

CAPACITOR ELETROLÍTICO

Professor: Roberto Bairros dos Santos
www.bairrospd.com

Data:28/06/2016

Sumário

Introdução:	3
Construção básica do capacitor eletrolítico:	4
Construção do anodo do capacitor eletrolítico:	5
Construção do dielétrico em um capacitor eletrolítico:	6
Construção da bobina de um capacitor eletrolítico:	8
Como ligar um capacitor eletrolítico:	10
Apresentação do capacitor eletrolítico:	13
Parâmetros elétricos do capacitor eletrolítico:	15
Conclusão:	18

Introdução:

Esta apostila descreve os conceitos básicos do capacitor eletrolítico, sua forma construtiva e aspectos elétricos e práticos.

Construção básica do capacitor eletrolítico:

O capacitor eletrolítico de alumínio que é abreviado como Capacitor Eletrolítico ALU é um capacitor de amplo uso na eletrônica e a sua principal vantagem é pequeno tamanho em função da capacitância alcançando hoje valores da ordem de Farad!

O capacitor eletrolítico AL suporta altas correntes de ripple e uma boa relação custo benefício.

Como qualquer outro capacitor o capacitor eletrolítico ALU é composto por dois condutores separados por um isolante (dielétrico), no entanto um dos condutores do capacitor ALU é composta por uma folha de alumínio e a outra é composta por um líquido condutor, não é um condutor sólido, este líquido condutor é chamado de eletrólito.

O dielétrico é formado por uma fina camada de óxido de alumínio (Al_2O_3), esta camada é extremamente fina o que faz com que o capacitor possa ser construído em tamanhos bem pequenos em relação aos tipos com dielétrico de plástico!

Uma segunda folha de alumínio (catodo) é montada sobre o eletrólito de forma a permitir a boa conexão elétrica entre os terminais e o eletrólito condutor, aumentando assim, a área de contato entre o terminal do capacitor e a o eletrólito. A figura abaixo mostra de forma esquemática a construção básica do capacitor eletrolítico.

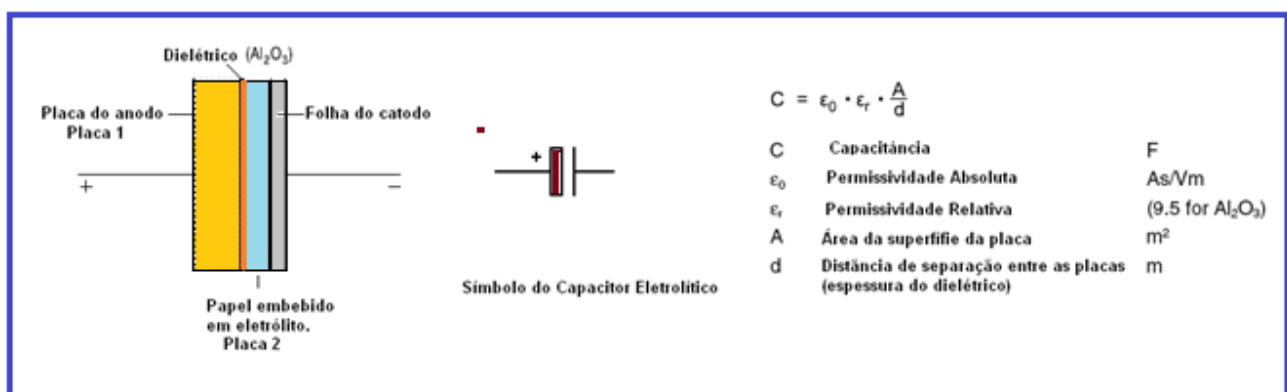


FIGURA 1: CONSTRUÇÃO BÁSICA DE UM CAPACITOR ELETROLÍTICO.

Construção do anodo do capacitor eletrolítico:

O segredo do capacitor eletrolítico está na folha de alumínio que compõe uma das placas, esta folha além de ser oxidada gerando o fino dielétrico esta folha é quimicamente tratada de forma a aumentar a área.

Com mais área e dielétrico muito fino é possível construir pequenos capacitores com alta capacitância!

O anodo do capacitor eletrolítico ALU é uma folha de extrema pureza e a superfície desta folha é aumentada (de um fator maior do que 200 x) através de um processo de corrosão eletroquímico permitindo alcançar altas capacitâncias sem aumentar o volume do componente. O tipo e o padrão da corrosão dependem da aplicação do capacitor. Este tipo de construção permite a construção de pequenos componentes com alta capacitância e ainda é a forma mais simples de fazer capacitores de pequeno volume

Os capacitores convencionais com placas planas apresentam um comportamento melhor do que o capacitor eletrolítico, no entanto, ainda são muito grandes para a maioria das aplicações onde há necessidade de altas capacitâncias em pequenos volumes.

