

Introducció a l'electrònica

Esteve Gené Pujols

25 hores

Taula de continguts

Mòduls	Continguts
1. Circuits elèctrics	1.1. Magnituds fonamentals dels circuits elèctrics 1.2. L'alimentació del circuit: generadors 1.3. La llei d'Ohm 1.4. Associació d'elements bàsics 1.5. Les lleis de Kirchhoff
2. Elements passius	2.1. El condensador. Tipus. Aplicacions. Associació 2.2. La bobina. Aplicacions 2.3. El díode. Tipus. Aplicacions
3. Eines d'anàlisi i simulació	3.1. El multímetre 3.2. L'oscil·loscopi 3.3. L'ús de plaques de proves per a assajar circuits 3.4. SPICE

Introducció

L'electrònica és el camp de l'enginyeria i de la física aplicada relatiu al disseny i l'aplicació de dispositius, en general circuits electrònics, el funcionament dels quals depèn del flux d'electrons per a la generació, la transmissió, la recepció i l'emmagatzematge d'informació, entre altres. Aquesta informació pot consistir en veu o música –com en un receptor de ràdio–, en una imatge en una pantalla de televisió o en nombres o altres dades en un ordinador o una computadora.

1. Circuits elèctrics

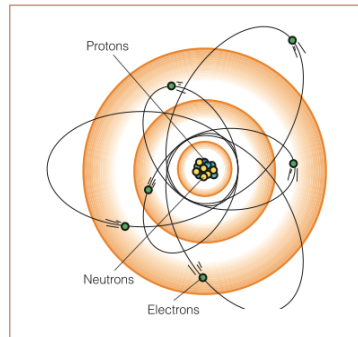
1.1. Magnituds fonamentals dels circuits elèctrics

Què és l'electricitat? Com es produeix? Quina naturalesa té? Intentarem respondre a aquestes preguntes en aquest mòdul. L'àtom és l'element bàsic de tot el procés, i per això s'ha de començar amb l'estudi de l'estructura que té.

La paraula *àtom* significa en grec 'indivisible', i així es va considerar durant molt de temps. Posteriorment, els treballs de Rutherford, Bohr i altres investigadors van revelar que està format per partícules subatòmiques molt més petites, com ara els electrons, els protons, els neutrons, els positrons, els mesons, els neutrins i els antiprotons. Tot i això, els més importants són els tres primers:

- **Electrons:** giren a gran velocitat al voltant del nucli i descriuen òrbites el·líptiques i es mantenen en aquestes òrbites gràcies a l'atracció del nucli. A diferència del sistema planetari, aquesta força no és gravitatòria sinó elèctrica. La càrrega elèctrica dels electrons és negativa.
- **Protons:** formen el nucli de l'àtom. El valor absolut de la càrrega elèctrica que tenen és igual que el de l'electró però és positiu. La massa és 1.836,11 vegades superior a la de l'electró.
- **Neutrons:** són partícules elementals sense càrrega, situades al nucli de l'àtom i amb una massa aproximadament igual que la del protó.

Cada àtom té el mateix nombre d'electrons que de protons. Si la càrrega de l'electró és igual que la del protó, considerem l'àtom elèctricament neutre.



Estructura d'un àtom de carboni

Quan les càrregues elèctriques circulen per un conductor, hi ha un **corrent elèctric**.

La càrrega elèctrica: és una propietat de la matèria que es tradueix o que provoca que els cossos s'atreugin o es repel·leixin (es rebutgin) entre si depenent de l'aparició de camps electromagnètics generats per les mateixes càrregues. Es diu llavors que és una propietat intrínseca de la matèria que es presenta positiva i negativa, de manera que dues càrregues positives o negatives es repel·liran i una de positiva i una de negativa s'atrauran. La càrrega d'un electró (negativa) o la càrrega d'un protó (de la mateixa magnitud però positiva). També se suposa que la càrrega elèctrica de l'univers és finita (és a dir, que hi ha un nombre finit d'electrons i protons) i que és neutra (que hi ha tants protons com electrons), però això és una mica especulatiu. La unitat utilitzada per a mesurar la càrrega elèctrica és el coulomb (C).

La resistència elèctrica: és la més o menys capacitat d'un material per a permetre el pas del corrent elèctric. S'expressa en ohms (Ω).

La intensitat del corrent elèctric: es defineix com la quantitat de càrregues elèctriques que passen per una secció del conductor en un temps determinat. Aquesta magnitud es representa amb la lletra I , i es mesura en amperes (A).

La tensió elèctrica: indica la diferència d'energia entre dos punts d'un circuit. La tensió o el voltatge que és capaç de proporcionar un generador és l'energia transferida a cada coulomb de càrrega perquè recorri el circuit. Es representa per mitjà de la lletra V i es mesura en volts (V).

La potència elèctrica: és la quantitat d'energia lliurada o absorbida per un element en un temps determinat ($p = dW / dt$). La unitat en el sistema internacional és el watt (W). La potència es relaciona amb el voltatge i el corrent elèctric de la manera següent:

$$P=V \cdot I$$

El producte del voltatge per la intensitat elèctrica.

1.2. Alimentació del circuit: generadors

Un **generador elèctric** és un giny capaç de transformar en electricitat un altre tipus d'energia, que pot ser química, mecànica o lluminosa.

Un generador elèctric és tot dispositiu capaç de mantenir una diferència de potencial elèctric (voltatge) entre dos punts, anomenats *pols* o *borns*.

Els generadors es classifiquen en dos tipus fonamentals:

- **Primaris:** converteixen en energia elèctrica l'energia d'una altra naturalesa o d'un altre tipus que reben o de què disposen inicialment.
- **Secundaris:** alliberen una part de l'energia elèctrica que han rebut. Els dispositius concrets s'agrupen conforme al procés físic que els serveix de fonament.

Segons on apareix l'energia primària, distingim els generadors següents:

- **Químics:** les **piles** i les **bateries**, per exemple, que converteixen en electricitat l'energia de certes **reaccions químiques**.

– **Mecànics**: els **aerogeneradors** i les **centrals hidroelèctriques**, i també **alternadors**, antigament **dinamos**, que transformen l'energia mecànica en energia elèctrica. Es basen en el fenomen de la **inducció electromagnètica**.

– **Fotovoltaics**:



Exemple d'instal·lació fotovoltaica

Les **plaques fotovoltaiques** generen electricitat a partir de la llum.

1.3. La llei d'Ohm

La **llei d'Ohm** estableix que el **corrent** que travessa un **circuit elèctric** és directament proporcional a la **diferència de potencial** que hi ha entre els extrems d'aquest circuit i és inversament proporcional a la **resistència** d'aquest circuit.

En termes matemàtics, la llei s'expressa per mitjà de l'equació següent:

$$V = R \cdot I$$

en què V és el voltatge o la diferència de potencial, I és el corrent elèctric o la intensitat elèctrica, i R és la resistència elèctrica.

Tal com hem dit en apartats anteriors, en el sistema internacional d'unitats, la unitat utilitzada per al corrent és l'**ampere (A)**, per al voltatge el **volt (V)** i per a la resistència l'**ohm (Ω)**.

Aïllant la resistència s'obté que: $R = \frac{V}{I}$

Aïllant la intensitat s'obté que: $I = \frac{V}{R}$

Alguns exemples de l'aplicació de la llei d'Ohm són els següents:

Exemple 1

Si es munta un circuit amb una resistència de 1.000Ω i es vol que hi circuli un corrent de $0,2 \text{ A}$ d'intensitat:

- Quin voltatge es necessita?

$$V = R \cdot I = 1.000 \cdot 0,2 = 200 \text{ V}$$

Exemple 2

Si es munta un circuit amb una resistència de 250Ω i una pila d' $1,5 \text{ V}$:

- Quin valor tindrà la intensitat?

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1,5}{250} = 0,006 \text{ A} = 6 \text{ mA}$$

Exemple 3

Si es munta un circuit amb una bateria de 24 V i es vol que hi circuli un corrent de $0,8 \text{ A}$:

- Quina resistència es necessita?

$$R = \frac{V}{I} = \frac{24}{0,8} = 30 \Omega$$

1.4. Associació d'elements bàsics

Un **circuit elèctric** està format per un generador (pila o acumulador) que proporciona l'energia necessària, el receptor (llum, motor, etc.) i els conductors que uneixen els diferents components.

- Els **generadors** són els aparells que transformen el treball o qualsevol altre tipus d'energia en energia elèctrica.
- Els **receptors** elèctrics transformen l'energia elèctrica en una altra forma d'energia qualsevol, és a dir, fan la funció inversa de la dels generadors.
- El **conductor elèctric** és qualsevol sistema material que tingui les propietats següents: que no ofereixi resistència apreciable al pas del corrent i que no hi hagi cap diferència de potencial entre els extrems quan hi circuli un corrent elèctric.

