



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE SANTA
CATARINA
GERÊNCIA EDUCACIONAL DE ELETRÔNICA**



**PROF. FERNANDO LUIZ ROSA MUSSOI
PROF. MARCO VALÉRIO MIORIM VILLAÇA**

TERCEIRA EDIÇÃO
FLORIANÓPOLIS – OUTUBRO, 2000.

Índice

FUNDAMENTOS DOS CAPACITORES	4
O CAPACITOR DE PLACAS PARALELAS	5
O CARREGAMENTO DE UM CAPACITOR.....	6
PERMISSIVIDADE ELÉTRICA E CONSTANTE DIELETRICA	7
COMPORTAMENTO DOS CAPACITORES EM CIRCUITOS CC	11
CARGA DO CAPACITOR:	11
DESCARGA DO CAPACITOR.....	12
USO DO CAPACITOR COMO FILTRO.....	14
ASSOCIAÇÃO DE CAPACITORES:.....	15
ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE:	15
ASSOCIAÇÃO EM PARALELO:.....	16
ASSOCIAÇÃO MISTA:	17
EXERCÍCIOS	17
PRINCIPAIS PARÂMETROS DOS CAPACITORES:	18
TIPOS DE CAPACITORES:	19
CAPACITORES DE DISCO CERÂMICO:	19
<i>Características dos Capacitores Cerâmicos:</i>	20
<i>Identificação da Capacitância Nominal do Capacitor Cerâmico:</i>	20
<i>Identificação da Tolerância:</i>	20
<i>Identificação quanto as características de temperatura:</i>	21
<i>Identificação da tensão nominal:</i>	22
CAPACITORES CERÂMICOS "PLATE":	22
CAPACITORES CERÂMICOS MULTICAMADAS:.....	23
CAPACITORES DE FILME PLÁSTICO:.....	23
<i>Tipo Não Metalizado:</i>	24
<i>Tipo Metalizado:</i>	24
<i>Identificação dos Capacitores de Filme Plástico:</i>	25
CAPACITORES ELETROLÍTICOS DE ALUMÍNIO:	26
<i>Capacitores Eletrolíticos Polarizados e Não-Polarizados (bipolares):</i>	28
<i>Identificação dos Capacitores Eletrolíticos:</i>	28
CAPACITORES ELETROLÍTICOS DE TÂNTALO:.....	29
<i>Identificação dos Capacitores de Tântalo:</i>	29
CAPACITORES VARIÁVEIS:	29
<i>Trimmers:</i>	30
OUTROS TIPOS DE CAPACITORES:	31
<i>Schiko:</i>	31
<i>Nugget:</i>	31
EXERCÍCIOS	31
ANEXO I.....	34
ENTENDENDO O CAPACITOR ATRAVÉS DE UMA ANALOGIA HIDRÁULICA	34
ANEXO II.....	36
GUIA DE APLICAÇÕES PARA CAPACITORES	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	38

Fundamentos dos Capacitores

Um capacitor (ou condensador) é um dispositivo eletro-eletrônico que serve para armazenar energia elétrica no campo elétrico existente no seu interior.

Para entendermos o seu funcionamento, vamos inicialmente considerar um corpo carregado ou um gerador de cargas elétricas conectado a uma esfera condutora de raio R , imersos num meio cuja constante eletrostática é k , conforme indica a figura 1.

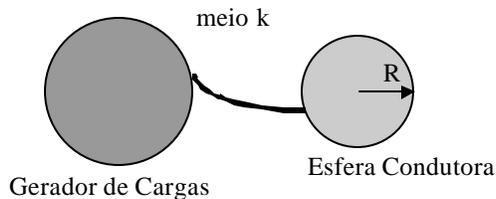


Figura 1 - Carregamento (eletrização) de uma esfera condutora por contato com um gerador de cargas

Através de um condutor, a esfera será eletrizada (carregada) por contato, com uma quantidade de carga Q .

Sabemos, do estudo da Eletrostática que, o potencial elétrico formado na superfície de uma esfera condutora carregada é dado pela equação:

$$V = \frac{k \cdot Q}{R}$$

Onde: V = potencial elétrico na superfície da esfera, em Volts (V)

Q = quantidade de carga, em Coulombs (C)

R = raio da esfera, em Metros (m)

k = constante eletrostática do meio ($9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$, para o vácuo)

Operando esta equação obtemos:

$$\frac{Q}{V} = \frac{R}{k}$$

Se aumentarmos a quantidade de carga Q na esfera, verificamos que o potencial elétrico V aumenta na mesma proporção, o que nos fornece a seguinte relação matemática:

$$\frac{Q_1}{V_1} = \frac{Q_2}{V_2} = \dots = \frac{Q_n}{V_n} = \frac{R}{k} = \text{cte} = C$$

Esta constante C , que depende do raio da esfera e do meio ou da quantidade de carga Q e do potencial elétrico V , é chamada Capacitância.

A Capacitância expressa a habilidade de um dispositivo armazenar cargas elétricas.

Assim,

$$C = \frac{R}{k}$$

Ou então:

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

A unidade de capacitância é o **Farad (F)**, dado pela relação Coulomb por Volt. Dizemos, então, que um dispositivo tem a capacitância de 1 Farad quando uma carga de 1 Coulomb armazenada fizer estabelecer um potencial elétrico de 1 Volt.

As sub-unidades mais usuais são o microfarad (μF), o nanofarad (nF) e o picofarad (pF), pois o Farad é uma unidade muito grande. Por que?

Exemplo:

Calcule o raio necessário para que uma esfera condutora apresente uma capacitância de 1F, no vácuo.

Sabemos que $C = \frac{R}{k}$, então:

$$R = C \cdot k = 1 \cdot 9 \cdot 10^9 = 9 \cdot 10^9 \text{ m}$$

Então, para uma esfera condutora possuir uma Capacitância de 1F, no vácuo, deverá ter um raio de 9.000.000.000m, ou um diâmetro de 18 bilhões de metros, maior que o Sol.

Podemos perceber que a unidade Farad é muito grande e que capacitores esféricos não são eficientes.

O Capacitor de Placas Paralelas

O Capacitor de Placas Paralelas é composto por duas placas condutoras paralelas ou eletrodos (também chamadas de Armaduras) separadas por um material dielétrico de espessura uniforme. As placas condutoras podem ser de qualquer material bom condutor de eletricidade. É comum o uso do alumínio e do cobre. O dielétrico deve ser um material mau condutor (um isolante). É comum o uso de materiais plásticos e cerâmicos e de óxidos isolantes.

O capacitor elementar (básico) de placas planas e paralelas e sua simbologia, usada nos diagramas de circuitos eletrônicos, são mostrados na figura 2.

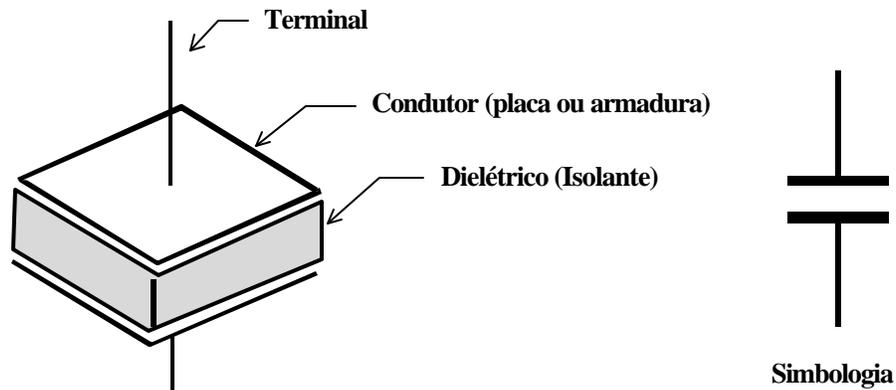


Figura 2 - Capacitor de Placas Paralelas: elementos construtivos e simbologia

O Carregamento de um Capacitor

O que acontece no interior do capacitor? Como ele se carrega?

Consideremos a figura 3, onde um capacitor está conectado a uma fonte de corrente contínua. De acordo com a Teoria Atômica já estudada, sabemos que os materiais são compostos de átomos cuja estrutura é semelhante ao Sistema Solar (núcleo e órbitas).

Sabemos que os materiais isolantes são compostos por átomos com elétrons intimamente ligados ao núcleo, razão pela qual não facilitam o deslocamento de elétrons (corrente elétrica).

Também sabemos que a estrutura dos metais é característica porque os seus átomos têm elétrons que saem facilmente de suas órbitas e se convertem em elétrons-livres.

. O pólo positivo da bateria atrai os elétrons de uma placa deixando-a mais positiva (perdeu elétrons). Esta placa, por sua vez, atrai os elétrons do pólo negativo da bateria para a outra placa, deixando-a mais negativa (recebe elétrons). Desta forma estabelece-se um fluxo de elétrons (corrente elétrica) no circuito, apesar de **não haver a passagem de cargas elétricas através do dielétrico do capacitor**. As duas placas ficam carregadas com iguais quantidades de carga, porém de sinais contrários. A figura 4 indica esta situação.

Este processo continua até que o capacitor esteja plenamente carregado, quando então o fluxo de elétrons se interrompe.

Quando carregado por uma bateria, um eletrodo (placa condutora metálica) do capacitor torna-se positivamente carregado e o outro torna-se negativamente carregado através da **repulsão eletrostática**

Como as duas placas estão carregadas com cargas de sinais diferentes, surge um Campo Elétrico Uniforme orientado da placa positiva para a placa negativa, como indica a figura 4.

Como cargas elétricas imersas num campo elétrico possuem potencial elétrico, a diferença de potencial entre as placas estabelece uma tensão elétrica do capacitor carregado. É por esta razão que dizemos que o capacitor armazena energia no seu campo elétrico.

O Capacitor armazena energia no campo elétrico porque este forma um bipolo elétrico que estabelece uma diferença de potencial (tensão) entre as placas carregadas.

