



9

DIELÉCTRICOS

9.1 DIELECTRICOS

9.1.1 O QUE SÃO OS DIELECTRICOS?

Os dielétricos são materiais, geralmente não metálicos, com uma alta resistividade, pelo que a passagem de corrente através deles é muito fraca (corrente de passagem ou de fuga).



Aproveitando esta característica, usam-se como isolantes para bloquear os electrões ou delimitar o caminho que podem tomar.

9.1.2 RIGIDEZ DIELECTRICA

É o máximo gradiente de potencial que pode suportar um material antes de produzir a sua destruição por disrupção; expressa-se em kV/mm. O seu valor é fortemente influenciado pelas condições de ensaio - mesmo supondo que se consegue um campo perfeitamente uniforme e se estabilizam as propriedades do material eliminando impurezas e efeito da humidade, também se nota a influência do tempo de ensaio. O mecanismo de degradação com tempos de ensaio longos é um fenómeno térmico (aquecimento por perdas dielétricas e correntes de carga), enquanto que para tempos curtos estes fenómenos não influem e estamos perante fenómenos ligados às forças eléctricas presentes.

Em geral a rigidez dielétrica diminui ao aumentar o tempo de ensaio segundo uma lei do tipo hiperbólico.





9.1.3 CONSTATNE DIELÉCTRICA

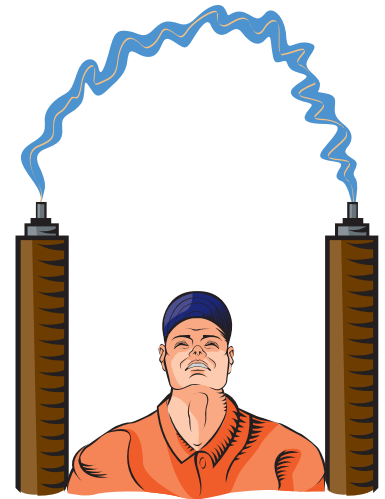
É a relação entre a carga de um condensador com dielétrico do material considerado e a do mesmo condensador se o dielétrico fosse o vazio.

O fenómeno que se mede corresponde à polarização das partículas que compõem a estrutura do dielétrico. Quanto maior for a separação entre as cargas e o seu valor na molécula maior será a influência que exercem sobre o campo eléctrico e a constante dielétrica.

A energia acumulada num condensador é dada por:

$$W = \frac{1}{2} C \cdot V^2 = \frac{1}{2} C_0 \epsilon V^2$$

$$\text{donde: } \epsilon = \frac{C}{C_0}$$



C = capacidade

C_0 = capacidade sendo o dielétrico o vazio

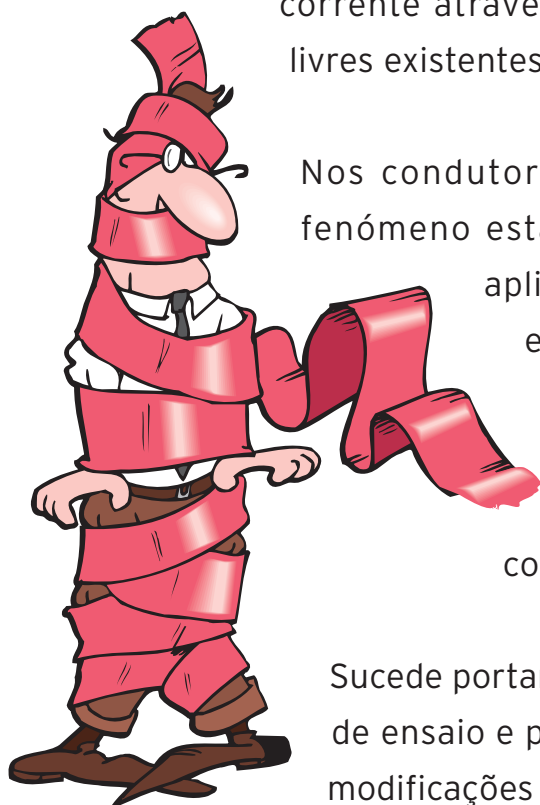
ϵ = constante dielétrica relativa

9.2 CONSTANTES DIELECTRICAS DE VÁRIAS SUBSTÂNCIAS

SUBSTÂNCIA	CONDIÇÕES	CONSTANTE DIELECTRICA
AR	GÁS, 0° C, 1 ATM	1,00059
ÁGUA	LÍQUIDO, 20° C	80
ÓLEO DE TRANSFORMADOR	LÍQUIDO, 20° C	2,24
QUARTZO	CRISTAL, 20° C	4,27 - 4,34
POLIETILENO	SÓLIDO, 20° C	2,25 - 2,3
NEOPRENO	SÓLIDO, 20° C	4,1
PVC	SÓLIDO, 20° C	6 - 8
EPR	SÓLIDO, 20° C	3
PEX	SÓLIDO, 20° C	2,5 - 3

9.2.1 RESISTIVIDADE (ISOLANTES)

Quando se submete um dielétrico a uma tensão contínua, a passagem da corrente através dele estabelece-se por meio das poucas cargas livres existentes.



Nos condutores com grande quantidade de cargas livres, o fenómeno estabiliza a valores de resistência (relação tensão aplicada / intensidade de corrente) que variam pouco em intervalos bastante grandes; não sucede o mesmo nos dielétricos, onde a temperatura e as impurezas podem alterar significativamente as cargas livres disponíveis e por consequência a corrente resultante.

Sucede portanto que a resistividade varia muito com as condições de ensaio e podem ocorrer variações importantes por pequenas modificações da composição do material. Em geral, a resistividade



diminui com o aumento da temperatura e com a humidade (nos óleos).

A resistividade medida com corrente alterna é superior à obtida com corrente contínua, por intervirem outros processos de transferência de cargas.



9.2.2 RESISTÊNCIA SUPERFICIAL

Em muitas ocasiões pode passar corrente pela superfície do dieléctrico em lugar de fazê-lo através da massa. Trata-se de um fenómeno diferente da resistividade própria do dieléctrico, e que se mede pela resistência superficial.

Este valor depende da qualidade da superfície e da presença de pó, humidade, etc.. Este fenómeno não é muito importante nos cabos, mas pode ter importância junto aos terminais. É fundamental tê-lo em conta na concepção de isoladores.

9.2.3 ABSORÇÃO ELÉCTRICA

Quando se aplica uma tensão a um dieléctrico, para além dos fenómenos de polarização dá-se uma absorção de carga eléctrica que dura um certo tempo e cessa

mesmo que se mantenha a tensão. Se se deixar de aplicar tensão e curto-circuitarmos os eléctrodos o dieléctrico perde a carga.

Este fenómeno deve ser tido em conta quando medimos resistências, já que pode afectar os resultados.



9.2.4 PERDAS NO DIELECTRICO

Se aplicarmos uma tensão alternada a um dielétrico ocorrem os seguintes fenómenos:



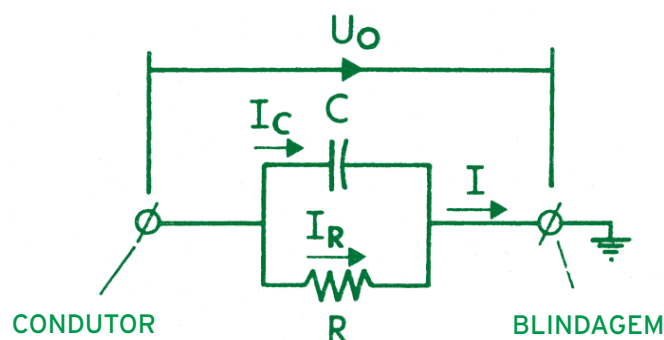
A) Circulará uma corrente de acordo com a lei de Ohm. O valor da intensidade dependerá da resistividade do isolante nas condições de operação e a sua passagem produzirá um aquecimento por efeito de Joule.