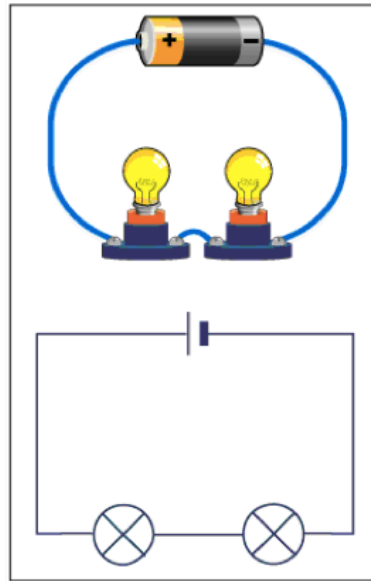
Per a governar els circuits fan falta uns elements anomenats **aparells de comandament**, els més importants dels quals són els *interruptors*, els *polsadors* i els *commutadors*. Tots els components d'un circuit elèctric són representats gràficament mitjançant símbols elementals, que han estat normalitzats perquè tothom els interpreti de la mateixa manera.

En la taula següent es mostren els símbols elèctrics més freqüents utilitzats en electrotècnica i normalitzats segons les normes UNE (una norma espanyola) i altres normes internacionals (DIN, ANSI, CEI, etc.).

<i>Naturalesa del corrent</i>		<i>Generadors</i>	
Corrent continu		Pila	
Corrent altern		Bateria d'acumuladors o piles	
Funcionament indiferent en corrent continu o altern		Generador de corrent continu (dinamo)	
		Generador de corrent altern (alternador)	
		Font d'intensitat	
<i>Conductors, terminals i connexions</i>		<i>Aparells de mesura</i>	
Conductor		Voltímetre	
Línia trifàsica, 3 conductors		Amperímetre	
n conductors		Òhmmetre	
Terminal o connexió de conductors		Wattímetre	
Derivació		Freqüencímetre	
Encreuament sense connexió		Fasímetre	
<i>Altres símbols</i>		Comptador (símbol general)	
Terra, presa de terra		Components elèctrics passius	
Massa, presa de massa		Resistor	
Fusible		Impedància	
Motor		Inductància, bobina	
Làmpada			Condensador
Timbre		Condensador electrolític polaritzat	
Interruptor		Transformador	
Commutador		Resistor variable	
Contacte normalment obert		Condensador variable	
Contacte normalment tancat		Resistor ajustable	
Connexió en triangle		Condensador ajustable	
Connexió en estrella			

Taula de símbols elèctrics

Quan tenim dos elements o més de dos elements connectats l'un darrere l'altre, de manera que hi circula el mateix corrent elèctric, diem que **estan connectats en sèrie**.



Si es tracta de dues bombetes o més de dues bombetes iguals, la tensió o el voltatge queda repartit entre l'una i l'altra, i si falla una bombeta, el circuit queda obert, és a dir, interromput. Seguint el recorregut del corrent en els esquemes deduïm que les característiques de funcionament dels receptors connectats en sèrie són les següents:

La intensitat que circula per cada receptor és la mateixa; per tant, si es desconnecta un receptor, el circuit queda obert, s'interromp el corrent i deixen de funcionar tots els receptors:

$$I_{\text{total}} = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$

La tensió del generador es reparteix entre tots els receptors de manera directament proporcional a la resistència que tenen:

$$V_{\text{total}} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

La resistència total del circuit és la suma de totes les resistències parcials:

$$R_{\text{total}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Si es tracta de dos generadors o més de dos generadors, la tensió que subministren connectats en sèrie és la suma de cadascun, i s'ha de connectar successivament el pol positiu d'un amb el negatiu d'un altre, de manera que el pol positiu del primer i el negatiu de l'últim constitueixen els dos terminals de l'associació en sèrie. La tensió subministrada al circuit és la suma de cadascun dels generadors, i augmenta així la tensió del circuit. Si es tracta de dos interruptors o més de dos interruptors en sèrie, s'han d'accionar tots a la vegada perquè el circuit quedi tancat.

Quan en un circuit hi ha elements que es connecten, de manera que a partir d'un punt el corrent es reparteix i es torna a unir a la sortida, parlem de **connexions en paral·lel**. Si són generadors s'han de connectar tots els pols positius per un costat i tots els negatius per l'altre. Així s'augmenta la vida útil del conjunt de manera que les piles triguen més a esgotar-se.

$$I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + I_3$$

Quan es connecten generadors de la mateixa tensió, la tensió subministrada en conjunt és la mateixa que un de sol, i si les tensions són diferents, preval la que és més elevada. La intensitat es reparteix de manera directament proporcional a cadascuna de les resistències.

Si el circuit alimenta dos receptors o més, el corrent es reparteix entre tots els receptors, de manera que el circuit es pot tancar per a cadascun d'aquests receptors. Quan falla un receptor, el circuit no queda interromput i els altres continuen funcionant.

Cada receptor rep la mateixa tensió, que és la del generador:

$$V_{\text{total}} = V_1 = V_2 = V_3$$

La resistència total del circuit és la següent:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

Si són interruptors, es tanca el circuit si qualsevol d'aquests interruptors està en posició de treball.

Quan els elements estan distribuïts en un mateix circuit en grups en sèrie o bé en paral·lel tenim una **associació mixta**.

1.5. Les lleis de Kirchhoff

Les **lleis de Kirchhoff** permeten resoldre de manera sistemàtica el càlcul de circuits elèctrics que no es podrien solucionar aplicant directament la llei d'Ohm. L'aplicació no és complicada: només s'han de tenir clars els conceptes de **nus**, **branca** i **mall** en un circuit elèctric i aplicar dues lleis.

Definicions

Malla:

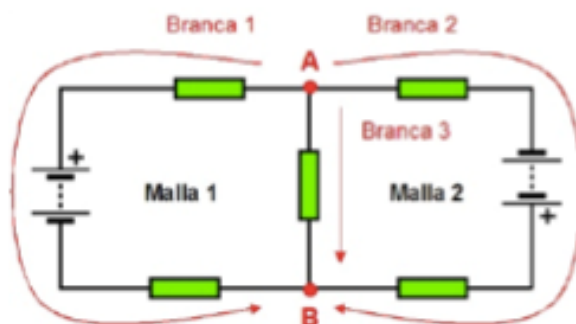
Qualsevol recorregut elèctric tancat

Nus:

Punt del circuit en el que conflueixen dues o més intensitats

Branca:

Tot trajecte que pot recórrer una intensitat entre dos nusos



Lleis de Kirchhoff

1ª llei. Llei dels nusos:

En tots els nusos $\sum I_i = 0$

2ª llei. Llei de les malles:

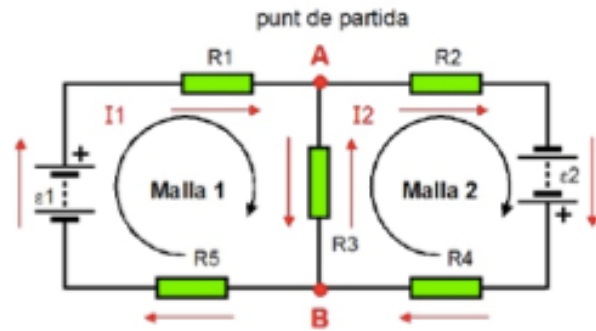
En totes les malles $\sum \epsilon_i = \sum I_i \cdot R_i$

Correcció del text de la imatge

Punt del circuit en què
Tot circuit que pot recórrer

Procediment de resolució

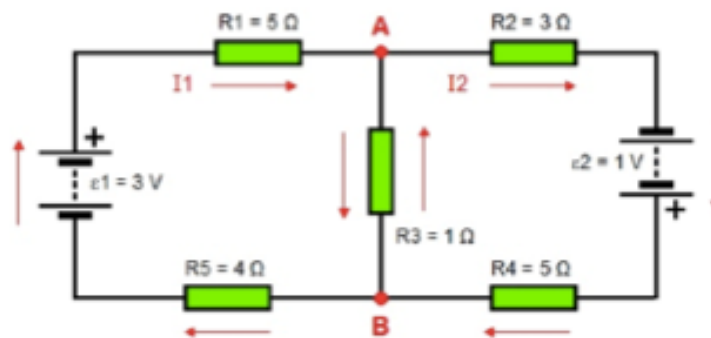
1. Es marquen els nusos, s'identifiquen les malles i s'indica la polaritat dels generadors.
2. S'assigna un sentit arbitrari del corrent en cada malla.
3. Escollim un punt de partida en la malla i la recorrem en el sentit que hem establert per al corrent.
4. Apliquem la 2ª llei de Kirchhoff en cada malla: $\sum \varepsilon_i = \sum I_i \cdot R_i$



Malla 1. $-\varepsilon_1 = (I_1 - I_2) \cdot R_3 + I_1 \cdot R_5 + I_1 \cdot R_1$
Malla 2. $-\varepsilon_2 = I_2 \cdot R_2 + I_2 \cdot R_4 + (I_2 - I_1) \cdot R_3$

Amb aquest sistema de 2 equacions ja podem calcular les intensitats que recorren el circuit.

