

TEMA 3: CONDENSADORES. FENÓMENOS MAGNÉTICOS. BOBINAS

1. O CONDENSADOR.....	3
1.1. FUNCIONAMIENTO.....	3
1.2. CAPACIDADE.....	3
1.3. ENERXÍA ALMACENADA NUN CONDENSADOR.....	5
1.4. ASOCIACIÓN DE CONDENSADORES.....	5
1.4.1. CONDENSADORES EN SERIE.....	5
1.4.2. CONDENSADORES EN PARALELO.....	6
1.5. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DUN CONDENSADOR.....	6
1.6. TIPOS DE CONDENSADORES.....	7
1.6.1. CONDENSADORES FIXOS.....	7
1.6.2. CONDENSADORES VARIABLES.....	10
1.7. IDENTIFICACIÓN DE CONDENSADORES.....	10
2. COMPORTAMENTO DO CONDENSADOR EN CORRENTE CONTINUA.....	12
2.1. CARGA DO CONDENSADOR.....	12
2.2. DESCARGA DO CONDENSADOR.....	13
2.3. ECUACIÓN DE CARGA E DESCARGA.....	13
3. FENÓMENOS MAGNÉTICOS.....	14
3.1. CAMPOS MAGNÉTICOS CREADOS POR CORRENTES.....	15
3.2. INDUCCIÓN MAGNÉTICA (B).....	15
3.3. FLUXO MAGNÉTICO (Φ).....	16
3.4. INTENSIDADE DE CAMPO MAGNÉTICO (H).....	16
3.5. PERMEABILIDADE (M).....	17
4. INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA: LEIS DE FARADAY E LENTZ.....	18
4.1. LEI DE FARADAY.....	18
4.2. LEI DE LENTZ.....	18
5. AUTOINDUCCIÓN. BOBINAS.....	18
5.1. COEFICIENTE DE AUTOINDUCCIÓN (L).....	18

5.2. CARACTERÍSTICAS DAS BOBINAS.....	19
5.3. TIPOS DE BOBINAS.....	20
5.3.1. BOBINAS FIXAS.....	20
5.3.2. BOBINAS VARIABLES.....	20
5.4. ENERXÍA ALMACENADA NUNHA BOBINA.....	20
5.5. ASOCIACIÓN DE BOBINAS.....	21
6. COMPORTAMENTO DAS BOBINAS EN CORRENTE CONTINÚA.....	21
6.1. TRANSITORIO DE CARGA.....	21
6.2. TRANSITORIO DE DESCARGA.....	22
6.3. TRANSITORIO DE APERTURA.....	22
6.4. COMPORTAMENTO ESTACIONARIO.....	22
7. O TRANSFORMADOR.....	23
7.1. O AUTOTRANSFORMADOR.....	24
8. O RELÉ.....	24



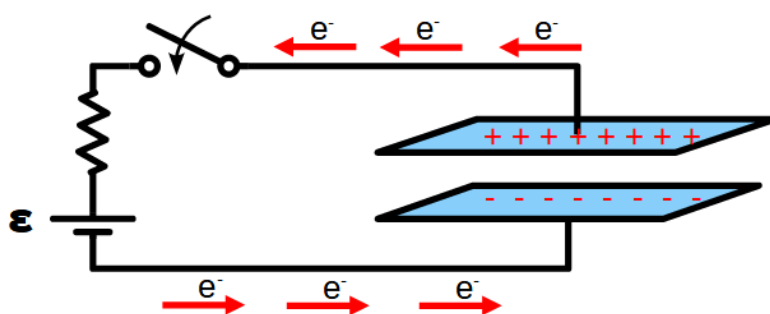
1. O CONDENSADOR

Os condensadores son compoñentes pasivos que, ao aplicarlles unha tensión, almacenan unha certa cantidade de carga. Isto fai que se opoñan ás variacións de tensión no circuíto aportando corrente na medida que a cantidade de carga almacenada llelo permita.

1.1. FUNCIONAMENTO

O condensador máis elemental esta composto por dúas placas de material condutor situadas a unha certa distancia e separadas por un material illante.

Na figura da dereita, por exemplo, conectáronse dúas placas paralelas dun material condutor, separadas por un espazo de aire, mediante un interruptor e un resistor a unha batería. Se inicialmente as placas paralelas non están cargadas e o interruptor atópase aberto, non existirá carga



neta positiva ou negativa en ningunha placa. No momento en que se pecha o interruptor os electróns da placa superior son atraídos polo terminal positivo do xerador, isto creará unha carga positiva neta sobre a placa superior. No terminal negativo da batería os electróns proporcionados por ela son empurrados cara á placa inferior co mesmo ritmo que son atraídos os do terminal positivo, polo tanto haberá unha carga neta negativa sobre a placa inferior. A transferencia de electróns continuará ata que a diferenza de potencial nas placas sexa exactamente igual á fem do xerador. O resultado final será unha carga neta positiva sobre a placa superior e unha carga negativa da mesma magnitude sobre a placa inferior, é dicir unha separación de carga almacenada no condensador.

A modo de exemplo podemos pensar nun globo conectado a unha tubaxe alimentada por unha pequena bomba, o globo incharase ata que o aire no seu interior leste á presión que a bomba poida subministrar. Cando estas presións iguálanse no globo queda almacenada una certa cantidade de aire.

1.2. CAPACIDADE

A capacidade é unha medida da habilidade do capacitor para almacenar carga sobre as súas placas, noutras palabras, a súa capacidade de almacenamento. Canto maior sexa a capacidade dun condensador maior será a cantidade de carga que almacenará por unidade de tensión aplicada. Volvendo ao exemplo do globo, canto maior sexa o globo maior cantidade de aire poderá almacenar a igualdade de presión exercida pola bomba.

A relación matemática que define a capacidade é: $C = \frac{Q}{V}$

A unidade de medida da capacidade no SIU é o Faradio, de símbolo F, en honra ao físico inglés Michael Faraday. Un capacitor terá unha capacidade de 1 Faradio se 1 Culombio de carga deposítase sobre as placas mediante unha diferenza de potencial de 1 Voltio entre as placas.

A capacidade do condensador non depende da tensión nin da carga almacenada. Mediante o cálculo diferencial é posible chegar a unha ecuación que relaciona a variación da tensión entre extremos do condensador coa intensidade de corrente que o atravesa:

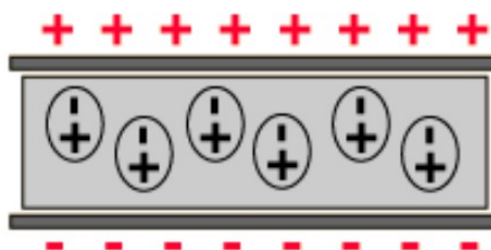
$$Q = C \cdot V \Rightarrow \frac{dQ}{dt} = C \cdot \frac{dV}{dt} \Rightarrow i = C \cdot \frac{dV}{dt}$$

CAPACIDADE DUN CONDENSADOR DE PLACAS PARALELAS

Para un condensador de placas paralelas como o descrito nos apartados anteriores a capacidade dependerá da superficie das placas, da distancia entre as mesmas e do material dieléctrico que haxa separando as placas.

- ✓ A superficie das placas (S) contribuirá de xeito que a maior superficie de placas maior capacidade. Pensemos que a maior superficie das placas, para a mesma tensión aplicada, maior cantidade de carga pode distribuírse en cada placa vencendo a repulsión entre cargas do mesmo signo.
- ✓ A distancia entre placas (d) contribuirá de xeito que a menor distancia entre placas maior capacidade. Pensemos que a menor distancia entre placas, para a mesma tensión aplicada, máis forza atractiva representaran as cargas depositadas na placa contraria contribuindo a que se acumule máis carga nas placas.

- ✓ A influencia do material é algo máis complexa de explicar. A grandes trazos pódese dicir que as moléculas do material dieleéctrico pódense colocar de xeito que compensan parte da tensión creada pola diferenza de cargas entre as placas como ilustra a figura da dereita. Isto permite ao condensador almacenar unha maior cantidade de carga cunha mesma tensión. Este efecto modelase mediante a permitividade dieléctrica (ϵ) que é unha propiedade dos materiais. Para o baleiro é $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m. Dado que a permitividade dieléctrica adoita ter valores incómodos de manexar adoita expresarse para os diferentes materiais de xeito relativo ao valor no baleiro. Defínese así a permitividade dieléctrica relativa ϵ_r , tamén denominada constante dieléctrica (κ), como a relación entre a permitividade do material e a do baleiro, matematicamente $\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0$. Na táboa pódense consultar as permitividades relativas de algúns materiais.