B) Haverá uma corrente de polarização, deslocada de $\pi/2$ radianos no plano de Gauss em relação à tensão aplicada. A intensidade da corrente dependerá da constante dielétrica do material (que influencia a capacidade do condensador que se forma). Não produz efeitos caloríficos.

C) As partículas polares vibrarão seguindo a excitação a que estão submetidas. Este fenómeno produz um efeito térmico no material que traduz o processo energético no seu interior. Este efeito não pode ser separado do referido em a), mas só se manifesta com aplicação de uma tensão alternada.

ÂNGULO DE PERDAS

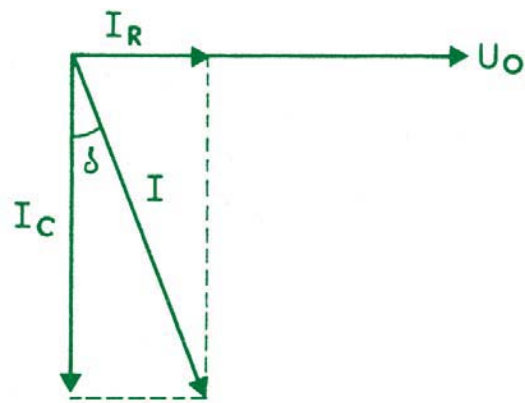
Dado que um cabo não é um condensador ideal, existe uma corrente de fuga I_R no dielétrico em fase com a tensão U_0



ESQUEMA EQUIVALENTE



DIAGRAMA VECTORIAL



A corrente real I no dielétrico forma um ângulo δ (de perdas) com a corrente reactiva I_C desfasada 90° da tensão U , correspondente a um condensador ideal sem perdas. É expresso por:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_R}{I_C}$$

O ângulo de perdas depende da temperatura, do material e da frequência. A Figura 1 mostra a variação de $\operatorname{tg} \delta$ com a temperatura para diferentes tipos de isolamento.

Condutância de isolamento (Perditância)

Define-se a condutância G como o inverso da resistência de perdas do isolamento.

$$G = \frac{I_R}{U_0} = \frac{I_C \operatorname{tg} \delta}{U_0} = \frac{\omega C U_0 \operatorname{tg} \delta}{U_0} = \omega C \operatorname{tg} \delta = \omega \epsilon C_0 \operatorname{tg} \delta \quad \text{Siemens/km}$$

$\omega = 2\pi f$ = Vel. angular

ϵ = Constante dielétrica relativa

C_0 = Capacidade se o dielétrico for o vazio

$\operatorname{tg} \delta$ = Ângulo de perdas

O produto " $\epsilon \cdot \operatorname{tg} \delta$ " é designado por factor de perdas.

