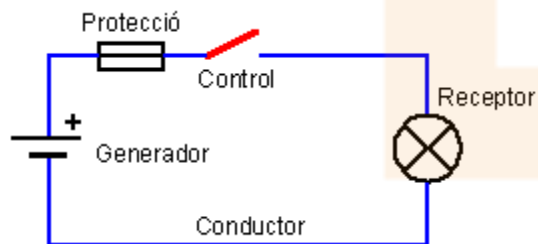


# 1. Introducció

Qualsevol circuit elèctric està constituït generalment per les següents parts:

- Els **generadors**. Són els elements que transformen una altra energia en energia elèctrica. Els principals són: piles i bateries a partir d'energia química, dinamos i alternadors a partir de energia mecànica, transformadors i inversors que transformen energia elèctrica a elèctrica, cel·les fotovoltaica a partir de la llum...
- Els **receptors**. Realitzen la transformació al revés. Una bombeta dona llum a partir de l'energia elèctrica, un motor energia mecànica, una resistència calor....
- Els **conductors elèctrics** són els encarregats de transmetre l'energia elèctrica pels circuits i en el transport amb el mínim de pèrdues (cables de coure o alumini). En les aplicacions teòriques considerem que són ideals i no hi ha pèrdues.
- Els mecanismes de **control i comandament** permeten el pas de l'electricitat per les diferents parts del circuit (interruptors, pulsadors, commutadors,..., díodes, transistors,...)
- Els elements de **protecció** són els encarregats de desconnectar el circuit en cas d'alguna anomalia (fusibles, interruptors automàtics...)



Esquema

## Exemple de circuit elèctric

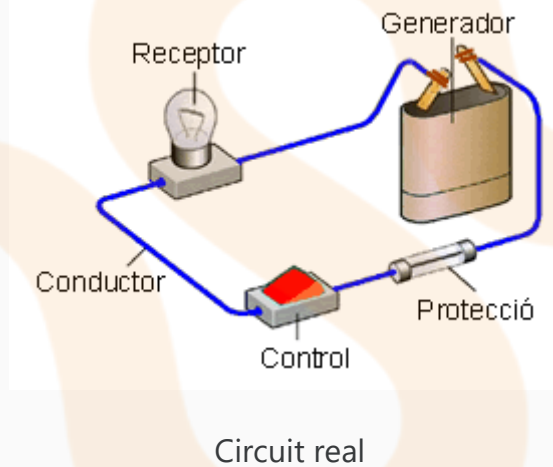
Genrador → pila de corrent continu

Receptor → bombeta

Control → interruptor

Protecció → fusible

Conductor → cables elèctrics



## 2. Diferència de potencial i intensitat del corrent elèctric. Corrent continu i corrent altern.

El **potencial elèctric** o **la diferència de potencial** entre dos punts és el treball necessari per transportar una unitat de carrega entre els dos punts del camp elèctric.

La unitat de mesura de la diferencia de potencial és el **volt**, el símbol de la unitat és correspon a **V** i la variable s'anomena **U**.

La diferència de potencial la podem anomenar també diferència de tensió, voltatge o inclús caiguda de tensió quan ho considerem en el circuit.

La **intensitat del corrent elèctric** és la quantitat de carrega elèctrica que passa per un conductor en una unitat de temps. És a dir el moviment d'electrons a través del material.

En la realitat els electrons surten del pol negatiu i es desplacen fins el positiu. En la practica s'utilitza el sentit invers anomenat **sentit convencional**.

La unitat de mesura de la intensitat de corrent elèctric és l'**ampere**, el símbol de la unitat és correspon a **A** i la variable s'anomena **I**.

