que apresenta a tensão maior.

Então, se os capacitores de uma cadeia em série tiverem o mesmo dielétrico e se for aumentando gradativamente a tensão aplicada na cadeia, ***o capacitor menor será o primeiro a sofrer ruptura.***

A soma das tensões de cada capacitor ligado a uma cadeia em série é igual à tensão aplicada pela fonte.

Se todos os capacitores ligados em série apresentarem a mesma capacitância, todos eles apresentarão a mesma tensão, que será uma fração da tensão aplicada. No caso da figura 12, se os 3 capacitores tiverem a mesma capacitância ($C_1 = C_2 = C_3$), cada um deles ficará com 1/3 da tensão total.

Em se tratando de capacitores ligados em paralelo, a corrente total se divide nos vários ramos que constituem o circuito.

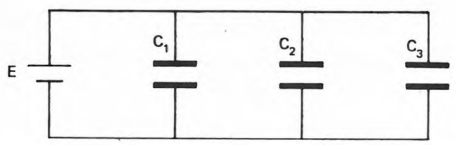


Fig. 13 — Capacitores ligados em paralelo.

Numa ligação em paralelo, todos os capacitores apresentam a mesma tensão, que é igual a tensão aplicada pela fonte.

Desse modo, como todos os capacitores apresentam a mesma tensão, o capacitor que apresentar uma maior capacitância, terá também uma maior quantidade de cargas elétricas acumuladas em suas placas.

14-Relações de fase nos circuitos capacitivos

Os circuitos que apresentam elementos capacitivos (capacitores) são chamados de ***circuitos capacitivos.***

Nos circuitos capacitivos de corrente alternada, assim como nos circuitos indutivos, existe uma diferença de fase entre as ondas da corrente e da tensão.

Mas, enquanto num circuito indutivo a onda da tensão encontra-se adiantada em relação à onda da corrente, num circuito capacitivo acontece justamente o contrário. Ou seja: ***num circuito capacitivo a onda da corrente encontra-se adiantada em relação à onda da tensão.*** Isto porque num capacitor tem-se a corrente em primeiro lugar. A corrente faz acumular cargas elétricas no capacitor e daí resulta a tensão.

Se um capacitor for ligado a uma fonte C.C., sem a presença de resistências, a corrente será máxima no início, isto é, quando o circuito for fechado. Esta corrente acumula cargas elétricas nas placas do capacitor.

As cargas elétricas acumuladas nas placas do capacitor dão origem a uma diferença de potencial, isto é, uma tensão entre as duas placas do capacitor. E com relação à corrente, a presença dessas cargas elétricas nas placas do capacitor limita a corrente que pode fluir pelo circuito.

Então, ***à medida que as cargas elétricas vão sendo acumuladas nas placas do capacitor, a corrente diminui e a tensão aumenta.***

A figura 14 apresenta a relação de fase entre a voltagem e a corrente num circuito capacitivo de corrente alternada.

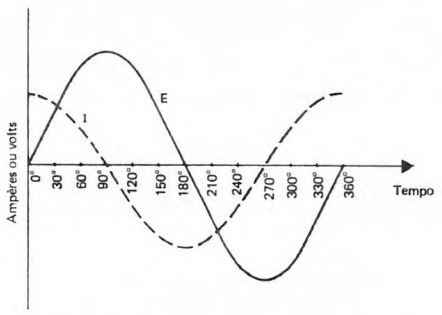


Fig. 14 — Ondas da voltagem e corrente num circuito capacitivo.

Conforme você pode constatar pela figura 14, no instante inicial (tempo = 0°), a corrente é máxima enquanto que a voltagem é nula: ***a corrente é dita adiantada de 90° em relação à tensão.***

À medida que o tempo passa, o valor da corrente decresce e a tensão tem seu valor aumentado. Até que, para o ***tempo igual a 90°, o valor da corrente é nulo,*** enquanto que ***o valor da tensão é máximo.***

Depois de 90°, a corrente muda de sentido e começa a crescer no sentido negativo, e a tensão passa a decrescer. ***Para o tempo de 180° (metade do ciclo), a corrente atingiu o seu valor máximo negativo, e a tensão entre os terminais do capacitor é novamente igual a zero.***

A partir do tempo 180° a ***corrente*** volta a decrescer, até tornar-se ***nula no tempo = 270°.*** Para este mesmo intervalo de tempo, a ***tensão*** teve o seu valor aumentado, até atingir o ***máximo — só que com a polaridade oposta daquele valor máximo no tempo 90°.***

Outra vez a corrente muda de direção e cresce, enquanto que a tensão decresce. Até que, ao ***final do ciclo completo*** de alternância da corrente, esta volta a atingir o seu valor máximo positivo, e a tensão novamente se anula, ***exatamente como se encontravam no início.***

Esta descrição que acabamos de fazer para o gráfico da figura 14, corresponde a um ***circuito puramente capacitivo,*** isto é, um circuito onde não haja perdas por resistências. Entretanto, como não existem capacitores perfeitos, um circuito capacitivo sempre apresentará alguma resistência.

Em um circuito capacitivo real, a corrente está adiantada em relação à voltagem, de um ângulo compreendido entre 0° e 90°.

Quanto menor a resistência presente no circuito, maior a defasagem, isto é, o ângulo de fase tende para 90°. Por outro lado, se um circuito apresentar somente resistências, a defasagem será nula, isto é, as ondas da tensão e da corrente estarão em fase.

15-Reatância capacitiva

O capacitor exerce uma oposição à passagem da corrente alternada, pois faz com que haja uma diminuição da corrente que flui pelo circuito.

Esta oposição exercida pelo capacitor sobre a corrente é chamada de reatância capacitiva.

A reatância capacitiva de um capacitor, em um circuito de corrente alternada, é a "resistência aparente" provocada pela capacitância. A reatância capacitiva limita a corrente. Sua unidade de medida é o Ohm.

O valor da reatância capacitiva depende da ***freqüência*** da corrente e da ***capacitância*** do capacitor. A reatância capacitiva pode ser determinada pela seguinte fórmula:

$$X_C = \frac{1}{2\,\pi\,f\,C} \qquad (9.22)$$

X_C = reatância capacitiva, em ohms.
f = freqüência, em hertz.
C = capacitância, em farads.
π = 3,14.

Conforme você pode verificar pela fórmula 9.22, quando a freqüência da corrente crescer, o valor da reatância capacitiva diminui; e quando diminui a freqüência, a reatância capacitiva aumenta. Desse modo, podemos dizer que ***a reatância capacitiva e a freqüência da corrente são grandezas inversamente proporcionais.***

Da mesma forma, ***a reatância capacitiva e a capacitância também são grandezas inversamente proporcionais:*** quando a capacitância aumenta, a reatância capacitiva diminui; quando a capacitância diminui, a reatância capacitiva aumenta.

Direitos reservados

Quando a reatância capacitiva e a freqüência da corrente forem conhecidas, pode-se calcular a ***capacitância do capacitor,*** através da seguinte fórmula:

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} \qquad (9.23)$$

Por esta fórmula pode-se ver que a capacitância é inversamente proporcional à reatância capacitiva e também à freqüência.

Quando um capacitor apresenta uma determinada reatância capacitiva, pode-se calcular a ***freqüência da corrente*** através da seguinte fórmula:

$$f = \frac{1}{2\pi C X_C} \qquad (9.24)$$

Exemplo 1

Determinar o valor da reatância capacitiva que será produzida por um capacitor de 300 nF, para os seguintes valores de freqüência: a) 60 Hz; b) 1 000 Hz; c) 50 kHz.

Solução

Em primeiro lugar, é necessário converter a unidade da capacitância para farad, para que possa ser aplicada a fórmula 9.22. Para fazer a conversão, basta aplicar a fórmula 9.3:

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{nanofarad}\end{matrix}\right) = 1\,000\,000\,000 \times \left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{farad}\end{matrix}\right)$$

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{farad}\end{matrix}\right) = \frac{\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{nanofarad}\end{matrix}\right)}{1\,000\,000\,000}$$

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{farad}\end{matrix}\right) = \frac{300}{1\,000\,000\,000}$$

$\therefore$ 300 nF = 0,000 000 3 F

Conhecido o valor da capacitância em farad, basta aplicar a fórmula 9.22 para determinar a reatância capacitiva nas 3 freqüências.

a) $X_C = \dfrac{1}{2\pi f C} \Rightarrow X_C = \dfrac{1}{2 \times 3{,}14 \times 60 \times 0{,}000\,000\,3}$

$X_C = 8846\ \Omega$ ou 8,85 kΩ

b) $X_C = \dfrac{1}{2\pi f C} \Rightarrow X_C = \dfrac{1}{2 \times 3{,}14 \times 1000 \times 0{,}000\,000\,3}$

$X_C = 531\ \Omega$

c) Aqui é necessário converter, antes, kHz em Hz:
50 kHz = 50 x 1 000 Hz = 50 000 Hz.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \Rightarrow X_C = \frac{1}{2 \times 3{,}14 \times 50000 \times 0{,}000\,000\,3}$$

$X_C = 10{,}3\ \Omega$

Exemplo 2

Determinar a capacitância que um capacitor deve ter, para apresentar uma reatância capacitiva de 1 000 Ω, nas seguintes freqüências: a) 200 Hz; b) 1 600 Hz; c) 20 000 Hz.

Solução

Para determinarmos a capacitância do capacitor, devemos aplicar a fórmula 9.23:

a) $C = \dfrac{1}{2\pi f X_C} \Rightarrow C = \dfrac{1}{2 \times 3{,}14 \times 200 \times 1\,000}$

$C = 0{,}000\,000\,796$ F ou 0,800 μF ou 800 nF

b) $C = \dfrac{1}{2\pi f X_C} \Rightarrow C = \dfrac{1}{2 \times 3{,}14 \times 1\,600 \times 1\,000}$

$C = 0{,}000\,000\,099\,5$ F ou 0,100 μF ou 100 nF

c) $C = \dfrac{1}{2\pi f X_C} \Rightarrow C = \dfrac{1}{2 \times 3{,}14 \times 20\,000 \times 1\,000}$

$C = 0{,}000\,000\,007\,96$ F ou 8,0 nF

Exemplo 3

Determinar em qual freqüência um capacitor de 0,5 μF produzirá os seguintes valores de reatância capacitiva: a) 50Ω; b) 600Ω; c) 4 kΩ.

Solução

Inicialmente vamos fazer a conversão da unidade da capacitância, aplicando a fórmula 9.2:

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{microfarad}\end{matrix}\right) = 1\,000\,000 \times \left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{farad}\end{matrix}\right)$$

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{farad}\end{matrix}\right) = \frac{\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{microfarad}\end{matrix}\right)}{1\,000\,000} = \frac{0{,}5}{1\,000\,000}$$

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{farad}\end{matrix}\right) = 0{,}000\,000\,5 \quad \therefore\ 0{,}5\,\mu F = 0{,}000\,000\,5\ F$$

Agora, podemos determinar o valor da freqüência, aplicando-se a fórmula 9.24:

a) $f = \dfrac{1}{2\pi C X_C} \Rightarrow f = \dfrac{1}{2 \times 3{,}14 \times 0{,}000\,000\,5 \times 50}$

$f = 6369$ Hz ou 6,37 kHz

Direitos reservados

b) $f = \frac{1}{2 \pi C X_C} \Rightarrow f = \frac{1}{2 \times 3{,}14 \times 0{,}000\,000\,5 \times 600}$

$f = 531 \text{ Hz}$

c) Neste caso, como a reatância está dada em kΩ, temos que transformar para Ω:
$4 \text{ k}\Omega = 4 \times 1\,000\,\Omega = 4\,000\,\Omega$

$f = \frac{1}{2 \pi C X_C} \Rightarrow f = \frac{1}{2 \times 3{,}14 \times 0{,}000\,000\,5 \times 4\,000}$

$f = 79{,}6 \text{ Hz}$

16-Impedância de circuitos capacitivos

Conforme você já aprendeu na lição nº 8, ***a impedância de um circuito é a soma de todas as oposições à passagem da corrente alternada.***

As oposições à passagem de uma corrente alternada podem ser provocadas por resistências, reatâncias indutivas, reatâncias capacitivas e efeito peculiar.