Posem valors per calcular les intensitats per cada branca del circuit:

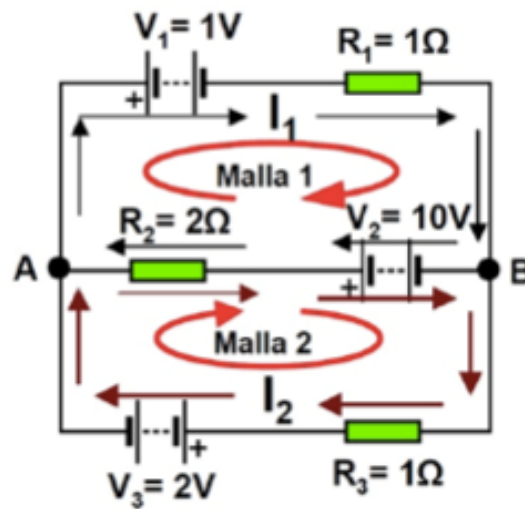


Malla 1. $-\varepsilon_1 = (I_1 - I_2) \cdot R_3 + I_1 \cdot R_5 + I_1 \cdot R_1 \Rightarrow -3V = (I_1 - I_2) \cdot 1\Omega + I_1 \cdot 4\Omega + I_1 \cdot 5\Omega$
Malla 2. $-\varepsilon_2 = I_2 \cdot R_2 + I_2 \cdot R_4 + (I_2 - I_1) \cdot R_3 \Rightarrow -1V = I_2 \cdot 3\Omega + I_2 \cdot 5\Omega + (I_2 - I_1) \cdot 1\Omega$

$$\left. \begin{aligned} -3 &= 10 \cdot I_1 - I_2 \Rightarrow I_1 = (I_2 - 3) / 10 \\ -1 &= 9 \cdot I_2 - I_1 \Rightarrow I_1 = 9 \cdot I_2 - 1 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} I_2 - 3 &= 90I_2 - 10 \Rightarrow I_2 = -13 / 89 = -0,146 \text{ A} \\ I_1 &= 9 \cdot (-0,15) + 1 = -0,315 \text{ A} \end{aligned}$$

els signes negatius indiquen que el sentit del corrent és contrari al suposat

Un altre exemple. Calculem les intensitats per cada branca del circuit:



Apliquem la 2ª Llei de Kirchoff:

Malla 1. $\epsilon_1 - \epsilon_2 = I_1 \cdot R_1 + (I_1 - I_2) \cdot R_2 \Rightarrow -9V = I_1 \cdot 1\Omega + (I_1 - I_2) \cdot 2\Omega$

Malla 2. $\epsilon_2 + \epsilon_3 = (I_2 - I_1) \cdot R_2 + I_2 \cdot R_3 \Rightarrow 12V = (I_2 - I_1) \cdot 2\Omega + I_2 \cdot 1\Omega$

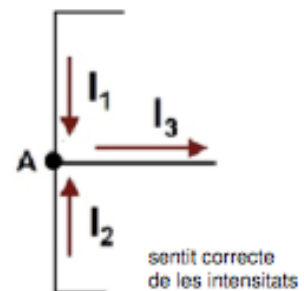
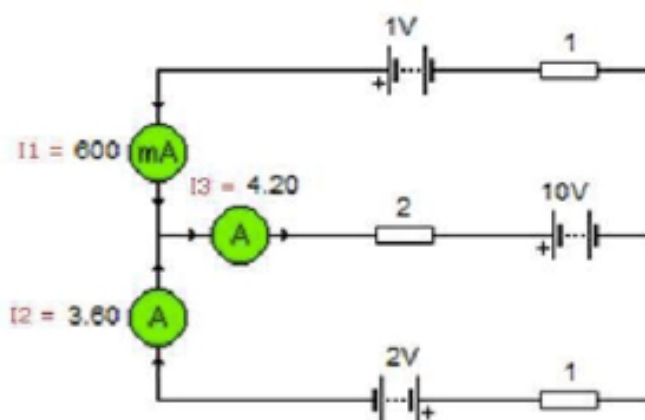
$$\begin{cases} -9 = 3 \cdot I_1 - 2 \cdot I_2 \Rightarrow I_1 = (2 \cdot I_2 - 9) / 3 \\ 12 = 3 \cdot I_2 - 2 \cdot I_1 \Rightarrow I_1 = (3 \cdot I_2 - 12) / 2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 4 \cdot I_2 - 18 = 9 \cdot I_2 - 36 \Rightarrow I_2 = 18 / 5 = 3,6 \text{ A} \\ I_1 = ((2 \cdot 3,6) - 9) / 3 = -0,6 \text{ A} \end{cases}$$

els signes positius indiquen que el sentit suposat del corrent és correcte

Apliquem la 1ª Llei de Kirchoff:

Al nus A: $I_3 = I_1 + I_2 \Rightarrow I_3 = 0,6 \text{ A} + 3,6 \text{ A} = 4,2 \text{ A}$



2. Elements passius

Els elements passius són els que transformen l'energia elèctrica en un altre tipus d'energia, com ara la lluminosa si es tracta d'una bombeta, la tèrmica si es tracta d'una estufa, i la mecànica si es tracta d'un motor. Parlem, doncs, de resistències, condensadors (elements que acumulen càrrega elèctrica entre dues plaques metàl·liques separades per un material aïllant), motors, transformadors, bobines (fil enrotllat al voltant d'un eix que, quan hi circula corrent continu, es comporta com un imant, mentre que quan hi circula corrent altern permet induir corrent en circuits propers).

2.1. El condensador. Tipus. Aplicacions. Associació

Un **condensador** és un dispositiu que emmagatzema energia en el camp elèctric que s'estableix entre un parell de conductors que estan carregats però amb càrregues elèctriques oposades. Històricament, els condensadors han adoptat la forma d'un parell d'armadures de metall, planes o enrotllades en un cilindre, però de totes maneres entre qualsevol parell de conductors en qualsevol disposició sempre es dóna el fenomen de la capacítància.



Exemples de condensadors

La capacítància (C) és una mesura de la quantitat de càrrega elèctrica emmagatzemada en cadascuna de les armadures per a un voltatge determinat:

$$q(t) = Cv(t)$$

en què:

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

per a un condensador ideal d'armadures en què:

C és la capacítància en farads (F);

ϵ és la permitivitat del dielèctric utilitzat;

A és l'àrea de cada placa, mesurada en metres quadrats, i

d és la separació entre les armadures, mesurada en metres.

En unitats del sistema internacional, la capacítància es mesura en farads; així, un condensador té una capacítància d'un farad quan un coulomb de càrrega produeix una diferència de potencial d'un volt entre les armadures. Com que el farad és una unitat molt gran, el valor d'un **condensador** s'expressa sovint en microfarads (μF), nanofarads (nF) o picofarads (pF). En general, la capacítància és més gran si les armadures són molt grans i la distància que les separa és molt petita. La qualitat del dielèctric que hi ha entre les armadures és determinant per a la capacítància del condensador ja que les molècules queden polaritzades de manera que es redueix el camp elèctric intern i, per tant, el voltatge.

Un condensador està format per dos elèctrodes, o armadures, separades per un dielèctric que evita que les càrregues elèctriques passin d'un elèctrode a l'altre. Les càrregues poden arribar a les armadures per altres camins, com, per exemple, procedents d'una bateria, però si es treu la bateria, les càrregues continuen a les armadures. D'acord amb la llei de Coulomb, les càrregues separades pel dielèctric s'atreuen entre si i es crea un camp elèctric entre les armadures. El condensador més simple consisteix en dues armadures amples separades per una capa prima de material dielèctric.

En els condensadors reals, els condensadors comercials, a més de les característiques ideals s'han de tenir en compte altres factors com ara la **tensió màxima de funcionament**, determinada pel tipus de material aïllant utilitzat com a dielèctric (si se sobrepassa, s'arriba a la tensió de ruptura i es destrueix el condensador), la resistència i la inductància paràsita, la resposta depenent de la freqüència i les condicions ambientals de funcionament (**deriva tèrmica**). També hi ha la pèrdua dielèctrica, que és la quantitat d'energia que es perd en forma de calor en un dielèctric no ideal. Alhora hi trobem el **corrent de fuga**, que és el corrent que es mou pel dielèctric i que en un condensador ideal és nul.

En el mercat hi ha molts tipus de condensadors, amb capacitats que van des de pocs picofarads fins a uns quants farads i amb diverses tensions de funcionament, que van des de pocs volts fins a tensions molt elevades. En general, com més gran és el voltatge i la capacitat, més gran és la mida, el pes i el cost dels condensadors. El valor nominal de la capacitat presenta certa tolerància o cert marge de desviació possible respecte del valor declarat. Els marges de tolerància van de l'1% al 50% en el cas dels condensadors electrolítics. Els condensadors es classifiquen segons el material utilitzat com a dielèctric. Hi ha dues grans categories de condensadors: els condensadors amb dielèctric sòlid (també s'hi inclouen els que utilitzen l'aire com a dielèctric), que no presenten polarització, i els que utilitzen un òxid metàl·lic, anomenats *condensadors electrolítics*, que presenten una polaritat determinada que s'ha de respectar perquè un error pot provocar una resposta violenta que pot arribar a l'explosió.