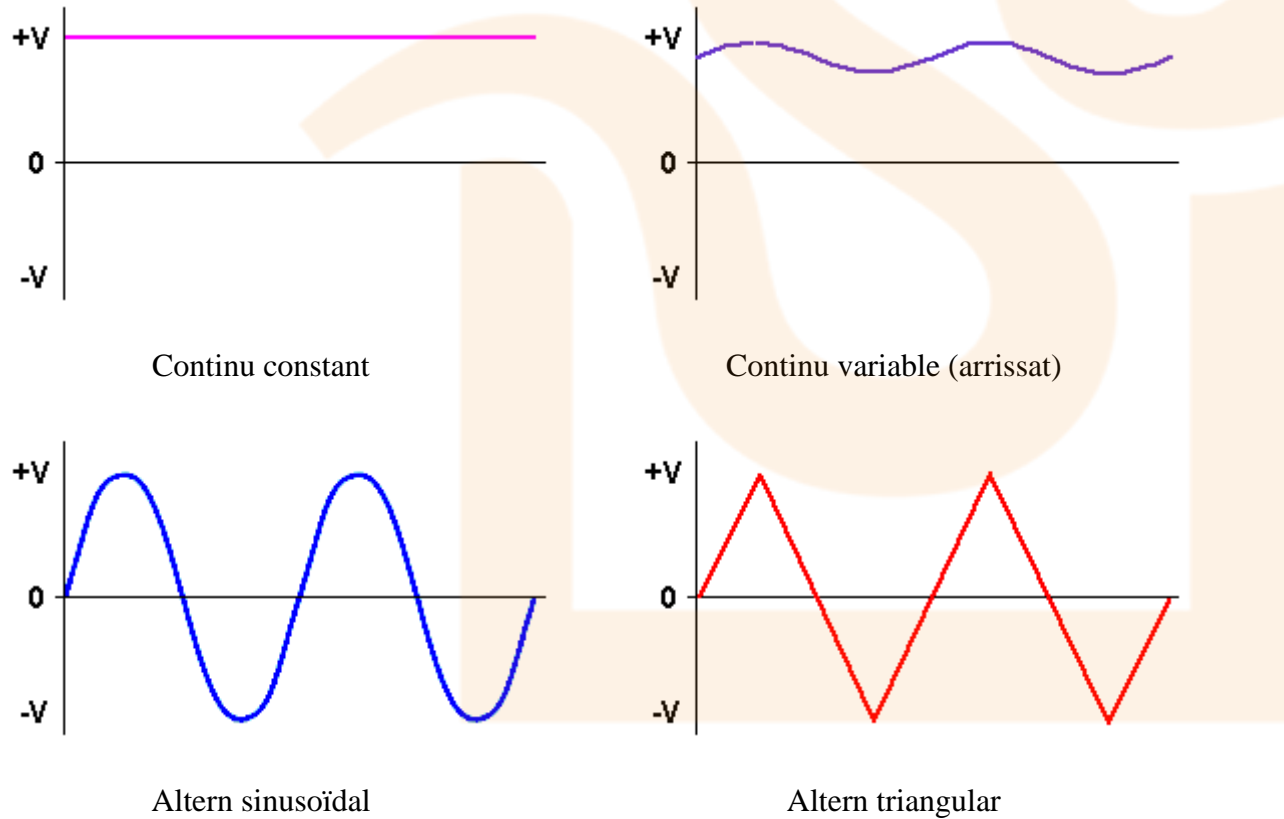
En electrotècnia s'utilitzen valors instantanis (valor que adopta una variable en un moment donat) i les seves variables s'expressen en minúscules. Així parlariem de **u** i **i** per les variables **U** i **I**.

### **Corrent continu i corrent altern.**

En funció del sentit de circulació de les càrregues elèctriques podem parlar de:

- Corrent continu és aquell en que les càrregues sempre es mouen en un mateix sentit. El corrent continu pot ser constant quan sempre té el mateix valor i variable quan el seu valor varia amb el temps.

- **Corrent altern** quan les càrregues elèctriques varien el sentit de circulació. La més habitual és el corrent altern sinusoidal (en funció de la variable sinus).



### 3. Diferents elements dins un circuit

Dins els circuits elèctrics podem trobar diversos tipus de components i comportaments. Alguns d'aquest són el següents.

1. Resistències
2. Condensadors
3. Bobines
4. Mecanismes de control i comandament, i elements de protecció

### 3.1. Resistències

La resistència és l'oposició al pas del corrent elèctric que ofereix un conductor.

Aquesta oposició depèn de:

- Del material. Concretament de la **resistivitat** del material.
- De la **longitud** del conductor. Com més llarg més resistència.
- De la **secció** del conductor. Com menys pas més resistència

Així la resistència R valdrà.

$R$  = resistència [ $\Omega$ ]  
 $\rho$  = resistivitat [ $\Omega\text{m}$ ]  
 $l$  = longitud del conductor [m]  
 $S$  = secció del conductor [ $\text{m}^2$ ]

La unitat de mesura de la resistència elèctrica és l'**ohm**, el símbol de la unitat és correspon a  $\Omega$  i la variable s'anomena **R**.