Material	Constante Dieléctrica (κ)
Aire (seco)	1,000 59
Baquelita	4,9
Cuarzo fundido	3,78
Mylar	3,2
Papel	3,7
Poliestireno	2,56
Hule de neopreno	6,7
Cloruro de polivinilo	3,4
Aceite de silicón	2,5
Nylon	3,4
Papel impregnado de parafina	3,5
Teflón	2,1
Vidrio pirex	5,6
Porcelana	6
Titanato de estroncio	233
Vacío	1,000 00
Agua	80

A capacidade de un condensador de placas paralelas pode calcularse segundo a expresión:

$$C = \epsilon \cdot \frac{S}{d} = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{S}{d}$$

1.3. ENERXÍA ALMACENADA NUN CONDENSADOR

A enerxía almacenada no condensador en forma de campo eléctrico será un medio do produto da carga almacenada pola tensión entre as armaduras do condensador:

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

1.4. ASOCIACIÓN DE CONDENSADORES

1.4.1. CONDENSADORES EN SERIE

Cando se conecta un conxunto de condensadores en serie a carga almacenada por cada un de eles debe ser a mesma xa que a carga neta debe permanecer constante no punto no que se interconectan os condensadores. Polo tanto teremos:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$$

Ademais en cada unha das resistencias cumprírase a lei de Ohm, de xeito que:

$$V_1 = \frac{Q}{C_1}; V_2 = \frac{Q}{C_2} \text{ e } V_3 = \frac{Q}{C_3}$$

A diferenza de potencial entre os puntos A e B será a suma das diferenzas de potencial entre os extremos dos condensadores:

$$V_{AB} = V_1 + V_2 + V_3 = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} = Q \cdot \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$$

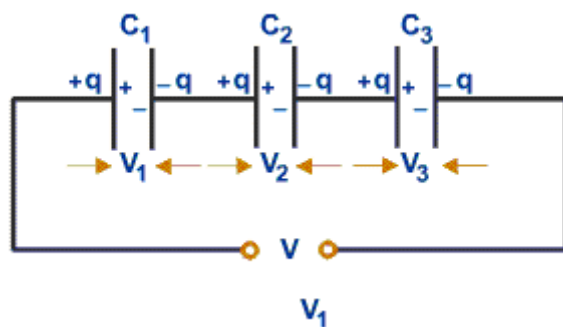
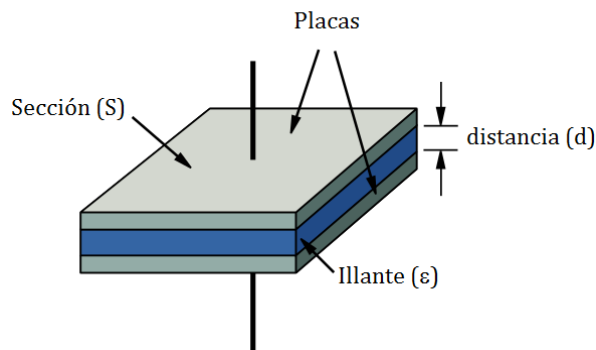
Lembrando a definición de resistencia equivalente esta debía de cumprir: $V_{AB} = \frac{Q}{C_{eq}}$

Comparando ambas expresións chegamos a:

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

En xeral para N condensadores en serie:

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



A capacidade do conxunto é menor que a de cada un dos condensadores. Por outra banda a asociación pode aguantar unha tensión entre os seus extremos igual á suma das que poden aguantar individualmente os condensadores asociados.

1.4.2. CONDENSADORES EN PARALELO

Ao estar en paralelo todos os condensadores estarán sometidos á mesma diferenza de potencial:

$$V_1 = V_2 = V_3 = V$$

A carga almacenada por cada condensador será:

$$Q_1 = V \cdot C_1; Q_2 = V \cdot C_2 \text{ e } Q_3 = V \cdot C_3$$

A carga total almacenada na asociación será a suma das cargas almacenadas en cada condensador:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 = V \cdot C_1 + V \cdot C_2 + V \cdot C_3 = V \cdot (C_1 + C_2 + C_3)$$

Segundo a definición de capacidade equivalente esta debía de cumprir:

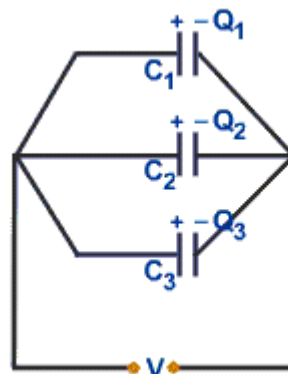
$$V_T = V \cdot C_{eq}$$

Comparando ambas expresións chegamos a:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3$$

Ou, en xeral para N condensadores en paralelo:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_N$$



1.5. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DUN CONDENSADOR

CAPACIDADE NOMINAL OU VALOR NOMINAL: é o valor teórico do compoñente, que ven marcado sobre o seu corpo con números ou código de cores.

TOLERANCIA: é a máxima variación superior ou inferior que pode ter o valor nominal. Exprésase en forma de porcentaxe: $\pm 1\%$, $\pm 2\%$, $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 20\%$.

TENSIÓN NOMINAL: É a tensión máxima que se debe aplicar ó condensador en funcionamento normal. Existe unha tensión nominal para funcionamento en continua e outra para corrente alterna.

COEFICIENTE DE TEMPERATURA α_c : indica a variación que experimenta a capacidade en función do incremento de temperatura. Exprésase en partes por millón por grado centígrado (PPM/ $^{\circ}\text{C}$). A expresión para calcular a variación da capacidade coa temperatura é idéntica á empregada nos resistores.

$$C(T) = C_{nom} \cdot \left(1 + \frac{\alpha_c (\text{PPM}/^{\circ}\text{C})}{10^6} \cdot \Delta T \right)$$

CORRENTE DE FUGA: é unha corrente parasita interna que tende a descargalo condensador en condicións normais de uso. Depende da tensión aplicada. Para un condensador ideal debería ser nula.

RESISTENCIA DE ILLAMENTO: é a resistencia vista entre os terminais do condensador, responsable da corrente de fugas. Para un condensador ideal debería ser infinita.

FRECUENCIA DE UTILIZACIÓN: é o rango de frecuencias ás que se pode utilizalo condensador sen perda apreciable das súas características.

1.6. TIPOS DE CONDENSADORES

A primeira división entre condensadores farémola entre condensadores fixos e variables. Dentro dos condensadores fixos faremos unha clasificación segundo a súa tecnoloxía de fabricación de xeito similar a o que se fixo cos resistores.

1.6.1. CONDENSADORES FIXOS

CONDENSADORES SEN POLARIDADE

Condensadores de plástico: Tamén denominados condensadores de lámina (film capacitors). Empregan materiais plásticos coma dieléctricos e láminas condutoras (foil) ou películas metalizadas sobre las propias láminas de dieléctrico. Adoitan nomearse segundo un código de tres letras, a primeira indica se as placas son unha lámina metálica (F) ou un depósito metalizado de moi baixo espesor(M). A segunda letra é sempre unha K mentres que a terceira indica o material dieléctrico empregado, algúns valores típicos son S para o polistireno, T para poliéster, C para policarbonato ou P para polipropileno.

Características:

- ✓ Baratos e con baixas perdas.
- ✓ Valores de capacidade e tensión nominal maiores que os cerámicos.

Condensadores cerámicos: Están formados por unha base de material cerámico sobre o que se metalizan dous contactos. Segundo a forma pódense dividir en tubulares ou de placa. Os materiais empregados clasifícanse en dous grupos:

Grupo I: Elaborados con cerámicas de baixa permitividade e alta precisión e estabilidade. Para aplicacións de alta precisión e tamén en altas frecuencias.

Grupo II: Elaborados con cerámicas de alta permitividade e baixa precisión e estabilidade. Para aplicacións de pouca precisión e onde o tamaño sexa un factor importante xa que a súa relación capacidade/ volume é mellor que nos do grupo I.

Características:

- ✓ Baratos e con baixas perdas.
- ✓ Mellor comportamento en altas frecuencias que os plásticos(grupo I).
- ✓ Menor tamaño que os plásticos a igual capacidade(grupo II).

Condensadores de papel: poden ser de diversos tipos, segundo que o papel estea impregnado ou non dunha sustancia dieléctrica (como parafina ou aceite) e o papel estea metalizado ou non. Empréganse para aplicacións de potencia como iluminación, filtrado de parásitos, corrección factor de potencia...

Características:

- ✓ Capacidades e tensións nominais elevadas.
- ✓ Tamaño grande.
- ✓ Actualmente desprazados polos plásticos de polipropileno (MKP).

Condensadores de vidro e mica: Empregan láminas de mica ou vidros especiais coma dieléctricos.

Características:

- ✓ Gran estabilidade
- ✓ Excelente comportamento en altas frecuencia
- ✓ Caros, actualmente desprazados polos cerámicos do grupo I.