Desse modo, se considerarmos um circuito de corrente alternada que apresenta uma resistência em série com uma reatância capacitiva, estas duas grandezas estarão contribuindo para a impedância do circuito.

A ***corrente alternada*** num circuito série composto de uma resistência e de uma reatância capacitiva, pode ser determinada através de uma fórmula semelhante a Lei de Ohm. A fórmula que permite calcular a corrente alternada num circuito qualquer é a fórmula 9.25:

$$I = \frac{E}{Z} \qquad (9.25)$$

I = corrente alternada, em ampères.
E = tensão, em volts.
Z = impedância, em ohms.

Num circuito onde a resistência R e a reatância capacitiva X_C estejam em série, a impedância pode ser calculada através da seguinte fórmula:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \qquad (9.26)$$

Z = impedância, em ohms.
R = resistência, em ohms.
X_C = reatância capacitiva, em ohms.

Do mesmo modo que a impedância de circuitos indutivos, a fórmula que permite calcular a impedância em circuitos capacitivos está baseada na relação entre os lados de um triângulo retângulo.

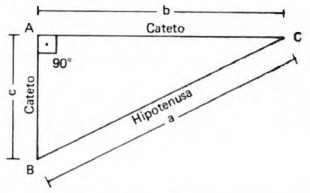


Fig. 15 – Triângulo retângulo.

Como você já viu nos pré-requisitos de Matemática, um triângulo retângulo apresenta um ângulo reto, ou seja, um ângulo de 90°. Os outros dois ângulos são agudos (menores que 90°). O lado oposto ao ângulo de 90° é chamado de hipotenusa, e o seu comprimento é determinado da seguinte forma:

$a = \sqrt{b^2 + c^2}$. Observe que esta fórmula é semelhante a aquela usada para determinar a impedância de um circuito capacitivo.

Assim sendo, a ***impedância*** (Z) pode ser entendida como sendo a ***hipotenusa,*** e a ***reatância capacitiva*** (X_C) e a ***resistência*** (R) como os respectivos ***catetos*** de um triângulo retângulo.

Este tipo de relação que se estabelece entre os valores de Z, X_C e R, e os lados de um triângulo retângulo, está baseado no fato de que ***as oposições à corrente alternada, realizadas pela resistência e pela reatância capacitiva, estão defasadas de 90°.***

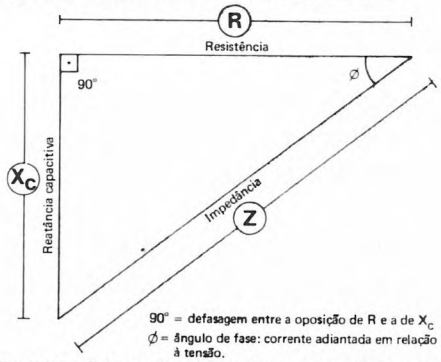


Fig. 16 – Triângulo retângulo mostrando as relações entre a impedância, resistência e reatância capacitiva.

Outro ângulo de interesse nesse triângulo retângulo, é o ângulo agudo ϕ entre o lado que representa a impedância (Z) e o lado que representa a resistência (R). ***O ângulo ϕ representa o ângulo de fase,*** isto é, ***o ângulo que indica quanto a corrente está adiantada em relação à tensão aplicada.***

Então, a impedância de um circuito capacitivo pode ser determinada através da fórmula 9.26 ou graficamente, construindo-se um triângulo retângulo com os valores de X_C e R em escala, e medindo-se o comprimento da hipotenusa (Z). Mas, deve-se tomar muito cuidado no traçado dos lados do triângulo, representando a reatância capacitiva e a resistência. Caso contrário, pode resultar desvios consideráveis no valor da impedância.

A análise da figura 16 permite mostrar como varia o ângulo de fase ϕ — de quanto a corrente está adiantada em relação à tensão.

Se o valor da resistência for muito pequeno em relação ao valor da reatância capacitiva, o ângulo ϕ tenderá para 90°. Isto é, ***a onda da corrente tenderá a ficar 90° adiantada em relação à onda da tensão.***

Por outro lado, ***se o valor da resistência for muito grande em relação ao valor da reatância capacitiva,*** o ângulo ϕ tenderá para zero. Ou seja, a defasagem entre a onda da corrente e a onda da tensão tenderá para 0°; ***a corrente e a tensão estão quase em fase.***

Se você fizer uma comparação entre os triângulos da figura 15 da lição nº 8 e o da figura 16 desta lição, você verificará que eles estão desenhados de forma inversa.

É costume representar a reatância indutiva (X_L) por um vetor (seta) dirigido para cima, enquanto que a reatância capacitiva (X_C) é representada por um vetor (seta) dirigido para baixo. ***A razão dessa representação de forma inversa se deve ao fato de que no circuito indutivo a corrente está atrasada em relação à tensão, enquanto que no circuito capacitivo a corrente está adiantada em relação à tensão.***

Vamos ver como se determina o valor da impedância em circuitos capacitivos, através dos exemplos que se seguem.

Exemplo 1

Um circuito contém um capacitor com a reatância de 300Ω na freqüência de trabalho do circuito. Qual é a impedância do circuito se o capacitor estiver ligado em série com um resistor de 400Ω?

Solução

Para determinar o valor da impedância, basta aplicar a fórmula 9.26.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \Rightarrow Z = \sqrt{400^2 + 300^2}$$

$$Z = \sqrt{160\,000 + 90\,000}$$

$$Z = \sqrt{250\,000} \Rightarrow \underline{\underline{Z = 500\ \Omega}}$$

Exemplo 2

Um circuito contém um capacitor de 15 μF ligado em série com um resistor de 50Ω. Qual é a impedância do circuito na freqüência de 500 Hz?

Solução

Em primeiro lugar é preciso determinar a reatância capacitiva X_C através da fórmula 9.22, fazendo antes a devida conversão de microfarad para farad:
15μF = 0,000 015 F.

$$X_C = \frac{1}{2\,\pi\,f\,C} \Rightarrow X_C = \frac{1}{2 \times 3{,}14 \times 500 \times 0{,}000\,015}$$

$$X_C = 21{,}2\ \Omega$$

Em seguida, aplicando-se a fórmula 9.26 determinamos o valor da impedância do circuito.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \Rightarrow Z = \sqrt{50^2 + 21{,}2^2}$$

$$Z = \sqrt{2\,500 + 449{,}4} \Rightarrow Z = \sqrt{2\,949{,}4}$$

$$\underline{\underline{Z = 54{,}3\Omega}}$$

Exemplo 3

Qual é a impedância de um circuito contendo um capacitor de 0,02μF ligado em série com um resistor de 400Ω, na freqüência de 25 kHz?

Solução

Fazendo-se a transformação de microfarad para farad, verificaremos que 0,02 μF é igual a 0,000 000 02 F. A freqüência que está em quilohertz precisa ser transformada para hertz: 25 kHz = 25 000 Hz.

Determinamos em seguida o valor da reatância capacitiva através da fórmula 9.22:

$$X_C = \frac{1}{2\,\pi\,f\,C} \Rightarrow X_C = \frac{1}{2 \times 3{,}14 \times 25\,000 \times 0{,}000\,000\,02}$$

$$X_C = 318{,}5\ \Omega$$

Finalmente, determinamos a impedância do circuito através da fórmula 9.26:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \Rightarrow Z = \sqrt{400^2 + 318{,}5^2}$$

$$Z = \sqrt{160\,000 + 101\,442}$$

$$Z = \sqrt{261\,442} \Rightarrow \underline{Z = 511{,}3\ \Omega}$$

17- Fator de mérito de capacitores

A qualidade de um capacitor é determinada pelas perdas de potência provocadas pelo capacitor.

Desse modo, um capacitor é considerado de boa qualidade quando as perdas de potência que ele provocar forem pequenas, enquanto que se houverem grandes perdas de potência o capacitor é considerado de má qualidade.

As perdas de potência são devidas à presença de resistências. Lembre-se que a potência só é dissipada em resistências.

Assim, se considerarmos um circuito puramente reativo, isto é, um circuito que só tenha reatância capacitiva, não haverá perdas de potência, pois não existe resistência.

Mas, associados aos capacitores sempre existe uma resistência, normalmente de baixo valor, de modo que não prejudica a qualidade do capacitor.

Existe um fator, chamado ***fator de mérito do capacitor,*** e que é representado pela letra ***"Q",*** o qual proporciona uma indicação das perdas de potência no capacitor, ou em outras palavras, indica a qualidade do capacitor.

Este fator de mérito do capacitor, também chamado ***"fator Q"*** ou simplesmente ***"Q do capacitor",*** pode ser determinado pela seguinte fórmula:

$$Q = \frac{X_C}{R} \qquad (9.27)$$

Q = fator de mérito do capacitor.
X_C = reatância capacitiva, em ohms.
R = resistência, em ohms.

Observe que o fator de mérito "Q" é um número puro, isto é, não apresenta unidade.

Quanto mais alto for o valor de "Q", melhor a qualidade do capacitor.

A fórmula 9.27 mostra que o ***"Q" é inversamente proporcional à resistência:*** quanto maior a resistência, menor o valor de Q; quanto menor a resistência, Q apresenta um mais alto valor.

Com relação à reatância capacitiva, o fator de mérito do capacitor é diretamente proporcional. Mas, como a reatância capacitiva é inversamente proporcional à freqüência da corrente, o ***"Q" também é inversamente proporcional à freqüência da corrente:*** quanto mais alta a freqüência, menor o valor de "Q".

Você viu na lição nº 8 que a qualidade das bobinas também é indicada através de um fator de mérito. Como os capacitores apresentam resistências com valores bastante baixos, isso faz com que os capacitores apresentem um "Q" com valores mais altos que os apresentados pelas bobinas.

Exemplo

Determinar o fator de mérito de um capacitor que tem uma reatância capacitiva de 250Ω em uma dada freqüência, e uma resistência associada de 0,5Ω.

Solução

Para determinarmos o fator de mérito, basta aplicarmos a fórmula 9.27:

$$Q = \frac{X_C}{R} \Rightarrow Q = \frac{250\ \Omega}{0{,}5\Omega} \Rightarrow \underline{Q = 500}$$

18-Constante de tempo de circuitos capacitivos

Quando se aplica uma corrente contínua a um capacitor, este se carrega rapidamente, mas não instantaneamente. Existirá sempre um tempo definido para que o capacitor atinja plena carga, pois sempre haverá uma pequena resistência associada ao circuito.

Por isso, quando se falar no tempo necessário para carregar ou descarregar um capacitor, é mais interessante falar em intervalos de tempo equivalentes à ***constante de tempo.***

A constante de tempo é o tempo necessário para que um capacitor inicialmente descarregado atinja 63% da carga total. Também pode ser definido como o tempo necessário para que um capacitor plenamente carregado se descarregue até 37% da sua carga.