Com que el valor de la resistivitat depèn del material serà un valor fix per a cada material. El valor de la resistivitat a 20 °C dels materials més utilitzats és:

Coure:  $\rho_{Cu} = 1,72 \cdot 10^{-8} \Omega m$   
Alumini:  $\rho_{Al} = 2,82 \cdot 10^{-8} \Omega m$

Buscarem un material amb una baixa resistivitat quan vulguem evitar aquesta oposició al pas del corrent elèctric i amb una elevada resistivitat si busquem l'efecte contrari.

El valor de la resistivitat no és constant i varia amb la temperatura segons la següent expressió.

$\rho_{(T)}$  = resistivitat a la temperatura T [ $\Omega m$ ]  
 $\rho_{(20)}$  = resistivitat a 20 °C [ $\Omega m$ ]  
 $\alpha$  = Coeficient de temperatura [ $^{\circ}C^{-1}$ ] o [ $1/^{\circ}C$ ]  
T = temperatura [ $^{\circ}C$ ]

El valor del coeficient de temperatura  $\alpha$  dels materials mes utilitzats són:

Coure:  $\alpha_{Cu} = 3,8 \cdot 10^{-3} \Omega m$   
Alumini:  $\alpha_{Al} = 3,9 \cdot 10^{-3} \Omega m$

### Exemple

Calcula la resistència elèctrica d'un conductor d'alumini de 100 m de longitud i 1,5 mm<sup>2</sup> de secció a 40 °C.

Calculem la resistivitat a 40 °C.

Calculem la resistència a 40 °C.

Per la construcció de [resistències elèctriques](#) molt cops s'utilitza un conductor enrotllat sobre un suport. En altres, es depositen sobre un suport material com òxids metàl·lics o carbó.

### **Símbol de la resistència elèctrica**

En funció de si permeten o no el pas del corrent elèctric podem classificar els materials com a:

- 
- [Conductors](#). Materials que permeten el pas del corrent elèctric.
- [Aïllants](#). Materials que NO deixen passar el corrent elèctric.
- [Semiconductors](#). Materials que permeten el pas de corrent elèctric en determinades condicions.
- [Superconductors](#). Materials que no presenten resistència elèctrica. Aquest material presenten aquestes característiques a temperatures properes al 0 °K (-273 °C)

### **Conductància i conductivitat**

La [conductància](#) i la [conductivitat elèctrica](#) són les inverses de de la resistència i la resistivitat. Així la conductància és la facilitat de pas del corrent elèctric per un conductor.

G = Conductància [S]

$\sigma$  = conductivitat [ $\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ ] o [ $1/\Omega\text{m}$ ]

La unitat de mesura de la conductància és el **siemens**, el símbol de la unitat és correspon a **S** i la variable s'anomena **G**.

### 3.2. Condensadors

El **condensador** és un element que permet emmagatzemar carrega elèctrica per efecte electrostàtic (dos càrregues properes s'atrauen). Constructivament consta de dues plaques metàl·liques (les armadures) separades per un aïllant elèctric (el dielèctric).

La càrrega emmagatzemada en un condensador és directament proporcional a la **capacitat** de carrega i a la tensió entre les seves armadures.

Q =carga [C]

C = capacitat [F]

U = tensió entre armadures [V]

La unitat de mesura de la capacitat és es el **farad**, el símbol de la unitat és correspon a **F** i la variable s'anomena **C**.

El farad és una unitat molt petita per aquest motiu la majoria dels cops les veurem com a  $\mu\text{F}$  ( $10^{-6}\text{F}$ ),  $\text{nF}$  ( $10^{-9}\text{F}$ ) o  $\text{pF}$  ( $10^{-12}\text{F}$ ).



## El condensador

Condensador sense polarització

Condensador amb polarització o electrolític.  
Aquest condensadors no permeten canviar la polaritat de la connexió

El comportament d'un condensador és diferent en corrent continu (C.C.) i en corrent altern (C.A.).

En corrent continu el condensador es carrega o descarrega en un temps determinat en funció del corrent que pot absorbir. Aquest corrent depèn de la tensió màxima, la capacitat del condensador i la resistència que limita la carrega segons les expressions:

Carrega

C = capacitat [F]

R = resistència [ $\Omega$ ]

t = temps [s]

U = tensió entre armadures [V]

Descarrega

e = **nombre e o constant d'Euler** és un valor similar a  $\pi$  que val 2,718281828... Les calculadores científiques tenen la tecla  $e^x$  i la seva inversa Ln (logaritme neperià)

q =carga instantània\* [C]

\*s'expressa en minúscules perquè és un valor instantani

Si dividim aquestes expressions per C ens permetrà calcular la tensió instantània entre extrems del condensador.