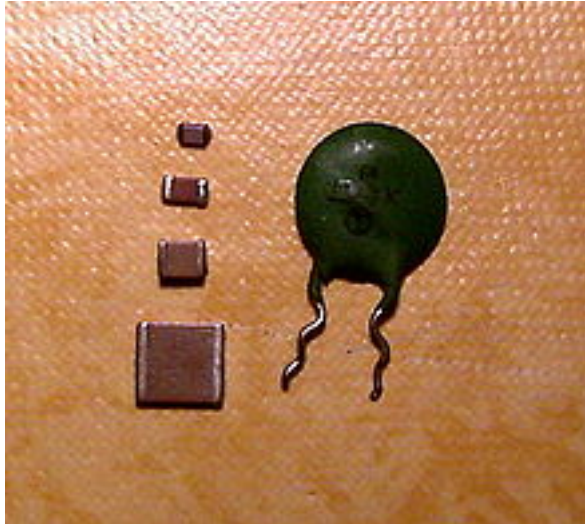
Condensadors amb dielèctric sòlid o d'aire

Es fabriquen seguint la definició clàssica del condensador: un conductor metàl·lic separat per un aïllant. L'aïllant és escollit segons la utilització a què es vol destinar el condensador i en determina les característiques.

Els condensadors que utilitzen l'aire com a dielèctric són molt resistents als arcs, perquè l'aire ionitzat és substituït, ràpidament, però no permeten altes capacitats. Els condensadors variables de mida més gran són d'aquest tipus, i s'utilitzen en els

circuits ressonants de les antenes. Són sensibles a la humitat de l'ambient, la capacitat que tenen varia segons la humitat relativa de l'aire, i aquesta característica s'utilitza per a construir sensors d'humitat.

Condensadors ceràmics



Condensadors ceràmics: un de radial (dreta) i quatre per a muntatge superficial (esquerra)



Un antic condensador ceràmic de 68 pF amb la forma tubular habitual als anys seixanta i setanta

La ceràmica és un material que presenta avantatges com proporcionar una inductància extremament petita i una gran resistència, i per això la utilització que se'n fa en la fabricació de condensadors és molt àmplia. Té aplicacions en alta freqüència (fins a uns centenars de gigahertz), en alta tensió (circuitos amb vàlvules) o en condensadors miniaturitzats per a muntatge superficial en circuits impresos.

La ceràmica, però, també presenta alguns inconvenients com la fragilitat, la necessitat de disposar de certa distància entre les armadures per a evitar arcs (cosa que fa que no siguin adequats per a grans capacitats, tot i que això no és un inconvenient a altes freqüències) o el fet de presentar una lleugera histèresi de càrrega, i generen cert soroll quan hi ha una gran amplitud del senyal o la freqüència és molt alta. Es tracta d'un soroll blanc amb poc efecte sobre els circuits d'alta freqüència ja que aquests circuits estan sintonitzats a una banda estreta.

Hi ha molts tipus de condensadors ceràmics; la temperatura és una variable utilitzada habitualment per a classificar-los (temperatura de treball, tolerància a la variació de la temperatura, etc.):

- Les ceràmiques de tipus C0G o NP0 presenten una gran estabilitat i tolerància a la temperatura i un baix corrent de fuga, són utilitzades per aplicacions d'alta freqüència i quan hi ha una necessitat de bona estabilitat amb la temperatura (els filtres, per exemple). Malauradament, aquests tipus de ceràmica no tenen una constant dielèctrica gaire gran i això limita el valor de la capacitat (de 4,7 pF a 0,047 μ F, 5%); els condensadors són com a màxim d'alguns nanofarads per als components per a muntatge en superfície. Solen ser més cars i grans que els d'altres tipus de ceràmica.
- Les ceràmiques de tipus X7R tenen una estabilitat més petita, entorn del 10% de variació entre -10 °C i $+60$ °C. Per això s'acostumen a reservar per a aplicacions no crítiques que no requereixen una gran estabilitat. La constant dielèctrica és més elevada i es poden assolir valors de capacitat d'alguns centenars de nanofarads (de 3.300 pF a 0,33 μ F, 10%).

- Les ceràmiques de tipus Y4T i Z5U tenen variacions de temperatura de prop del 50% en algunes gammes i es reserven per a condensadors destinats a funcions de desacoblament. Tanmateix és possible fabricar components per a muntatge superficial d'alguns microfarads.
- Les ceràmiques especials per a les hiperfreqüències presenten una gran estabilitat i un factor de fuga molt petit, i el preu és molt elevat.

Condensadors de vidre

Els condensadors amb un dielèctric fet a base de diverses capes de vidre tenen una gran estabilitat amb la temperatura, són molt fiables i tenen una vida de llarga durada.

Condensadors de paper

Van ser molt comuns en el passat als receptors de ràdio, són construïts amb una fulla d'alumini enrotllada amb paper i segellats amb cera. La capacitat que tenen arriba fins a uns quants μF i la tensió màxima se situa al centenar de volts. Les versions fabricades amb paper impregnat d'oli tenen tensions de fins a 5.000 volts i s'utilitzen en els sistemes d'arrencada dels motors elèctrics, en el control de potència i en altres aplicacions d'electrotècnia.

Condensadors de polièster

El polièster s'utilitza com a dielèctric dels condensadors; habitualment s'utilitza en forma de tereftalat de polietilè (PET) i de naftalè de polietilè (PEN). L'avantatge del polietilè és que es pot utilitzar en forma de làmines molt primes i permet unes capacitats importants en un volum petit en comparació d'altres tipus de condensadors com són els electrolítics. Es tracta d'un tipus de condensadors fàcils de fabricar i, per tant, barats; tanmateix, tenen poca estabilitat amb la temperatura. Són molt utilitzats en els circuits d'àudio de qualitat mitjana i bona i en els circuits que requereixen una petita variació de la capacitat al llarg del temps o pels canvis

d'humitat. Els condensadors de tereftalat de polietilè també tenen utilitzacions com a substituïts dels condensadors de paper i d'oli en els motors monofàsics.

Condensadors de poliestirè

El poliestirè no és tan fàcil de fabricar com el polietilè, però no és costós. Els mobles de jardí i els embalatges acostumen a ser de poliestirè. Tanmateix, és difícil de laminar per a obtenir pel·lícules primes. Per aquest motiu, els condensadors de poliestirè són relativament voluminosos per a una capacitat determinada: un de $0,01 \mu\text{F}$ és tan voluminós com un d'electrolític de $200 \mu\text{F}$. En comparació dels de polietilè són considerablement més cars.

El gran avantatge dels condensadors de poliestirè és la qualitat que tenen: són molt estables. Per aquesta raó, s'utilitzen quan es requereix precisió, com ara en els circuits de sintonització de banda estreta i les bases de temps. El soroll tèrmic que fan és pràcticament indetectable i molt a prop del límit teòric establert. Són molt poc sensibles a la temperatura i a l'envelliment, es mantenen dins dels límits de corrent i tensió determinats pel fabricant al llarg del temps i són molt insensibles a la utilització. La inductància paràsita que tenen depèn del tipus de muntatge: els que són construïts amb dues fulles de metall i dues làmines de poliestirè enrotllades en espiral tenen una bona precisió de la capacitat, però, per contra, presenten certa inductància paràsita (feble); els que són fets amb armadures de fosa en un bloc de poliestirè tenen una capacitat menys precisa, la qual cosa no és un problema per als circuits de precisió que tenen un element d'ajust però amb una inductància paràsita molt baixa. La capacitat que tenen és de prop dels picofarads i són utilitzats en el tractament de senyals.

Condensadors electrolítics

En els condensadors electrolítics no hi ha un material dielèctric sòlid i l'aïllament entre les armadures s'obté amb la formació i el manteniment d'una capa prima d'òxid sobre la superfície d'una armadura de metall.



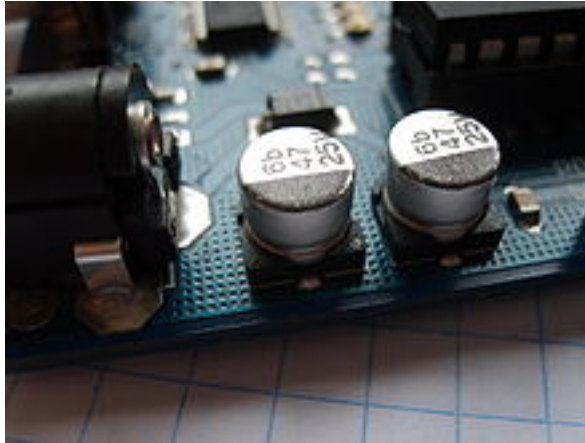
Condensadors electrolítics de diferents mides

A diferència dels condensadors comuns, la poca amplada de la capa d'òxid permet obtenir molta més capacitat en un espai petit, però en canvi han de prendre precaucions especials per a preservar l'òxid. En particular, s'ha de respectar la polaritat de la tensió aplicada perquè, en cas contrari, l'aïllament es farà malbé i es destruirà el condensador. D'altra banda, en els condensadors electrolítics hi ha una solució química humida que si s'asseca fa que el condensador deixi de funcionar.

La capacitat d'un condensador electrolític no es defineix amb precisió com en els condensadors amb aïllants sòlids. Particularment en els models d'alumini és habitual trobar l'especificació de valor mínim garantit, sense un límit màxim de la capacitat que té. Per a la majoria de les aplicacions, com el filtratge de l'alimentació després de la rectificació i l'acoblament de senyals, això no és un problema.