A constante de tempo, em segundos, pode ser calculada através da seguinte fórmula:

$$\tau = R \times C \qquad (9.28)$$

τ (letra grega; lê-se "táu") = constante de tempo, em segundos.
R = resistência série do circuito, em ohms.
C = capacitância do capacitor, em farads.

Os circuitos que apresentam resistores combinados com capacitores são chamados de circuitos RC.

Para que você possa compreender a influência da capacitância e da resistência sobre a constante de tempo, vamos analisar os circuitos que se seguem.

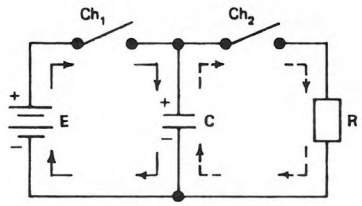


Fig. 17 – Circuito RC com constante de tempo pequena.

Quando a chave "Ch_1", da figura 17, for fechada, o capacitor "C" começa a se carregar e só pára quando atingir o mesmo potencial que a fonte "E". No momento em que a chave "Ch_1" for fechada, o capacitor se apresenta praticamente como um curto-circuito, pois só vai existir a ***resistência interna da bateria e a resistência associada ao capacitor,*** ambas de valor muito baixo. De modo que a corrente de carga, indicada pelas setas cheias, tem o valor muito elevado, e a ***constante de tempo é muito pequena.***

Uma vez que o capacitor esteja plenamente carregado, mesmo abrindo a chave "Ch_1", o potencial do capacitor permanecerá o mesmo, isto é, ***o potencial do capacitor será igual a "E"*** (potencial da bateria). Quando a chave "Ch_2" for fechada, o capacitor se descarregará através da resistência "R". O fluxo da corrente de descarga através de "R", mostrado pelas setas interrompidas, cai rapidamente no início.

A constante de tempo, isto é, o tempo necessário para que a carga do capacitor se reduza a 37% do valor de plena carga, pode ser determinado pela fórmula 9.28. Se a resistência for igual a 1 MΩ e a capacitância do capacitor for 1 μF a constante de tempo será determinada da seguinte forma:

$$\tau = R \times C$$

Mas, para aplicarmos esta fórmula, temos que converter as unidades da resistência e da capacitância para, respectivamente, ohms e farads.

$R = 1\ M\Omega = 1\,000\,000\,\Omega = 1 \times 10^{6}\,\Omega$
$C = 1\mu F = 0{,}000\,001\ F = 1 \times 10^{-6}\ F$

Substituindo estes valores na fórmula 9.28, teremos:

$$\tau = 1 \times 10^{6} \times 1 \times 10^{-6} \Rightarrow \tau = 1 \text{ segundo.}$$

Desse modo, se a ***bateria*** da figura 17 apresentar um potencial de ***100 volts,*** será necessário o tempo de ***1 segundo*** para que a tensão do ***capacitor*** (com plena carga) ***caia para 37 volts,*** durante a descarga.

Se um resistor for ligado em série com o capacitor, levará um tempo maior para que o capacitor seja carregado.

O circuito da figura 18 apresenta um resistor R_1 ligado em série com o capacitor C.

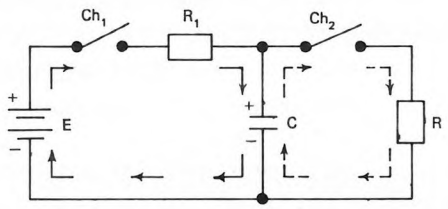


Fig. 18 — Circuito RC com constante de tempo grande.

Quando for fechada a chave "Ch_1" da figura 18, a corrente de carga, também indicada pelas setas cheias, será limitada pelo valor da resistência do circuito e pelo potencial da bateria. O tempo, em segundos, necessário para que o capacitor atinja 63% do potencial da bateria é igual ao produto da capacitância em farads pela resistência em ohms. Se C = 2 μF, R_1 = 1 MΩ e E = 100 v, serão necessários 2 segundos para o capacitor atingir 63 volts.

Logicamente, o tempo requerido para que o capacitor atinja a plena carga, isto é, potencial igual ao da bateria, será bem maior do que o da figura 17. A razão disso é a resistência R_1 ligada em série.

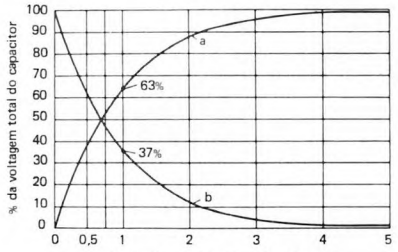
Quando a chave "Ch_1" estiver aberta e a chave "Ch_2" for fechada, o capacitor começará a se descarregar através da resistência R. A corrente de descarga está indicada pelas setas interrompidas.

Se a resistência "R" for igual a 10 MΩ, serão necessários 20 segundos para que a carga do capacitor caia para 37% do valor de plena carga.

A figura 19 apresenta as ***curvas de carga e descarga*** de um capacitor em função da constante de tempo.

A curva "a" mostra a porcentagem da carga total nas placas do capacitor, em função de intervalos de tempo iguais à constante de tempo, durante a carga.

A curva "b" mostra a porcentagem da carga total do capacitor em função da constante de tempo, durante a descarga.



(a) Curva de carga
(b) Curva de descarga

Fig. 19 — Curvas de carga e descarga de um capacitor em função da constante de tempo.

Exemplo 1

Para o esquema da figura 20, determinar: a) o tempo necessário para que o capacitor atinja 63% da tensão da bateria, considerando que durante a carga a resistência total do circuito é de 2Ω (incluindo a resistência interna da bateria e a resistência do capacitor); b) quanto tempo levará para que o capacitor se descarregue até 37% do potencial da bateria?

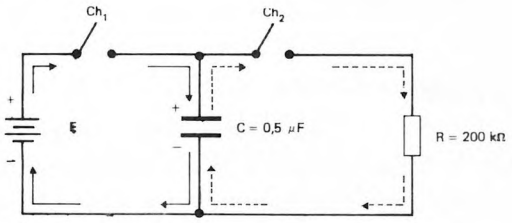


Fig. 20 — Circuito RC.

Solução

Inicialmente temos que fazer a conversão da unidade da capacitância para farad, através da fórmula 9.2:

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{microfarad}\end{matrix}\right) = 1\,000\,000 \times \left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{farad}\end{matrix}\right)$$

$$\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{farad}\end{matrix}\right) = \frac{\left(\begin{matrix}\text{valor em}\\ \text{microfarad}\end{matrix}\right)}{1\,000\,000} = \frac{0{,}5}{1\,000\,000} = 0{,}5 \times 10^{-6}$$

$\therefore\ 0{,}5\mu F = 0{,}5 \times 10^{-6}\ F$

a) O tempo necessário para que o capacitor atinja 63% da tensão da bateria, é determinado através da fórmula 9.28:

$$\tau = R \times C \Rightarrow \tau = 2 \times 0{,}5 \times 10^{-6}$$

$$\underline{\tau = 1 \times 10^{-6}\ \text{seg.}}$$

b) Depois de atingida a plena carga, para determinarmos quanto levará para que o capa-

Direitos reservados

citor se descarregue até 37% da bateria, é necessário transformarmos kΩ para Ω, ($1k\Omega = 1 \times 10^3\ \Omega$) para em seguida aplicarmos a fórmula 9.28:

$200k\Omega = 200 \times 10^3\ \Omega = 2 \times 10^5\ \Omega$

$$\tau = R \times C \Rightarrow \tau = 2 \times 10^5 \times 0{,}5 \times 10^{-6}$$

$$\tau = 1 \times 10^{-1}\ \text{seg ou } 0{,}1\ \text{seg.}$$

Exemplo 2

Para o circuito esquematizado na figura 21, determinar: a) o tempo que será necessário para que o capacitor se carregue até 63% da tensão da bateria; b) o tempo que será necessário para que o capacitor se descarregue até 37% da tensão da bateria.

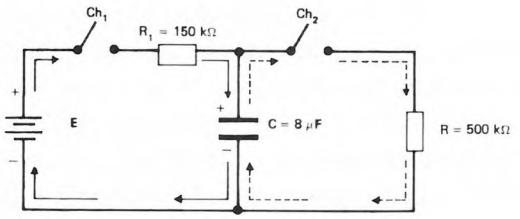


Fig. 21 – Circuito RC.

Solução

Observe que, neste caso, a resistência interna da bateria e a resistência do capacitor nem são mencionados, pois são totalmente desprezíveis diante de R_1 que vale 150 kΩ ou $150 \times 10^3\ \Omega$.

É necessário , também, fazer a transformação da unidade de capacitância para o farad, aplicando-se a fórmula 9.2. Fazendo-se a conversão verificaremos que 8 μF é igual a 8×10^{-6} F.

a) Para determinarmos o tempo que o capacitor levará para se carregar até 63% da tensão da bateria, basta aplicarmos a fórmula 9.28:

$$\tau = R_1 \times C \Rightarrow \tau = 150 \times 10^3 \times 8 \times 10^{-6}$$

$$\tau = 1{,}2\ \text{seg}$$

b) Para determinarmos o tempo necessário para que o capacitor se descarregue até 37% da tensão da bateria, é só aplicar a fórmula 9.28. Mas, antes é preciso converter a unidade da resistência: $500\ k\Omega = 500 \times 10^3\ \Omega$.

$$\tau = R \times C \Rightarrow \tau = 500 \times 10^3 \times 8 \times 10^{-6}$$

$$\tau = 4\ \text{seg}$$

19-Tipos de capacitores

Existem muitos tipos de capacitores. Porém, os capacitores podem ser classificados em dois grandes grupos: ***capacitores fixos e capacitores variáveis.***

Os capacitores fixos, como o próprio nome indica, ***são aqueles que apresentam uma capacitância invariável.***

Os capacitores fixos são usados para filtros, acoplamentos e desacoplamentos.

Capacitores variáveis são aqueles que permitem um ajuste no valor da capacitância.

Estes capacitores que permitem um ajuste na capacitância são usados para ajustar a freqüência de ressonância de circuitos ressonantes, que você estudará em outra lição.

20-Capacitores fixos

As aplicações dos capacitores fixos são tais que requerem baixas perdas e alto valor da constante dielétrica. Muitas vezes precisam também apresentar alta rigidez dielétrica.

Os capacitores fixos com dielétrico de ar, apesar de baixíssima perda, são pouco usados devido à sua baixa capacitância.

Os capacitores fixos preferidos são aqueles que apresentam dielétrico sólido. Esta preferência pelos capacitores de dielétricos sólidos se deve ao desempenho geral que eles apresentam, considerando as seguintes características: valor da capacitância, custo de fabricação, tamanho físico, tensão de trabalho e características de temperatura.

Os capacitores fixos com dielétrico sólido, são classificados de acordo com o material empregado como dielétrico. Assim, são encontrados os capacitores de mica, teflon, papel, poliester, polistirol, policarbonato, cerâmica, eletrolítico, etc.

Nos capítulos que se seguem, você verá as características e as aplicações de vários tipos de capacitores fixos.

Direitos reservados

21-Capacitores de mica

Mica é o nome que recebe um grupo de minerais, que são constituídos quimicamente por silicatos de alumínio e de outros metais.

A mica, devido às suas características como isolante, é empregada como dielétrico em capacitores. As ***vantagens*** que a mica apresenta são: ***alta rigidez dielétrica, perdas muito baixas*** e ***boa constância da capacitância com a variação da temperatura.*** Entretanto, sua ***constante dielétrica*** é relativamente ***baixa.***

Uma outra ***desvantagem*** apresentada pela mica é o seu ***alto custo,*** pois exige folhas de mica de alta qualidade e com espessuras ajustadas dentro de tolerâncias muito restritas.