Carrega

Descarrega

$u =$  tensió instantània [V]

S'anomena constant de temps ( $\tau$ ) d'un circuit RC a la a la relació:

$\tau =$  constant de temps [s]  
 $C =$  capacitat [F]  
 $R =$  resistència [ $\Omega$ ]

Un condensador es considera totalment carregat o descarregat quan a transcorregut  $5\tau$  que equival al 99% de la carrega. Alguns altres autors ho consideren per  $3\tau$  equivalent al 95%. La constant de temps es mesura amb segons [s].

gràfic carrega

gràfic descarrega

En el moment inicial hi ha un gran corrent elèctric que carrega o descarrega el condensador i va disminuint a mida que passa el temps. Un cop està carregat no circularà cap corrent elèctric.

### Exemple

Calcula la constant de temps i el temps que triga a carregar-se un condensador de  $150 \mu\text{F}$  a través d'una resistència de  $220 \text{ k}\Omega$

Quina serà la carrega del condensador als 10 s de connectar-lo a un potencial de 24 V?

i la tensió del condensador?

L'energia que pot emmagatzemar un condensador ve determinada per:

$E$  = energia [J]

$Q$  =carga [C]

$C$  = capacitat [F]

$U$  = tensió [V]

### Exemple

Calcula l'energia màxima del condensador de l'exercí anterior a 24 V

El comportament del condensador en corrent altern s'estudiara en el capítol corresponent.

### 3.3. Bobines

Físicament les **bobines** són similars a una resistència bobinada. És a dir un cable conductor enrotllat sobre un suport rígid. La diferència principal és que en les bobines el conductor elèctric dona moltes més voltes que la resistència.

A la pràctica, en corrent continu, un cop transcorregut els primers instants transitoris és comporta com una resistència. Així en el moment de la connexió o desconexió com en corrents variables es produeix una FEM (força electró motriu) que s'oposa a l'efecte que la ha creat (llei de Lenz).

La **inductància** o coeficient d'autoinducció és la constata pròpia de cada bobina en funció de les seves característiques.

Constructivament

$L$  = inductància [L]  
 $N$  = numero d'espines

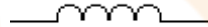
En funció dels efectes

$\mu$  = permeabilitat magnètica del nucli [ $\text{Wb} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{A}^{-1}$ ]  
 $S$  = superfície (àrea) de cada espira [ $\text{m}^2$ ]  
 $l$  = longitud de la bobina {m}

$\Phi$  = flux electromagnètic [Wb]  
 $i$  = intensitat [A]

La unitat de mesura de la inductància és el **henry**, el símbol de la unitat és correspon a **H** i la variable s'anomena **L**.

### Símbol de la inductància



El nucli sobre el que estan bobinats els conductors afecta notablement en el seu comportament. Així si es precisa un increment notable de la inductància el nucli serà d'un material ferromagnètic que concentra fortament el camp magnètic.

### Exemple 1

Quin serà el valor de la inductància d'una bobina de 500 espires de  $25 \text{ cm}^2$  de superfície que té 22 cm de longitud?

Si no es diu el contrari es pren el valor de  $\mu$  en el buit  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Wb} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{A}^{-1}$

La FEM generada per la bobina serà:

$\varepsilon$  = FEM [V]  
L = inductància [L]  
i = intensitat [A]  
t = temps [s]

2

el valor de la fem autoinduída d'una bobina de 150 mH si el corrent augmenta 1,2 A uniformement durant 20 ms.

El comportament d'una bobina és diferent en corrent continu (C.C.) i en corrent altern (C.A.).

En el moment de connectar o desconnectar una bobina en un circuit de corrent continu es genera una FEM a causa del flux magnètic creat. A partir de aquesta FEM creada podrem obtenir el corrent que passarà pel circuit a partir de les següents les expressions:

Connexió

L = inductància [L]  
R = resistència [ $\Omega$ ]  
t = temps [s]  
 $\varepsilon$  = FEM [V]

Desconnexió

e = nombre e o constant d'Euler és un valor similar a  $\pi$  que val 2,718281828... Les calculadores científiques tenen la tecla  $e^x$  i la seva inversa Ln (logaritme neperià)

S'anomena constant de temps ( $\tau$ ) d'un circuit RL a la relació:

$\tau$  = constant de temps [s]

L = inductància [L]

R = resistència [ $\Omega$ ]

Es considera que el corrent d'una bobina es estable quan a transcorregut  $5\tau$  que equival al 99% del corrent. Alguns altres autors ho consideren per  $3\tau$  equivalent al 95%. La constant de temps es mesura amb segons [s].

gràfic connexió

gràfic desconexió

En el moment inicial hi ha una forta oposició al canvi del corrent i va disminuint a mida que passa el temps. Un cop transcorregut el temps inicial de transició, el corrent elèctric correspon al de la resistència del conductor.