A figura abaixo mostra o corte ampliado de uma folha de alumínio após a corrosão, esta é a imagem sob um microscópio.

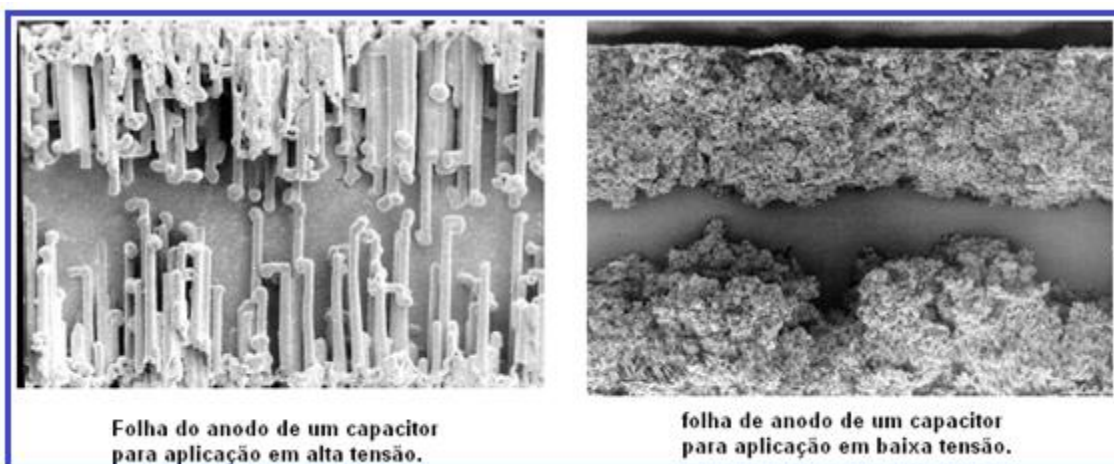


FIGURA 2: FOLHA DE ALUMÍNIO DE UM CAPACITOR ELETROLÍTICO ALU AMPLIADA 400x.

Construção do dielétrico em um capacitor eletrolítico:

O dielétrico do capacitor eletrolítico ALU é construído a partir da oxidação anódica da folha do anodo formando uma fina camada de óxido de alumínio sobre esta folha. A espessura desta camada de óxido é função da tensão de trabalho do capacitor e é da ordem de $1,2\text{nm/V}$, mesmo para capacitores de alta tensão a espessura da camada de óxido fica na ordem $1\ \mu\text{m}$, com isto é possível a construção de capacitores muito pequenos. E esta é a razão da alta eficiência por volume deste tipo de capacitor em relação aos capacitores convencionais que apresentam folhas com espessura da ordem de 6 a $8\ \mu\text{m}$ para as folhas mais finas.

A figura abaixo mostra um capacitor de plástico e um capacitor eletrolítico de mesmo valor, o eletrolítico é bem menor!

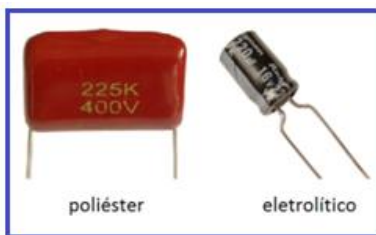


FIGURA 3:RELAÇÃO TAMANHO CAPACITÂNCIA!

Durante o processo de fabricação um processo químico provocado uma corrosão formando pequenas ranhuras ou covas no alumínio, com isto uma folha de alumínio comum adquire mais área, e o valor do capacitor depende da área das placas, você pode observar este efeito na figura abaixo, a folha parece enrugada, este processo é chamado de anodização!

Os interiores destas covas são preenchidos com o óxido de alumínio formando o dielétrico, a espessura do dielétrico depende do espaço no interior destas covas, de forma que este fato é fator determinante na tensão de trabalho do capacitor, uma folha trabalhada desta forma com as covas e o óxido de alumínio fica bem mais escura, sem brilho, a folha sem corrosão é brilhante como a mostrada abaixo.



FIGURA 4:FOLHA DE ALUMÍNIO SEM ANODIZAÇÃO COM ANODIZAÇÃO!

A figura abaixo mostra o comportamento da corrente tensão em capacitores eletrolíticos.

O processo da formação de gases já começa a ocorrer no joelho da curva, desta forma a tensão de trabalho V_R ($V_R = \text{Rated Voltage}$) deve ser especificada somente na parte linear da curva.

Se o capacitor for submetido a surtos de tensão, o pico de tensão deste surto deve ficar restrito ao níveis entre a tensão de trabalho (V_R) e a tensão de formação (V_F).