Os capacitores que são construídos utilizando a mica como dielétrico, apresentam capacitâncias que variam desde alguns ***picofarads*** até alguns ***nanofarads.*** Os capacitores de mica podem ser utilizados em circuitos que apresentam tensão de alguns ***quilovolts.***

Antigamente, quando se construía um capacitor utilizando a mica como dielétrico, fazia-se uma combinação das folhas de mica com folhas de metal. As folhas de mica eram intercaladas com folhas de metal, formando uma espécie de "sanduíche com muitas camadas", que depois era totalmente coberto com uma resina fenólica.

Atualmente, com o objetivo de diminuir o tamanho dos capacitores de mica, em vez de se colocar folhas de metal, faz-se a ***deposição do metal na própria folha de mica,*** através de um processo chamado ***metalização.***

Devido ao alto custo apresentado pelos capacitores de mica, sua aplicação se restringe aos circuitos de alta potência de geradores de RF ou de transmissores, em freqüências de até centenas de MHz.

A figura 22 mostra alguns tipos de capacitores de mica.

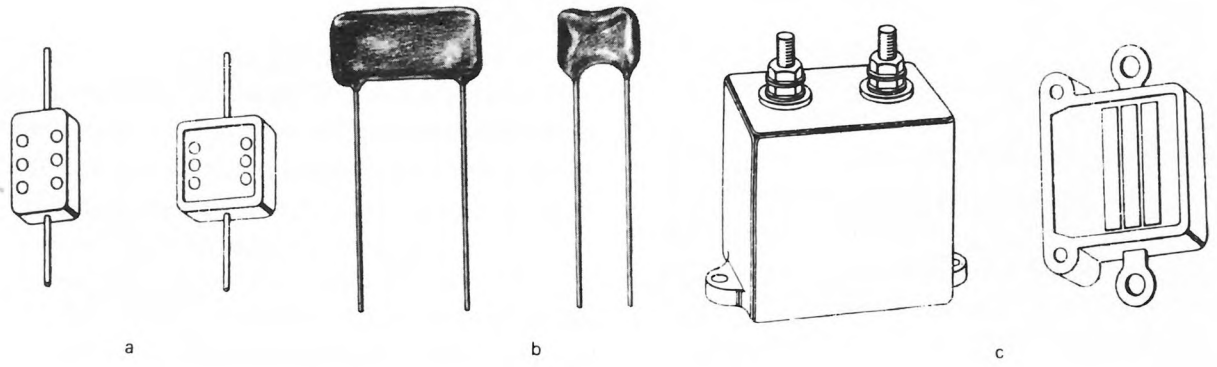


Fig. 22 — Capacitores de mica.

a) capacitor de mica prateada, moldada com resina.
b) capacitor de mica para aplicação na faixa de VHF.
c) capacitor de mica empregado nos circuitos de transmissão.

22- Capacitores eletrolíticos

O uso de finíssimas ***camadas de óxido*** como ***dielétrico*** é a maneira mais econômica de se conseguir ***capacitores de pequeno tamanho*** e que apresentam ***elevadas capacitâncias.*** É o princípio de funcionamento dos chamados ***capacitores eletrolíticos.***

A construção dos capacitores eletrolíticos é feita da seguinte maneira: inicialmente dissolve-se um eletrólito, isto é, uma substância química constituída de íons, em um solvente (água, por exemplo), dando origem a uma solução eletrolítica. Esta solução eletrolítica, pelo fato de apresentar íons (partículas carregadas elétricamente), apresenta a propriedade de conduzir a eletricidade. A solução eletrolítica é embebida num papel, e este papel é colocado entre duas folhas metálicas como alumínio ou tântalo. Quando estas folhas metálicas são submetidas a uma diferença de potencial contínua, o eletrólito ataca a folha que apresenta potencial positivo, produzindo através da ação química, uma fina camada de óxido. A espessura que a camada de óxido irá apresentar, depende da diferença de potencial aplicada entre as folhas metálicas.

O óxido assim formado funciona como dielétrico do capacitor. Observe que o eletrólito não faz parte do dielétrico, pois é condutor de eletricidade.

A figura 23 mostra a disposição das placas metálicas, o papel com o eletrólito e a camada de óxido que se forma na superfície da placa positiva.

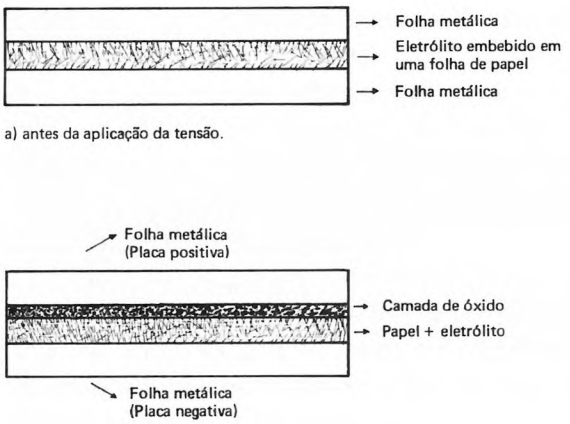


Fig. 23 — Constituição de um capacitor eletrolítico.

Para acomodar em espaços pequenos, este "sanduíche" é enrolado, feito um "rocambole", colocado dentro de uma latinha e selado com uma tampa de vedação.

23-Polaridade de capacitores eletrolíticos

Os capacitores eletrolíticos são polarizados, isto é, a polaridade dos eletrodos não deve ser invertida. Usualmente, a polaridade é indicada pelos sinais + e —.

A placa positiva (+), aquela que foi ligada ao potencial positivo quando da formação do capacitor, deve ser mantida sempre a um potencial mais alto que a placa negativa (—).

Os símbolos utilizados para a representação dos capacitores eletrolíticos são mostrados na figura 24.

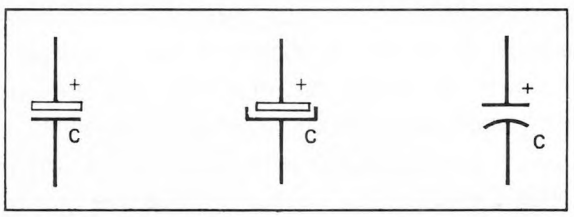


Fig. 24 — Símbolos para capacitores eletrolíticos polarizados. Observe o sinal + identificando o terminal positivo.

Quando o capacitor eletrolítico é ligado de maneira apropriada, flue uma pequena ***corrente de fuga*** através do dielétrico e do eletrólito, devido às imperfeições no dielétrico.

Entretanto, se o capacitor eletrolítico for colocado no circuito de modo invertido, a camada de óxido não age como dielétrico e pode resultar uma ***corrente destrutiva*** através do capacitor. Esta corrente destrutiva será limitada apenas pela resistência apresentada pela solução do eletrólito. Uma corrente destrutiva elevada produzirá um aquecimento e expansão dos gases que se formam internamente no capacitor. Conseqüentemente, haverá explosão e destruição do capacitor. Se o capacitor for grande, sua explosão poderá causar danos ao circuito ou até ao aparelho todo.

Em geral, os capacitores eletrolíticos polarizados são usados em ***circuitos de corrente contínua ou pulsada,*** como nos filtros de circuitos de retificação, onde a placa (+) possa ficar ***sempre mais positiva que a placa (—).***

Existem, contudo, capacitores eletrolíticos especiais para aplicação em ***circuitos de corrente alternada.*** Estes capacitores apresentam duas placas positivas em vez de uma só, e são chamados de ***não-polarizados.***

Quando os capacitores eletrolíticos comuns, do tipo polarizado, precisarem ser utilizados em circuitos de corrente alternada, eles devem ser usados aos pares, conforme está ilustrado nas figuras 25 e 26.

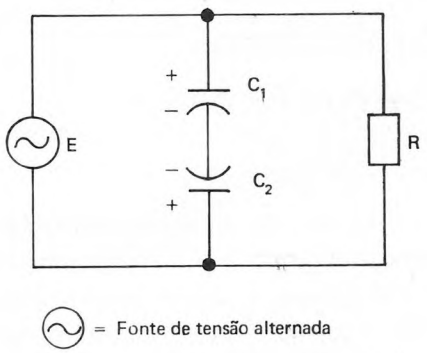


Fig. 25 — Par de capacitores eletrolíticos polarizados, ligados em paralelo com o resistor e a fonte.

Os dois capacitores C_1 e C_2 representados na figura 25, estão ligados em série entre si, e em paralelo com o resistor R e a fonte de corrente alternada E.

Para serem usados em circuitos de corrente alternada, os capacitores eletrolíticos polarizados têm que ser usados aos pares, de modo que o polo negativo de um capacitor fique ligado ao polo negativo do outro capacitor. Os terminais positivos dos dois capacitores são ligados ao circuito. Também se pode interligar os terminais positivos e ligar os terminais negativos ao circuito.

Observe na figura 26 um par de capacitores eletrolíticos polarizados, ligados em série entre a fonte de tensão alternada e o resistor.

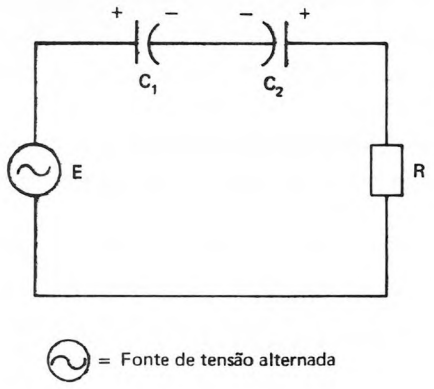


Fig. 26 – Par de capacitores polarizados ligados em série com a fonte e o resistor.

24-Funcionamento de capacitores eletrolíticos

Para que seja assegurado uma longa vida útil, os capacitores eletrolíticos apresentam dois limites de tensão. Um desses limites é a máxima tensão de trabalho e o outro é a máxima tensão instantânea.

O limite para a máxima tensão de trabalho pode ser ultrapassado ocasionalmente. Por outro lado, a máxima tensão instantânea não pode ser ultrapassada, mesmo que seja por um período muito pequeno.

Quando houver a sobreposição de uma tensão contínua com uma tensão alternada, ***a soma da tensão contínua e do valor de pico da tensão alternada deve ficar abaixo da máxima tensão de trabalho.***

Deve-se assegurar que o polo negativo seja sempre negativo. Isto é importante também, quando houver a sobreposição de tensão contínua e tensão alternada. Deve-se cuidar que a tensão contínua seja maior que o valor de pico da tensão alternada, pois caso contrário, nos picos negativos da tensão alternada a polarização do capacitor pode ficar invertida, e isso pode ocasionar a destruição do capacitor.

A resistência de um capacitor eletrolítico é relativamente alta, principalmente para altas freqüências. Por isso, em muitos casos, é necessário colocar um capacitor cerâmico em paralelo com o capacitor eletrolítico. Este arranjo está ilustrado na figura 27.

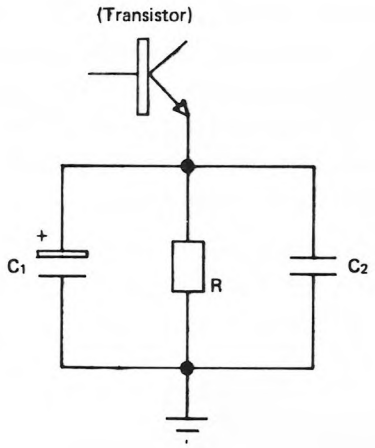


Fig. 27 – Capacitores eletrolíticos e cerâmicos ligados em paralelo para assegurar um bom desempenho tanto em freqüências altas como baixas.