CONDENSADORES CON POLARIDADE (ELECTROLÍTICOS)

Nos denominados electrolíticos as placas son láminas de condutor e un electrólito, o illante é unha capa de óxido sobre a lámina condutora. Estes condensadores só se poden utilizar cunha polaridade determinada, que ven marcada sobre o corpo do condensador. Conectalos coa polaridade contraria pode provocar a súa destrución, algúns modelos chegan a producir pequenas explosións. Pódense empregar electrólitos húmidos ou sólidos, os primeiros son habituais en compoñentes THT, mentres que os segundos son os habituais en condensadores SMD. Presentan correntes de fugas elevadas que dependen do tipo de electrólito e marxes limitadas de temperatura de funcionamento.

Condensadores electrolíticos de aluminio: As placas son láminas de aluminio e o illante óxido de aluminio. Son os que presentan os valores de capacidade máis elevados, os de electrólito húmido poden chegar decenas de miliFaradios.

Características:

- ✓ Capacidades moi elevadas, ate decenas de mF.

Condensadores electrolíticos de tántalo: Empregan tántalo coma condutor e unha película de pentóxido de tántalo coma dieléctrico. Teñen a vantaxe de que a igual capacidade teñen un tamaño moito menor que os de aluminio, polo que son moi habituais cando se precisa miniaturizar os circuítos. Tamén presentan mellores características en alta frecuencia. Por contra son máis delicados en canto a tensións máximas de traballo e a polarizacións inversas.

Características:

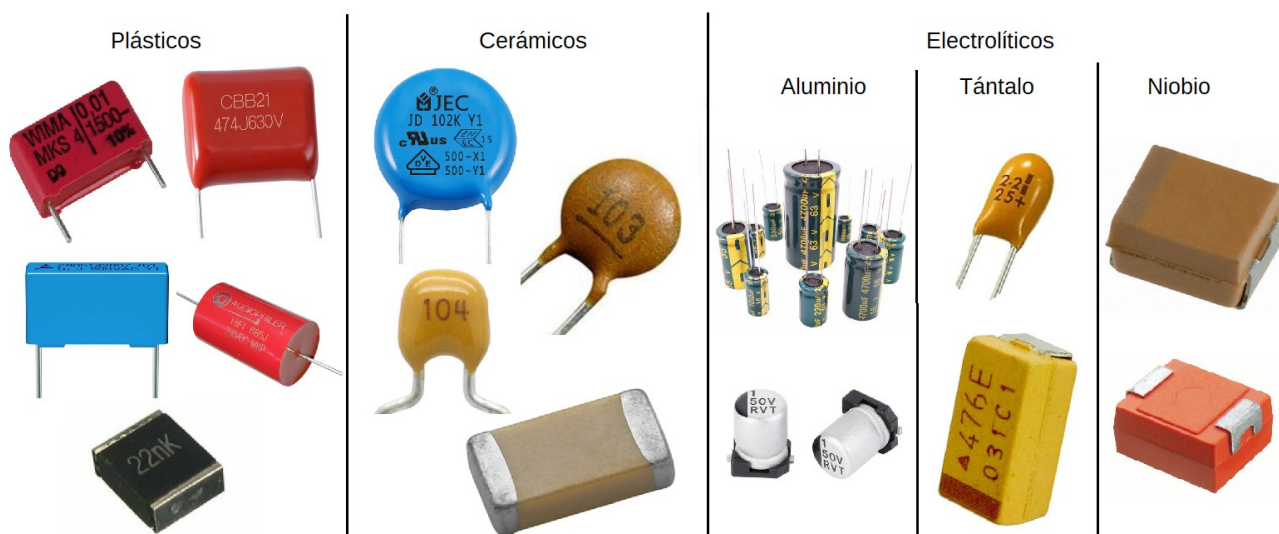
- ✓ Maior relación capacidade/volume que os de aluminio.

Condensadores electrolíticos de niobio: Empregan niobio coma condutor e unha película de pentóxido de niobio coma dieléctrico. O niobio é mais común que o tántalo, polo que resultan máis económicos que os de tántalo.

Características:

- ✓ Máis económicos que os de tántalo.
- ✓ Máis seguros que os de tántalo, non estoupan coa polaridade inversa
- ✓ Menores tensións nominais que os de aluminio e tántalo, só ata 16V.

Na seguinte figura poden verse algúns exemplos de condensadores fixos dos tipos comentados, polarizados e non polarizados.



SUPERCONDENSADORES

Os supercondensadores son dispositivos similares aos condensadores electrolíticos pero con capacidades moito máis altas e límites de voltaxe moito máis baixos. Son dispositivos con polaridade. Son capaces de almacenar moita máis enerxía por unidade de volume que un condensador electrolítico, pero moita menos que unha batería actual. Por contra poden absorber e entregar intensidade moito máis rápido que as baterías e toleran moitos máis ciclos de carga e descarga que as mesmas. Presentan taxas de autodescarga moi baixas. Pola súa parte as tensións máximas de traballo son inferiores a 4V. Estes dispositivos cobren o espazo que existe entre os condensadores e as baterías.

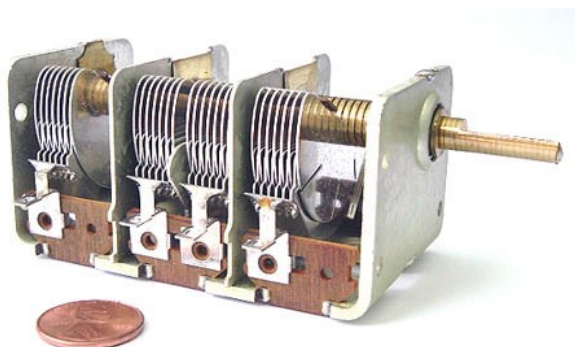
O seu aspecto é similar ao dos condensadores electrolíticos de aluminio. As súas aplicacións son moi diversas, dende a alimentación de dispositivos en fallos de enerxía ata o apoio de baterías en sistemas que requiran fornecer picos moi elevados de corrente. As súas características fanos ideais en sistemas de freada rexenerativa e no arranque de sistemas de potencia conectados a baterías. Tamén poden ser unha alternativa ás baterías en algúns dispositivos xa que a menor densidade de enerxía compensase cunha diminución drástica dos tempos de carga.



No seguinte [cadro de Wikipedia](#) poden verse unha comparación das características e aplicacións dos diferentes tipos de condensadores en maior detalle.

1.6.2. CONDENSADORES VARIABLES

En xeral empregan aire como dieléctrico e mediante un eixo ou parafuso varíase a distancia entre placas e, con ela, a capacidade. Igual que nos potenciómetros distínguense entre os de mando e os de axuste. Os de mando empréganse en circuítos onde a capacidade deba axustarse durante o funcionamento (sintonizadores, ...) mentres que os de axuste adoitan montarse en circuítos que deban ser axustados antes do seu funcionamento (osciladores, ...).



1.7. IDENTIFICACIÓN DE CONDENSADORES

PLÁSTICOS

Polo xeral imprímese o valor da capacidade e a tensión máxima de traballo sobre o corpo do capacitor. Cando non se indica o prefixo do S.I.U. correspondente trátase de μF ou pF segundo o tipo e o tamaño do condensador. Xeralmente emprégase o prefixo do S.I.U. ou a letra R para indicar a posición da coma, así 3,9 pF escríbese 3p9 ou 3R9 e 0,54 nF como n54. Cando aparece unha k como prefixo indica kpF , é dicir nF . Tamén existen códigos alfanuméricos normalizados para indicar a tolerancia, a tensión nominal, marxe de temperatura de traballo e coeficiente de temperatura. Na seguinte táboa amósanse os códigos EIA para a tolerancia e a tensión de traballo. Outros modelos expresan a capacidade segundo o mesmo código que se explicará para os cerámicos.



Capacitance Tolerance Codes

Code	Tolerance	Code	Tolerance
A	$\pm 0.05 \text{ pF}$	M	$\pm 20\%$
B	$\pm 0.1 \text{ pF}$	N	$\pm 30\%$
C	$\pm 0.25 \text{ pF}$	P	$-0 \sim +100\%$
D	$\pm 0.5 \text{ pF}$	Q	$-10 \sim +30\%$
E	$\pm 0.5\%$	S	$\pm 22\%$
F	$\pm 1.0\%$	T	$-10 \sim +50\%$
G	$\pm 2.0\%$	U	$-10 \sim +75\%$
H	$\pm 2.5\%$	W	$-10 \sim +100\%$
J	$\pm 5.0\%$	Y	$-20 \sim +5\%$
K	$\pm 10\%$	Z	$-20 \sim +80\%$
L	$\pm 15\%$		

DC Voltage Codes

Code	VDC	Code	VDC
0G	4.0	2Q	110
0L	5.5	2B	125
0J	6.3	2C	160
1A	10	2Z	180
1C	16	2D	200
1E	25	2P	220
1V	35	2E	250
1H	50	2F	315
1J	63	2V	350
1K	80	2G	400
2A	100	2W	450

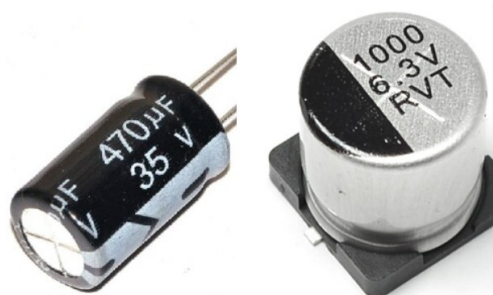
CONDENSADORES CERÁMICOS

Os condensadores cerámicos adoitan ser máis pequenos que os plásticos, xeralmente empregase o código "101" que é idéntico ao empregado nos resistores SMD de tres cifras. Imprímense 3 cifras, as dúas primeiras indican as cifras do valor da capacidade e a última é un multiplicador que indica o número de ceros que se deben engadir. O resultado está expresado sempre en picofaradios. Así, por exemplo: "561" son 560 pF; "564" son 560 nF e "404" son 400 nF. En ocasións aparecerá tamén unha letra que indica a tolerancia segundo a táboa do apartado anterior.