A região entre a tensão de trabalho e a tensão de formação é chamada de tensão de sobre anodização e é de vital importância para a confiabilidade do capacitor. Se o capacitor é construído com uma larga sobre anodização este capacitor terá uma vida útil maior e são descritos pelas letras "LL" (long Life) conforme a norma IEC 60384-1.

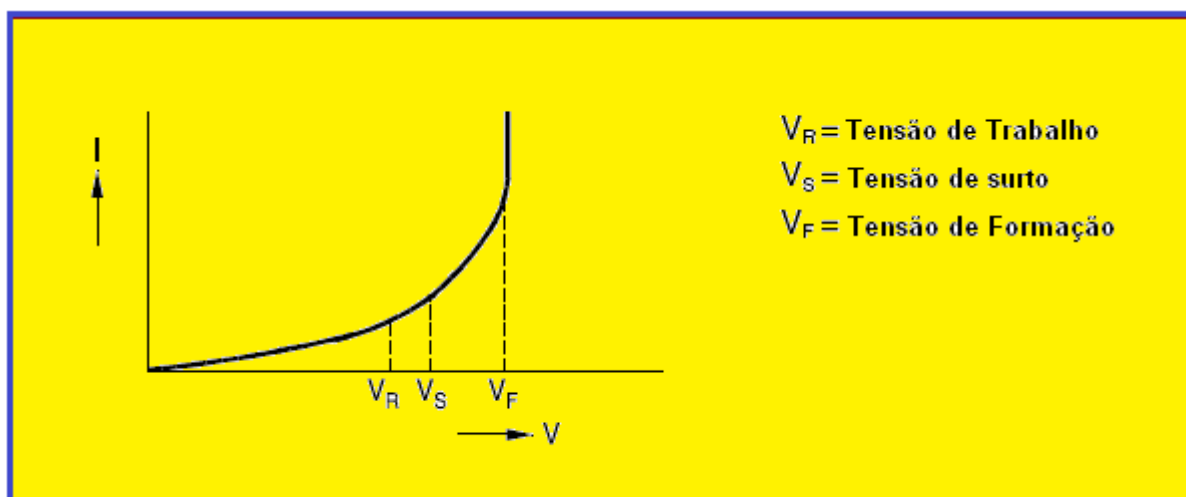


FIGURA 5: RELAÇÃO TENSÃO CORRENTE EM UM CAPACITOR ELETROLÍTICO.

Construção da bobina de um capacitor eletrolítico:

Como o capacitor eletrolítico tem uma placa constituída por um líquido (catodo) ele também é descrito como um capacitor úmido ou não sólido. O líquido tem a vantagem de penetrar nas covas geradas na folha de alumínio do anodo para formar a estrutura do capacitor e este liquido será uma das placas condutora do capacitor a outra é a folha de alumínio anodizado e oxidado.

As duas folhas de alumínio são separadas por uma folha de papel. Esta folha de papel tem várias funções sendo a principal a de reter o eletrólito líquido, mantendo-o na posição correta a frente da folha do anodo, este eletrólito é mantido preso nos poros da folha de papel. A folha de papel também serve para separar as folhas de alumínio prevenindo o curto circuito entre as folhas e reforçando a rigidez mecânica do componente. Este conjunto de folhas de alumínio e papel é enrolado na forma de uma bobina formando o núcleo do capacitor de alumínio. A figura abaixo mostra uma bobina de um capacitor eletrolítico típico.