Condensadors d'alumini

El dielèctric es compon d'una capa d'òxid d'alumini. Són compactes, però amb grans fuites. Són disponibles amb capacitats de menys d'1 μF a 1.000.000 μF amb tensions de treball que van de pocs volts a centenars de volts. Contenen una solució corrosiva i poden explotar quan s'alimenten amb la polaritat invertida. Després d'un llarg període tendeixen a assecar-se i queden fora d'ús, i constitueixen una de les causes més freqüents d'avaría dels diferents tipus d'aparells electrònics.



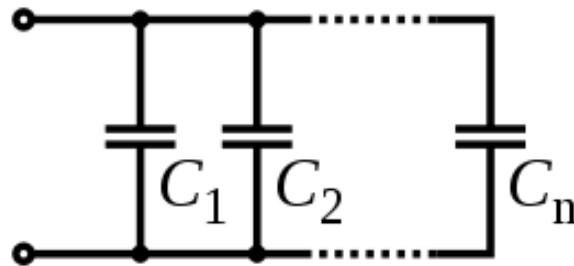
Condensadors electrolítics d'alumini en tecnologia SMD (dispositiu de muntatge superficial)

Condensadors de tàntal

Els condensadors de tàntal tenen una capacitat més estable i precisa que els d'alumini, i també presenten menys corrent de fuga i una baixa impedància a baixes freqüències. No toleren, però, els pics de sobretensió com els d'alumini i es poden malmetre, de vegades amb una explosió violenta, cosa que també succeeix quan els alimentem amb la polaritat invertida o per sobre del límit establert. La capacitat arriba a prop dels 100 μF d'acord amb la tensió de treball. Les armadures del condensador de tàntal són diferents: el càtode està format per grans de tàntal sinteritzat i el dielèctric està compost per òxid de titani. L'ànode es fa de vegades amb una capa de semiconductor, de diòxid de manganès dipositat químicament. En una versió millorada, l'òxid de manganès va ser substituït per una capa de polímer conductor (polipirrol), que elimina la tendència de la combustió en cas de fallida.

Associació de condensadors

Quan es posen dos condensadors o més de dos condensadors en paral·lel, tots són sotmesos al mateix voltatge, mentre que el corrent total és la suma del corrent que passa per cadascun dels condensadors del circuit. Això comporta que la càrrega elèctrica emmagatzemada pel conjunt del circuit sigui equivalent a la suma de la càrrega emmagatzemada en cadascun dels condensadors que el componen.



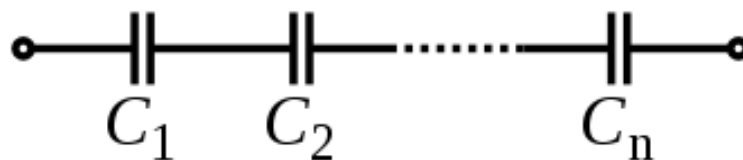
Per això la capacitat total equivalent és:

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

El condensador equivalent als n condensadors que tenim al circuit en paral·lel té una capacitat igual a la suma de les capacitats individuals dels n condensadors.

La tensió màxima que pot resistir el conjunt del circuit és la del condensador que presenti un valor més baix de tensió màxima.

Quan es posen dos condensadors o més de dos condensadors en sèrie, tots són sotmesos a la mateixa intensitat de corrent i la càrrega elèctrica emmagatzemada per cada element és idèntica, cosa que comporta que la diferència de potencial als extrems del circuit sigui igual a la suma de la diferència de potencial en cada condensador, i per aquest motiu el condensador de més capacitat resisteix menys tensió que el més petit del circuit.

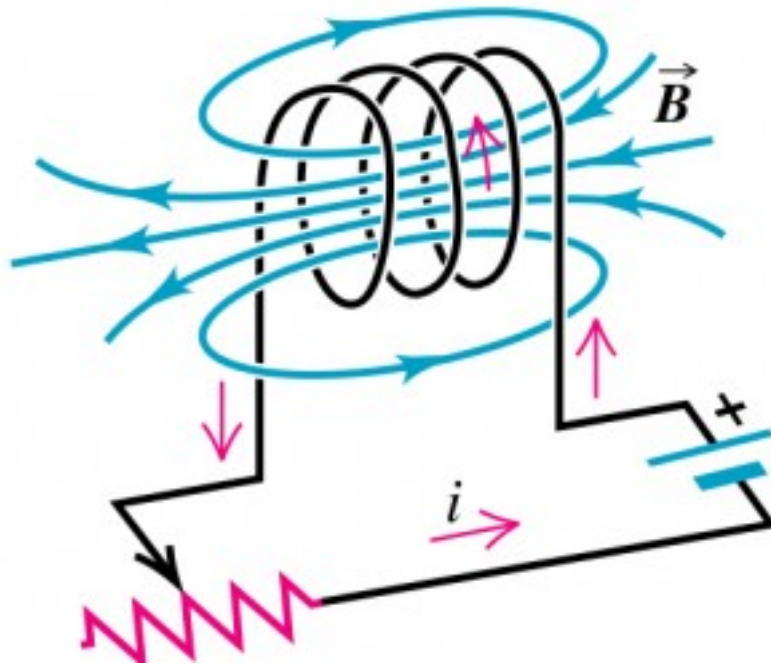


Per això la capacitat total equivalent és:

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

2.2. La bobina. Aplicacions

La **bobina** és un component que emmagatzema energia, com feia el condensador, però en comptes d'emmagatzemar camp elèctric, emmagatzema camp magnètic.



Com veiem en la imatge, la bobina genera un camp magnètic quan hi passa un corrent pels fils. Darrere de tota aquesta qüestió del camp magnètic hi ha molta física, que la deixarem de banda, ja que si no es farà bastant feixuc d'explicar.

La construcció d'una bobina és força senzilla: només s'ha d'agafar un tros de fil conductor i enroscar-lo. De fet, **qualsevol cable és una bobina**, però la inductància –paràmetre amb què es calcula la magnitud de la bobina– és molt baixa, per la qual cosa es deixa de banda en la majoria dels casos.

Com veieu en la imatge següent, hi ha molts tipus de bobines:



Com en el condensador, hi ha unes fórmules que regeixen el funcionament de la bobina:

- En aquesta primera fórmula, el que es descriu és quina és la inductància d'una bobina a partir de l'àrea transversal (A), la longitud (l) i el nombre d'espires (n):

$$L = \frac{\Phi_m}{I} = 4\pi 10^{-7} n^2 A l$$

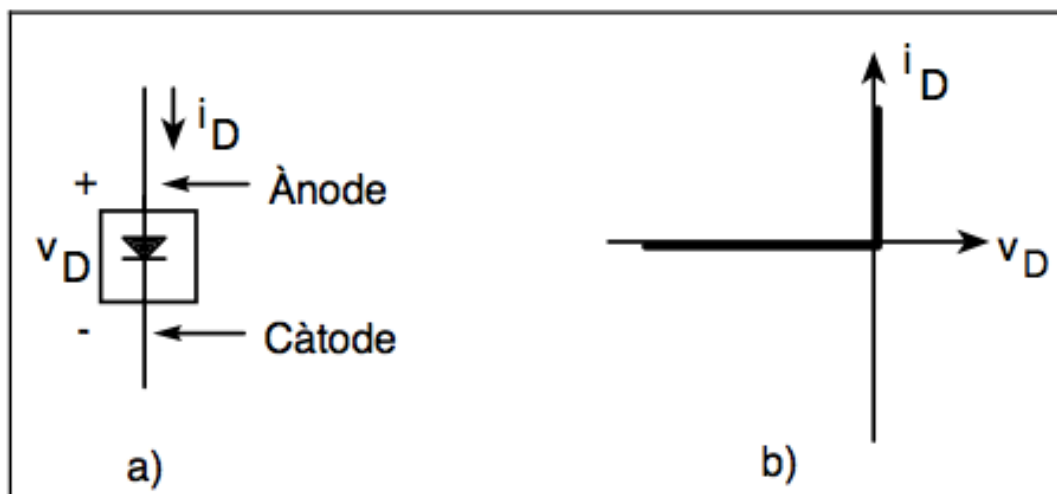
- Aquesta altra equació ens diu com respon en el temps la bobina quan té emmagatzemada certa energia: $i(t)$ és la intensitat depenent del temps que travessa la bobina i L és la inductància de la bobina:

$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

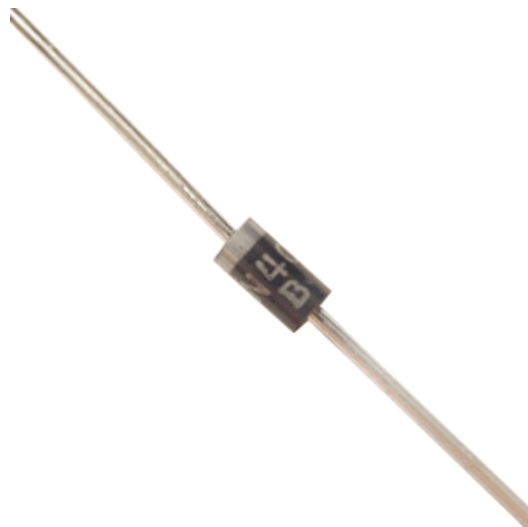
2.3. El díode. Tipus. Aplicacions

El díode és un dispositiu de dos terminals amb un comportament no lineal: deixa passar corrent en un sentit i en bloqueja en sentit contrari. El comportament del díode pot ser aproximat per un element de circuit anomenat *díode ideal*, per bé que algunes aplicacions requereixen l'ús de models més complexos. En els paràgrafs següents es presenten el díode ideal i alguns models que s'aproximen millor al comportament dels díodes fabricats amb semiconductors.