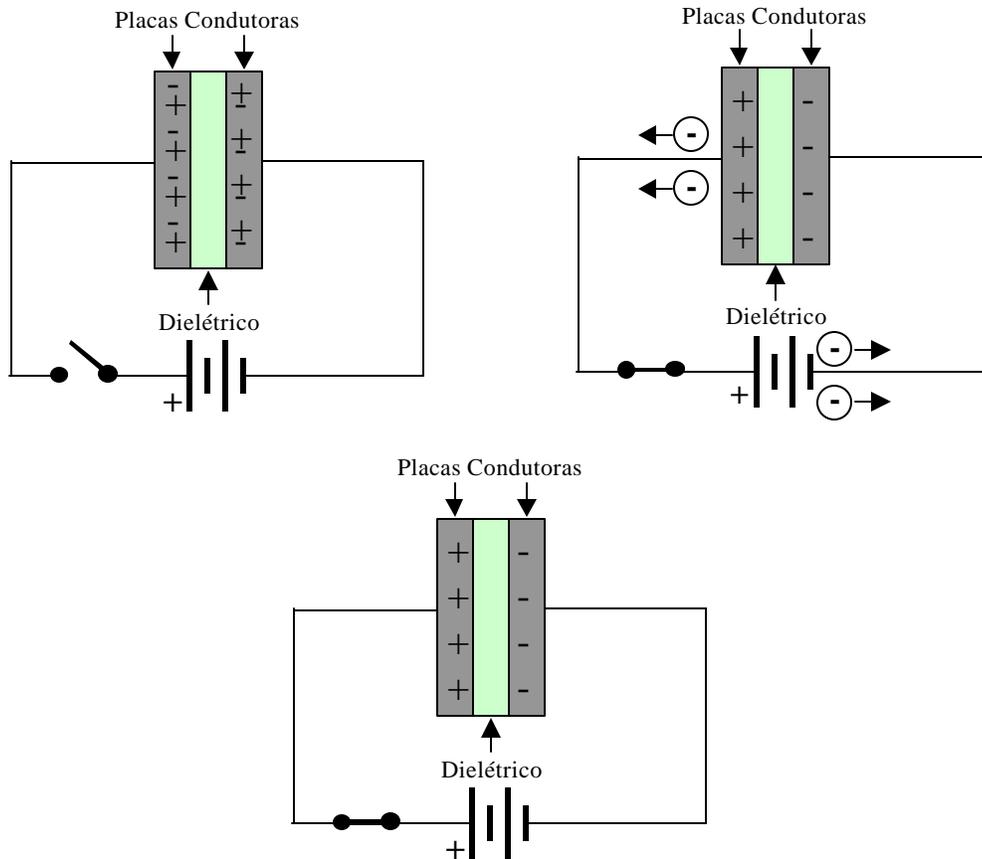


Figura 3 - Um capacitor sendo carregado

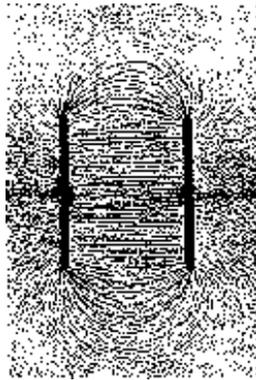


Figura 4 – Campo elétrico uniforme existente no interior de um capacitor

Permissividade Elétrica e Constante Dielétrica

Quando o desenho do capacitor é aumentado, percebemos que a presença das cargas elétricas armazenadas nas placas induz (eletrização por indução) cargas no dielétrico causando a sua polarização, como indica a figura 5. Estas cargas induzidas e a conseqüente polarização do dielétrico determinam a chamada Permissividade Elétrica ϵ' . Cada material

dielétrico tem seu próprio valor de Permissividade, que nos dá uma noção da sua capacidade de se polarizar.

Uma medida mais prática e mais conhecida é a chamada Permissividade Relativa ou Constante Dielétrica, K . “ K ” é a relação entre a permissividade do dielétrico do material em uso e a permissividade do vácuo. Portanto, todos os valores de Constante Dielétrica (ou Permissividade Relativa) são relacionados à permissividade do vácuo.

Permissividade Elétrica é a capacidade de um material dielétrico polarizar-se quando sob a ação de um Campo Elétrico.

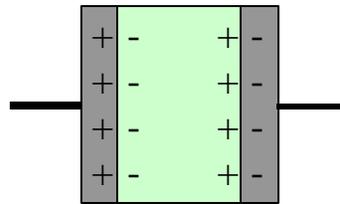


Figura 5 - Cargas elétricas nas placas de um capacitor polarizando o seu dielétrico

No vácuo, $K=1$, enquanto “ K ” em outros materiais tem algum valor sempre maior que 1. Quanto maior o valor de “ K ”, mais capacitância pode ser obtida, se todos os outros parâmetros do capacitor forem mantidos iguais. A Tabela 1 apresenta valores para a Constante Dielétrica K de vários materiais.

Observações:

- A Constante Dielétrica K (maiúsculo), a Permissividade Elétrica ϵ_0 e a Constante Eletrostática k (minúsculo) são valores relacionados entre si pelas equações:

$$\epsilon_{\text{material}} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot k_{\text{material}}} \quad \text{e} \quad K_{\text{material}} = \frac{\epsilon_{\text{material}}}{\epsilon_{\text{vácuo}}}$$

onde $\epsilon_{\text{vácuo}} = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m

- Como K é um valor relativo, é **adimensional**.

TABELA I- CONSTANTE DIELÉTRICA (K) PARA DIVERSOS MATERIAIS

Material	Constante Dielétrica K	K Usual
Vácuo	1	1
Ar	1,0001	1
Água	78,0	78
Óxido de Alumínio	7 a 8	
Cerâmica	≥ 10	
Vidro	4 a 10	8
Vidro Pyrex	4,5	4,5
Mica	6 a 8	6
Papel	2 a 5	3,5
Pertinax	5	5
Policarbonato (MKC ou MAC)	3	3
Poliéster (MKT)	3,0 a 3,2	
Polipropileno (MKP)	2,1 a 2,3	
Poliestireno (MKS)	2,5	2,5
Porcelana	4 a 8	6,5
Óxido de Tântalo	11	11
Teflon	2,0 a 2,1	
Baquelite	4,8	4,8

Fontes: referências 11 e 16

Podemos, então, relacionar as grandezas que influem na capacitância de um capacitor:

- Quanto maior a **área das placas** do capacitor, maior quantidade de elétrons-livres podemos obter para serem deslocados para o positivo da bateria, como vimos na figura 3. Portanto, mais carga será armazenada e será a capacitância.
- Quanto maior a **distância entre as placas**, maior será a camada dielétrica, menor será a influência de uma placa sobre a outra, menor a quantidade de carga armazenada e portanto, menor a capacitância.
- Quanto maior a constante dielétrica, mais polarizável é o dielétrico e, portanto, mais carga será possível armazenar nas placas até que se estabeleça o equilíbrio de tensões entre a fonte e o capacitor.

Assim, a capacitância de um capacitor depende diretamente da área das placas e do tipo de material dielétrico usado (constante dielétrica K) e inversamente da distância entre as placas.

A expressão da capacitância é dada em função dos parâmetros indicados na figura 6. Nota-se a presença da constante $8,85 \times 10^{-12}$ (a permissividade do vácuo).

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d} \quad \text{ou,}$$

$$C = (8,85 \times 10^{-12}) \cdot K \cdot \frac{A}{d}$$

onde:

C – Capacitância, em Farad (F)

K – Constante Dielétrica, adimensional

A – Área das Placas, em metros quadrados (m²)

D – Distância entre as placas, em metros (m)

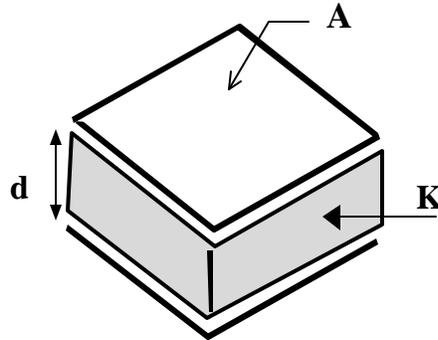


Figura 6 - A Equação do Capacitor em função das características construtivas

A única dificuldade no uso desta última equação é manter a coerência das unidades. Capacitância é dada em Farads (F), a área A é dada em metros quadrados (m²) e a distância entre as placas é dada em metros (m). “K” é uma taxa e um número puro (sem dimensões). Algumas vezes, constantes diferentes são usadas na equação. Isto acontece quando outras unidades além de Farads e metros são usadas. Microfarads e polegadas podem ser usadas, por exemplo, desde que as constantes sejam adequadas.

Exemplo:

Para se ter uma idéia do quê é a unidade Farad, calcule a área que seria necessária para as placas de um capacitor para ter 1 Farad de capacitância, operando no vácuo, com espaçamento entre as placas de 1,0mm.

Primeiro, isole a variável de área A na equação e coloque os valores conhecidos:

$$C = (8,85 \times 10^{-12}) \cdot K \cdot \frac{A}{d} \quad \text{ou} \quad A = \frac{C \cdot d}{(8,85 \times 10^{-12}) \cdot K}$$

dados: K = 1 (vácuo)
C = 1 F
d = 1,0mm (=0,001m)

$$A = \frac{1 \cdot 0,001}{(8,85 \times 10^{-12}) \cdot 1} = 113.000.000 m^2$$

O resultado obtido é de 113 milhões de metros quadrados!

É fácil perceber, então, porque não é freqüente encontrarmos capacitores de 1F, fabricados com vácuo como isolante e com 1,0mm de distanciamento entre as placas. Capacitores a vácuo são fabricados apenas para uso em laboratórios de padrões de medidas.

Todos os capacitores comerciais usam materiais dielétricos com valores de “K” maiores para diminuir suas dimensões e aumentar a capacitância.

Qual seria a área necessária se o material dielétrico tivesse K=10, para o exemplo anterior?

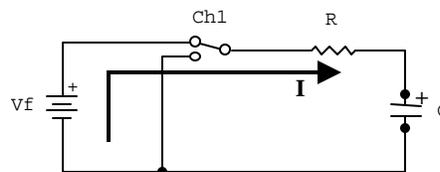
Alguns materiais usados atualmente estão relacionados na Tabela 1. Há uma tendência para os materiais de K mais elevados. Então, porque são fabricados capacitores com os materiais que possuem baixos valores de K como os capacitores com isolantes plásticos? A resposta geralmente se encontra nas outras características dos capacitores como a estabilidade com

relação a temperatura, faixas de tensões, facilidades construtivas, etc., como será visto posteriormente.

Comportamento dos Capacitores em Circuitos CC

Qual o comportamento dos capacitores quando conectados aos circuitos de corrente contínua? Certamente o mais simples é o circuito RC (de temporização), mostrado na figura 9. É chamado RC porque a combinação da resistência R e a capacitância C determina sua operação durante a carga e a descarga do capacitor.

CARGA DO CAPACITOR:



$$V_F - V_R - V_C = 0$$

$$I = \frac{V_F - V_C}{R}$$

Figura 9 - Circuito RC em corrente contínua

No instante em que a chave é fechada, há um máximo de repulsão eletrostática (fluxo de elétrons máximo) e, portanto, a corrente é máxima enquanto a tensão sobre o capacitor é nula. O capacitor inicia o processo de carga e o fluxo de elétrons (corrente) tende a diminuir enquanto a tensão sobre ele se eleva. Quando o capacitor estiver completamente carregado, é como se fosse um tanque fechado (lacrado) completamente cheio e não circula mais corrente. Neste instante, a tensão sobre o capacitor é máxima e igual à tensão da fonte (bateria).

Portanto, a tensão sobre o capacitor aumenta desde zero (completamente descarregado) até igualar-se à tensão da fonte, seguindo uma curva pré-determinada com relação ao tempo. A corrente no circuito sofre uma variação instantânea desde zero até um valor máximo (dependente da resistência do circuito) e decai a zero, enquanto o capacitor se carrega.

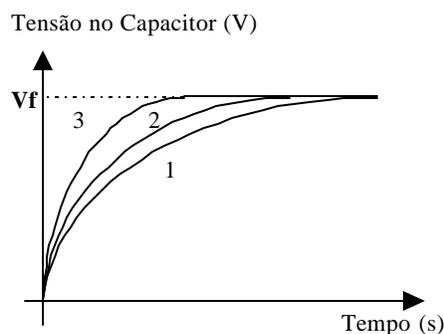


Figura 10.a - Tensão sobre um capacitor num circuito RC – carga

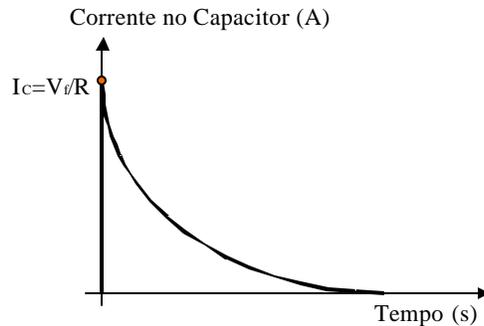


Figura 10.b - Corrente sobre um capacitor num circuito RC - carga

Se o resistor for pequeno, a corrente flui facilmente e o capacitor é carregado mais rapidamente. Se houver um resistor de alto valor, o processo de carga segue uma curva diferente e levará mais tempo para o carregamento.