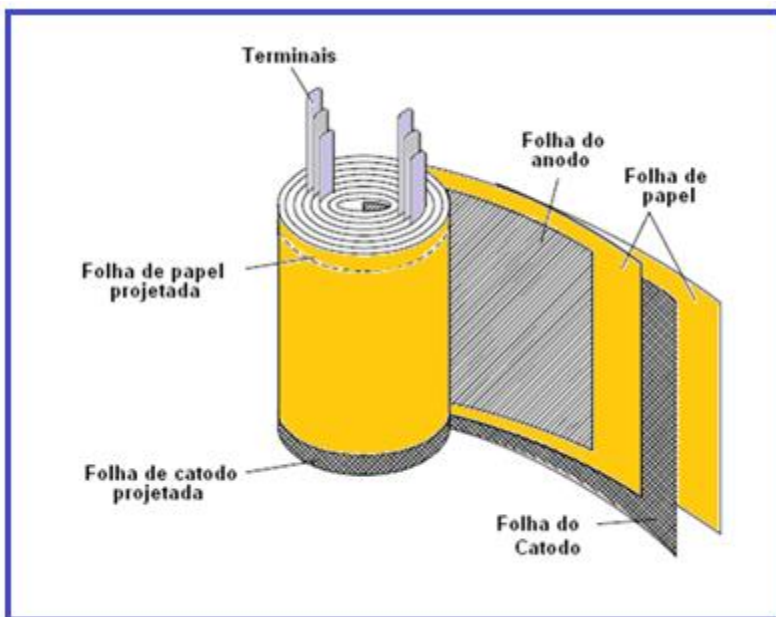
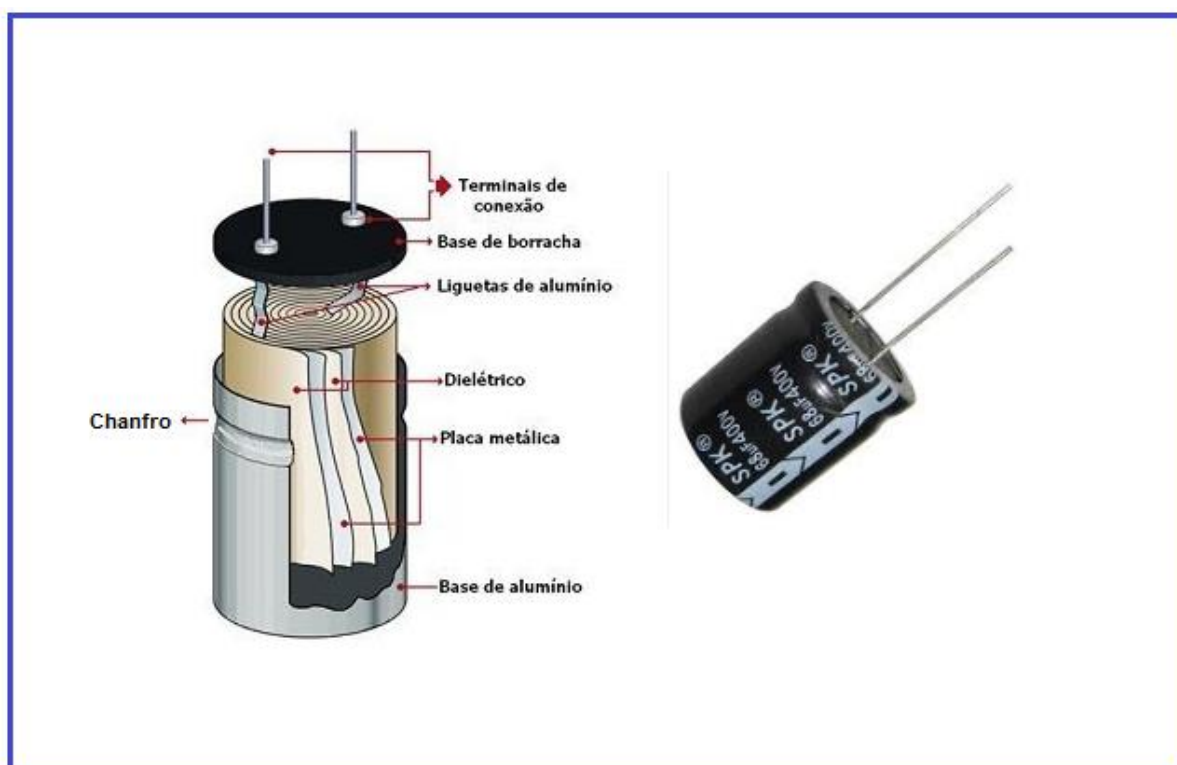


FIGURA 6: BOBINA DE UM CAPACITOR ELETROLÍTICO AL.

A bobina é montada em uma caneca de alumínio e fechada com uma tampa de borracha fixada na caneca de alumínio através de um chanfro.

A conexão dos terminais internos com o terminal externo é feita usando solda à ponto ou Laser!

Sobre a caneca de alumínio o capacitor é encapsulado com um tudo de PVC com a inscrição do capacitor descrevendo o valor, tensão de trabalho, tolerância fabricante, polaridade etc. O tubo de PVC serve ainda para isolar eletricamente a caneca de alumínio que está em contato com o líquido do eletrólito, desta forma, em contato com o terminal negativo do capacitor!



Como ligar um capacitor eletrolítico:

Todo o capacitor eletrolítico construído da forma descrita até agora somente opera de forma correta se o polo positivo da fonte for ligado a folha de anodo e polo negativo da fonte for ligado ao catodo, isto significa que o capacitor eletrolítico é polarizado.

O símbolo de um capacitor eletrolítico salienta este detalhe indicando o terminal positivo, tenha cuidado pois na caneca do capacitor real é salientado o polo negativo, outra forma de identificar o terminal positivo é pelo comprimento dos terminais, o terminal positivo é o mais comprido!