El **díode ideal** és un element de circuit de dos terminals amb un símbol circuital i una característica corrent-tensió que es representen en la figura següent:

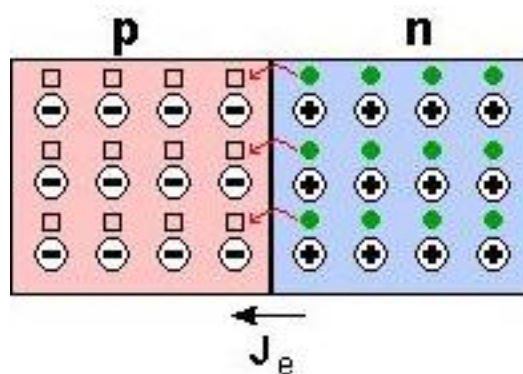


Un dels terminals s'anomena *ànode* i l'altre, *càtode*. Quan el díode condueix, el corrent circula en el sentit d'ànode a càtode, sense caiguda de tensió entre els dos terminals. Aleshores es diu que és de polarització directa i equival a un curtcircuit. Quan l'ànode és negatiu respecte del càtode, el díode bloqueja el corrent i equival a un circuit obert. Es diu, en aquest cas, que el díode és de polarització inversa.



Díode de silici

El funcionament del díode, i sense entrar gaire en els detalls, es basa en la utilització de dos semiconductors, un de **tipus P** i un de **tipus N**. Aquests semiconductors tenen càrregues per separat nul·les, és a dir que tenen tants electrons com protons. El de tipus *N*, però, té un electró en l'òrbita externa i el de tipus *P* té un "forat" en una de les òrbites, cosa que possibilita que, en unir aquests dos materials, s'atreguin.



En produir-se aquest moviment dels electrons del tipus N als forats del tipus P, es crea al centre una zona anomenada **zona de depleció**. En aquesta zona, les càrregues estan compensades, per la qual cosa **no** és conductora.

Ja veiem, doncs, que si a un díode no li fem res **no** és conductor. Ara bé, si nosaltres donem energia suficient als electrons que volem que passin per un díode

aconseguiem que aquests electrons “saltin” aquesta zona de depleció, és a dir, aconseguim que, donant certa diferència de potencial (voltatge) als borns del díode, el díode es converteixi en un conductor.

El voltatge necessari perquè el díode faci circular corrent depèn de la construcció que tingui; un valor típic per als díodes de silici és 0,7 V.

Com hem vist, els díodes necessiten cert voltatge per a conduir en una direcció determinada i en l'altra no condueix, cosa que ens permet fer sistemes de protecció; per exemple, en un connector que només pot anar d'una manera hi posem un díode, i ens assegurem així que si l'usuari el posa de la manera que no toca no deixem que es carregui l'electrònica del darrere.

Tipus de díodes més utilitzats

Díode Zener

Un **díode Zener** és un díode semiconductor dissenyat especialment per a treballar en polarització inversa. En aquests díodes, molt dopats, quan la tensió en polarització inversa aconsegueix el valor de la tensió de ruptura (o Zener), el mateix camp elèctric de la unió *p-n* és capaç d'arrencar electrons de la banda de valència i permetre així la conducció sense a penes variació de la tensió. D'aquesta manera, la tensió del díode, que tan sols tindrà petites variacions amb l'increment del corrent elèctric degudes a la resistència interna (de prop d'una dècima de volt), es pot usar com a tensió de referència, típicament en circuits estabilitzadors o reguladors de tensió.

Díode d'allau

Un **díode d'allau** és un díode semiconductor dissenyat especialment per a treballar en polarització inversa. En aquests díodes, poc dopats, quan la tensió en polarització inversa abasta el valor de la tensió de ruptura, els electrons que han botat a la banda de conducció per efecte de la temperatura s'acceleren a causa del

camp elèctric i incrementen així l'energia cinètica que tenen, de manera que quan col·lideixen amb electrons de valència els alliberen; aquests electrons, al seu torn, s'acceleren, col·lideixen amb altres electrons de valència, els alliberen també i es produeix una allau d'electrons l'efecte de la qual és incrementar el corrent conduït pel díode sense a penes increment de la tensió.

L'aplicació típica d'aquests díodes és la protecció de circuits electrònics contra sobretensions. El díode es connecta en polarització inversa a terra, de manera que mentre la tensió es mantingui per sota de la tensió de ruptura només serà travessat pel corrent invers de saturació, molt menut, per la qual cosa la interferència amb la resta del circuit serà mínima; a efectes pràctics, és com si el díode no hi fos. Quan la tensió del circuit s'incrementa per damunt del valor de ruptura, el díode comença a conduir, desvia l'excés de corrent a terra i així evita danys en els components del circuit.

LED

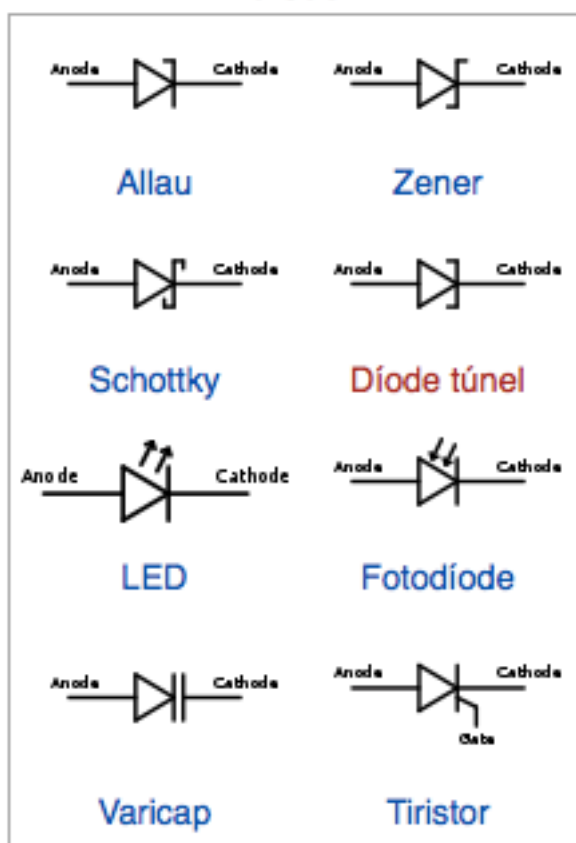
Els díodes emissors de llum o LED són díodes que poden emetre llum dins de l'espectre visible. Mentre els electrons travessen la unió, s'emeten fotons. En la majoria dels díodes són reabsorbits i són emesos a freqüències no visibles (normalment infrarojos). Tanmateix, amb la utilització dels materials i la disposició adequada, la llum es pot fer visible. El color depèn del material semiconductor emprat en la construcció del díode. El corrent que travessa el LED és determinant per a obtenir una bona intensitat lluminosa; el voltatge d'operació va d'1,5 V a 2,2 V, aproximadament, i la gamma d'intensitats que hi ha de circular va de 10 mA a 20 mA en els díodes de color vermell i de 20 mA a 40 mA per als altres LED. Tots són monocromàtics.

Díode làser

Els díodes làser són un tipus de díodes que es construeixen amb forma de cavitat ressonant i que amb les condicions adequades emeten llum làser. Es construeixen amb arsenur de gal·li (GaAs) o amb aquest compost i alumini seguint una

estructura de sandvitx amb tres zones dopades de manera diferent ($n-p-p^+$) que presenten diferents angles de refracció òptics, de manera que les zones $n-p$ i $p-p^+$ es comporten com un mirall que reflecteix la llum que emet el díode i la confina a l'interior del díode mateix. Els fotons que es desplacen per l'interior del díode estimulen els electrons i els forats dels àtoms del semiconductor a combinar-se i emeten un altre fotó amb la mateixa longitud d'ona i la mateixa fase del fotó incident, cosa que provoca una emissió de llum coherent.