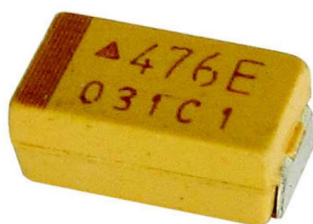
CONDENSADORES ELECTROLÍTICOS

Nos condensadores electrolíticos de aluminio aparecen impresos sobre o corpo os valores de capacidade en μF e a tensión máxima de traballo. Tamén aparece marcado mediante unha banda e/ou símbolos "–" o terminal que debe ir conectado á menor tensión, no caso dos SMD identifícase este mesmo terminal mediante unha liña negra.



Nos condensadores electrolíticos THT de tántalo e nos SMD de tántalo ou niobio adoitan aparecer impresos sobre o corpo os valores de capacidade en μF e a tensión máxima de traballo en voltios. En outras ocasións aparece a capacidade en pF en código "101" e a tensión de traballo co código de letras que aparece na táboa a continuación. Sempre aparecerá marcado, mediante o símbolo "+" nos THT ou mediante unha liña nos SMT, o terminal que debe ir conectado á maior tensión.

SMD ELECTROLYTIC CAPACITOR VOLTAGE CODES	
LETTER	VOLTAGE
e	2.5
G	4
J	6.3
A	10
C	16
D	20
E	25
V	35
H	50



En este apartado non se cubre a totalidade das marcxas posibles, existen outras posibilidades que haberá que consultar nas follas de características ou na documentación proporcionada polos fabricantes. Con todo, coa información recollida en este apartado, poden identificarse os condensadores máis habituais.

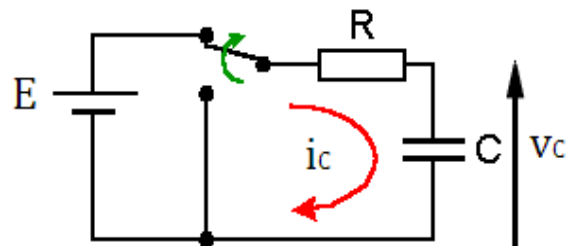
2. COMPORTAMENTO DO CONDENSADOR EN CORRENTE CONTINUA

A resposta dos circuitos electrónicos podemos dividila entre o comportamento transitorio é o estacionario. O estacionario é o comportamento que se mantén indefinidamente no tempo. Pola súa banda chamamos transitorio aos cambios que se producen no circuito dende o instante inicial e antes de chegar estacionario.

Antes de analizalos circuitos de carga e descarga é necesario lembrar que, segundo o estudado, a tensión entre extremos das placas do condensador aumenta linearmente coa carga do mesmo, segundo a expresión $V=Q/C$.

2.1. CARGA DO CONDENSADOR

Supoñamos un circuito de carga como o que se pode ver na figura no que o condensador é cargado mediante unha fonte de tensión de *fem* E en serie cunha resistencia R .



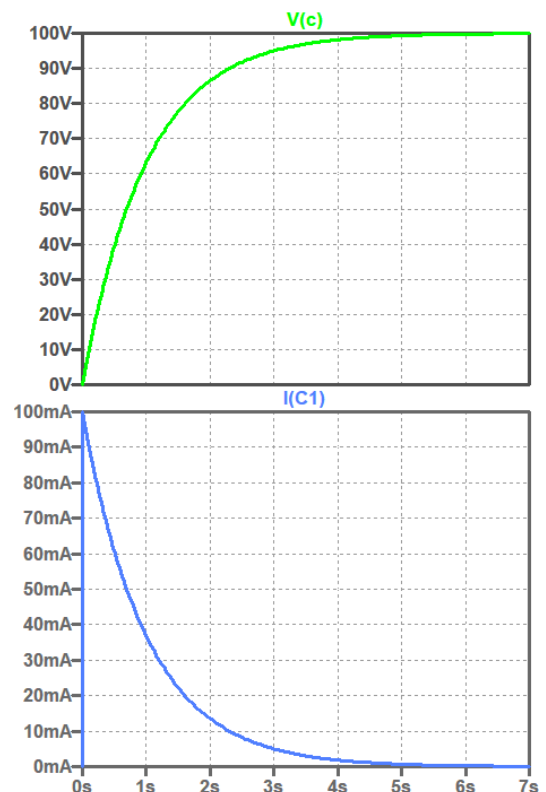
TRANSITORIO

Inicialmente a tensión entre as placas do condensador (v_C) é cero. A diferenza de potencial entre extremos da resistencia será máxima e, por tanto, a corrente de carga (i_C) será máxima. A medida que o condensador se carga a tensión entre extremos da resistencia diminúe (v_C aumenta ao ritmo de $Q=I \cdot t$) de xeito que a corrente de carga diminúe. En resumo, a corrente de carga diminúe rapidamente a medida que avanza a carga do condensador.

Nas figuras da dereita pode verse a evolución temporal de corrente tensión durante o proceso de carga do condensador.

Constante de tempo

Denomínase constante de tempo, símbolo τ , ao tempo que tarda o condensador en alcanzar un 63,2% da tensión final. Considerase que un condensador tarda en cargarse $5 \cdot \tau$.



Para un circuito RC como o proposto para a carga do condensador a constante de tempo vale: $\tau=R \cdot C$. Os valores da gráfica corresponden a $R=1k$ e $C=1mF$, polo tanto $\tau = 1s$.

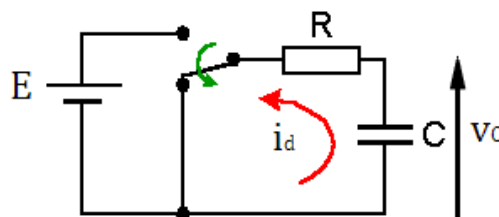
ESTACIONARIO

Unha vez rematada a carga a tensión entre extremos do condensador é igual á *fem* da fonte. Polo tanto a diferenza de potencial entre extremos da resistencia é cero e, polo

tanto, a intensidade de corrente a través de ela tamén é cero. **Chegados ao estado estacionario a corrente continúa que atravesa o condensador é cero e a tensión entre as súas placas permanece constante.**

2.2. DESCARGA DO CONDENSADOR

Supoñamos o circuíto da figura no que o condensador descargase a través dunha resistencia R.

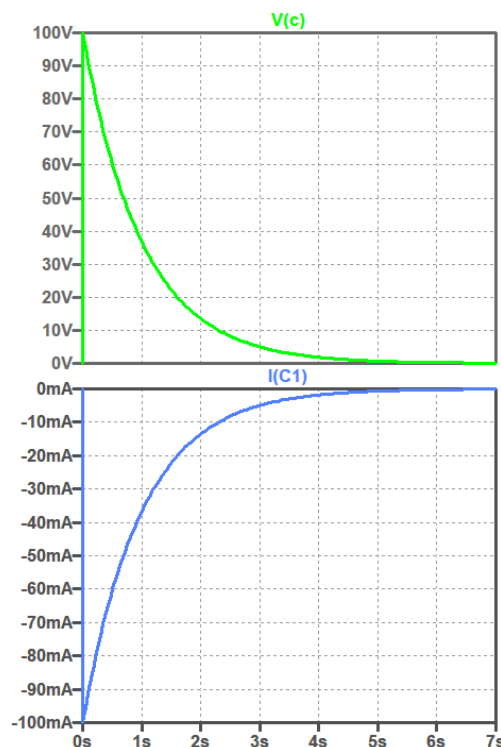


TRANSITORIO

Inicialmente a tensión entre as placas do condensador (v_C) é máxima e por tanto tamén a diferenza de potencial entre extremos da resistencia. Isto fai que a corrente de descarga (i_D) sexa máxima. A medida que o condensador se descarga a tensión entre os seus extremos, e os da resistencia, diminúe de xeito que a corrente de descarga tamén diminúe. A corrente de descarga cae rapidamente co avance a descarga.

Nas figuras da dereita pode verse a evolución temporal de corrente e tensión durante a descarga do condensador. ($i_D = -i_C$)

Do mesmo xeito que na carga considérase que o condensador tarda en decargarse $5 \cdot \tau$, onde $\tau = R \cdot C$. Os valores da gráfica corresponden a $R=1k$ e $C=1mF$, polo tanto $\tau = 1s$.