O comportamento da tensão versus tempo também é influenciado pelo tamanho do capacitor. Se a capacitância é muito alta, o capacitor requerirá mais energia para carregá-lo (a área do tanque é maior), e a corrente fluindo pelo resistor requerirá mais tempo para carregá-lo.

A figura 10.a apresenta 3 curvas de carga, cada uma atingindo o mesmo ponto final, mas através de diferentes caminhos. A figura 10-b apresenta o comportamento da corrente durante o carregamento do capacitor.

Ajustando o valor da resistência R e da capacitância C, as curvas 1,2, 3 e muitas outras podem ser formadas.

Qual a utilidade disto? Um circuito temporizador pode acionar ou desligar um aparelho após um tempo pré-especificado através da tensão sobre o capacitor operando uma chave quando alcançar um valor pré-determinado. Se outras considerações neste circuito exigissem que a chave fosse operada para uma tensão decrescente, em vez de uma tensão crescente, a tensão que aparece sobre o resistor poderia ser usada, conforme equação da figura 9.

No instante em que a chave for fechada, toda a tensão da bateria aparece sobre o resistor e nenhuma sobre o capacitor. Neste instante, **o capacitor se comporta como um curto-circuito**. A tensão sobre o resistor decresce com o tempo enquanto a tensão sobre o capacitor aumenta com o tempo.

Note que o capacitor bloqueará o fluxo de corrente contínua quando estiver carregado. **O capacitor carregado se comporta como um circuito aberto**.

- **Equações que regem as curvas de carga do capacitor:**

$$V_C = V_F \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

$$V_R = V_F \cdot \left(e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

$$I = \frac{V_F}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

DESCARGA DO CAPACITOR

A corrente poderá fluir novamente desde que a chave seja conectada para descarregar o capacitor, como indica a figura 11. Os elétrons da placa negativa são atraídos pelas cargas positivas da outra placa provocando uma corrente elétrica proporcionada pela tensão do

capacitor. A energia armazenada no capacitor flui como corrente através do resistor até que a tensão sobre o capacitor alcance zero, como indicam as curvas da figura 12. O capacitor pode, então, ser comparado com uma fonte (bateria), embora os princípios de operação sejam completamente diferentes.

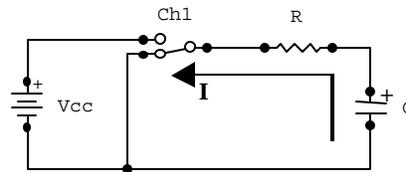


Figura 11 – Circuito para a descarga do capacitor

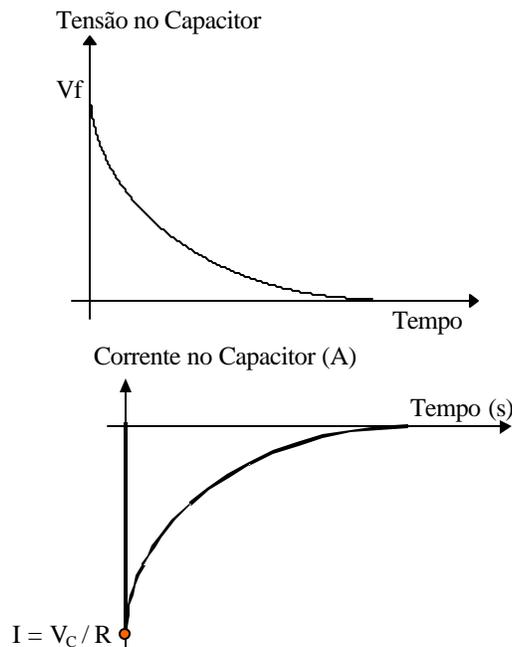


Figura 12 - Comportamento da tensão e da corrente na descarga do capacitor

Note que a corrente no circuito sofre uma variação instantânea desde zero até um valor máximo (dependendo a resistência R do circuito) mas em sentido contrário, pois o capacitor está se comportando como uma fonte de tensão (fornecendo corrente). Na medida em que a tensão cai a zero a corrente acompanha a mesma tendência.

- **Equações que regem as curvas de descarga do capacitor:**

$$V_C = V_R = V_F \cdot \left(e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

$$I = \frac{V_F}{R} \cdot \left(e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

- **Energia Armazenada no Capacitor:**

A energia potencial armazenada no capacitor, em Joules (J), pode ser dada pela equação:

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2$$

- **Constante de Tempo RC:**

$$\tau = R \cdot C$$

Uso do Capacitor como Filtro

Os Capacitores podem ser definidos basicamente da seguinte maneira:

- São componentes que armazenam energia na forma de Campo Eletrostático;
- São componentes que se opõem às variações de tensão em seus terminais;
- São componentes capazes de deixar passar sinais elétricos de frequências elevadas e de se opor à passagem de sinais de baixas frequências.

A capacidade de armazenamento do capacitor é usada para obter-se bons efeitos em **filtros**. Um retificador de meia onda oferece um bom exemplo, como indica a figura 13. Este retificador fornece uma tensão de saída (isto é, a tensão sobre uma carga, aqui representada como um resistor) que é contínua pulsante, como indica a figura 14.

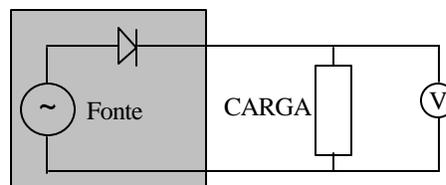


Figura 13 - Medição de uma tensão de uma fonte

A figura 14 mostra que, apesar da tensão variar desde zero até um valor máximo, ela cai completamente a zero durante um intervalo de tempo. O objetivo é uma linha reta sobre este gráfico representando uma tensão contínua permanente.

Adicionando um capacitor ao circuito, em paralelo com a carga, como mostra a figura 15, se amortecerão estas flutuações e a tensão de saída se aproximará da linha reta desejada.

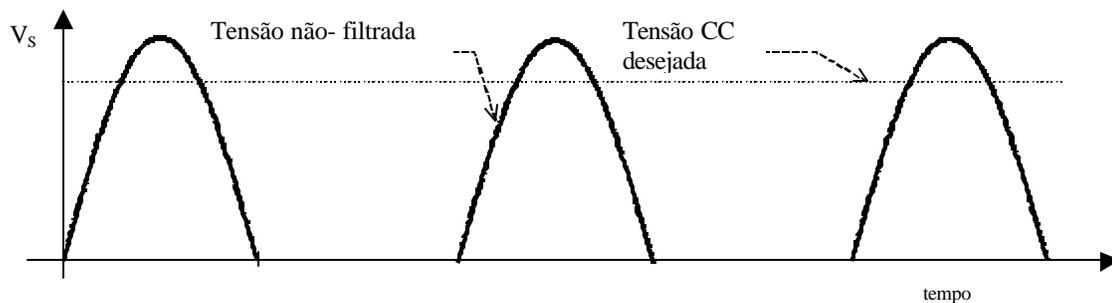


Figura 14- Tensão contínua flutuante de um retificador de meia onda

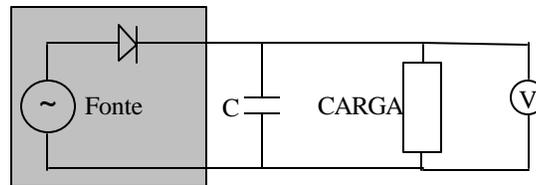


Figura 15- Filtro capacitivo

Começando com a tensão em zero e o capacitor descarregado, a fonte é ligada. Enquanto a tensão começa a crescer, alguma corrente fluirá para carregar o capacitor enquanto a restante passa através do resistor. Algum tempo antes de o capacitor estar completamente carregado, a tensão da fonte começa a diminuir: tão logo a tensão da fonte estiver abaixo da tensão do capacitor, o capacitor começará a descarregar e a corrente fluirá do capacitor, mantendo a tensão sobre o resistor. Se o valor da capacitância for escolhido corretamente, o capacitor não pode ser totalmente descarregado durante o tempo disponível, e o capacitor será carregado novamente quando o tensão da fonte exceder a tensão do capacitor.

O resultado de um filtro simples deste tipo não produzirá a tensão contínua permanente desejada (uma linha reta perfeita no gráfico), mas produzirá uma forma de onda semelhante à mostrada na figura 16, mas bem mais próxima de uma tensão CC permanente que da figura 14.

Nesta aplicação, o capacitor age como um armazenador de energia da onda de entrada e libera esta energia para a saída, conforme necessário. Podemos também dizer que o capacitor se opõe à variação da tensão de entrada.

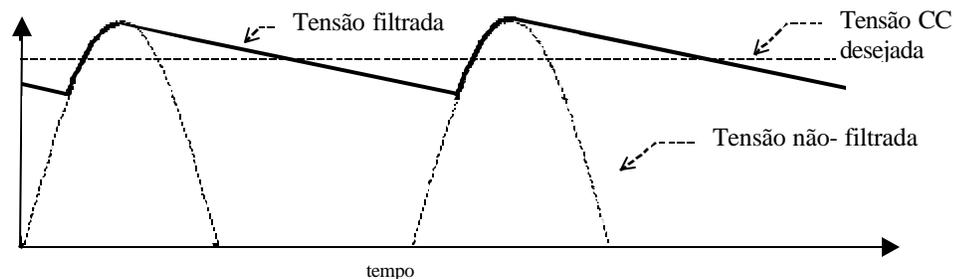


Figura 16 - Forma de onda da corrente contínua filtrada.

Associação de capacitores:

Da mesma forma que podemos associar resistores, também podemos associar capacitores com a finalidade de obtermos valores de capacitâncias equivalentes diferentes dos valores comerciais em que os capacitores são fabricados.

Associação em série:

Uma **ligação em série de capacitores diminui a capacitância total** porque efetivamente aumenta o espaçamento entre as placas, como podemos perceber pela figura 17.

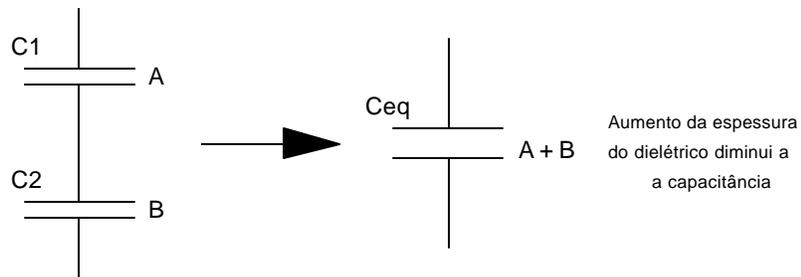


Figura 17 – Associação série de capacitores

Na associação em série de capacitores as placas se carregem em efeito cascata e **todos os capacitores adquirem a mesma carga**, assim:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_n = Q$$

Porém, como o circuito é série, as tensões nos capacitores se somam:

$$V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n = V$$

Como $V = \frac{Q}{C}$, então:

$$\frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} + \dots + \frac{Q}{C_n} = \frac{Q}{C_{eq}}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

A capacitância equivalente de n capacitores em série é dada pelo inverso da soma dos inversos das capacitâncias dos n capacitores

Para **apenas dois capacitores em série** esta expressão equivale a:

$$C_{eq} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Associação em paralelo:

A **ligação em paralelo de capacitores aumenta a capacitância total** porque aumenta a área de placas recebendo cargas, como podemos perceber pela figura 18.