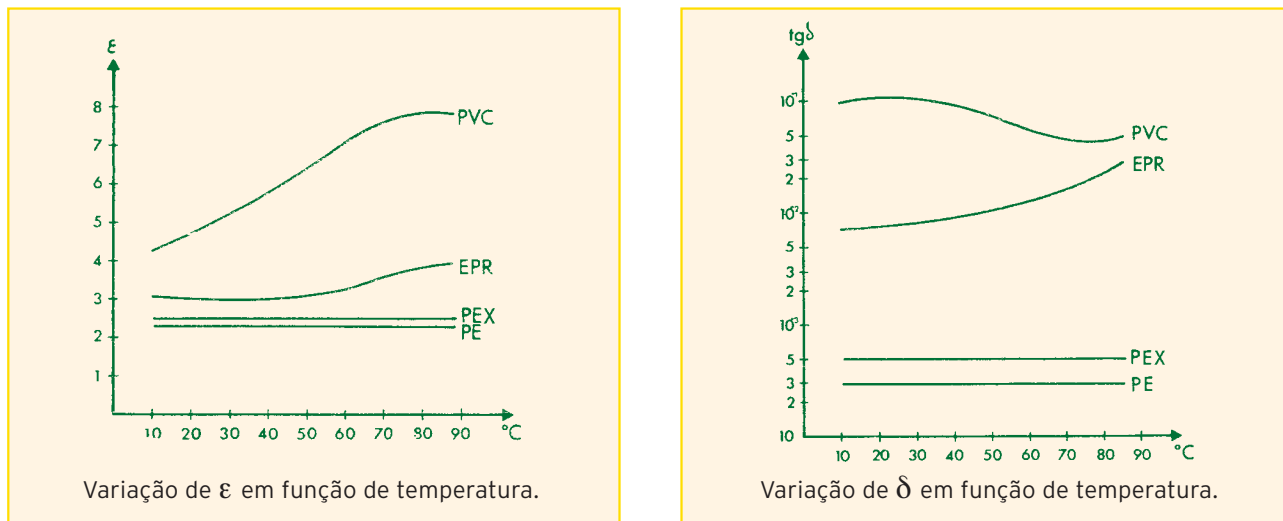


FIGURA 1

As perdas dieléctricas por fase num sistema trifásico são dadas pela fórmula:

$$W_d = \omega C U_0^2 \operatorname{tg} \delta \cdot 10^{-6} = G \cdot U_0^2 \cdot 10^{-6} \text{ W/km}$$

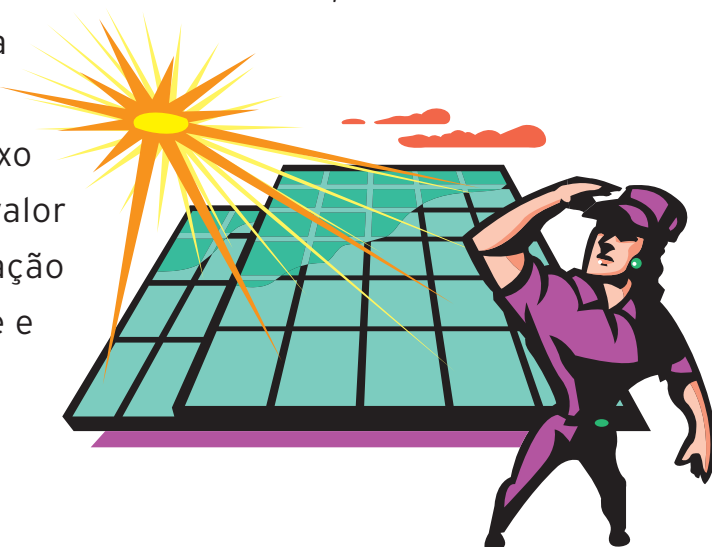
U_0 = tensão simples (V)

C = capacidade (μF/km)

Verifica-se que as perdas dieléctricas são proporcionais à perditância e ao quadrado da tensão simples. Nos cabos de baixa tensão estas perdas são praticamente desprezáveis mas adquirem importância para tensões mais elevadas.

9.2.5 FACTOR DE PERDAS

Nos cabos, para dar um indicador da qualidade do isolamento, é habitual medir o valor da tangente $\operatorname{tg} \delta$. Este valor dá a relação entre a corrente resistiva e a corrente capacitiva e deve ser o mais baixo e constante possível. Um aumento do valor de $\operatorname{tg} \delta$ indica possibilidade de deterioração do dieléctrico por passagem de corrente e consequentes efeitos térmicos no seu seio.





9.2.6 EFEITO DE CORONA

Se o campo eléctrico num ponto ultrapassa o valor da tensão disruptiva do material, produzir-se-á uma ionização com criação de cargas livres por destruição de moléculas electricamente equilibradas.