ESTACIONARIO

Unha vez rematada a descarga a tensión entre extremos do condensador é cero. Polo tanto a tensión entre extremos da resistencia é cero e a corrente a través de ela tamén é cero. **Chegados ao estado estacionario a corrente continúa que atravesa o condensador é cero.**

2.3. ECUACIÓN DE CARGA E DESCARGA

A carga e a descarga de un condensador nun circuíto RC seguen a expresión:

$$v_C(t) = V_F + (V_I - V_F) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Onde:

V_F - é a tensión cara a que se carga o condensador.

V_I - é a tensión inicial do condensador.

τ - é a constante de tempo.

CARGA:

Durante a carga teremos que V_F é a fem da fonte (E); V_I é a tensión inicial do condensador que é 0 e $\tau = R \cdot C$.

$$v_C(t) = E - E \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = E \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad \text{e} \quad i_C(t) = \frac{E - v_C(t)}{R} = \frac{E - \left(E - E \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}\right)}{R} = \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

DESCARGA:

Durante a descarga teremos que V_F é 0; V_I é a tensión inicial e $\tau = R \cdot C$.

$$v_C(t) = 0 - (V_I - 0) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = V_I \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{e} \quad i_C(t) = \frac{v_C(t)}{R} = \frac{V_I}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Determinación da ecuación para a descarga mediante cálculo diferencial-integral:

$$i_C = C \cdot \frac{dv_C}{dt} \qquad \int_{V_I}^{v_C} \frac{dv_C}{v_C} = - \int_0^t \frac{dt}{R \cdot C}$$

$$i_C = \frac{-v_C}{R} \qquad \ln\left(\frac{v_C}{V_I}\right) = \frac{-t - 0}{R \cdot C}$$

$$C \cdot \frac{dv_C}{dt} = \frac{-v_C}{R} \qquad \frac{v_C}{V_I} = e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

$$dv_C = \frac{-v_C}{R \cdot C} \cdot dt \qquad v_C = V_I \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

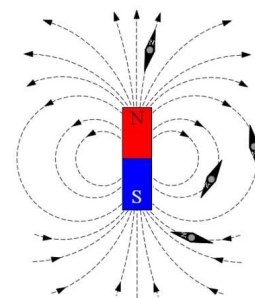
3. FENÓMENOS MAGNÉTICOS

Os fenómenos magnéticos foron coñecidos polos antigos gregos (≈ 600 AC), chineses (≈ 400 AC) e indios (≈ 600 AC). As primeiras referencias ao magnetismo sinalan que certas pedras tiñan a capacidade de atraer o ferro e que os trociños de ferro atraídos, atraían á súa vez a outros. Estes minerais denomináronse imáns naturais. As primeiras evidencias do uso de compases data do século XI DC por parte de navegantes chineses.

Oersted descubriu en 1820 que unha corrente eléctrica xera un campo magnético ao seu redor xa que é capaz de desviar a agulla dun compás. No interior da materia existen pequenas correntes pechadas ao movemento dos electróns que conteñen os átomos; cada unha delas orixina un microscópico imán. Cando estes pequenos imáns están orientados en todas direccións os seus efectos anúlanse mutuamente e o material non presenta propiedades magnéticas; e en cambio, se todos os imáns elementais están aliñados os seus efectos súmanse e dicimos que a sustancia esta magnetizada.

Máis adiante, grazas ás contribucións de Ampere, Faraday, Weber, Gauss, Maxwell e moitos outros acháronse as regras que relacionan electricidade e magnetismo. Estableceuse tamén que todos os campos magnéticos son debidos a correntes eléctricas, incluídas aquelas ás que da lugar o movemento dos electróns nos átomos.

Nun imán, natural ou electroimán, a máxima forza áchase nos seus extremos, chamados polos. Un imán consta de dous polos, denominados polo norte e polo sur. As forzas entre imáns son tales que os polos iguais repélense e os polos distintos atraíense. Non existen polos illados, e por tanto, se un imán rompe en dúas partes, fórmanse dous novos imáns, cada un co seu polo norte e o seu polo sur, aínda que a forza do imán diminúe.



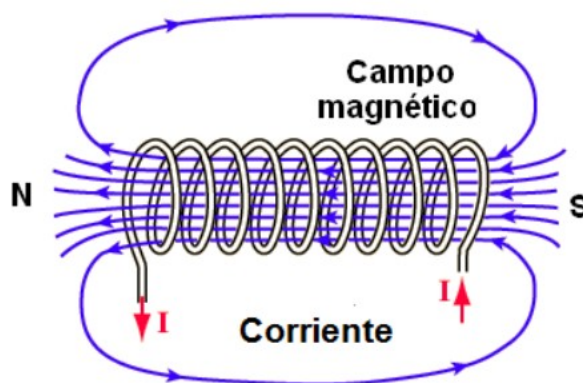
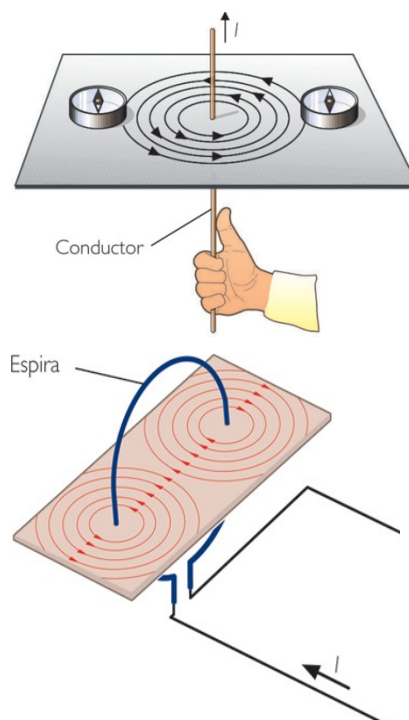
3.1. CAMPOS MAGNÉTICOS CREADOS POR CORRENTES

Os campos magnéticos, segundo o comentado no apartado anterior, son creados polas correntes eléctricas.

Un condutor rectilíneo, da lugar a un campo magnético ao redor do mesmo como mostra a figura da dereita.

Dobrando o condutor formando unha espira (lazo pechado de material condutor) conseguimos que os campos magnéticos xerados polos diferentes tramos de condutor sumen as súas contribucións no centro da espira dando lugar a un electroimán elemental.

Agrupando varias espiras en serie formase un solenoide no que as contribucións dos múltiples imáns elementais (espiras) súmanse dando lugar a un campo magnético máis intenso como mostra a figura.



3.2. INDUCCIÓN MAGNÉTICA (B)

A indución magnética ou densidade de fluxo magnético, de símbolo B , é a magnitude que caracteriza a forza que un imán ou outro elemento capaz de desenvolver magnetismo (espira, bobina...) exerce sobre as cargas en movemento ou sobre outros imáns. Así, as cargas en movemento percibirán unha forza perpendicular á dirección da corrente e á indución magnética. Como a corrente eléctrica é un movemento de electróns un anaco de condutor polo que circula unha corrente tamén sufrirá esta forza.

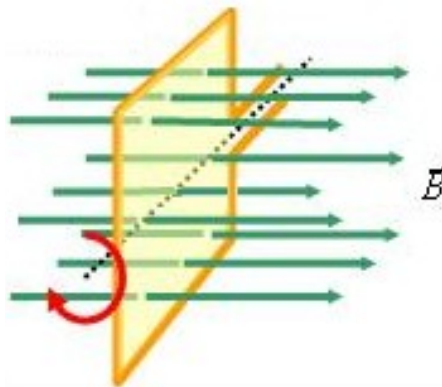
A unidade de indución magnética no Sistema Internacional de Unidades é a Tesla de símbolo T en honor ao enxeñeiro croata Nicola Tesla.

3.3. FLUXO MAGNÉTICO (Φ)

O fluxo magnético (representado pola letra grega Φ), é unha medida da cantidade de magnetismo que atravesa unha superficie. Calculase para unha espira como o produto da indución magnética (B) pola proxección da superficie da espira en dirección perpendicular á indución magnética ($S_{\perp}$).

$$\varphi = B \cdot S_{\perp}$$

Obsérvese a situación da figura na que as liñas do vector indución magnética cortan a espira de xeito perpendicular, nesa situación $S_{\perp}$ será a superficie total da espira (S). Supoñamos agora que a espira xira un ángulo α no senso indicado pola frecha encarnada, o número de liñas que atravesan a espira verase reducido xa que a area da espira vista dende a dirección de B será menor, concretamente será $S_{\perp} = S \cdot \cos(\alpha)$.



A unidade de fluxo magnético no Sistema Internacional de Unidades é o wéber de símbolo Wb en honor ao físico alemán Wilhelm Eduard Weber.