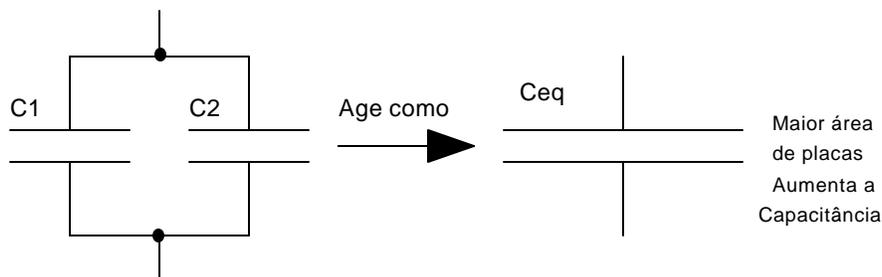


Figura 18 – Associação Paralela de Capacitores

Na associação em paralelo de capacitores **todos os capacitores estão sujeitos a mesma tensão**, assim:

$$V_1 = V_2 = V_3 = V_n = V$$

Porém, cada capacitor se carrega independentemente e a quantidade de carga armazenada aumenta:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = Q$$

Como $Q = C \cdot V$, então:

$$C_{eq} \cdot V = C_1 \cdot V + C_2 \cdot V + C_3 \cdot V + \dots + C_n \cdot V$$

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

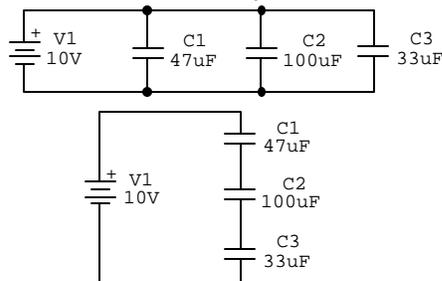
A capacitância equivalente de n capacitores em paralelo é dada pela soma das capacitâncias dos n capacitores

Associação Mista:

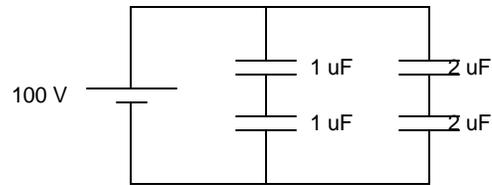
É a associação composta por partes em série e em paralelo. Deve ser analisada parte por parte, da mesma forma como é feito para os circuitos resistivos.

Exercícios

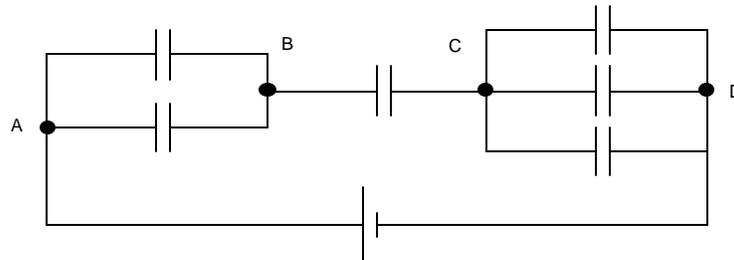
- 1) Um capacitor formado por duas placas paralelas separadas por uma camada de ar de 0,3 cm de espessura e, tendo uma capacitância de 15,0 pF é ligado a uma fonte de 150 V.
 - a) Qual a carga do capacitor?
 - b) O dielétrico de ar é substituído por uma folha de mica de 0,3 cm de espessura. Qual é a capacitância com o dielétrico de mica?
 - c) Que carga adicional recebe o capacitor?
- 2) Encontre a distância entre as placas paralelas de um capacitor de 0,01 μF , se a área de cada placa é de 0,07 m² e o dielétrico é de porcelana. Qual a máxima tensão admitida pelo capacitor?
- 3) Para os circuitos abaixo determine:
 - a) a capacitância equivalente;
 - b) a tensão e a carga armazenada em cada capacitor



- 4) Para o esquema abaixo, determine a carga total armazenada pela associação.



4. (ITA/SP) No arranjo de capacitores abaixo, onde todos eles têm $1 \mu\text{F}$ de capacitância e os pontos A e D estão ligados a um gerador de 10 V, pergunta-se qual a ddp entre os pontos B e C?



Principais Parâmetros dos Capacitores:

Antes de estudarmos os tipos de capacitores, precisamos conhecer os seus principais parâmetros

Capacitância Nominal (C_N) - É o valor de capacitância pelo qual o capacitor é denominado e para o qual foi fabricado. O valor real da capacitância pode apresentar um desvio (uma diferença), em relação ao valor nominal.

Tolerância - a Tolerância é uma faixa de variação admissível para a capacitância que o capacitor realmente apresenta. O valor da Tolerância pode ser expresso em valor percentual da capacitância nominal ou através de um intervalo de variação admissível da capacitância nominal.

Exemplo: Um Capacitor de 100pF (nominal) com tolerância 10% ou $\pm 10\text{pF}$ indica que a sua capacitância real pode estar entre 90pF e 110pF. Se medirmos a sua capacitância e o valor estiver nesta faixa, o capacitor estará dentro dos parâmetros. Caso contrário, estará fora de especificação.

Tensão Nominal (V_N) - É a tensão contínua máxima que pode ser aplicada a um capacitor, sem que ele se danifique.

Tensão de Operação (V_{Op}) - É a tensão na qual o capacitor opera sem reduzir sua vida útil. Este valor de tensão não deve ser superior à tensão nominal do capacitor.

Tensão de Pico (V_p) - É a máxima tensão que pode ser aplicada num capacitor, por curtos períodos de tempo, até 5 vezes por minuto, durante 1 hora.

Resistência Paralela (R_p) - O Material dielétrico inserido entre as placas de um capacitor pode ser definido como um resistor de altíssimo valor ôhmico. A existência dessa resistência é comprovada pelo fato de um capacitor, uma vez carregado, não conservar a sua carga indefinidamente, pois a carga se escoia lentamente pelo dielétrico.

Resistência Série Equivalente - R_{SE} (ESR)- A resistência série equivalente é formada pelas resistências das placas, resistências de contato dos terminais com as placas e as resistências dos próprios terminais do capacitor. O circuito equivalente simplificado de um capacitor é apresentado na figura 19.

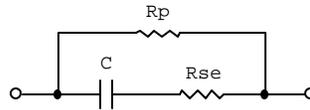


Figura 19 - Modelo Simplificado de um capacitor real

Corrente de Fuga - É o fluxo de corrente através do dielétrico. Um baixo valor de corrente de fuga indica um dielétrico de boa qualidade.

Características de Temperatura – A temperatura de operação, temperatura à qual o capacitor está submetido, geralmente influencia no valor da sua capacitância. Geralmente, com o aumento da temperatura de operação, a capacitância tende a aumentar. O comportamento da capacitância com relação à temperatura é especificado, pelo fabricante, nas características de temperatura do capacitor.

Tipos de Capacitores:

Existem muitos tipos de capacitores para as mais diversas aplicações.

Os capacitores são classificados, geralmente, com relação ao material do seu dielétrico. Os tipos mais comuns são:

- Capacitores Cerâmicos (disco cerâmico, tipo “plate” e multicamadas);
- Capacitores de Filme Plástico (de poliéster, policarbonato, polipropileno e poliestireno);
- Capacitores Eletrolíticos de Alumínio;
- Capacitores Eletrolíticos de Tântalo;
- Capacitores Variáveis;
- Etc.

Capacitores de Disco Cerâmico:

Os Capacitores de Disco Cerâmico são capacitores cujo dielétrico é feito de material cerâmico. A fabricação desses capacitores começa com o pó da cerâmica que é colocado numa prensa e comprimido em forma de pastilhas (dielétrico do futuro capacitor). Após, as pastilhas são introduzidas num forno para tratamento térmico, sendo rigorosamente inspecionadas na saída do mesmo.

Depois da fabricação da pastilha, coloca-se prata vaporizada nas duas faces da mesma, que formarão as placas do capacitor.

A soldagem dos terminais, realizada sobre a camada de prata, vem após os discos sofrerem um banho desengordurante para limpeza.

A próxima etapa é a impregnação com resina para proteção e isolamento, sendo, após, realizado em uma estufa um processo de endurecimento da resina impregnada.

Veja na figura 20, uma síntese do processo de fabricação dos capacitores cerâmicos:

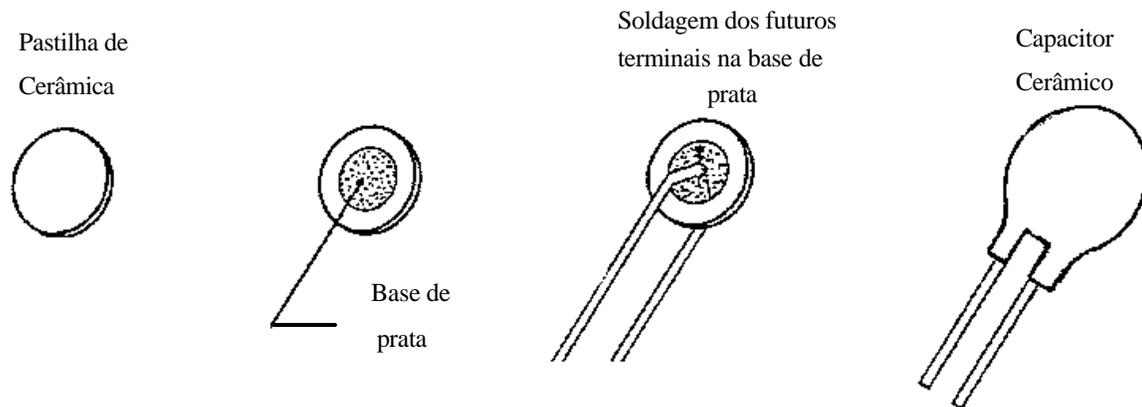


Figura 20 – Etapas do processo de fabricação dos capacitores de disco cerâmico

Características dos Capacitores Cerâmicos:

Os capacitores de Disco Cerâmico apresentam capacitâncias de média a baixa, na ordem de PICOFARADS.

São usados geralmente em circuitos que operam em alta frequência, onde o baixo fator de perdas e a alta estabilidade do valor da capacitância são importantes.

Existem diversas séries de capacitores cerâmicos.

Em aplicações onde se tolera uma certa variação da capacitância em função da temperatura, utiliza-se **capacitores cerâmicos tipo Uso Geral** (GP – *General Purpose*).

Quando o valor exato da capacitância não é importante e admite-se grande variação da temperatura, desde que o valor da capacitância não caia abaixo de um mínimo necessário, utilizam-se **capacitores cerâmicos tipo GMV** (mínimo valor garantido), onde a capacitância é no mínimo igual ao valor marcado no corpo do capacitor.