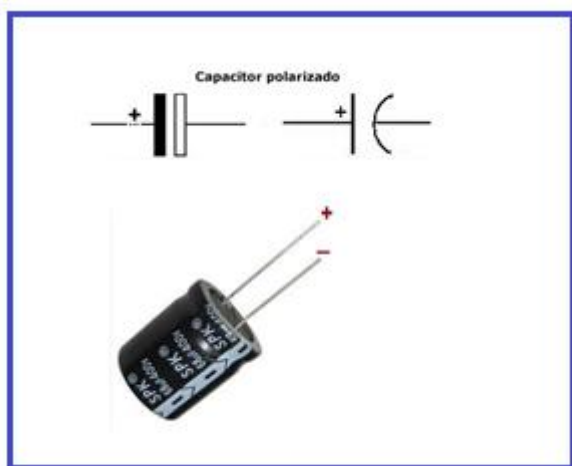


FIGURA 7: POLARIZAÇÃO DO CAPACITOR.

Se a fonte for ligada de forma inversa causará a formação do processo de oxidação da folha de alumínio do catodo gerando internamente grande quantidade de calor e gases que irão destruir o capacitor. Um efeito secundário da inversão da polarização é a diminuição da camada da folha do catodo em contato com o dielétrico de forma que o capacitor como um todo ficará seriamente prejudicado. Não inverta a polaridade do capacitor eletrolítico a formação de gases pode causar a explosão do capacitor e o líquido interno (eletrólito) pode causar danos à saúde e ao circuito uma vez que é condutor pode causar curto circuito nos componentes adjacentes! Os capacitores modernos possuem uma válvula de escape que impede a explosão, mas o eletrólito continuará vazando. A figura abaixo mostra um capacitor danificado mostrando o sistema de proteção acionado abrindo a parte superior da caneca e evitando que o capacitor explodisse, mas o eletrólito vazou!



FIGURA 8: CAPACITOR COM FALHA.

O capacitor eletrolítico ALU construído na forma descrita neste trabalho deverá ser usado somente em circuitos de corrente contínua (CC ou DC do inglês).

As fontes de CC possuem uma pequena ondulação chamada de "RIPPLE", que é na verdade uma componente de tensão alternada (CA ou AC do inglês) sobreposta a tensão CC a fonte, esta tensão de ripple ainda é considerada uma tensão contínua, o único cuidado é quanto a tensão de trabalho. Ao especificar a tensão de trabalho do capacitor o pico da tensão de ripple deverá ser considerado!

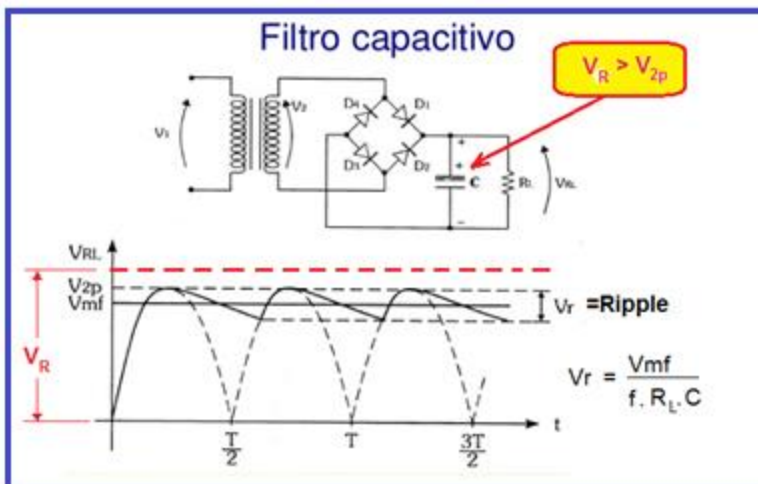


FIGURA 9: O RIPPLE.

O capacitor eletrolítico é um componente polarizado de forma que o terminal positivo do capacitor (ânodo) deverá ser ligado a tensão positiva da fonte e o terminal negativo do capacitor (cátodo) deverá ser ligado ao terminal de zero volt da fonte que é, normalmente a conexão de terra.