A densidade de fluxo B en calquera rexión particular dun campo magnético varia dependendo do medio que rodea ao campo, convén definir dous novos conceptos: a intensidade de campo magnético H e a permeabilidade magnética μ .

3.4. INTENSIDADE DE CAMPO MAGNÉTICO (H)

A densidade de fluxo B e o fluxo Φ dependen do medio material que rodea ao elemento que crea un campo magnético. A intensidade de campo magnético (H) é a magnitude que podemos relacionar directamente coas causas do campo magnético, as correntes.

Por exemplo a intensidade de campo H no interior de un solenoide virá dada por:

$$H = \frac{N \cdot I}{l}$$

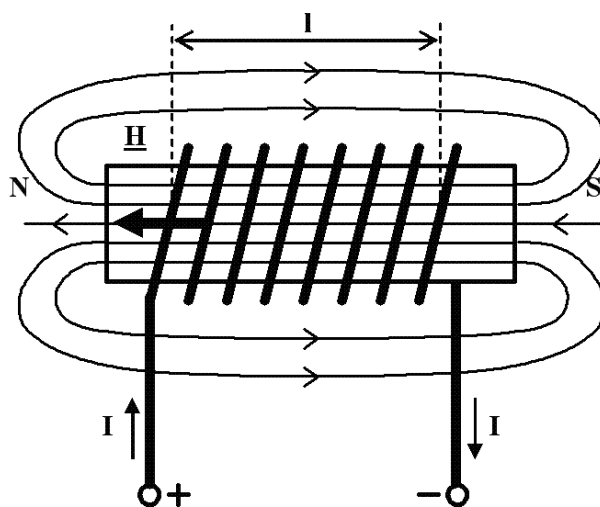
N - Numero de voltas.

I - Intensidade.

l - Lonxitude do solenoide.

A indución magnética será maior se introducimos no solenoide un núcleo dun material ferromagnético sen embargo a intensidade de campo H será a mesma.

A unidade da intensidade de campo magnético no Sistema Internacional de Unidades é o Amperio volta por metro Av/m.



3.5. PERMEABILIDADE (μ)

A intensidade de campo magnético (H) é unha medida do “esforzo” da corrente eléctrica por establecer unha indución magnética B no material. O valor da indución resultante dependerá do material no que se establece esta intensidade de campo magnético. Se o material é ferromagnético haberá unha indución moitísimo maior que se é aire ou outro material diamagnético ou paramagnético.

O factor que relaciona H con B denomínase permeabilidade magnética (μ) e dá unha idea da capacidade dun material para establecer unha maior ou menor indución magnética a igualdade de intensidade de campo aplicada. Nos materiais ferromagnéticos existen espiras elementais, electróns xirando, que se aliñan co campo externo dando lugar a unha indución maior. A expresión que relaciona a indución magnética co campo magnético é:

$$B = \mu \cdot H$$

A unidade da permeabilidade magnética no sistema internacional de unidades é a tesla metro por amperio T·m/A.

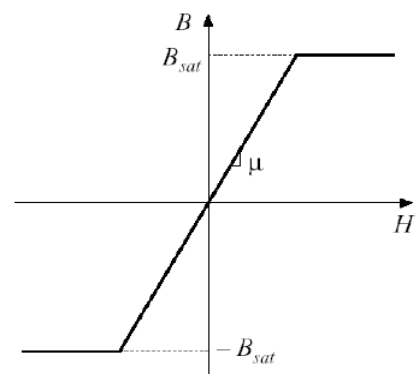
Defínese permeabilidade relativa (μ_r) coma a permeabilidade do material dividida pola permeabilidade do baleiro ($\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ H/m). A permeabilidade relativa indica como se comporta un material comparado co baleiro. A permeabilidade relativa indica cantas veces é maior a indución no material que no baleiro:

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0 \rightarrow B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H = \mu_r \cdot B_0$$

Desde o punto de vista da permeabilidade relativa podemos revisar a clasificación que fixemos dos materiais fronte aos fenómenos magnético:

- ✓ Ferromagnéticos: Permeabilidade relativa moi superior a 1.
- ✓ Paramagnéticos: Permeabilidade relativa próxima a 1.
- ✓ Diamagnéticos: Permeabilidade relativa menor a 1.

A permeabilidade dos materiais non é constante, depende do valor de H . Nos materiais ferromagnéticos chegará un momento no que, aínda que aumentemos o valor de H non seguirá aumentando o valor de B , a esta situación chamámoslle saturación do material. A saturación débese a que todas as espiras elementais do material están xa aliñadas co campo. Na seguinte gráfica vese a curva B - H aproximada dun material ferromagnético, que é μ , permanece aproximadamente constante ata a saturación do material.



Cando se deseña unha bobina ou un transformador faise para que a indución varíe de xeito aproximadamente linera coa intensidade, polo tanto haberá que deseñala para que non entre en saturación cos valores de intensidade cos que vai a traballar:

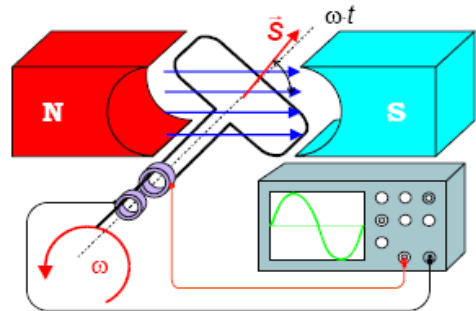
$$B = \mu \cdot H = \frac{\mu \cdot N}{l} \cdot i \leq B_{Sat.} = \frac{\mu \cdot N}{l} \cdot i_{Sat.}$$

4. INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA: LEIS DE FARADAY E LENTZ

Do mesmo xeito que as correntes son capaces de crear campos magnéticos os campos magnéticos tamén son capaces de xerar correntes eléctricas.

4.1. LEI DE FARADAY

A Lei de indución electromagnética de Faraday baséase nos experimentos que Michael Faraday realizou en 1831 e establece que a *fem* inducida nunha espira é a rapidez con que cambia no tempo o fluxo magnético que atravesa a superficie da espira.



$$\varepsilon_{ind} = \frac{d\Phi}{dt}$$

O fluxo que atravesa o circuíto pode modificarse ben facendo variar o campo (transformadores) ou ben movendo o circuíto no campo (alternadores).

4.2. LEI DE LENTZ

A Lei de Lenz expón que as tensións inducidas serán dun sentido tal que se opoñan á variación do fluxo magnético que as produciu. Esta lei é unha consecuencia do principio de conservación da enerxía. A polaridade dunha tensión inducida é tal, que tende a producir un campo magnético se opón sempre ás variacións do campo existente.

5. AUTOINDUCCIÓN. BOBINAS

A autoindución é o fenómeno polo que unha corrente eléctrica (intensidade) que varía no tempo nun circuíto eléctrico produce no mesmo circuíto unha forza electromotriz inducida oposta á variación desa corrente. Os elementos circuitais que presentan autoindución son as bobinas. O símbolo das bobinas pode verse na figura da dereita.



5.1. COEFICIENTE DE AUTOINDUCCIÓN (L)

O coeficiente de autoindución (L) é a magnitude que nos permite cuantificar a capacidade dunha bobina de inducirse a si mesma unha fem. ($\varepsilon_{ind.}$) ao variar no tempo a intensidade que a atravesa. Defínese segundo a expresión:

$$\varepsilon_{ind} = L \cdot \frac{di}{dt}$$

Nunha bobina con N espiras elementais teremos: $\varepsilon_{ind} = N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$

Igualando ambas expresións teremos: $L = N \cdot \frac{d\Phi}{di}$

Nunha bobina cun núcleo de permeabilidade μ : $\Phi = B \cdot S = \mu \cdot H \cdot S = \frac{\mu \cdot N \cdot S}{l} \cdot i$

Polo tanto: $\frac{d\Phi}{di} = \frac{\mu \cdot N \cdot S}{l}$

Substituíndo na expresión que obtiveramos para o coeficiente de autoindución (L) temos:

$$L = N \cdot \frac{d\Phi}{di} = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot S}{l}$$

Esta ecuación funciona razoablemente ben con núcleos cilíndricos nos que a lonxitude sexa moito maior que o radio e en núcleos toroidais. De tódolos modos trátase de unha expresión aproximada, existen outras mellores en manuais específicos.

A unidade de autoindución no Sistema Internacional de Unidades é o Henrio de símbolo H en honor ao científico estadounidense Joseph Henry.

5.2. CARACTERÍSTICAS DAS BOBINAS

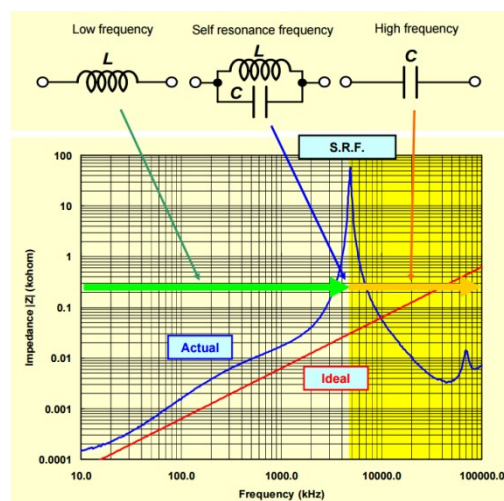
As características fundamentais que aparecen usualmente nas follas de características das bobinas son:

VALOR NOMINAL: É o valor do coeficiente de autoindución segundo o seu deseño.