O capacitor eletrolítico, indicado na figura por C_1, funciona para as baixas freqüências, enquanto que o capacitor cerâmico, indicado na figura por C_2, funciona nas freqüências altas.

Direitos reservados

25-Características de capacitância e de isolação dos capacitores eletrolíticos

Uma das indústrias que produzem capacitores de diversos tipos para a venda no mercado , é a "Constanta" — uma divisão da Ibrape Eletrônica Ltda.

Um dos capacitores eletrolíticos produzidos pela Constanta saem da fábrica com a seguinte denominação: ***capacitores eletrolíticos unilaterais high-CV miniatura.*** Estes capacitores, são principalmente utilizados para filtragem, acoplamento e desacoplamento em circuitos eletrônicos, tais como os de televisão, áudio, temporizadores, etc.

Estes tipos de capacitores têm como eletrodos folhas de alumínio, enroladas com um papel poroso que separa o polo positivo do polo negativo. O papel poroso é impregnado com um eletrólito, que faz o contato elétrico entre o dielétrico do capacitor e a folha de alumínio que funciona como polo negativo do capacitor. As folhas de alumínio enroladas juntamente com as folhas de papel que contém o eletrólito, são colocadas dentro de uma caneca de alumínio, e esta caneca é externamente isolada por uma capa plástica. Estes capacitores são disponíveis em 3 estilos: terminais longos, terminais curtos e retos e terminais curtos e dobrados.

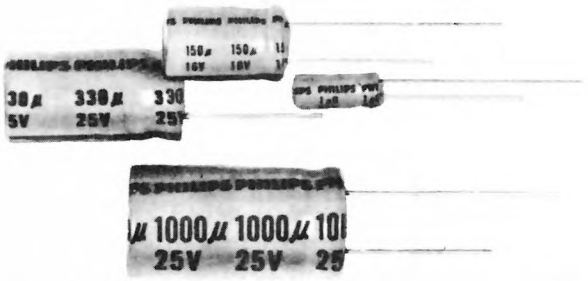


Fig. 28 — Capacitores eletrolíticos da Constanta.

Os capacitores eletrolíticos unilaterais high-cv miniatura apresentam as seguintes características técnicas:

TABELA II

Dados técnicos resumidos

Faixa de valores de capacitância	0,22 a 4700µF
Tolerância da capacitância nominal	±20%
Faixa de valores de tensão nominal (E_N)	6,3 a 100 v
Faixa de temperatura	−40 a +85°C
Teste de durabilidade	1000 horas a 85°C

A Constanta coloca à venda no mercado uma grande variedade de tipos de capacitores eletrolíticos unilaterais Hi-CV. A tabela III apresenta os valores da ***capacitância nominal (µF)*** na primeira coluna à esquerda: valores da ***tensão nominal (volts)*** na primeira linha horizontal; e no miolo da tabela os ***códigos dos tamanhos das canecas*** que servem como invólucro dos respectivos capacitores.

TABELA III

Valores de capacitância e tensão nominais

C_N (µF)	Tensão nominal (E_N) em volts				
	6,3	10	50	63	100
0,22 0,33				11 11	11
1,0 10			11	11 12	11 13
100 150	12	12	15 16	16 17	18 18
1000 2200	16 18	17	20		
3300 4700	19 20				

Os capacitores são marcados com: capacitância nominal, tensão de trabalho, símbolo que identifica o terminal negativo, nome do fabricante, data de fabricação (ano e mês), número do grupo (035) e letra código do fabricante.

A figura 29 apresenta o desenho esquemático dos 3 estilos de capacitores fabricados pela Constanta, com a indicação das suas especificações mecânicas. A tabela IV apresenta os valores das dimensões e da massa para diversos tipos de canecas.

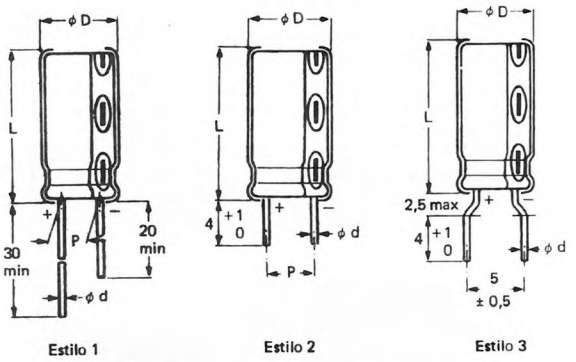


Fig. 29 — Desenho esquemático dos 3 estilos de capacitores eletrolíticos fabricados pela Constanta.

TABELA IV

Dimensões e massa dos capacitores eletrolíticos da Constanta

Caneca	Dimensões (mm)				Massa
	$D_{(máx.)}$	$L_{(máx.)}$	d	P±0,5	(g)
11	5,5	12,0	0,5	2,0	0,4
12	6,5	12,0	0,6	2,5	0,6
13	8,5	12,5	0,6	3,5	1,1
14	10,5	12,5	0,6	5,0	1,6
15	10,5	17,0	0,6	5,0	1,9
16	10,5	21,0	0,6	5,0	2,2
17	13,0	21,0	0,6	5,0	4,0
18	13,0	26,0	0,6	5,0	5,0
19	16,5	26,0	0,8	7,5	8,0
20	16,5	32,0	0,8	7,5	9,0

Os capacitores eletrolíticos fabricados pela Constanta, podem ser utilizados até determinados valores de tensão. A ***tensão de trabalho,*** ou seja, a máxima tensão permitida, depende da temperatura. Para temperaturas menores de 40°C, a máxima tensão permitida é até 1,15 vezes a tensão nominal. Em temperaturas entre 40°C e 85°C, a tensão não pode superar o valor da tensão nominal.

A ***tensão de ondulação,*** ou seja, a máxima tensão C.A. permitida deve satisfazer as seguintes condições: 1°) máxima tensão (C.C. + C.A. de pico): menor ou igual a 1,15 vezes a tensão nominal para temperaturas menores de 40°C, e menor ou igual à tensão nominal para temperaturas entre 40° e 85°C; 2°) máxima tensão C.A. de pico com tensão aplicada: menor ou igual a tensão C.C. aplicada + 2 volts; 3°) máxima tensão C.A. de pico sem tensão C.C. aplicada: 2 volts.

Com relação à ***sobretensão,*** ou seja, a máxima tensão permitida para curtos períodos, não pode exceder a 1,2 vezes a tensão nominal do capacitor.

A tabela V apresenta os valores da máxima corrente de ondulação (mA), máxima corrente de fuga (μA) e a máxima impedância para correntes com freqüência de 1 kHz e 10 kHz, para alguns tipos de capacitores eletrolíticos.

TABELA V

Valores máximos de corrente de ondulação, corrente de fuga e impedância.

E_N v	C_N μF	Máxima corrente de ondulação mA	Máxima corrente de fuga a E_N após 1 minuto μA	Máxima impedância (Ω) a T = 20°C	
				1 kHz	10 kHz
6,3	150	260	22		1,33
6,3	1000	530	129		0,20
6,3	2200	800	280	0,16	
6,3	3300	850	419	0,11	
6,3	4700	960	595	0,07	1,60
10	100	160	23		0,16
10	1000	580	203		6,00
50	10	60	13		0,60
50	100	320	103		0,40
50	150	410	153		0,06
50	1000	1100	1003		250
63	0,22	6	3		167
63	0,33	7	3		55,0
63	1,0	12	4		5,50
63	10	70	16		0,55
63	100	360	129		0,37
63	150	480	192		205
100	0,22	10	3		45,0
100	1,0	15	5		4,50
100	10	80	23		0,45
100	100	440	203		0,30
100	150	630	303		

Estes capacitores podem ser carregados por uma fonte com resistência interna desprezível e podem ser descarregados por curto-circuitos. Se os capacitores são carregados e descarregados continuamente várias vezes por minuto, a corrente de carga e descarga deve ser considerada como corrente de ondulação passando pelo capacitor. O valor eficaz desta corrente deve ser determinado e o valor encontrado não pode exceder o limite de aplicação.

26-Capacitores de poliester metalizado

Os *capacitores de poliester metalizado* consistem de células com enrolamentos não indutivos de filmes de poliester metalizado. A célula é protegida por uma cobertura que evita a penetração de umidade e é resistente a solventes. A configuração dos terminais permite a remoção de fluxos de solda na limpeza das placas de fiação impressa, posicionamento mais constante, além de excelente condição de soldagem.

Estes capacitores destinam-se ao acoplamento e desacoplamento de circuitos eletrônicos em geral, especialmente em placas de circuito impresso, onde seu tamanho reduzido e terminais radiais permitem montagens compactas.

Os capacitores de poliester metalizado fabricados pela Constanta, apresentam características técnicas sintetizadas na Tabela VI.

TABELA VI

Dados técnicos resumidos

Faixa de valores de capacitância (série E12)	0,001 a 6,8μF
Tolerância da capacitância nominal	±10%
Tensões nominais E_N (c.c.)	100v, 250v, 400v, 630v
Tensões nominais E_N (c.a.), 50 a 60 Hz	63v, 160v, 220v, 220v
Temperatura nominal	85°C

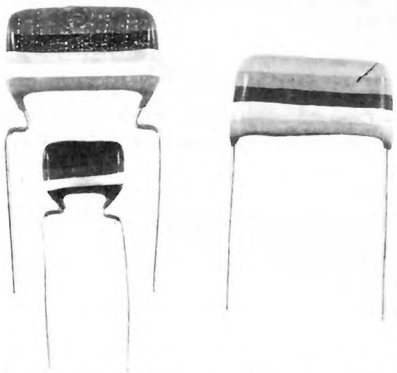


Fig. 30 — Capacitores de poliester metalizado fabricados pela Constanta.

Os capacitores de poliester metalizado fabricados pela Constanta, apresentam faixas pintadas em torno de seu corpo. Estas faixas, que são em número de 5, têm a função de informar o valor da capacitância em picofarad (pF), a tolerância permitida pelo fabricante, e o valor da tensão nominal do capacitor.

A primeira faixa, de cima para baixo, informa o valor do primeiro algarismo significativo da capacitância; a 2a. faixa informa o valor do segundo algarismo significativo; a 3a. faixa informa o número de zeros que acompanham os dois algarismos significativos. Desse modo, as 3 primeiras faixas, lidas de cima para baixo, informam o valor da capacitância. A 4a. faixa indica a tolerância e a 5a. faixa indica a tensão nominal do capacitor.

A figura 31 apresenta o desenho da vista frontal e lateral de um capacitor de poliester metalizado, e o "Código de Cores" que permite determinar a capacitância e a tensão do capacitor.