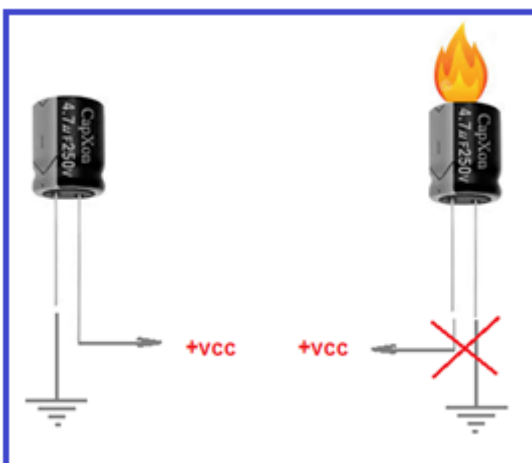


FIGURA 10: A INVERSÃO DE POLARIDADE PODE SER FATAL!

Como foi descrito anteriormente o capacitor eletrolítico não suporta a inversão de polaridade, no entanto uma tensão inversa de 1,5V é admissível por um curto período de tempo uma vez que o processo de oxidação da folha de alumínio necessita de tensões acima deste nível para ocorrer. Isto é devido ao fato de a folha de catodo é recoberto por uma camada fina de óxido de alumínio gerada pelo contato com o ar, toda a folha de alumínio possui esta camada de óxido natural, esta camada possui uma isolamento da ordem de 1,5V, por isto o capacitor eletrolítico pode ser usado como acoplador de sinal de áudio em amplificadores!

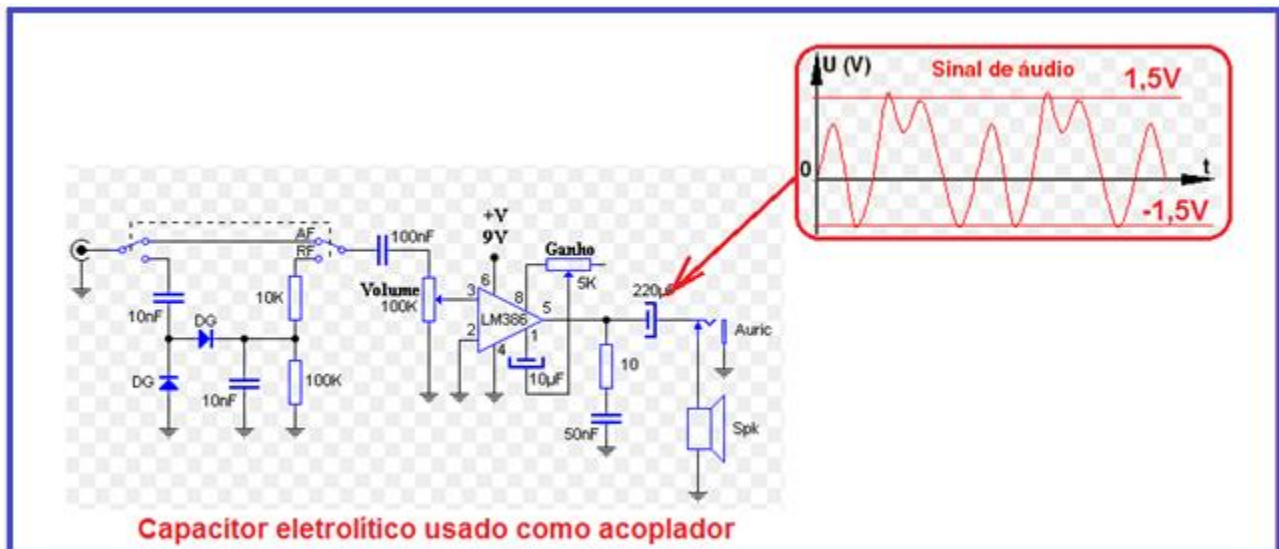


FIGURA 11:CAPACITOR ELETROLÍTICO SENDO USADO COMO ACOPLADOR!

Apresentação do capacitor eletrolítico:

Você deve ter cuidado ao montar o capacitor eletrolítico quanto:

- Identificação dos terminais.
- Tensão de trabalho do capacitor.
- Capacitância nominal.
- Tolerância.

Você pode fazer a identificação dos terminais de duas formas:

- Pelo comprimento dos terminais: O catodo é o terminal mais curto.
- Pelo desenho no corpo do capacitor: O corpo do capacitor possui uma indicação da polaridade do terminal, normalmente é indicado o terminal negativo.

A identificação pelo desenho no corpo do capacitor é mais prático uma vez que ao montar o componente os terminais são cortados perdendo a identificação pelo comprimento do terminal.