TOLERANCIA: é a máxima variación superior ou inferior que pode ter o valor nominal. Exprésase en forma de porcentaxe: $\pm 10\%$, $\pm 20\%$.

CORRENTE MÁXIMA DE OPERACIÓN: Existen dúas causas para establecer unha corrente máxima de operación nunha bobina. A primeira é que o material do núcleo non debe saturarse durante o funcionamento da bobina xa que esta deixaría de comportarse como tal. Por ese motivo a corrente a través da bobina debe manterse por debaixo do valor de corrente que dea lugar á intensidade de campo de saturación, este valor da intensidade denomínase intensidade de saturación. A segunda causa é que a bobina pode resultar danada se a súa temperatura aumenta demasiado debido á potencia disipada na resistencia do condutor ($I^2 \cdot R$).

FRECUENCIA DE AUTORESONANCIA (SELF RESONANCE FREQUENCY): Nas bobinas existe unha capacidade parasita entre as voltas do bobinado que limita a marxe de frecuencias nas que a bobina presenta un comportamento similar ao dunha bobina ideal. Esta capacidade parasita é moi pequena polo que so resulta relevante a frecuencias moi elevadas. Un modelo que describe o comportamento dunha bobina real é o dun circuíto RL serie en paralelo cun capacitor. A frecuencia de autoresonancia é aquela para a que os efectos da bobina e o condensador teñen o mesmo peso. Isto entenderase ao de estudar o comportamento de bobinas e condensadores en corrente alterna.



FACTOR DE CALIDADE(Q): Toda bobina ten asociada unha certa resistencia en serie debida á resistencia do condutor co que é elaborada. O factor de calidade da bobina depende da frecuencia e pode calcularse segundo a expresión: $Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}{R}$

5.3. TIPOS DE BOBINAS

5.3.1. BOBINAS FIXAS

CON NÚCLEO DE AIRE: O condutor arróia-se sobre un soporte oco e posteriormente retírase leste quedando cun aspecto parecido ao dun muelle. Utilízase en frecuencias elevadas.



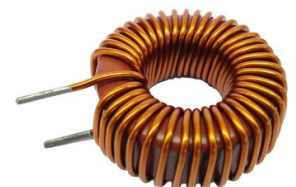
BOBINAS IMPRESAS: realizadas mediante pistas circuío impreso teñen a vantaxe do seu mínimo custo pero son dificilmente axustables.

CON NÚCLEO SÓLIDO: Posúen valores de L máis altos que os anteriores debido á permeabilidade magnética dun núcleo ferromagnético (ferrita, ferroxcube...) Cando se manexan potencias considerables e as frecuencias que se desexan eliminar son baixas pódense empregar núcleos laminados parecidos aos dos transformadores. Ás veces encerranse dentro dunha cuberta metálica co obxecto de limitar o fluxo electromagnético creado pola propia bobina, que pode afectar negativamente aos compoñentes próximos á mesma.



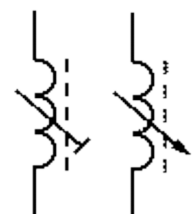
BOBINAS DE NÚCLEO TOROIDAL: En realidade trátase dun tipo de núcleo sólido pero teñen unha serie de vantaxes importantes:

- ✓ Os núcleos toroidais non teñen campo magnético disperso e por tanto non é necesaria a blindaxe EM.
- ✓ Os factores de calidade que se conseguen son moi elevados.
- ✓ Véndense núcleos toroidais excelentemente documentados de xeito que é sinxelo deseñar bobinas con eles obtendo valores precisos.
- ✓ Conséguese inductancias moi compactas e de reducido tamaño.



5.3.2. BOBINAS VARIABLES

Tamén se fabrican bobinas variables e axustables. Normalmente a variación de indutancia conseguese por desprazamento do núcleo.



5.4. ENERXÍA ALMACENADA NUNHA BOBINA

A enerxía almacenada na bobina en forma de campo magnético ven dada pola expresión:

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

5.5. ASOCIACIÓN DE BOBINAS

O coeficiente de autoindución de un conxunto de bobinas en serie vira dado pola expresión:

$$L_{eq} = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

O coeficiente de autoindución de un conxunto de bobinas en paralelo vira dado pola expresión:

$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

6. COMPORTAMENTO DAS BOBINAS EN CORRENTE CONTÍNUA

É posible realizar unha análise análoga á realizada para os condensadores para o caso das bobinas. Veriamos como a bobina presenta un comportamento similar ao dos condensadores coa diferenza de que se inverten os papeis de tensión e corrente como suxiren as expresións:

$$\varepsilon_{ind} = L \cdot \frac{di}{dt} \quad e \quad i = C \cdot \frac{dv}{dt}$$

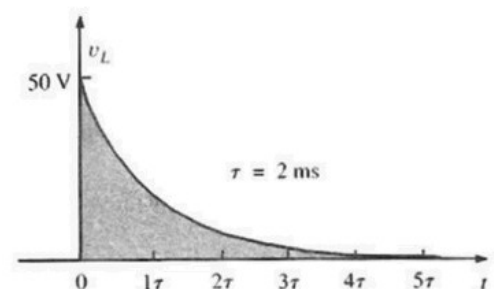
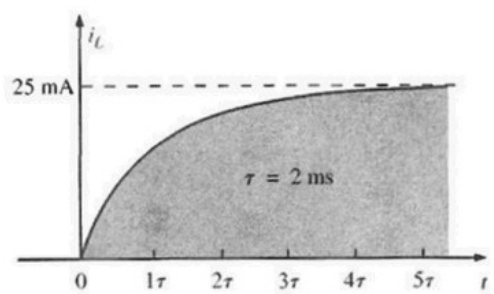
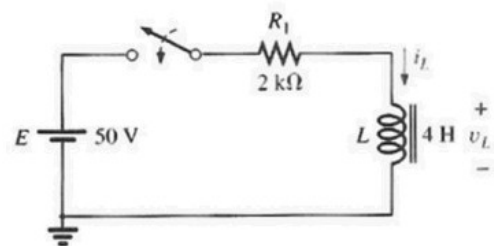
En lugar desa análise farase unha análise cualitativa do que sucede unha bobina cando varía a corrente que a atravesa.

6.1. TRANSITORIO DE CARGA

Supóñase o circuío da figura da dereita no que a bobina esta conectada en serie con unha resistencia e o conxunto é alimentado por unha fonte de tensión.

Ao pechar o circuío establececese unha corrente a través do mesmo. A bobina reacciona inducándose unha *fem* que se opón ao paso de esta corrente e, polo tanto á *fem* da fonte. Isto retrasa o establecemento da corrente facendo que esta creza gradualmente.

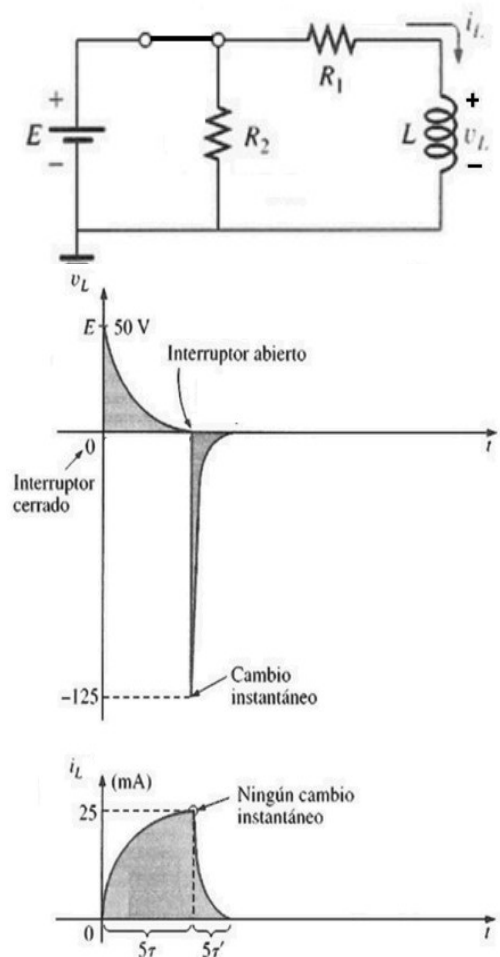
Ao principio da carga a variación da corrente é rápida e, polo tanto, a tensión inducida é grande para opoñerse ao paso da corrente. A medida que a bobina se carga a variación da corrente faise máis lenta a tensión entre extremos da mesma diminúe ata anularse cando a intensidade chega ao seu valor estacionario.