Símbols de diferents tipus de díode



Aplicacions més importants dels díodes

- El primer ús dels díodes va ser la desmodulació d'emissions de ràdio d'amplitud modulada (AM). La història d'aquesta descoberta la tractarem a fons en l'article de ràdio. En resum, un senyal d'AM consta de pics de voltatge de corrent altern positius i negatius, l'amplitud o *envolup* dels quals és proporcional al senyal

- Els **rectificadors** es construeixen amb díodes, on s'utilitzen per a convertir corrent altern (ca) en corrent continu (cc). Els alternadors d'automòbil en són un exemple comú: els díodes, que rectifiquen el corrent altern generat per l'alternador en corrent continu per alimentar les bateries i els circuits de cotxe, proporcionen més bona eficiència i duració que els sistemes de delgues i escombretes de les dinamos que hi havia abans. De la mateixa manera, els díodes s'utilitzen en multiplicadors de voltatge Cockcroft-Walton per a convertir corrent altern en corrent continu de més alt voltatge.
- Els díodes Zener es fan servir freqüentment per a allunyar dels electrònics sensibles els alts voltatges perjudicials. En circumstàncies normals no són conductors. Quan el voltatge augmenta per damunt del llindar, els díodes es tornen conductors. Per exemple, els díodes s'utilitzen en controladors de motors (motors pas a pas i en ponts H) i circuits de relé per a descarregar ràpidament els bobinats i evitar els pics de voltatge que altrament apareixerien. Hi ha molts circuits integrats que també incorporen díodes als pins de connexió per a impedir que els voltatges externs hi facin malbé els transistors sensibles. Els díodes especialitzats s'utilitzen per a protegir de sobrevoltatges a potències altes.
- Un díode es pot fer servir com a dispositiu de mesura de temperatura, ja que la caiguda de tensió en el díode depèn de la temperatura. De l'equació de díode ideal Shockley, en resulta que el voltatge té un coeficient de temperatura positiu (a corrent constant), però depèn de la concentració de dopatge i la temperatura d'operació (Sze, 2007). El coeficient de temperatura pot ser negatiu en els típics termistors o positiu per a díodes sensors de temperatura fins a 20 kelvins, aproximadament.
- Els díodes eviten que el corrent es mogui en direccions no volgudes. Per a alimentar un circuit elèctric durant una caiguda de tensió, el circuit pot treure corrent d'una bateria. Una font d'alimentació ininterrompuda pot fer servir díodes de manera que s'asseguri que el corrent només es treu de la bateria quan és

necessari. De la mateixa manera, els vaixells petits acostumen a tenir dos circuits cadascun amb les seves pròpies bateries: un es fa servir per a engegar els motors i l'altre, per a alimentar els dispositius. Normalment, tant l'un com l'altre es carregen a partir d'un alternador únic, i s'utilitza un díode de potència de divisió de càrrega per a evitar que es descarregui la bateria amb càrrega més alta (típicament, la bateria dels motors) per mitjà de la bateria de càrrega més baixa quan l'alternador no funciona.

- Els díodes també s'utilitzen en teclats musicals electrònics. Per a reduir la quantitat de cablatge necessari, aquests instruments sovint utilitzen circuits de matriu de tecles. El controlador de teclat va provant les files i les columnes per determinar quina nota ha premut el músic. El problema amb circuits de matriu és que, quan es premen unes quantes notes simultàniament, el corrent es pot moure al revés pel circuit i dispara "tecles fantasma", cosa que provoca que es toquin notes de "fantasma". Per a evitar provocar notes no volgudes, la majoria dels circuits de matriu de teclats tenen díodes soldats al contacte de cada tecla.

3. Eines d'anàlisi i simulació

S'anomenen *instruments de mesures d'electricitat* tots els dispositius que s'utilitzen per a mesurar les magnituds elèctriques i assegurar així el bon funcionament de les instal·lacions i màquines elèctriques. La majoria són aparells portàtils de mà i s'utilitzen per al muntatge; hi ha altres instruments que són convertidors de mesura i altres mètodes d'ajuda al mesurament, l'anàlisi i la revisió. L'obtenció de dades cobra cada vegada més importància en l'àmbit industrial, professional i privat. Es demanen, sobretot, instruments de mesura pràctics, que operin d'una manera ràpida i precisa i que ofereixin resultats durant el mesurament.

Hi ha molts tipus d'instruments diferents, els més destacats dels quals són els multímetres i els oscil·loscopis.

3.1. El multímetre

El multímetre és un aparell que permet mesurar diferents magnituds elèctriques (voltatges, intensitats, resistències, etc.), tant en corrent continu com en corrent altern. Funcionen amb piles i n'hi ha de dos tipus: analògics i digitals.



Multímetre digital



Multímetre analògic

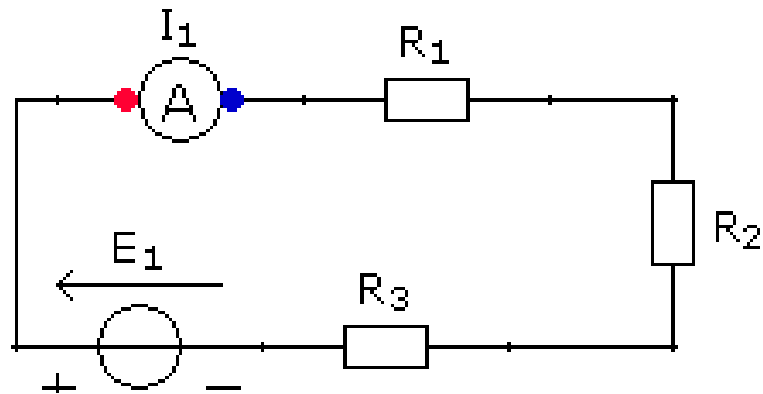
Consta dels elements següents:

1. Un interruptor general amb les posicions *on* i *off*.
2. Un commutador per a seleccionar el tipus de corrent (continu o altern) que volem mesurar.
3. Un selector per a escollir la magnitud que volem mesurar (voltatge, intensitat o resistència).
4. Uns borns i dos cables terminals per a connectar l'aparell al circuit.

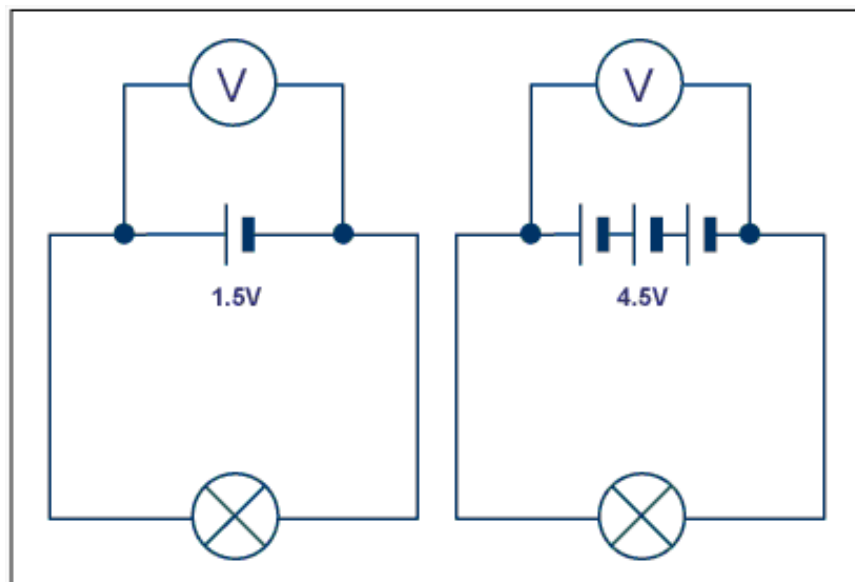
Mesura de magnituds utilitzant el multímetre en diferents aplicacions

Primer de tot, amb el selector giratori s'ha de seleccionar la magnitud que es vol mesurar (voltatge, intensitat, resistència, etc.).

Un cop s'ha escollit la magnitud que es vol mesurar, s'ha d'escollir l'escala de mesura (mV, V, mA, A, Ω , M Ω , etc.). Els multímetres digitals d'última generació, aquesta operació ja la fan automàticament.

Com a amperímetre

Mesura la intensitat, i l'aparell s'intercala en mig del circuit, connectat en sèrie, i es fa la mesura quan el circuit està tancat o en funcionament. Si el circuit és de corrent continu, la polaritat del circuit ha de coincidir amb la de l'amperímetre.

Com a voltímetre

Mesura la tensió i s'ha de connectar en paral·lel entre dos punts del circuit del qual volem fer la mesura. Si el circuit és de corrent continu, la polaritat del circuit ha de coincidir amb la del voltímetre.

Com a ohmímetre

Mesura la resistència elèctrica d'un circuit o d'un receptor. Ens hem d'assegurar que al circuit no hi ha tensió ja que la mesura no seria fiable i es podria deteriorar l'aparell. S'ha de connectar entre els dos punts del circuit del qual volem fer la mesura.

3.2. L'oscil·loscopi

Un **oscil·loscopi** és un instrument de mesura electrònic que crea gràfics visibles en dues dimensions d'una diferència o més d'una diferència de potencial elèctric. L'eix horitzontal, normalment, representa el temps, cosa que fa útil aquest instrument per a representar senyals periòdics. L'eix vertical, normalment, mostra voltatge. La imatge és generada mitjançant una pantalla, tradicionalment un tub de rajos catòdics. Permet veure l'evolució temporal de diferents senyals presents en els circuits electrònics.

Aquests aparells tenen uns commutadors que ens permeten l'ajust de l'escala de temps i de voltatge. Les freqüències en què podem usar un oscil·loscopi són des d'un senyal que no variï depenent del temps (com un corrent continu) fins a prop de 10 MHz o més segons el model emprat.