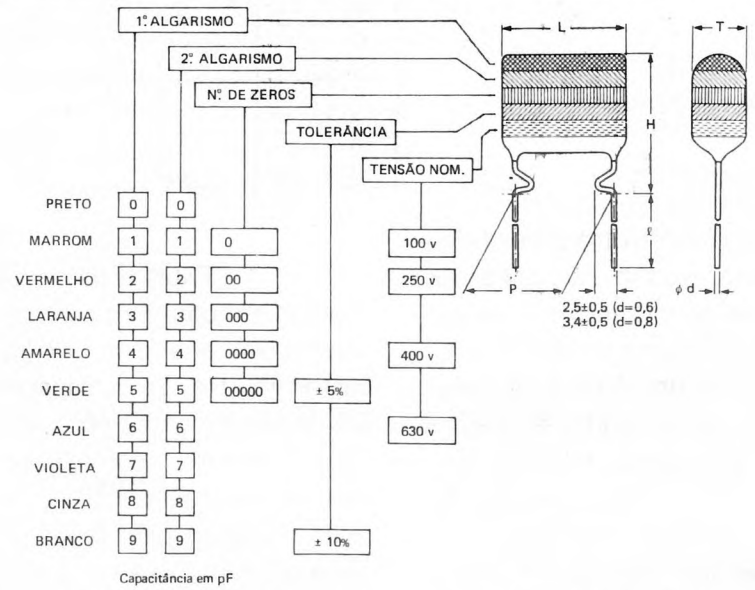


Fig. 31 — Código de Cores para os capacitores de poliester metalizado.

Exemplo

Determinar o valor da capacitância, em pF, da tolerância e da voltagem de um capacitor de poliester metalizado, que tenha o seu corpo pintado com as seguintes faixas: marrom, preto, laranja, branco e vermelho.

Solução

Para determinarmos o valor da capacitância, da tolerância e da voltagem, basta fazer a correspondência entre as 5 cores apresentadas pelo capacitor e o "Código de Cores" descrito na figura 31.

	Cor	*Valor*
1a. faixa: 1º algarismo significativo	marrom	1
2a. faixa: 2º algarismo significativo	preto	0
3a. faixa: Número de zeros	laranja	000
4a. faixa: Tolerância	branco	±10%
5a. faixa: Tensão nominal	vermelho	250 v

Logo, este é um capacitor que apresenta uma capacitância de 10 000 pF, uma tolerância de ±10%, e uma tensão nominal de 250 volts. Então, este é um capacitor 10 000 pF ±10%, 250 v.

Em seguida apresentamos algumas tabelas com as dimensões dos capacitores de poliester metalizado, para diversos valores de tensão e capacitância. As dimensões são relativas às indicadas na figura 31.

TABELA VII

Dimensões e capacitância para tensões nominais de 100 v (C.C.) e 63 v (C.A.)

C (μF)	Dimensões (mm)					
	L max	T max	H max	ℓ (min.)	P (±0,3)	d
0,047	12,5	4,5	12,5	13	10,16	0,6
0,10	12,5	4,5	12,5	13	10,16	0,6
0,47	17,5	6,5	15,5	13	15,24	0,8
1,0	22,5	7	16	21	20,32	0,8
1,5	22,5	8,5	17,5	21	20,32	0,8
6,8	30	14	26	19	27,94	0,8

TABELA VIII

Dimensões e capacitâncias para tensões nominais de 250 v (C.C.) e 160 v (C.A.)

C (μF)	Dimensões (mm)					
	L max.	T max.	H max.	ℓ min.	P (±0,3)	d
0,010	12,5	4,5	12	13	10,16	0,6
0,047	12,5	4,5	12	13	10,16	0,6
0,10	12,5	5	13	13	10,16	0,6
0,47	22,5	7,5	16,5	21	20,32	0,8
1,0	22,5	10,5	18,5	21	20,32	0,8
1,5	30	9,5	21,5	19	27,94	0,8
2,2	30	11,5	23,5	19	27,94	0,8

TABELA IX

Dimensões e capacitâncias para tensões nominais de 400 v (C.C.) e 220 v (C.A.)

C (μF)	Dimensões (mm)					
	L máx.	T máx.	H máx.	ℓ min.	P (±0,3)	d
0,010	12,5	4,5	12,5	13	10,16	0,6
0,047	12,5	6,5	14,5	13	10,16	0,6
0,10	17,5	7	16	13	15,24	0,8
0,47	30	9,5	18,5	19	27,94	0,8
0,68	30	10	22	19	27,94	0,8
1,0	30	12	24	19	27,94	0,8

TABELA X

Dimensões e capacitâncias para tensões nominais de 630 v (C.C.) e 220 v (C.A.)

C (μF)	Dimensões (mm)					
	L máx.	T máx.	H máx.	ℓ min.	P (±0,3)	d
0,0010	12,5	4,5	13	13	10,16	0,6
0,0015	12,5	4,5	13	13	10,16	0,6
0,010	12,5	4,5	12,5	13	10,16	0,6
0,047	17,5	7	16	13	15,24	0,8
0,10	22,5	7,5	16,5	21	20,32	0,8
0,47	30	12	27	19	27,94	0,8

O aumento da freqüência provoca uma diminuição na capacitância do capacitor. Por exemplo: se um capacitor apresenta uma capacitância "C" na freqüência de 1 kHz, este mesmo capacitor apresentará uma capacitância 0,2% menor (–0,2%), na freqüência de 2 kHz. A figura 32 apresenta as ***variações porcentuais das capacitâncias*** para diversos valores de ***freqüência,*** tomando-se como referencial a capacitância medida na freqüência de 1 kHz.

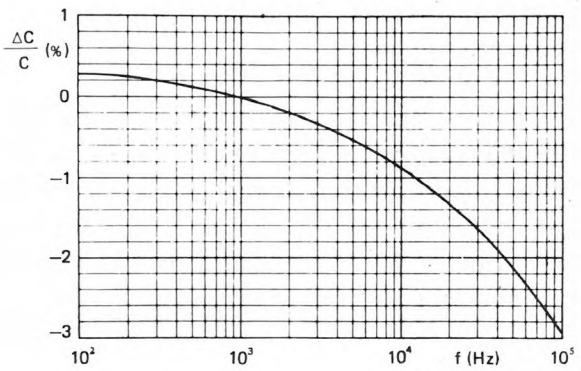
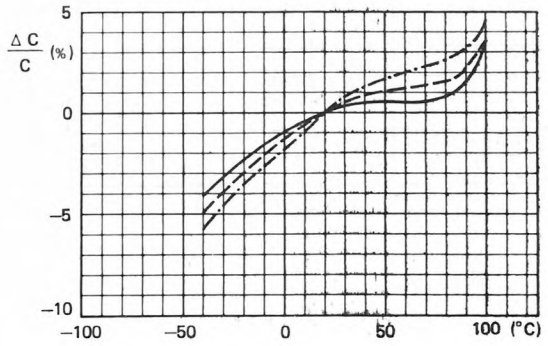


Fig. 32 – Gráfico normalizado da variação da capacitância em função da freqüência, para capacitores de poliester metalizado.

Direitos reservados

A figura 33 apresenta a ***variação da capacitância*** para os capacitores de poliester metalizado, em função da ***temperatura.*** A capacitância tomada como referencial é aquela medida na temperatura de 20°C.



——— p/ todas as capacitâncias; medido a 1 kHz, 1 v
— — — p/ valores de capacitância ≤ 1μF, medida a 10 kHz, 1 v
—·—·— p/ valores de capacitância ≥ 0,1μF, medido a 100 kHz, 0,3 v

Fig. 33 — Capacitância em função da temperatura, para capacitores de poliester metalizado.

27-Capacitores de poliester não metalizado

Os ***capacitores de poliester não metalizado*** consistem de um enrolamento de baixa indutância de folhas de alumínio com filmes de poliester, formando uma célula que é protegida por uma cobertura rígida que evita a penetração de água e resiste à solventes, e apresenta propriedades auto-apagantes. Dizer que um capacitor apresenta propriedades auto-apagantes, significa que ele não alimenta a chama, isto é, que queima quando colocado com um material combustível, mas que não queima sozinho.

Estes capacitores são amplamente utilizados em aplicações industriais, de entretenimento e profissionais, especialmente em circuitos onde ocorrem altas correntes e/ou pulsos, São apropriados para operações em circuitos de corrente contínua e corrente alternada.

Os capacitores de poliester não metalizado fabricados pela Constanta, apresentam características técnicas apresentadas na tabela XI.

TABELA XI

Dados técnicos resumidos

Faixa de valores de capacitância (série E12)	0,001 a 1μF
Tolerância da capacitância nominal	±10%
Tensão nominal E_N (c.c.)	100v, 250v, 400v, 630v
Tensão nominal E_N (c.a.)	50v, 80v, 125v, 200v
Temperatura nominal	85°C

A figura 34 apresenta um esquema com a indicação das dimensões de um capacitor de poliester não metalizado.

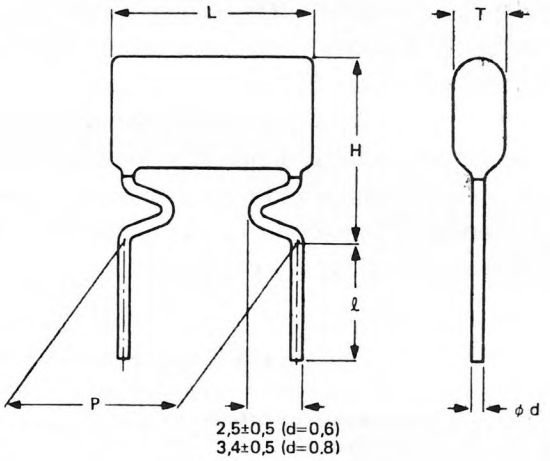


Fig. 34 — Esquema das dimensões de um capacitor de poliester não metalizado.

A seguir apresentamos algumas tabelas com as dimensões dos capacitores de poliester não metalizado, para diversos valores de tensão e capacitância. As dimensões são relativas às indicadas na figura 34.

TABELA XII

Dimensões e capacitâncias para tensões nominais de 100 v (C.C.) e 50 v (C.A.)

C (μF)	Dimensões (mm)					
	L máx.	T máx.	H máx.	P (±0,3)	ℓ (±4)	d
0,015	13,5	4,5	9,5	10,16	24	0,6
0,047	13,5	7	12	10,16	24	0,6
0,10	19	7	13	15,24	25	0,8
0,47	27	10,5	19	22,86	22	0,8
1,0	32	13,5	22,5	27,94	22	0,8

Direitos reservados

TABELA XIII

Dimensões e capacitâncias para tensões nominais de 250 v (C.C.) e 80 v (C.A.)

C (μF)	Dimensões (mm)					
	L max.	T max.	H max.	P (±0,3)	ℓ (±4)	d
0,010	13,5	5	10	10,16	24	0,6
0,047	19	6,5	12,5	15,24	25	0,8
0,10	27	6,5	14,5	22,86	22	0,8
0,47	32	12	21	27,94	22	0,8
0,68	32	15	24	27,94	22	0,8

TABELA XIV

Dimensões e capacitâncias para tensões nominais de 400 v (C.C.) e 125 v (C.A.)

C (μF)	Dimensões (mm)					
	L max.	T max.	H max.	P (±0,3)	ℓ (±4)	d
0,0047	13,5	4,5	9,5	10,16	24	0,6
0,0068	13,5	5,5	10,5	10,16	24	0,6
0,010	13,5	6	11	10,16	24	0,6
0,047	19	8	14	15,24	25	0,8
0,10	27	8,5	17	22,86	22	0,8
0,33	32	13,5	22,5	27,94	22	0,8

TABELA XV

Dimensões e capacitâncias para tensões nominais de 630 v (C.C.) e 200 v (C.A.)

C (μF)	Dimensões (mm)					
	L max.	T max.	H max.	P (±0,3)	ℓ (±4)	d
0,0010	13,5	5,5	10,5	10,16	24	0,6
0,0047	13,5	6	11	10,16	24	0,6
0,010	19	6	12	15,24	24	0,8
0,047	27	8,5	17,5	22,86	25	0,8
0,10	32	11	20	27,94	22	0,8
0,15	32	13,5	22	27,94	22	0,8

A figura 35 apresenta o gráfico das ***variações porcentuais da capacitância*** para diversos valores de ***freqüência.*** As tensões de medição foram: 1 volt para freqüência de 100 Hz a 10 kHz, e 0,3 volt para a freqüência de 10 Hz a 100 kHz.