Pode suceder que o valor do campo eléctrico só seja suficiente em certos pontos, por concentração do campo devido a um defeito de concepção ou pela presença de inclusões ou vacúolos com um diferente valor de ϵ (p. ex., inclusões de ar). Nesse caso a ionização fica limitada no espaço e a descarga é designada descarga parcial.

Existem dieléctricos que resistem bem a níveis elevados de descargas parciais mas outros degradam-se por decomposição mesmo com níveis de descargas baixos (muitos dos isolamentos de cabos secos de MT e AT são sensíveis a estes fenómenos).



9.2.7 RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

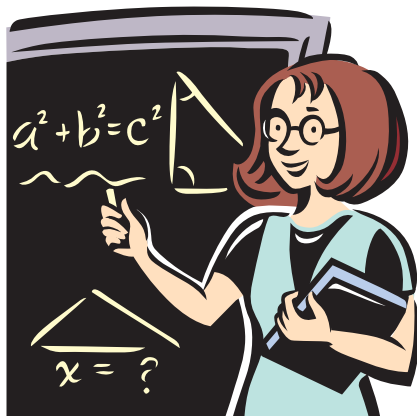
A resistência de isolamento dos cabos mede-se normalmente em $M\Omega \cdot km$. Para um mesmo valor de resistividade do dieléctrico a resistência de isolamento é tanto maior quanto maior for a espessura do isolante e menor o diâmetro do condutor.

O valor da resistência de isolamento para cabos monocondutores (secção circular) é:

$$R = 0,367 \frac{\vartheta}{l} \log \frac{d_2}{d_1}$$

em que:

- ϑ = Resistividade volúmica
- d_1 = Diâmetro do condutor
- d_2 = Diâmetro sobre isolamento (expresso nas mesmas unidades que d_1)
- l = Comprimento do cabo



A definição de Ki (Constante de Isolamento) pode ser a resistência de isolamento em $M\Omega$ de um cabo modelo com 1 km de comprimento e uma relação de diâmetros de 10 ($d_2/d_1 = 10$). O valor de Ki depende apenas do material isolante.

$$K_i = 0,367 \cdot 10^{-5} \text{ } M\Omega.km$$

Assim, pode comparar-se a resistência de isolamento de cabos diferentes calculando os Ki dos mesmos

$$K_i = \frac{R \cdot l}{\log \frac{d_2}{d_1}}$$

em que R é a resistência de isolamento do cabo ($M\Omega$).

Em consequência se conhecermos o valor de Ki a 20 °C para os isolantes poliméricos mais usuais e aplicando a fórmula anterior podemos prever facilmente a resistência de isolamento em $M \Omega.km$.

Tipo de isolante	Valor de Ki a 20°C
PVC	36,7
EPR	3.670
PEX	3.670
PE	50.000
Si (Borr. Silicone)	1.500



9.2.8 CAPACIDADE

A capacidade de um cabo depende das dimensões do cabo e da constante dielétrica relativa do isolamento.

Nos cabos de campo radial a capacidade pode ser calculada considerando o cabo como um condensador cilíndrico.

$$C = \frac{0,0241 \epsilon}{\log \frac{D}{d}} \mu\text{F/km}$$

ϵ = constante dielétrica relativa

D = diâmetro sobre isolamento

d = diâmetro do condutor, incluindo a camada semi-condutora se existir

9.2.9 QUEDAS DE TENSÃO

Nas ligações eléctricas, a existência de resistência e reactância origina uma diferença entre as tensões nos extremos do troço considerado, a qual se designa por queda de tensão. O seu valor numérico depende da natureza e intensidade da corrente que atravessa o troço, do comprimento, e das dimensões e disposição dos condutores.

Em ligações de cabos isolados não se toma em consideração, excepto para comprimentos muito longos, a influência da capacidade entre condutores ou à terra, o que não significa que seja desprezável em todas as situações.