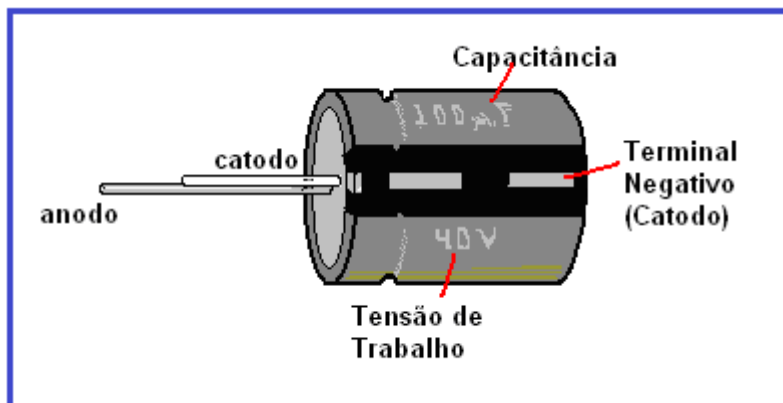


FIGURA 12: CAPACITOR ELETROLÍTICO TÍPICO.

Você deve ter cuidado em usar o capacitor somente em circuitos cuja tensão máxima não ultrapasse a tensão de trabalho (também chamada de tensão nominal) do capacitor. Por exemplo, se você estiver trabalhando em um circuito retificador com tensão de saída igual a 24 VCC use um capacitor com tensão de trabalho de 40VCC. Escolha sempre uma tensão de trabalho acima da tensão CC do circuito uma vez que a tensão de ripple deve ser levada em conta.

A capacitância nominal também vem descrita no corpo do capacitor juntamente com a tolerância. Os capacitores eletrolíticos são construídos com tolerâncias entre 5% e 10% para mais e para menos da capacitância nominal.

CAPACITOR ELETROLÍTICO

A figura 07 mostra os tipos de capacitores, a mais comuns é a montagem radial, onde os terminais saem do mesmo lado, mas também ainda são encontrados capacitores com montagem axial onde os terminais são montados em lados opostos da caneca.



FIGURA 13: CAPACITOR AXIAL E RADIAL.

Existem capacitores de potência especiais que podem ser aplicados em corrente alternada, estes tipos de capacitores não são polarizados, o truque para conseguir ligar um capacitor eletrolítico em AC consiste em montar dois capacitores em oposição como mostra a figura abaixo, este tipo de capacitor é muito usado em partida de motores sendo uma alternativa de menor volume em relação aos capacitores de plástico!

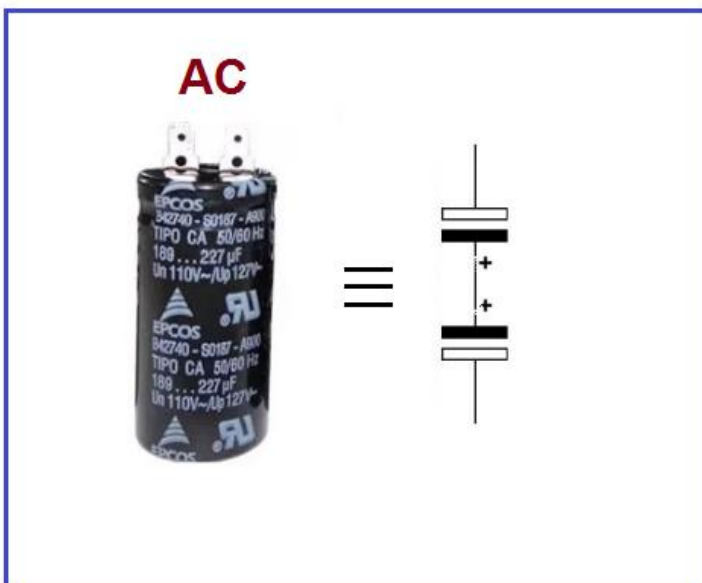


FIGURA 14 CAPACITOR ELETROLÍTICO SEM POLARIDADE

Parâmetros elétricos do capacitor eletrolítico:

Abaixo é descrito uma lista dos parâmetros elétricos do capacitor eletrolítico e as suas definições:

Tensão de trabalho ou tensão nominal V_R :

É a máxima tensão CC que pode ser aplicado no capacitor, capacitores com tensão de trabalho menor do que 100V são considerados capacitores de baixa tensão, capacitores com tensão de trabalho acima de 100V são considerados capacitores de alta tensão.

Tensão de operação V_{op} :

Esta é a tensão em que o capacitor vai operar no circuito!

Um capacitor pode operar de forma contínua entre a tensão de 0V e a tensão de trabalho (tensão nominal) incluindo a tensão de ripple.

Por um curto período de tempo o capacitor pode operar a uma tensão de -1,5V.

Note que você não precisa que a tensão de trabalho, descrita no corpo do capacitor seja igual a tensão do circuito em que você vai ligar o capacitor (tensão de operação), mas a tensão de trabalho deve ser maior do que a tensão de operação!