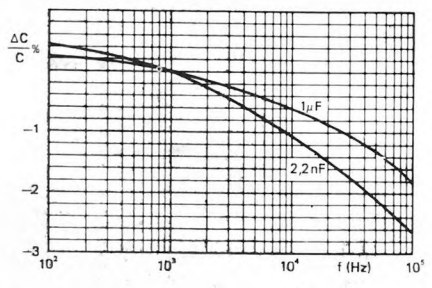


Fig. 35 — Capacitância de capacitores de poliester não metalizado, em função da freqüência.

A figura 36 apresenta a ***variação da capacitância em termos porcentuais,*** para os capacitores de poliester não metalizado, em função da ***temperatura.*** A capacitância tomada como referencial foi aquela medida na temperatura de 30°C. As freqüências utilizadas para as medições foram as seguintes: 1 a 100 kHz para capacitores de 0,0022 a 0,1μF, e de 1 a 10 kHz para os capacitores de 0,1 a 1μF.

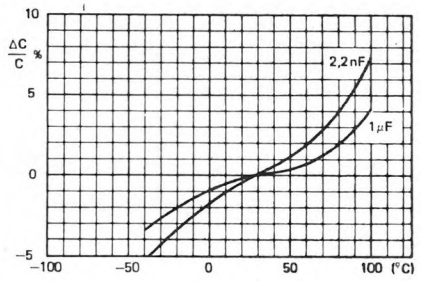


Fig. 36 — Variação da capacitância em função da temperatura, para os capacitores de poliester não metalizado.

28-Capacitores de filme de poliestireno

Os capacitores de filme de poliestireno fabricados pela TRW Malbras S.A., da série 611, são confeccionados com máquinas totalmente automáticas e encapsulados com plásticos termocontráteis. Apresentam baixo custo, alto valor de Q (fator de mérito), tolerância pequena e coeficiente de temperatura definido. Podem ser aplicados tanto em circuitos de RF como em circuitos digitais.

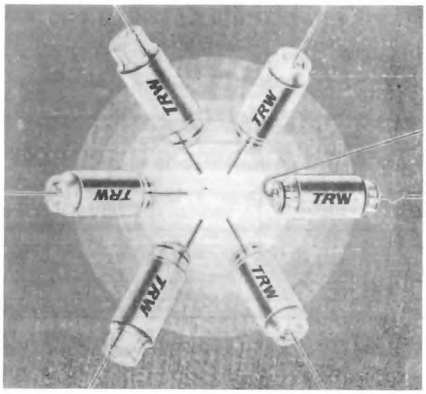


Fig. 37 — Capacitores de filme de poliestireno, fabricados pela TRW.

Direitos reservados

Os capacitores de filme de poliestireno da TRW apresentam capacitâncias na faixa de 20 pF a 100 nF. Com relação à tolerância, os capacitores podem apresentar os seguintes valores: ±2,5%, ±5%, ±10% e ±20%. Para capacitâncias abaixo de 40 pF, a tolerância mínima é de ±1 pF.

Estes capacitores podem trabalhar em qualquer temperatura compreendida entre –40°C e +70°C.

A tensão que pode ser aplicada aos capacitores de filme de poliestireno são as seguintes, 33, 63, 160, 250 e 630 volts, na temperatura de 40°C. Se o capacitor estiver trabalhando na temperatura de 70°C, estes valores devem ser reduzidos para 80%.

A figura 38 apresenta o desenho de um capacitor de filme de poliestireno, com as dimensões indicadas.

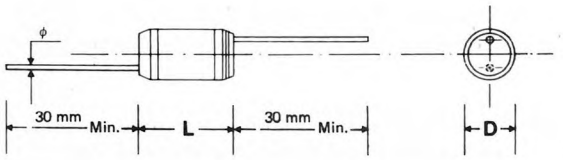


Fig. 38 – Desenho de um capacitor de filme de poliestireno, com a indicação das dimensões.

A tabela XVI apresenta os valores das dimensões dos capacitores de filme de poliestireno fabricados pela TRW.

TABELA XVI

Dimensões dos capacitores de filme de Poliestireno

Tamanho	L. Máx.	D máx.					ϕ ±5%
		33 VCC	63 VCC	160 VCC	250 VCC	630 VCC	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
611.1	8	4,5	4,8	6,0	6,0	–	0,3
611.2	12	6,7	8,5	7,7	7,7	7,0	0,4
611.3	17	12,0	8,6	9,5	9,5	10,2	0,5
611.4	22	18,0	11,0	12,0	12,2	15,0	0,5
611.5	32	–	–	13,5	14,0	18,0	0,5

Os valores das capacitâncias, em pF, que os capacitores de filme de poliestireno apresentam, estão indicados na tabela XVII.

TABELA XVII

Faixa de capacitâncias em pF

Tamanho	33 VCC	63 VCC	160 VCC	250 VCC	630 VCC
611.1	100 - 1000	82 - 820	20 - 620	20 - 470	–
611.2	1050 - 5100	866 - 5100	649 - 2000	510 - 1500	20 - 510
611.3	5110 - 30000	5110 - 10000	2050 - 5100	1540 - 3600	511 - 3000
611.4	30100 - 100000	10500 - 24900	5110 - 15000	3650 - 11000	3010 - 10000
611.5	– –	– –	15400 - 26100	11500 - 19600	10500 - 24900

Estes capacitores apresentam, ao menos, as seguintes informações: capacitância em pF, código de tolerância, código de tensão nominal e indicação do terminal externo. As tabelas XVIII e XIX apresentam os códigos de tolerâncias e da tensão nominal.

TABELA XVIII

Código de tolerância

Tolerância	Letra código
±1,0%	F
±2,5%	H
± 5%	J
± 10%	K
± 20%	M

TABELA XIX

Código da tensão nominal

Tensão nominal	Cor código	Letra código
33	azul	C
63	amarelo	E
160	vermelho	H
250/400	verde	M
630	preto	P

29-Capacitores cerâmicos

A Ibrape Eletrônica Ltda. fabrica 3 séries de capacitores cerâmicos: série 632, 629 e 630. Esta divisão em séries compreende determinadas faixas de capacitâncias em picofarads.

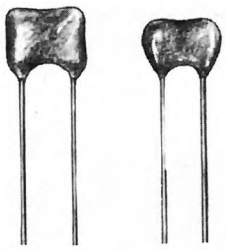


Fig. 39 – Capacitores cerâmicos fabricados pela Ibrape.

Os *capacitores cerâmicos da série 632* destinam-se à compensação térmica em circuitos sintonizados e filtros, assim como ao acoplamento e desacoplamento em circuitos de alta freqüência, onde se exigem baixas perdas e bom desempenho em correntes contínuas.

Estes capacitores da série 632 apresentam o corpo na cor cinza e uma faixa colorida pintada na parte superior. Esta faixa colorida permite fazer a identificação do coeficiente de temperatura do capacitor.

Os valores da capacitância para os capacitores da série 632, vão desde 0,56 pF até 560 pF. Para os capacitores que apresentam capacitâncias de 0,56 pF até 8,2 pF a tolerância é de ±0,25 pF, enquanto que os capacitores que apresentam capacitâncias compreendidas entre 10 pF até 560 pF, a tolerância é de ±2%.

A tabela XX apresenta algumas especificações elétricas dos capacitores da série 632.

TABELA XX

Especificações elétricas da série 632

Tensão de trabalho	100v
Temperatura de trabalho	–55 a +85°C
Tensão de teste (1 min., C.C.)	300v
Resistência de isolação (a uma tensão C.C. de 100v, após 1 min.)	>10GΩ

Os ***capacitores cerâmicos da série 630*** apresentam o corpo na cor ocre e apresentam uma faixa amarela pintada na parte superior, o que permite a sua imediata identificação.

Os capacitores desta série são aplicáveis no acoplamento e desacoplamento em circuitos eletrônicos, onde são admissíveis variações não-lineares de capacitância com a temperatura, e onde não são exigidas baixas perdas.

A tabela XXI apresenta algumas especificações elétricas dos capacitores da série 630.

TABELA XXI

Especificações elétricas da série 630

Tensão de trabalho	100v
Temperatura de trabalho	–55 a +85°C
Tensão de teste (1 min., C.C.)	300v
Resistência de isolação (a uma tensão C.C. de 100v, após 1 min.)	>1 GΩ
Variação da capacitância com a tensão, entre 0 e 40v	(max) –5%

Os capacitores cerâmicos fabricados pela Ibrape apresentam as dimensões mostradas na figura 40. Os capacitores dessa figura estão em seu tamanho natural.

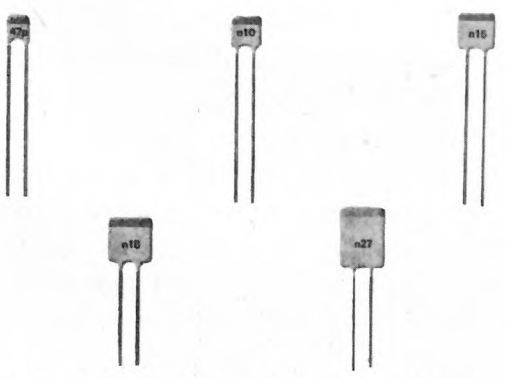


Fig. 40 — Capacitores cerâmicos em tamanho natural.

Alguns dos capacitores da série 630 apresentam as características indicadas na tabela XXII.

TABELA XXII

Capacitores da série 630, com tensões nominais de 100 volts

C (pF)	Tolerância	Dimensões
180	±10%	I
470	±10%	I
1000	±10%	II
1500	±10%	II
2200	±10%	III
4700	±10%	IV

Os ***capacitores cerâmicos da série 629*** são aplicáveis no acoplamento e desacoplamento em circuitos eletrônicos, onde são admissíveis variações não-lineares da capacitância com a temperatura, e onde não são exigidas baixas perdas. Estes capacitores, bem como os das séries anteriores, por apresentarem reduzidas dimensões e pelo pequeno espaçamento entre seus terminais, são adequados para as montagens extremamente compactas.

Estes capacitores cerâmicos da série 629 são facilmente identificáveis, pois apresentam o corpo na cor ocre, com uma faixa verde pintada na parte superior.

A tabela XXIII apresenta algumas especificações elétricas dos capacitores desta série.

TABELA XXIII

Especificações elétricas da série 629

Tensão de trabalho a 55°C	63v
Temperatura de trabalho	–10 a +55°C
Tensão de teste (1 min., C.C.)	200v
Resistência de isolação (a uma tensão C.C. de 10v, após 1 min.)	>1GΩ
Temperatura de armazenamento	–40 a +85°C

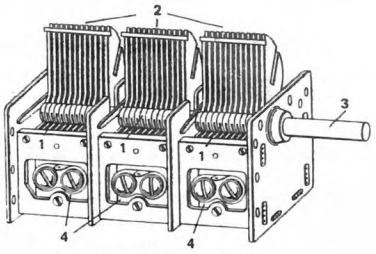
Os valores da capacitância, tolerância e dimensões dos capacitores da série 629, estão indicados na tabela XXIV.