Os **capacitores cerâmicos tipo TC** (temperatura compensada) são identificados pelas siglas NPO, CGO ou pela letra N seguida de um número. As siglas NPO e CGO indicam que o capacitor apresenta coeficiente de temperatura nulo, isto é, sua capacitância é estável e não se altera dentro de uma faixa ampla de variação de temperatura. A letra N seguida de um número indica que o capacitor tem um coeficiente de temperatura negativo, ou seja, a capacitância diminui com o aumento da temperatura e vice-versa. Por exemplo, N470 significa que, para cada grau centígrado de aumento na temperatura, a capacitância diminui de 470×10^{-6} pF por pF do seu valor nominal.

Identificação da Capacitância Nominal do Capacitor Cerâmico:

Os capacitores cerâmicos geralmente podem ser identificados por:

- Leitura direta em picofarads (pF ou 10^{-12} F) no corpo do capacitor.
Exemplo: marcação de 8200 indica capacitância de 8200pF.
- Um código de 3 algarismos, sendo que os dois primeiros indicam a unidade e a dezena e o terceiro algarismo indica o número de zeros, também em **picofarads** (pF).
Exemplo: marcação de 104 indica capacitância de 100.000pF.

Identificação da Tolerância:

A tolerância do capacitor cerâmico é expressa por uma letra geralmente após o valor da capacitância. A tabela II mostra como identificar a tolerância em um capacitor cerâmico. Se a capacitância for até 10pF devemos usar as colunas da esquerda e central. Se for maior que 10pF, devemos usar as colunas da direita e central.

TABELA II
CÓDIGO PARA IDENTIFICAÇÃO DA TOLERÂNCIA

C ≤ 10 pF	letra indicativa	C > 10 pF
+/- 0,1 pF	B	
+/- 0,25 pF	C	
+/- 0,5 pF	D	
+/- 1 pF	F	+/- 1 %
+/- 2 pF	G	+/- 2 %
	H	+/- 3 %
	J	+/- 5 %
	K	+/- 10 %
	M	+/- 20 %
	S	+ 50% a - 20%
	Z	+ 80% a - 20%
		+ 100% a - 20%
	P	+ 100%

Exemplos:

- marcação 5D. Capacitância nominal de 5pF, tolerância de +/-0,5pF. Variação da capacitância de 4,5 a 5,5pF.
- marcação 470K. Capacitância nominal de 470pF, tolerância de +/-10%. Variação da capacitância de 423pF a 517pF.

Identificação quanto as características de temperatura

Nos **capacitores tipo TC** (temperatura compensada) pode aparecer impresso no capacitor o coeficiente de temperatura (ex: NPO e N) ou um código equivalente (ex: NPO = C)

Nos **capacitores tipo GP** (uso geral) e **GMV** (mínimo valor garantido) os capacitores são identificados com siglas diversas, conforme tabela III.

A gama de temperatura indica que se a temperatura variar na faixa dada, há uma variação da capacitância que é a dada pela letra indicativa da faixa de variação da capacitância. A figura 21 apresenta dois exemplos.

TABELA III
CÓDIGO PARA IDENTIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

símbolo indicativo	gama de temperatura
X5	- 55 °C a + 85 °C
X7	- 55 °C a + 125 °C
Y5	- 30 °C a + 85 °C
Z5	+ 10 °C a + 85 °C
letra indicativa	variação máxima da capacitância
D	+/- 3,3 %
E	+/- 4,7 %
F	+/- 7,5 %
P	+/- 10 %
R	+/- 15 %
S	+/- 22 %
T	+22% - 33%
U	+22% - 56%
V	+22% - 82%
W	+22% - 92%

Identificação da tensão nominal:

A tensão nominal nos capacitores cerâmicos geralmente pode:

- Ser impressa diretamente no corpo do capacitor, em V ou kV
- Não ser impressa (identificação por catálogo do fabricante). Geralmente 500V para os maiores e 100V para os mini-discos
- Ser identificada por um código (ex: um traço (_) indica tensão nominal de 100 V)

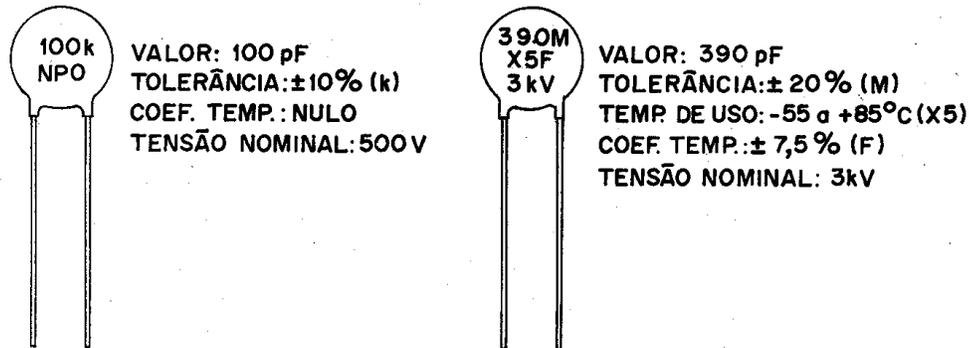


Figura 21 – Exemplos de identificação de capacitores cerâmicos

Capacitores Cerâmicos “Plate”:

Plate é um tipo de capacitor cerâmico cujas principais vantagens e características são: tamanho ultra reduzido, grande estabilidade no valor da capacitância, baixo custo e uma estreita faixa de tolerância (+/-2% nos capacitores tipo TC).

Na tabela IV estão resumidos os principais dados dos tipos de capacitores plate mais comuns. A principal diferença entre os capacitores de disco cerâmico e os capacitores plate é que estes possuem placas retangulares de cobre em vez de placas circulares de prata.

TABELA IV
IDENTIFICAÇÃO E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS CAPACITORES PLATE

Corpo	Faixa	Tipo	Tolerância	Tensão	Valores Disponíveis
CINZA	PRETA	TC - NPO	+/-2%	100 V	1,8 a 120 pF
CINZA	VIOLETA	TC - N750	+/-2%	100 V	3,9 a 330 pF
OCRE	AMARELA	GP	+/-10%	100 V	180 a 4700 pF
OCRE	VERDE	GMV	80%	63 V	1000 a 22000 pF

Identificação das Características dos Capacitores “Plate”:

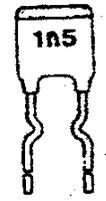
Pela tabela IV podemos identificar as características dos capacitores “Plate” pela cor do corpo do capacitor e pela cor da faixa superior.

O valor da capacitância é gravado no próprio corpo de capacitor. Ela é indicada por dois números e uma letra. A letra ocupa o lugar da vírgula e indica a sub-unidade da capacitância.

Exemplos:

- marcação 4p7, corpo cinza e faixa amarela: capacitância de 4,7pF, tolerância de +/-10%, tensão nominal de 100V e tipo uso geral (GP).
- marcação n33, corpo cinza e faixa preta: capacitância de 0,33nF, tolerância de +/-2%, tensão nominal de 100V e tipo temperatura compensada (TC-NPO).

A figura 22 apresenta o aspecto físico e a marcação dos capacitores tipo “plate”.



$$C = 1,5nF$$

Figura 22 – Aspecto físico de capacitores tipo “plate”.

Capacitores Cerâmicos Multicamadas:

Os capacitores cerâmicos multicamadas (*multilayer*) são construídos a partir da superposição de finas camadas de material dielétrico cerâmico com metal depositado sobre suas superfícies formando uma espécie de “sanduíche”. Daí a denominação de multicamadas.

As camadas metálicas individuais são conectadas umas às outras através de uma terminação metálica onde são soldados os terminais de capacitor, como indica a figura 23.

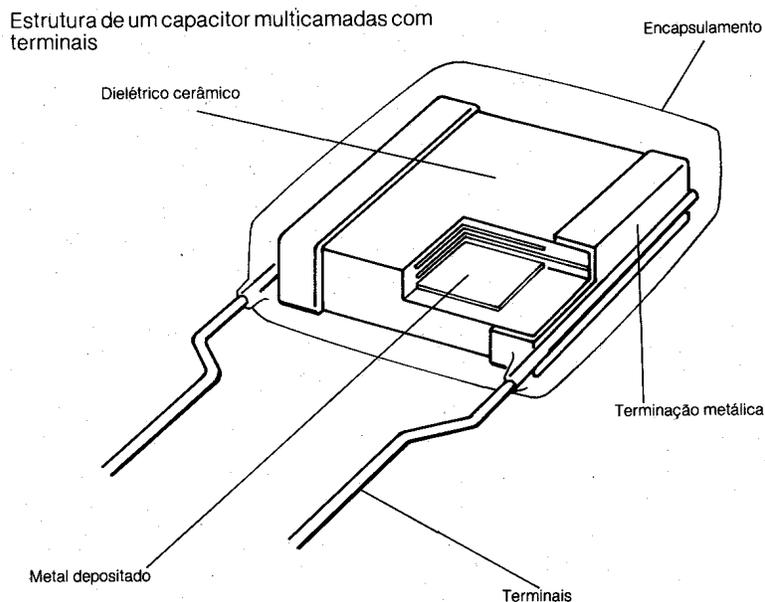


Figura 23 – Estrutura de um capacitor cerâmico multicamadas

Apresentam baixas perdas, capacitância estável, alta resistência de isolamento e alta capacitância em pequenas dimensões.

A apresentação das características é semelhante aos outros tipos de capacitores cerâmicos.

Capacitores de Filme Plástico:

Os capacitores de filme plástico se caracterizam por apresentarem como dielétrico uma lâmina de material plástico (poliéster, polipropileno, poliestireno, policarbonato). Sua capacitância é da ordem de NANOFARADS.

Características: Baixíssimas perdas no dielétrico, alta resistência de isolamento, estabilidade da capacitância, baixa porosidade e conseqüente resistência à umidade.

Tipos: Poliéster (MKT), Polipropileno (MKP), Poliestireno (MKS) e Policarbonato (MKC ou MAC).

Tipo Não Metalizado:

Possuem dielétrico de filme plástico e armaduras de folhas de alumínio. O conjunto armaduras mais o dielétrico pode ser bobinado ou então sanfonado, conforme a opção construtiva. A figura 24.a apresenta a estrutura construtiva deste tipo de capacitor. O capacitor de filme plástico não metalizado não é auto-regenerativo, mas apresenta melhores características de corrente máxima admitida.

Tipo Metalizado:

Têm como característica marcante a propriedade de **auto-regeneração**. O dielétrico desses capacitores consiste de filmes de plástico em cuja superfície é depositada, por processo de vaporização, uma fina camada de alumínio, deixando-o metalizado.

Na fabricação do capacitor pode-se bobinar ou dispor o conjunto armaduras-mais-dielétrico em camadas (em sanfona), como indica a figura 24.b. Através da contactação das superfícies laterais dos capacitores com metal vaporizado, obtém-se bom contato entre as armaduras e os terminais, assegurando baixa indutância e baixas perdas.

No caso de aplicação de uma sobretensão que perfure o dielétrico a camada de alumínio existente ao redor do furo é submetida a elevada temperatura, transformando-se em óxido de alumínio (isolante) desfazendo-se então o curto-circuito. Este fenômeno é conhecido como **auto-regeneração**.