### Exemple

Calcula la constant de temps d'un circuit que consta d'una bobina de 220 mH i una resistència de 150  $\Omega$

Quin serà el corrent de la bobina 1 ms després de haver-la connectat a 24 V?

L'energia que pot emmagatzemar una bobina ve determinada per:

$E$  = energia [J]

$L$  = inductància [L]

$i$  = intensitat [A]

Una bobina de 220 mH passa un corrent de 0,1 A durant un temps prolongat. Quin és el valor de l'energia emmagatzemada?

### 3.4. Elements de control i comandament i de protecció

#### Mecanismes de control i comandament



### **Elements mecànics**

Són elements que actuen per acció humana (interruptors, polsadors, commutadors, ...) o mecànicament per acció d'un altre element (finals de cursa, rodets, palpadors, ...). Estan pensats per interrompre o permetre el pas del corrent elèctric d'un circuit o dirigir el corrent per diferents circuits.

### **Elements electromecànics**

Tenen el mateix tipus de funcionament però l'accionament és per efecte electromagnètic a partir d'un corrent elèctric (relés, contactors...).

### **Elements d'estat sòlid**

En aquest cas podem considerar els semiconductors com elements aïllats (díodes, transistors, triacs...) i aparells que a més dels semiconductors incorporen altres elements (detectors òptics, inductius, capacitius, magnètics, ...)

### **Elements de protecció**

Són elements encarregats de desconnectar els circuits en cas de funcionaments erronis (curtcircuits, sobrecàrreges, corrents de derivació,...). Bàsicament n'hi ha de dos tipus: els fusibles i els interruptors automàtics.

Els fusibles incorporen en el circuit un punt dèbil. Aquest punt dèbil està constituït per un element que té una resistivitat més alta que la resta del circuit i/o un punt de fusió més baix que els altres conductors de forma que és fon en cas de sobrecàrrega o curtcircuit. Els fusibles s'han de substituir un cop han actuat.

Els interruptors automàtics desconnecten el circuit en cas de produir-se el funcionament erroni. Utilitzen diferents efectes físics (tèrmics, magnètics,...) per desconnectar l'interruptor en detectar una anomalia.

## Simbologia

La simbologia d'aquests elements és molt variada degut a les diferents opcions que pot tenir cada element. La norma utilitzada és la UNE-EN 60617, a la que haurem de fer referència per qualsevol dubte. Seguidament trobareu un petit resum dels elements utilitzats més freqüentment i en aquest [enllaç](#) trobareu un resum més extens.



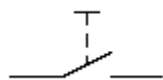
Contacte normalment obert  
(NO)



Contacte normalment tancat (NT)



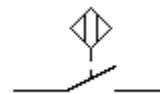
Commutador



Interruptor accionat manualment

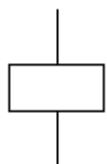


Interruptor de proximitat

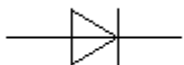


Interruptor sensible al contacte

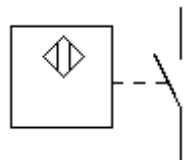
Interruptor manual amb retorn automàtic (Polsador)



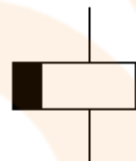
Bobina de relé



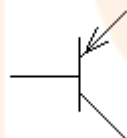
Díode



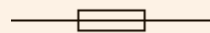
Dispositiu detector de proximitat



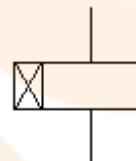
Bobina de relé amb desconexió retardada



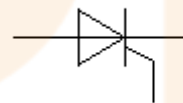
Transistor PNP



Fusible



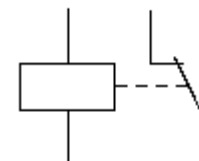
Bobina de relé amb connexió retardada



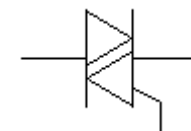
Tiristor



Interruptor automàtic



Relé amb contactes commutatats



Triac



Interruptor tèrmic commutat