Direitos reservados

TABELA XXIV

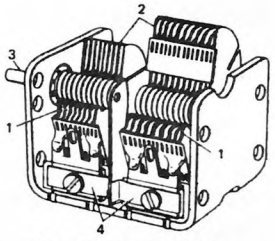
Capacitores da série 629, com tensões nominais de 63 volts

C (pF)	Tolerância	Dimensões
1000	±20%	I
2200	±20%	I
4700	±20%	I
10000	±20%	II
22000	±20%	IV



a) Capacitor variável de 3 seções.

1 – placas do estator
2 – placas do rotor
3 – eixo do sistema
4 – capacitor de ajuste (trimmers).



b) Capacitor variável de 2 seções.

Fig. 41 – Tipos comuns de capacitor variável.

30-Capacitores variáveis

Os capacitores variáveis são constituídos de dois jogos de lâminas metálicas fixadas paralelamente de modo que uma lâmina de um conjunto sempre fique no meio de duas lâminas de outro conjunto.

Um dos conjuntos de lâminas é fixo e isolado da estrutura do capacitor.

O conjunto de lâminas fixas e isoladas da estrutura do capacitor é chamado de ***estator.***

O outro conjunto de lâminas que ficam fixadas num eixo é o ***rotor.*** As lâminas do rotor podem penetrar mais ou menos entre as lâminas do estator.

O ***dielétrico*** dos capacitores variáveis é o ***ar*** ou folhas de ***poliestireno.***

A figura 41 apresenta dois tipos de capacitores de capacitância variável.

Os capacitores variáveis mostrados na figura 41 são os tipos mais comuns.

Na figura 41 (a) aparece um capacitor variável de 3 seções. Este tipo de capacitor foi inicialmente desenvolvido para receptores de RF sintonizado, um receptor que existiu antes da invenção dos conversores de freqüência e dos amplificadores FI. Posteriormente, foi usado em receptores sofisticados, com alta sensibilidade, como os receptores de automóveis.

O capacitor mostrado na figura 41 (b) é de 2 seções: uma para a antena e uma para o oscilador de receptores super-heterodinos.

A capacitância destes tipos de capacitores é variada pela penetração maior ou menor das lâminas do rotor entre as lâminas do estator. Naturalmente, a máxima capacitância é atingida quando as lâminas móveis estiverem totalmente entre as lâminas do estator. Por outro lado, a capacitância é mínima quando as lâminas do rotor estiverem fora das lâminas do estator.

Direitos reservados

Lembre-se que ***a capacitância de um capacitor é proporcional à área das placas.*** Então, quando as lâminas do rotor estão fora, a área comum é mínima, daí ser mínima a capacitância. Quando as lâminas do rotor estão totalmente dentro das do estator, a área comum atinge o máximo, sendo, portanto, máxima a capacitância.

No caso de seções diferentes, como as do capacitor variável mostrado na figura 41 (b), a seção que tiver maior número de placas ou placas com áreas maiores, tem também uma capacitância maior. Os conjuntos de lâminas das diversas seções estão fixadas num único eixo, de modo que este eixo comanda simultaneamente a variação de todas as seções.

31-Capacitores de ajuste

Os capacitores de ajuste são também capacitores variáveis, mas com capacitâncias pequenas. Eles são utilizados para fazer ajustes ou calibrações de sintonia.

Antigamente existia dois tipos: um chamado ***"padder"***, com capacitâncias de 50 a 200 pF, e o outro, chamado ***"trimmer"***, com capacitâncias abaixo de 50 pF. Atualmente só se utiliza os "trimmers".

Os "trimmers" funcionam basicamente de dois modos: ***área ajustável***, como nos capacitores variáveis, ou ***distância ajustável.***

A classificação mais usual, entretanto, é feita baseada no material de que é feito o dielétrico ou no formato que o "trimmer" apresenta. Desse modo, existem os "trimmers" de mica, de cerâmica, de ar e de formato tubular, entre outros.

O ***"trimmer" de mica*** funciona por compressão, isto é, a capacitância é variada pelo maior ou menor afastamento entre as placas. Uma das placas é fixa e isolada, enquanto que a outra é móvel, e tem o efeito de mola. O ajuste é feito por meio de um parafuso. O dielétrico é parte mica e parte ar.

A máxima capacitância dos "trimmers" de mica é atingida quando o parafuso estiver bem apertado, tornando mínima a distância entre as placas. Estes capacitores de ajuste podem vir montados na própria estrutura do capacitor variável.

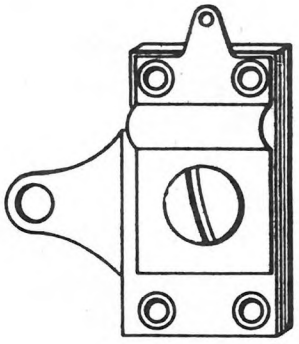


Fig. 42 – Trimmer de mica.

O ***capacitor ajustável de cerâmica*** tem o dielétrico de cerâmica e as placas são constituídas de uma camada de prata depositada sobre as partes de cerâmica.

O ajuste da capacitância é feito variando a área em que as placas ficam face a face. A máxima capacitância é atingida quando uma placa estiver totalmente de frente com a outra.

Este tipo de capacitor tem a possibilidade de apresentar vários valores de coeficientes de temperatura, conforme o tipo de cerâmica utilizado.

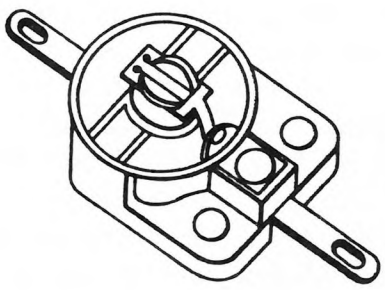


Fig. 43 – Trimmer de cerâmica.

O ***capacitor de ajuste tubular*** também tem o dielétrico de cerâmica.

Uma das placas, o estator, é constituído de uma camada de prata depositada sobre a cerâmica, mas o rotor é constituído pela superfície do próprio parafuso.

Direitos reservados

Como o dielétrico é cerâmico, o trimmer tubular pode apresentar diversos coeficientes de temperaturas.



Fig. 44 – Trimmer tubular.

O *capacitor de ajuste de ar* é, em geral, uma miniatura do capacitor variável.

Da mesma forma que o capacitor variável, o capacitor de ajuste pode ter o dielétrico totalmente constituído de ar ou parte com filme de poliester ou policarbonato. Como os de mica, também podem ser montados na própria estrutura do capacitor variável.

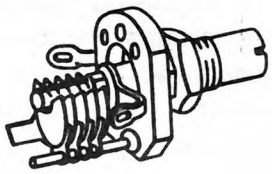


Fig. 45 – Trimmer com dielétrico de ar.

A maneira de ajustar os capacitores de ajuste depende de tipo para tipo. Alguns, como os de mica e o tubular, têm sentido certo para aumentar a capacitância (no sentido de apertar o parafuso), e um sentido contrário para diminuir a capacitância (no sentido de soltar o parafuso). Outros, como os de cerâmica e os de ar, toda a variação é conseguida com apenas meia-volta do rotor. Além disso, este não tem parada, de modo que girando sempre no mesmo sentido, a capacitância pode aumentar ou diminuir dependendo das posições relativas entre as placas.

Exame

CAPACITÂNCIA E CAPACITORES
REATÂNCIA CAPACITIVA
Referência 020

Observações Para o Aluno

- Antes de responder as questões você deverá ter feito um estudo minucioso e completo desta lição.
- Agora, leia cada questão até compreender bem o que se pede.
- Cada questão apresenta várias soluções. Apenas uma solução é correta.
- Em cada questão indique a solução que você julgar correta e, a seguir, transcreva, com atenção, as suas respostas para a Folha de Respostas, anexa.

1. Um capacitor é formado quando:
   a) se coloca uma folha de alumínio em cada uma das faces de uma placa de vidro.
   b) se estica um condutor entre dois postes.
   c) dois condutores se cruzam, estabelecendo um contato elétrico.
   d) se coloca uma folha de prata em cada uma das faces de uma placa de cobre.

2. Quando se remove a fonte de f.e.m., as cargas das placas de um capacitor:
   a) permanecem indefinidamente.
   b) desaparecem logo.
   c) desaparecem imediatamente.
   d) se neutralizam entre si.

3. Num capacitor carregado, no espaço ocupado pelo dielétrico:
   a) existem cargas elétricas em movimento.
   b) forma-se um campo elétrico.
   c) existem cargas elétricas se neutralizando.
   d) existem elétrons livres bombardeando átomos.

4. No dielétrico de um capacitor carregado aparece:
   a) corrente de excitação.
   b) corrente de condução.
   c) corrente de elétrons.
   d) corrente de deslocamento.

5. A tensão de um capacitor carregado equivale à:
   a) pressão de gás dentro de uma bola elástica.
   b) pressão atmosférica.
   c) pressão de gás dentro de um botijão de aço.
   d) nenhuma das pressões acima referidas.

6. A capacitância aumenta com:
   a) aumento da tensão do capacitor.
   b) quando se carrega mais rápido.
   c) diminuição da distância entre as placas.
   d) troca do dielétrico.

7. A capacitância depende também do:
   a) tamanho das placas e da permissividade do dielétrico.
   b) material das placas e da constante dielétrica.
   c) tamanho das placas e da tensão do capacitor.
   d) formato das placas e da corrente de carga.

8. Quando se troca o dielétrico de um capacitor de ar por mica, a capacitância:
   a) diminui.
   b) aumenta.
   c) permanece inalterada.
   d) não altera, mas aumenta a tensão.

Direitos reservados

9. Ligando-se dois capacitores em paralelo:
   a) a capacitância total dobra.
   b) a capacitância total cai para a metade.
   c) a capacitância total diminui.
   d) a capacitância total aumenta.

10. Quando se liga dois capacitores iguais em série:
   a) a capacitância total dobra.
   b) a capacitância total cai para a metade.
   c) a capacitância total cai para um quarto.
   d) a capacitância total quadruplica.

11. Quando se liga dois capacitores em série:
   a) os dois se carregam simultaneamente, com a mesma corrente.
   b) um se carrega primeiro e depois o outro.
   c) nenhum se carrega.
   d) os dois se carregam juntos, mas com correntes diferentes.

12. A reatância capacitiva é medida em:
   a) microfarads.
   b) volts.
   c) ampères.
   d) ohms.

13. Para corrente contínua, a reatância capacitiva é:
   a) nula.
   b) infinita.
   c) igual à da corrente alternada.
   d) nenhuma das anteriores.

14. Em corrente alternada, a reatância capacitiva é:
   a) independente da freqüência.
   b) proporcional à corrente.
   c) proporcional à freqüência.
   d) inversamente proporcional à freqüência.

15. Num circuito RC a fase da corrente está:
   a) atrasada em relação à tensão aplicada.
   b) adiantada em relação à tensão aplicada.
   c) adiantada em relação à reatância.
   d) depende somente do valor de C.

16. A impedância de um circuito com R = 1 kΩ e C = 1 μF, na freqüência de 1 kHz é:
   a) 159,2 Ω.
   b) 1 012,6 Ω.
   c) 25 344 Ω.
   d) 987,2 Ω.

17. Os capacitores eletrolíticos precisam:
   a) trabalhar sempre em série.
   b) ser ligados em paralelo com outro de papel.
   c) obedecer a polaridade e a tensão de trabalho.
   d) ser montados de modo a não derramar o eletrólito.

18. Aumentando-se a capacitância num circuito RC:
   a) a constante de tempo diminui.
   b) a constante de tempo aumenta.
   c) não influi na constante de tempo.
   d) nenhuma das anteriores.

Direitos reservados