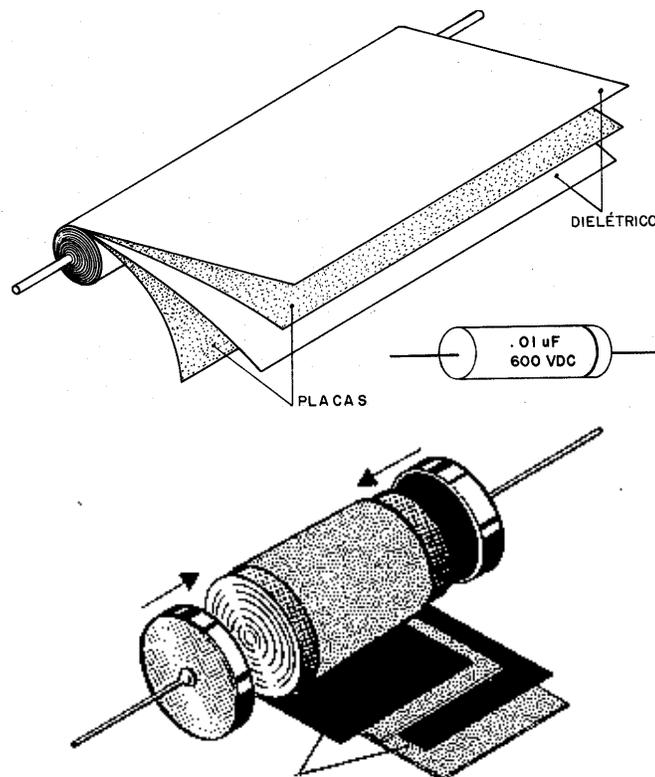


Figura 24.a – Estrutura construtiva do capacitor de filme plástico não metalizado bobinado

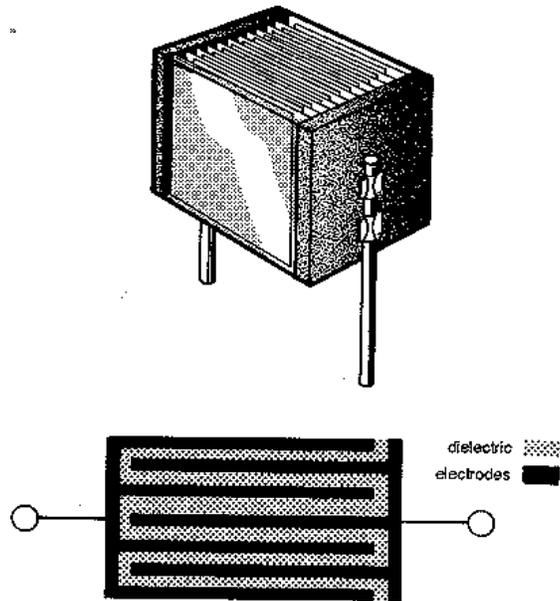
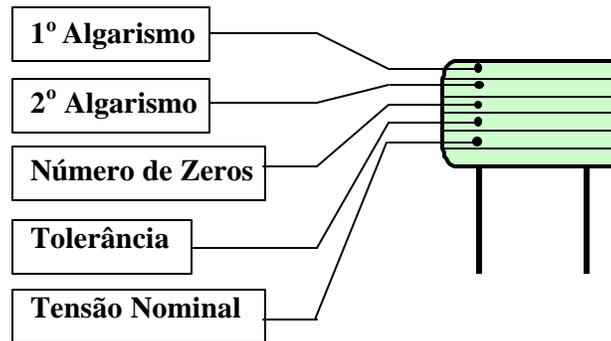


Figura 24.b – Estrutura construtiva do capacitor de filme plástico metalizado sanfonado

Identificação dos Capacitores de Filme Plástico:

- **Leitura Direta dos valores impressos:** no corpo dos capacitores de filme plástico normalmente vêm indicadas a capacitância nominal (um número), a tolerância (em letra maiúscula) e a tensão nominal (um número com unidade, geralmente).
Dicas: *Se o valor impresso for maior que 1*, o valor é indicado em **picofarads** (pF)
Se o valor impresso for menor que 1, o valor é indicado em **microfarads** (μ F)
Tolerância: Usar a tabela II para a determinar a tolerância
Tensão: indicada diretamente no corpo do capacitor
- **Leitura por código de cores:** O corpo do capacitor vem pintado com cinco faixas coloridas. A leitura deve ser feita de acordo com a tabela V, começando com a faixa superior.

TABELA V
CÓDIGO DE CORES PARA CAPACITORES DE FILME PLÁSTICO
(Valores de Capacitância em Picofarads – pF)



Cor	1º Algarismo	2º Algarismo	Número de Zeros	Tolerância	Tensão Nominal
Preto	0	0		±20%	
Marrom	1	1	0		100V
Vermelho	2	2	00		250V
Laranja	3	3	000		
Amarelo	4	4	0000		400V
Verde	5	5	00000		
Azul	6	6			630V
Violeta	7	7			
Cinza	8	8			
Branco	9	9		±10%	

Capacitores Eletrolíticos de Alumínio:

Basicamente, todo capacitor é constituído de duas armaduras com um dielétrico entre estas. Embora este princípio também seja válido para os capacitores eletrolíticos, a principal diferença entre estes e os demais tipos de capacitores reside no fato de que um dos eletrodos - o cátodo - é constituído de um fluído condutor - o eletrólito - e não somente uma armadura metálica como se poderia supor. O outro eletrodo, o ânodo, é constituído de uma folha de alumínio em cuja superfície é formada, por processo eletroquímico, uma camada de óxido de alumínio servindo como dielétrico, como indica a figura 25.

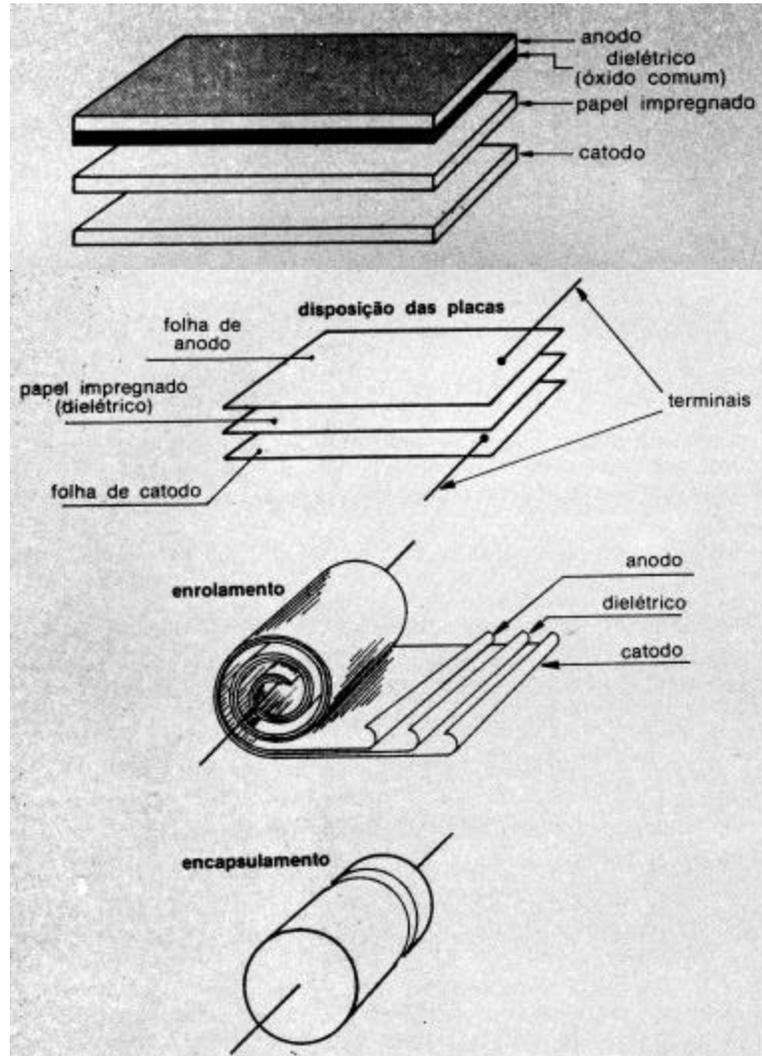
O método de bobinagem é o mais empregado na fabricação de capacitores eletrolíticos de alumínio. A bobina contém, além da folha de ânodo já descrita, uma segunda folha de alumínio, conhecida por folha de cátodo, que não é oxidada e tem a função de servir como eletrodo à substância líquida condutora. Ambas as folhas são separadas uma da outra por algumas camadas de papel poroso que tem por função armazenar o eletrólito. As figuras 25 e 26 ilustram os aspectos construtivos dos capacitores eletrolíticos.

A preferência por capacitores eletrolíticos deve-se à sua **alta capacitância específica** (grandes valores de capacitância em volume relativamente reduzido) apresentando capacitâncias na ordem de MICROFARADS. Como nos outros capacitores, sua capacitância é diretamente proporcional à área das placas e inversamente proporcional a distância entre ambas. Nos capacitores eletrolíticos esta distância é determinada pela espessura da camada de óxido formada sobre a folha de anodo.

O óxido de alumínio ($K \cong 10$) apresenta, sobre os outros dielétricos, não somente a vantagem de poder ser obtido em filmes de muito menor espessura, mas também a propriedade de

suportar altas tensões elétricas. Mesmo em capacitores de tensão mais elevada, teremos, no máximo, um afastamento entre armaduras de $0,7 \mu\text{m}$, donde se esclarece em parte sua alta capacitância específica (a espessura mínima de um dielétrico como o papel, por exemplo, é de $6 \text{ a } 8 \mu\text{m}$)

Outro fator é o aumento da superfície dos eletrodos resultante da *cauterização eletroquímica* que torna a folha de alumínio rugosa. Uma vez que o catodo do capacitor eletrolítico é constituído por eletrólito, este preenche idealmente as reentrâncias da folha de ânodo, como indica a figura 26.



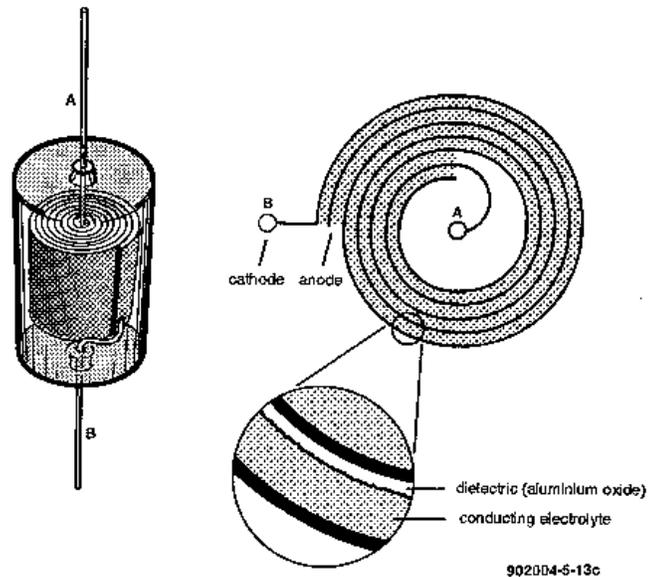


Figura 25– Aspectos construtivos de um capacitor eletrolítico de alumínio

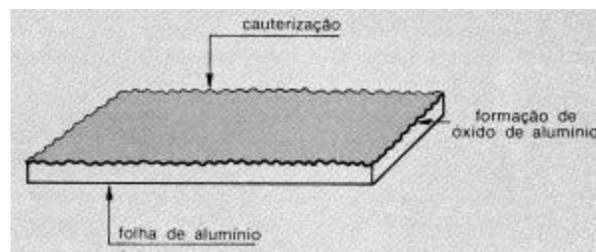


Figura 26 – Construção do capacitor eletrolítico bobinado.