Também se ignora a condutância do isolamento (Perditância). Podemos assimilar a linha a um circuito equivalente (Figura 2), em que R é a resistência da linha, X_L a sua reactância (indutiva) e se admite que metade da capacidade está concentrada nos extremos.

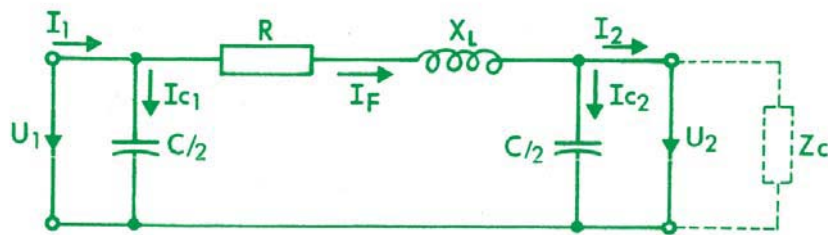


FIGURA 2

O diagrama vectorial equivalente de tensões e correntes é o da Figura 3, ou mais simplesmente o da Figura 4 dado que na prática I_{c1} e I_{c2} são bastante inferiores a I_1 e I_2

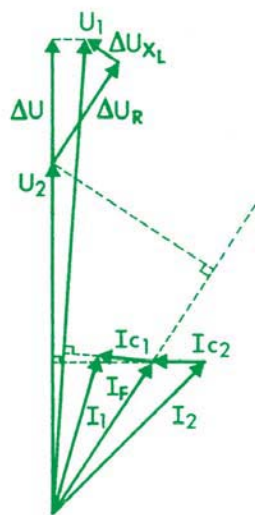


FIGURA 3

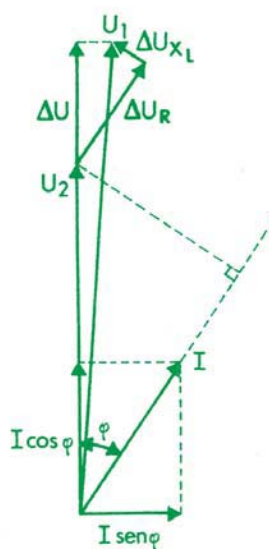


FIGURA 4

Na prática a queda de tensão é calculada pelas fórmulas seguintes:

1) Corrente alterna trifásica:

$$\Delta U = \sqrt{3} I L (r \cos \varphi + x \sin \varphi) = \sqrt{3} I (R \cos \varphi + X_L \sin \varphi)$$

$$\Delta U = L \frac{rP + xQ}{U} = \frac{RP + X_L Q}{U}$$

$$\delta U = \frac{\sqrt{3} I L}{U} (r \cos \varphi + x \sin \varphi) = \frac{\sqrt{3} I}{U} (R \cos \varphi + X_L \sin \varphi)$$

$$\delta U = L \frac{rP + xQ}{U^2} = \frac{RP + X_L Q}{U^2}$$



- R = Resistência total do condutor
- r = Resistência por unidade de comprimento
- X_L = Reactância total (indutiva) de um condutor
- x = Reactância por unidade de comprimento
- L = Comprimento da ligação
- P = Potência activa
- Q = Potência reactiva
- ΔU = Queda de tensão entre fases
- δU = Queda percentual da tensão entre fases
- U = Tensão composta

Corrente alterna monofásica:

$$\Delta U = I(R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

$$\Delta U = \frac{RP + XQ}{U}$$

$$\delta U = \frac{I}{U}(R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

$$\delta U = \frac{RP + XQ}{U}$$

R, X = valores totais para os dois condutores

NOTA: Nos nossos catálogos técnicos incluímos as quedas de tensão em V / A.km com $\cos \varphi$ 0,8 e 1, para cada uma das secções em mm². A resistência do condutor R , em Ohm / km, está referida a 90 °C c.a..