6.2. TRANSITORIO DE DESCARGA

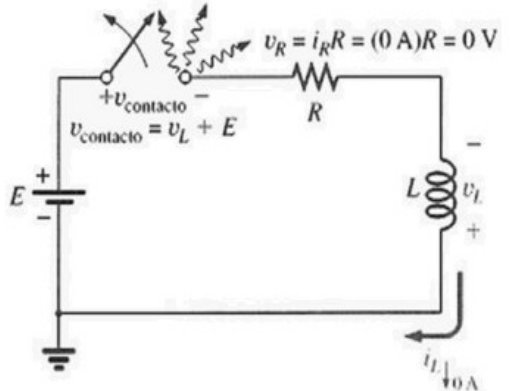
A diferenza dos condensadores que almacenan a enerxía en forma de carga as bobinas almacénana en forma de campo magnético asociado á circulación de intensidade pola bobina. Por este motivo, se se abre o circuíto a enerxía disíparse xa que a corrente non ten un camiño polo que fluír.

Para observar o transitorio de descarga dunha bobina deberemos garantir que a corrente nunca deixe de fluír a través da bobina como sucede, por exemplo, no circuíto da figura da dereita. Nestas condicións ao desconectar a bobina da fonte de tensión na bobina indúcese unha *fem* que tratará de manter o fluxo de corrente constante. A tensión entre extremos da bobina inverte o seu senso xa que pasa a ser a causa do establecemento da corrente en lugar de ser unha caída de potencial. Tanto a tensión como a corrente na bobina caen a cero a medida que se gasta a enerxía almacenada na bobina.



6.3. TRANSITORIO DE APERTURA

Se non fixeramos a montaxe mostrada no apartado anterior e cortasemos a corrente que atravesa a bobina mediante un interruptor a bobina reaccionaría do mesmo xeito inducándose unha *fem* que trata de manter constante o paso de corrente. Isto faría aparecer entre extremos do interruptor unha *fem* igual á suma da *fem* da fonte e a *fem* inducida o que, se son de magnitude suficiente, pode facer saltar un arco voltaico entre extremos do interruptor. Como ilustra a figura a continuación.



Estes picos de tensión que aparecen nunha bobina ao cortar a corrente que a atravesaba son o principio polo cal funciona o sistema de acendido dos automóbiles e outros dispositivos nos que se precisa obter tensións elevadas a partir de tensións continuas de valores pequenos.

6.4. COMPORTAMENTO ESTACIONARIO

Unha vez rematado o proceso de carga/descarga a corrente entre extremos da bobina será constante. Polo tanto a tensión entre os seus extremos será nula e a bobina comportarase como un circuíto pechado. **Chegados ao estado estacionario en corrente continúa a diferenza de potencial entre os extremos da bobina é nula e esta comportase como un circuíto pechado.**

7. O TRANSFORMADOR

Un transformador é un núcleo de material ferromagnético sobre o que se devanan dous arroiamentos, o devanado primario de N_P voltas e o secundario de N_S voltas.

Ao conectalo a un xerador de alterna no devanado primario establece unha fem ε_P para opoñerse á corrente que fai circular a fonte. O primario orixinase un fluxo magnético no núcleo Φ segundo a expresión:

$$\varepsilon_P = N_P \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

Para contrarestar o fluxo do devanado primario aparece no secundario unha fem:

$$\varepsilon_S = N_S \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

Dividido ambas expresións e tendo en conta que $\frac{d\Phi}{dt}$ é o mesmo en ambos devanados:

$$\frac{\varepsilon_P}{\varepsilon_S} = \frac{N_P}{N_S} = m$$

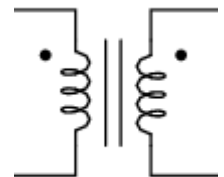
Onde a m se lle chama relación de transformación.

Supoñendo que no transformador non hai perdas de potencia a potencia no devanado primario P_P será idéntica á do devanado secundario P_S e, polo tanto:

$$\begin{aligned} P_P &= \varepsilon_P \cdot I_P \rightarrow \varepsilon_P \cdot I_P = \varepsilon_S \cdot I_S \rightarrow \frac{I_P}{I_S} = \frac{\varepsilon_S}{\varepsilon_P} = \frac{1}{m} \\ P_S &= \varepsilon_S \cdot I_S \end{aligned}$$

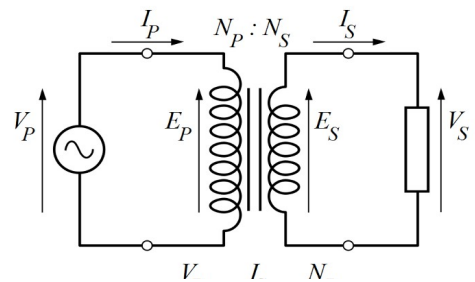
Se un transformador eleva a tensión reduce a corrente e se reduce a tensión eleva a corrente mantendo a potencia constante.

Para indicar as polaridades instantáneas da tensión empreganse puntos, como na figura da dereita, os puntos indican os lados de cada devanado que presentan a mesma polaridade instantánea. En canto á corrente, cando “entra” por un punto “saí” polo outro coherentemente ás polaridades da tensión.



Unha característica salientable do transformador é que proporciona illamento eléctrico entre os circuítos primario e secundario isto permite, por exemplo, conectar un condutor do secundario ao chace do equipo sen risco de que este quede conectado a un condutor do circuítos do primario.

Entre as aplicacións dos transformadores pódense citar as redes de transporte de enerxía eléctrica, adaptación de impedancias, fontes de alimentación, illamento entre circuítos...



7.1. O AUTOTRANSFORMADOR

Un autotransformador é un transformador especial que ten un único devanado que actúa á vez de primario e de secundario. De novo teremos unhas *fems* en ambos circuítos dadas por: $\varepsilon_1 = N_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt}$ e $\varepsilon_2 = N_2 \cdot \frac{d\Phi}{dt}$

Tendo en conta que $\frac{d\Phi}{dt}$ é o mesmo en ambos devanados:

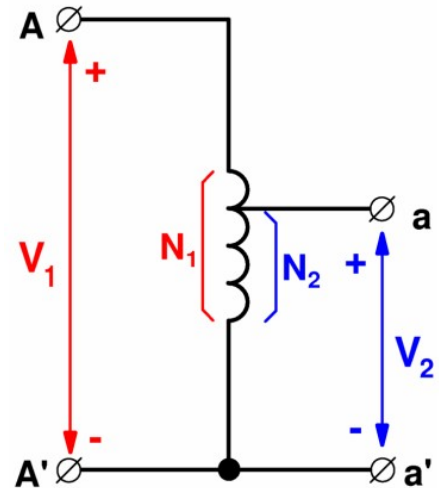
$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2} = m$$

De novo supoñendo que non hai perdas de potencia:

$$\begin{aligned} P_1 &= \varepsilon_1 \cdot I_1 \rightarrow \varepsilon_1 \cdot I_1 = \varepsilon_2 \cdot I_2 \rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{1}{m} \\ P_2 &= \varepsilon_2 \cdot I_2 \end{aligned}$$

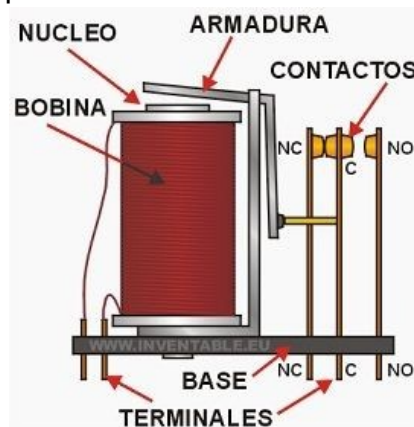
O autotransformador é máis barato que un transformador convencional e, ademais, ten menos perdas. O principal inconveniente dun autotransformador é que non existe illamento entre os circuítos primario e secundario. Nun transformador normal os dous devanados están illados entre, están ligados a través dun campo magnético pero eléctricamente están separados. Nun autotransformador este illamento non existe; pois se trata do mesmo devanado que actúa á vez como primario e como secundario. Para reducir os problemas derivados de isto o terminal común (A' - a') adoita conectarse a terra.

Hai autotransformadores nos que o terminal do secundario a non é fixo senón que se move mediante un cursor. Isto permite variar a relación de transformación do autotransformador e, por tanto, obter unha tensión secundaria variable a vontade. Este tipo de autotransformadores denomínase variac .



8. O RELÉ

O relé é un dispositivo electromecánico. Funciona como un interruptor controlado por un circuítu eléctrico (de mando) no que, por medio dunha bobina e un electroimán acciónase un xogo dun ou varios contactos que permiten abrir ou pechar outros circuítos eléctricos independentes (de forza) garantindo o illamento eléctrico entre ambos circuítos. Así un microcontrolador poderá controlar o acendido de unha lámpada de 100W sen risco de quedar conectado á rede eléctrica.



Relé Electromagnético