Tensão de surto V_s :

A tensão de surto é definida como uma tensão aplicada sobre o capacitor num curto período de tempo, por exemplo, 5 vezes por hora com um período máximo de 1 minuto cada surto. A norma IEC60384-4 especifica a tensão de surto como descrito abaixo.

$$\text{Para } V_R \leq 315 V_{CC} \quad V_s = 1.15 \times V_R$$

$$\text{Para } V_R > 315 V_{CC} \quad V_s = 1.10 \times V_R$$

Onde:

V_R é a tensão de trabalho (nominal).

V_s é a tensão de surto.

Tensão CA sobreposta (RIPPLE):

Um capacitor eletrolítico suporta tensões sobrepostas (RIPPLE) desde que:

A soma da tensão sobreposta mais a tensão de operação não ultrapassem a tensão de trabalho.

Tensão reversa:

O capacitor eletrolítico é polarizado, logo não admite em funcionamento normal que seja ligado a tensão inversa.

Tensão reversa menor do que 1,5V é admitido por um tempo menor do que um segundo.

Capacitância nominal C_R :

É a capacitância descrita no corpo do capacitor e para a qual ele foi desenhado.

Esta capacitância na maioria dos capacitores (EPCOS por exemplo) é especificada para uma frequência de trabalho de 100Hz a 20°C.

Os valores dos capacitores seguem normalmente as séries E3 e E6.

Coeficiente de Perda TGD:

Este é um coeficiente que indica as perdas elétricas no capacitor e que são convertidas em calor, devido a estas perdas o capacitor real deve ser considerado como um capacitor ideal em série com uma resistência que representa estas perdas.

No capacitor ideal a tensão e a corrente estão defasadas de 90°, no capacitor real este ângulo é menor do que 90°, na prática fica ao redor de 1°

As formas de descrever o tgd é mostrado abaixo.

- Indicando o valor da resistência série.
- Indicando o valor da tangente do ângulo de perda que é chamado de ângulo Delta.
- Percentagem relacionando a resistência série em relação a reatância capacitiva (X_c/R_s).

A figura abaixo mostra o ângulo Delta e a equação para determinar o valor do tgd. Note que o valor do tgd é função da resistência série, do valor da capacitância e da frequência.

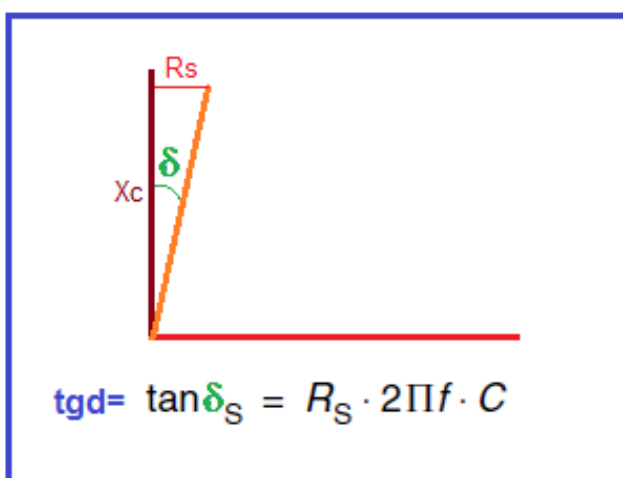


FIGURA 15: O TGD.

Você pode imaginar o tgd como um coeficiente de qualidade do capacitor, quanto menor o valor do tgd melhor é o capacitor, o valor típico de um capacitor eletrolítico é de 0,003, por ser um coeficiente não tem unidade!

Outro ponto importante é que o tgd é função da frequência, os capacitores eletrolíticos são dimensionados para trabalhar em baixas frequências 60Hz ou no máximo em frequência de áudio, não são bons em aplicações em alta frequência, justamente devido ao aumento destas perdas.

O valor do tgd em capacitores eletrolíticos são dimensionados e medidos na frequência e 100Hz!

Tolerância do capacitor:

A tolerância especifica o desvio máximo que o capacitor real pode ter em relação a capacitância nominal C_R . Na maioria dos capacitores esta tolerância é indicada por uma letra conforme a norma IEC 60062.

- Letra "J" indica tolerância de $\pm 5 \%$.
- Letra "K" indica tolerância de $\pm 10 \%$.
- Letra "M" indica tolerância de $\pm 20 \%$.



FIGURA 16: TOLERÂNCIA.

Conclusão:

O técnico precisa conhecer bem as suas características do capacitor eletrolítico para poder identificar em um diagrama eletrônico e saber manusear com segurança este componente!

A principal característica de um capacitor eletrolítico é que ele é um componente polarizado você deve ter bastante cuidado ao montá-lo!