Capacitores Eletrolíticos Polarizados e Não-Polarizados (bipolares):

O capacitor eletrolítico construído como até agora descrito, só funciona convenientemente quando ligamos o pólo positivo ao ânodo e o pólo negativo ao cátodo. Se fizermos a ligação de maneira contrária, inicia-se um processo eletrolítico que depositará uma camada de óxido sobre a folha de cátodo. Durante este processo ocorre a geração interna de calor e gás que pode destruir (até explodir) o capacitor.

Existem também capacitores eletrolíticos não-polarizados, os bipolares. Nestes, em lugar da folha de cátodo normalmente usada, utiliza-se uma segunda folha de ânodo, formada nas mesmas condições da primeira. Uma construção deste tipo permite tanto o funcionamento sob tensão CC, em qualquer polaridade, como também com tensões alternadas.

O capacitor eletrolítico bipolar necessita de até o dobro do volume de um polarizado de mesma capacitância e tensão, pois o valor da capacitância é igual a metade das capacitâncias parciais. Os capacitores eletrolíticos possuem variações no que se refere às disposições dos terminais, podendo ser axiais ou radiais. Os capacitores axiais possuem terminais instalados nas duas extremidades, ao passo que os radiais, possuem seus terminais colocados numa das extremidades do capacitor.

Identificação dos Capacitores Eletrolíticos:

Geralmente os capacitores eletrolíticos trazem suas características nominais de capacitância, tensão e tolerância, diretamente impressas no corpo do capacitor.

A capacitância nominal vem impressa em **microfarads** (μF ou 10^{-6}F).

Capacitores Eletrolíticos de Tântalo:

Os Capacitores Eletrolíticos de Tântalo utilizam o Óxido de Tântalo como isolante e também são polarizados devido à existência do eletrólito.

Os capacitores de óxido de tântalo são designados especificamente para aplicações em circuito impresso e que requeiram baixa corrente de fuga e baixo fator de perdas. Oferecem ainda:

- Longa vida operacional;
- Grande compacticidade (alta capacitância em volume relativamente reduzido);
- Elevada estabilidade dos parâmetros elétricos.

A figura 27 ilustra os aspectos construtivos de um capacitor de tântalo.

Identificação dos Capacitores de Tântalo:

Geralmente estes capacitores trazem o valor de sua capacitância impressa diretamente no corpo, em **microfarads** (μF ou 10^{-6}F). A **tensão nominal** e a **polaridade** geralmente vêm **impressas** no corpo do componente.

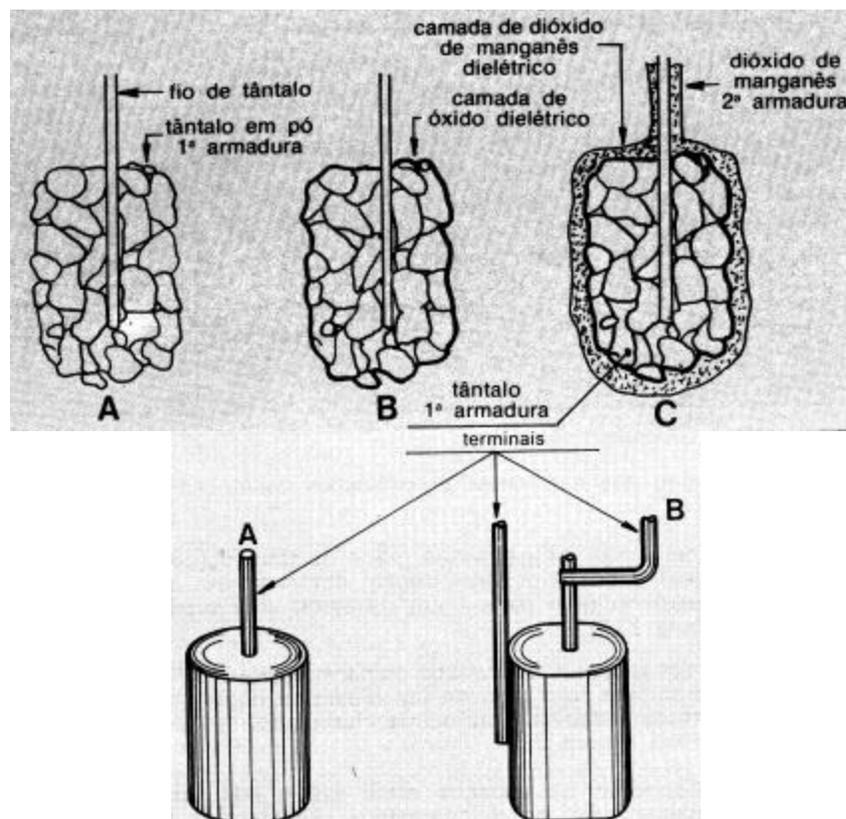


Figura 27 – Formação básica do capacitor de tântalo

Capacitores Variáveis:

Capacitores variáveis são aqueles que permitem que o seu valor de capacitância seja variado dentro de uma determinada faixa de valores.

Geralmente são construídos com dielétrico de ar ou de filme plástico e sua capacitância pode ser variada por meio de um eixo ou parafuso, no qual estão montadas as placas ou grupos de placas móveis.

Um outro grupo de placas é fixo e é montado sobre um material isolante, o corpo ou chassi do componente.

O grupo de placas móveis que constitui o capacitor variável é formado por placas metálicas em forma de segmentos, unidas a um eixo central de movimento rotativo ou a um parafuso de aperto que permitem, em ambos os casos, variar a posição ou distância entre as placas móveis e fixas. Variando a distância entre as placas ou a área superposta das placas, variamos a capacitância.

Estes capacitores são usados nos circuitos de sintonia, por exemplo.

A figura 28 mostra detalhes de um capacitor variável.

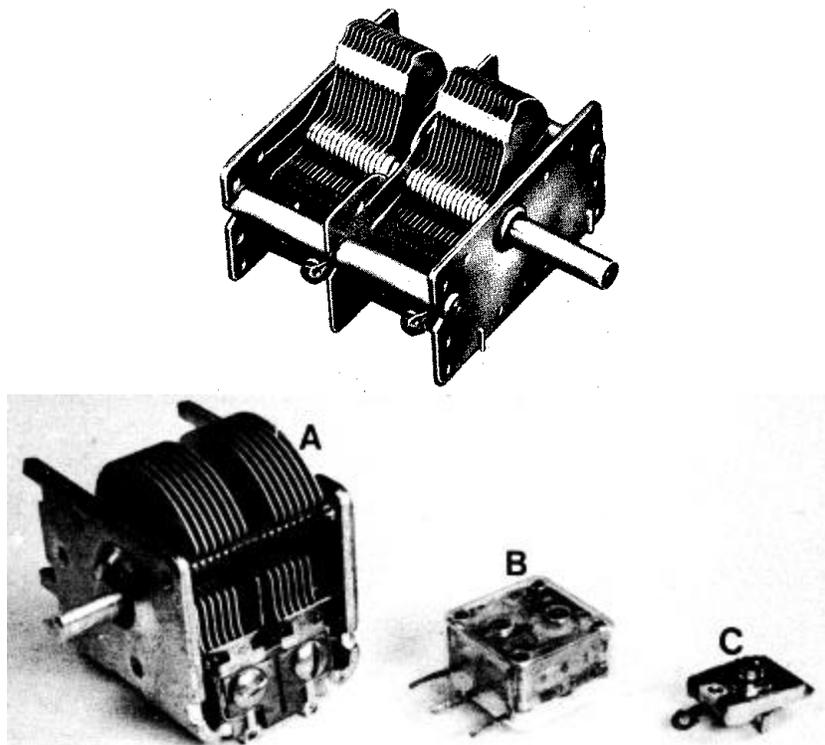


Figura 28 – Aspectos construtivos de capacitores variáveis de placas paralelas

Os capacitores variáveis do tipo da figura 28 são fabricados normalmente com capacitâncias máximas de 500pF, 410pF, 350pF, 250pF ou 150pF.

A capacitância mínima do capacitor variável é, em geral, 10% da capacitância máxima.

Exemplo:

Capacitância máxima de 410pF – Capacitância mínima de 40pF.

Trimmers:

Os capacitores variáveis do tipo “trimmer” são constituídos geralmente por 2 placas metálicas, separadas por uma lâmina de mica, dispostos de tal forma que é possível variar-se a separação entre ambas mediante a pressão exercida entre elas por um parafuso. Desta forma pode-se ajustar a sua capacitância.

Sua capacitância geralmente vem marcada na sua base.

A figura 29 apresenta alguns tipos de trimmers.

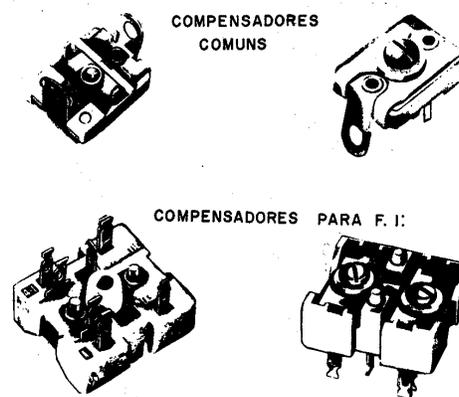


Figura 29 – Aspectos construtivos dos capacitores tipo “trimmer”.

Outros Tipos de Capacitores:

Schiko:

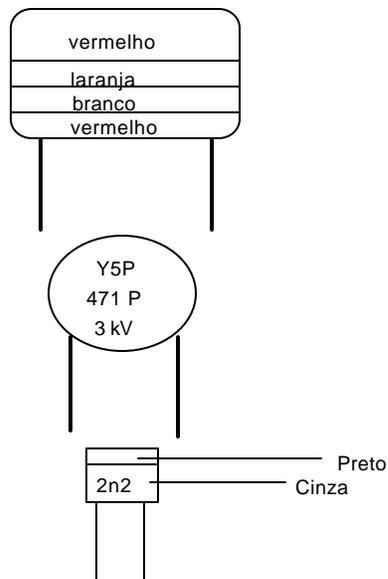
Construído com dielétrico de poliéster metalizado

Nugget:

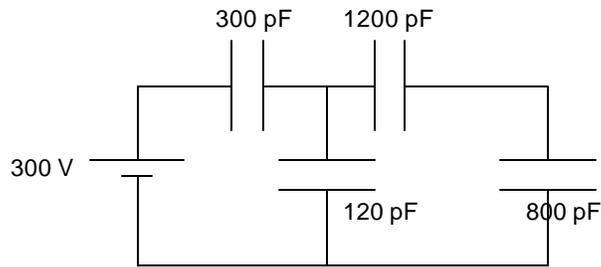
Construído com dielétrico de tereftalato de polietileno metalizado ou de poliéster metalizado e cápsula em resina epoxy.

Exercícios

1. Quais são as características dos capacitores abaixo:



2. Achar a tensão em cada capacitor no circuito mostrado abaixo:



3. Um capacitor tem um dielétrico de mica em forma de disco com 0,8 cm de diâmetro e 0,885 mm de espessura. Achar a capacitância em pF. Resposta: $C = 0,5 \text{ pF}$

4. Uma fonte de 24 V e dois capacitores estão ligados em série. Se um capacitor tem $20 \mu\text{F}$ de capacitância e tem 16 V sobre ele, qual a capacitância do outro capacitor. Resposta: $40 \mu\text{F}$

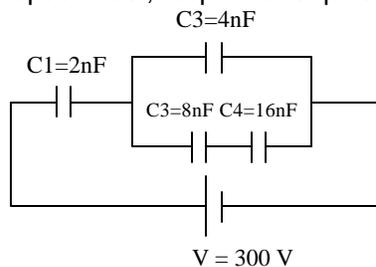
5. Analisando as sentenças abaixo, escreva V nas verdadeiras e F nas falsas.

- Os elétrons circulam através do material dielétrico quando um capacitor está sendo carregado.
- O eletrólito é o material dielétrico de um capacitor eletrolítico.
- As placas num capacitor eletrolítico são oxidadas para aumentar sua área de placa efetiva.
- Os capacitores eletrolíticos são geralmente polarizados. Eles têm capacitâncias altas apesar de seus tamanhos e pesos reduzidos.
- Exceto para um surto de corrente inicial, os capacitores bloqueia corrente contínua.
- A perda de energia em um capacitor deve-se exclusivamente as perdas na resistência dos terminais e placas.
- O óxido de metal pode ser utilizado como dielétrico de um capacitor.

6. Responda as seguintes questões:

- Porque os capacitores têm especificação em tensão?
- O que significa a sigla NPO impressa no corpo de um capacitor?
- O que acontece a um capacitor eletrolítico é conectado a uma fonte de tensão com polaridade reversa?
- Explique fisicamente porque a capacitância total decresce quando dois capacitores são colocados em série.

7. Analisando a associação de capacitores, responda às questões que seguem:



- Qual a capacitância equivalente do circuito?
- Qual a d.d.p. entre as placas de cada capacitor?

8. Achar (a) a capacitância de um capacitor de placas paralelas se as dimensões de cada placa retangular são $1 \times 0,5 \text{ cm}$, e se a distância entre placas é de $0,1 \text{ mm}$. O dielétrico é o ar. (b) Achar a capacitância se o dielétrico for o polietileno ao invés do ar. (c) Qual a tensão máxima admitida pelos capacitores dos itens (a) e (b).

9. Encontre a distância entre as placas de um capacitor de $0,01 \mu\text{F}$, se a área de cada placa é de 700 cm^2 e a constante dielétrica do material inserido entre as placas é 8. Considere $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$.
10. Se o vácuo é o melhor isolante, porque capacitores de mesmas dimensões mas com outros dielétricos apresentam capacitâncias bem maiores?

ANEXO I

Entendendo o Capacitor através de uma analogia hidráulica

Para entendermos melhor o comportamento de um capacitor, apresentaremos um exemplo que contém todos os elementos de circuitos, chamados “elementos passivos”, e uma bateria, conforme circuito apresentado na figura 7. A bateria é um componente chamado “ativo” porque pode fornecer energia ao circuito. Elementos “passivos” podem armazenar energia momentaneamente, mas não podem fornecer energia continuamente. Os três elementos passivos principais são: os resistores, os capacitores e os indutores.

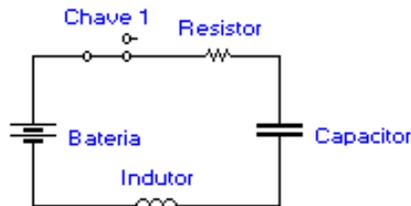


Figura 7 - Circuito série com os três elementos passivos e uma bateria.

Uma das analogias para o funcionamento do capacitor é comparar o fluxo de corrente elétrica com o fluxo de água fornecido por um tanque, como mostra a figura 8. Um capacitor armazena energia quando está carregado. O tanque d'água é associado a um capacitor que, por sua vez, é enchido por uma bomba (carregado por uma bateria). A quantidade de carga no capacitor é análoga à quantidade de água no tanque. A altura da água com relação a um ponto de referência é a tensão à qual a bateria “bombeou” (colocou) o capacitor, e a área do tanque é a capacitância. Um tanque alto e estreito poderia conter a mesma quantidade de água de um tanque baixo e largo, mas o tanque alto e estreito produziria mais pressão. Há, também, capacitores “altos e estreitos” (alta tensão, baixa capacitância) e capacitores “baixos e largos” (baixa tensão, alta capacitância).

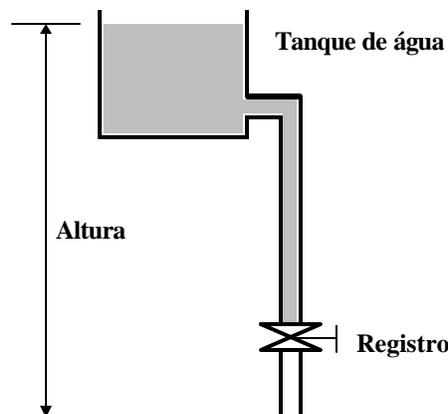


Figura 8 - Analogia hidráulica para o funcionamento de um capacitor

Há também um cano saindo do tanque e uma válvula. Se a válvula estiver aberta, a água sai. A válvula funciona tanto como uma chave como um resistor. Se a válvula é aberta parcialmente, ela causa resistência suficiente, de tal forma que a água flui vagarosamente do tanque. Ela se comporta como um resistor variável. Quando a resistência é alta, a água flui devagar, mas se a resistência é reduzida, a água pode fluir mais livremente (válvula aberta).

Uma vez que a água estiver fluindo pode-se interromper pelo fechamento da válvula. A água no cano, já em movimento, deve parar. Se a válvula for fechada muito rapidamente, a água deverá parar de fluir da mesma forma. Quando uma válvula é fechada rapidamente, a energia da água em movimento repentinamente não tem para onde ir. A água forçará os canos em algum ponto, de tal forma que, em alguns sistemas hidráulicos, chegará a causar um som característico (o chamado Golpe de Ariete).

A água em movimento atua assim como um indutor age nos circuitos eletrônicos, ou seja, tenta manter a corrente fluindo. A bateria é a bomba, o capacitor é o tanque, o resistor e a chave são a válvula e o indutor é a água em movimento no cano. O circuito resultante é o mesmo apresentado na figura 7.

Com esta analogia hidráulica poderemos agora entender o comportamento dos capacitores em circuitos de corrente contínua.

Anexo II

Guia de Aplicações para Capacitores

A tabela abaixo indica algumas aplicações para os diferentes tipos de capacitores em função da capacitância necessária, da faixa de tensão de operação e da frequência aplicada.

Capacitância	Tensão	Frequência	Tipos de Capacitores	
baixa	baixa	baixa e CC	cerâmicos e poliéster não metalizados	
		média	cerâmicos e plate	
		alta	plate	
	média	baixa e CC	baixa e CC	cerâmicos e poliéster metalizado
			média	poliéster metalizado
			alta	polistírol e poliestireno
	alta	plate	baixa e CC	plate
			média	poliéster e plate
			alta	poliéster metalizado
média	baixa	baixa e CC	eletrolítico de tântalo e poliéster	
		média	poliéster	
		baixa	poliéster	
	média	baixa e CC	baixa e CC	eletrolítico de alumínio
			média	poliéster metalizado
			alta	poliéster Schiko
	alta	cerâmicos e poliéster metalizado	baixa e CC	cerâmicos e poliéster metalizado
			média	cerâmicos e poliéster metalizado
			alta	poliéster metalizado
alta	baixa	baixa e CC	eletrolítico de alumínio	
		média	polipropileno	
		alta	polipropileno	
	média	baixa e CC	baixa e CC	eletrolítico de alumínio
			média	polipropileno
			alta	-
	alta	-	baixa e CC	-
			média	-
			alta	-

Fonte: referência 16

Observações:

Para o uso adequado da tabela:

- Devemos considerar a CAPACITÂNCIA:-
 - BAIXA em pF
 - MÉDIA em nF
 - ALTA em μF
- Devemos considerar a TENSÃO de Operação:
 - BAIXA em Volts
 - MÉDIA em centenas de Volts (10^2 V)
 - ALTA em milhares de Volts (10^3 V)
- Devemos considerar a FREQUÊNCIA de Operação:
 - BAIXA, desde corrente contínua até frequências de milhares de Hertz (10^3 Hz)
 - MÉDIA, de milhares a milhões de Hertz (de 10^3 a 10^6 Hz)
 - BAIXA, de milhões a bilhões de Hertz (de 10^6 a 10^9 Hz)

Exemplo de Aplicação da Tabela:

Devemos escolher um capacitor de 100nF para operar numa faixa de tensão de 250V a uma frequência de 10kHz.

Pelas características da tabela concluímos que a *capacitância* é *média* (nF), que a tensão, na faixa de centenas de Volts é uma *tensão média* e que a frequência na faixa de milhares de Hz (kHz) é uma *freqüência média*.

Analisando a tabela, podemos utilizar no circuito um **capacitor de poliéster metalizado**.

Referências Bibliográficas:

1. KEMET, Electronics Corporation; "What is a Capacitor?", Catálogo de Fabricante, 1996.
2. LOURENÇO, A. C. et alli; "Circuitos em Corrente Contínua", Editora Érica, 1996.
3. FOWLER, R. J.; "Eletricidade, Princípios e Aplicações – volume 1 e 2", Editora Mac Graw Hill, 1992.
4. SENAI, "Reparador de Circuitos Eletrônicos – módulo I", apostila.
5. VILLAÇA, M. A., "Notas de Aula", CEFET/SC.
6. MUSSOI, F.L.R., "Notas de Aula", CEFET/SC.
7. FARADNET, "Electrolytic Capacitors", www.rawspace.com/faradnet, 1998.
8. INTERNET, "Capacitor Guide", <http://leonardo.eeug.caltech.edu>, 1998.
9. COOPER Power Systems, "Capacitor Products", www.cooperps.com, 1998.
10. INTERNET, "Capacitor Materials...what's the differences?", www.ee.washington.edu, 1998.
11. ELEKTOR ELECTRONICS; "Capacitors", julho/agosto, pp.32-35, 1997.
12. OCCIDENTAL SCHOOLS, "Capacitores", módulo MB4, pp. 5;38;40;46.
13. OCCIDENTAL SCHOOLS, "Os componentes eletrônicos", módulo TCV6, p. 13.
14. OCCIDENTAL SCHOOLS, "Peças e componentes de aparelhos eletrônicos", módulo SM1, pp. 12;18;19.
15. ICOTRON, "Boletim Técnico Informativo", número 53, 1986.
16. PAIXÃO R. R. e HONDA, R.; "850 Exercícios de Eletrônica – Resolvidos e Propostos", Ed. Érica, São Paulo, 1991.
17. ANDREY, J.M.; "Eletrônica Básica: teoria e prática", Ed. Rideel, São Paulo, 1999.

Fernando Luiz Rosa Mussoi
capacitores-apostila-versãoII.doc
03.10.2000