De la mateixa manera, podem ajustar l'eix vertical (voltatge) per aconseguir visualitzar correctament el senyal a la pantalla. Mitjançant sondes equipades amb atenuadors, podem visualitzar qualsevol rang de voltatges, sempre que tinguem en compte el voltatge màxim que resisteix l'equip i que un voltatge massa petit (de prop de mil·livolts) pot aparèixer distorsionat per efecte de l'anomenat *soroll elèctric*. Aquestes regulacions determinen el valor de l'escala quadricular que divideix la pantalla, de manera que permeten saber quant representa cada quadrat d'aquesta pantalla per a saber el valor del senyal que s'ha de mesurar, tant en tensió com en freqüència.

La implantació de la tecnologia digital en aquests instruments ha permès crear una nova generació d'oscil·loscopis que permeten treballar i contrastar amb molt més detall i precisió tot tipus de senyals elèctrics.



Oscil·loscopi digital

Els oscil·loscopis també poden ser analògics o digitals. Els analògics treballen directament amb el senyal aplicat, que, un cop amplificat, desvia un flux d'electrons en sentit vertical proporcional al valor que té. En canvi, els oscil·loscopis digitals utilitzen prèviament un convertidor analògic/digital (CAD), per a emmagatzemar digitalment el senyal d'entrada i reconstruir després a la pantalla aquesta informació.

Els dos tipus tenen avantatges i inconvenients. Es prefereixen els analògics quan es prioritza visualitzar variacions ràpides del senyal d'entrada en temps real. S'utilitzen els digitals, en canvi, quan es volen visualitzar i estudiar esdeveniments no repetitius (pics de voltatge que es produeixen aleatòriament).

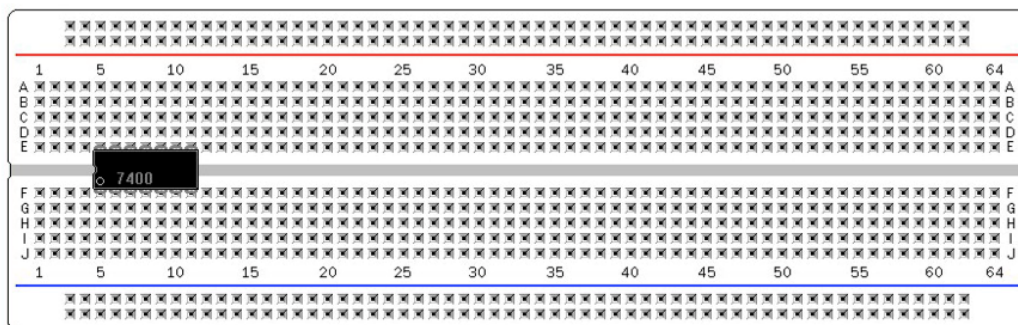
S'ha de remarcar que amb els oscil·loscopis digitals es poden dur a terme algunes opcions impossibles d'aconseguir amb circuiteria analògica:

- Mesura automàtica de màxims i mínims, valors de pic.
- Mesura de flancs de senyal i altres intervals.
- Captura de transitoris (valors de sortida que desapareixen al cap de cert temps). Amb un d'analògic només es poden veure si es van repetint.
- Càlculs avançats com la transformada ràpida de Fourier (FFT) per a calcular l'espectre del senyal.
- No fa falta que el senyal sigui periòdic (per a l'analògic sí que en fa).

3.3. L'ús de plaques de proves per a assajar circuits

Les plaques de proves o *protoboard* s'utilitzen en electrònica per a assajar circuits en la fase de disseny, abans de construir-los de manera definitiva. Ens permet detectar errors de disseny, provar diferents components, etc. La placa està constituïda per una matriu de foradets on es poden inserir, per simple pressió, els terminals dels components, els quals queden enclavats. Aquests foradets tenen unions elèctriques per la part interior de la placa, de manera que els components que inserim en els dos foradets units elèctricament per la part interior és com si els connectéssim entre si.

Les formes de les plaques de proves són molt diverses. Una de les més habituals adopta la forma de la figura:

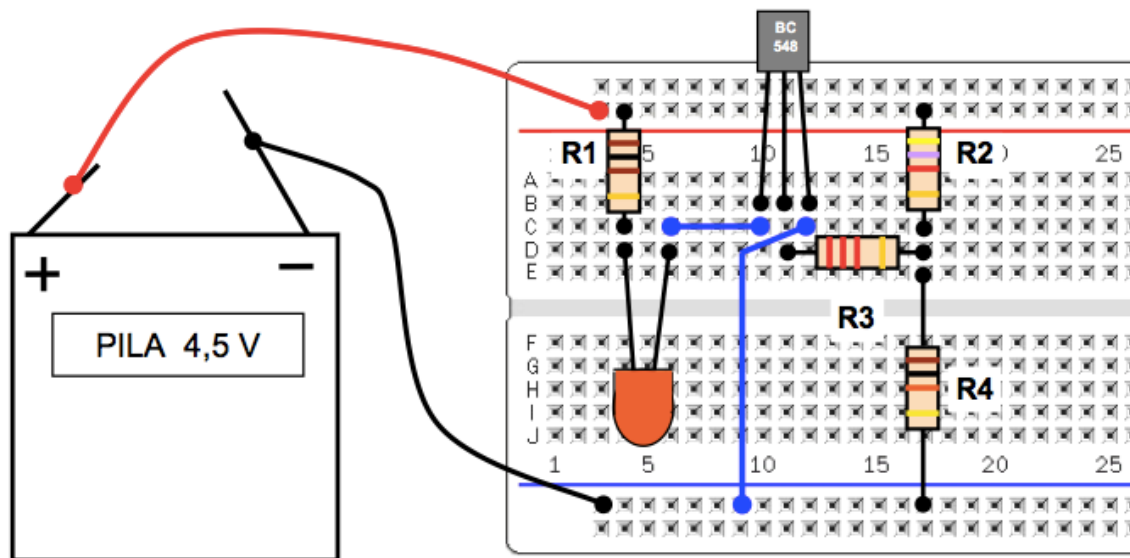
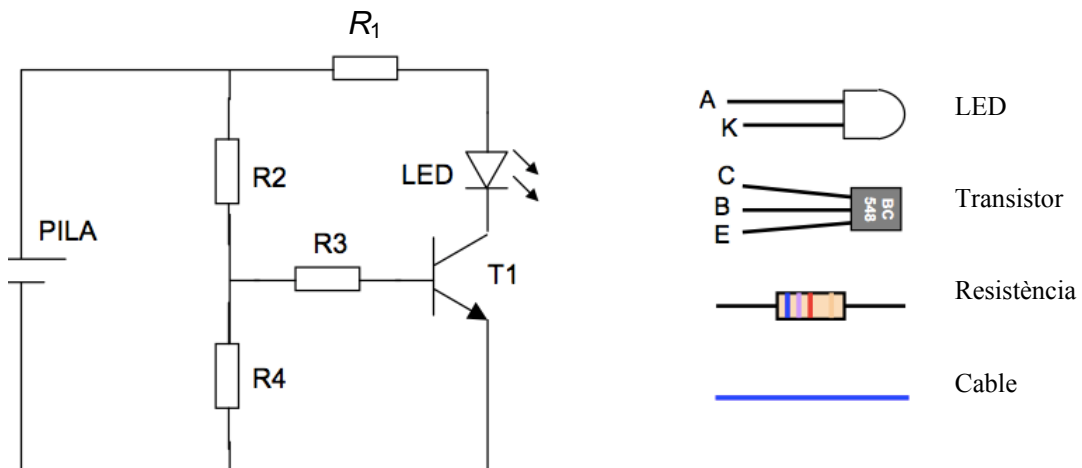


Els foradets estan agrupats en columnes de cinc i estan units per la part interior. Hi ha dos blocs de columnes de cinc foradets. En cada bloc, les columnes de foradets estan numerades, i cada fila sol estar designada per una lletra, per a facilitar la identificació de cada foradet. A més a més, hi ha una o dues files a la part inferior i a la part superior de la placa, que se solen utilitzar per a connectar els dos pols de la font de tensió que alimenta el circuit. Tots els foradets de cadascuna d'aquestes files estan units entre si.

La separació entre els foradets és estàndard, i coincideix amb la que es pren com a patró per a disposar els terminals de la majoria de components electrònics de terminals curts, com els circuits integrats i els relés. Els components electrònics amb terminals llargs, que es poden separar més o menys, es poden inserir més fàcilment perquè no cal respectar distàncies fixes entre els foradets d'inserció. Això implica que a l'hora de posicionar els components a la placa, sempre s'ha de començar pels components amb terminals curts (i de posició fixa) perquè, com que no es poden modificar les posicions d'aquests terminals, són els que poden donar més problemes per a col·locar-los. Els components amb terminals llargs, com les resistències i els díodes, com que es poden estirar més o menys aquests terminals, es poden col·locar sense problemes posteriorment.

De totes maneres, per bé que distribuïm els components, és inevitable haver de fer connexions per l'exterior. Per a fer-les, s'utilitzen trossets de cable rígid de la mida adequada perquè quedin enclavats a la placa. La mida dels cables d'unió utilitzats i els terminals dels components ha de ser adequada: ni tan gruixuda que no entrin als foradets ni tan prima que no quedin ben enclavats i provoquin un mal contacte.

A continuació veureu un exemple d'un circuit implementat a la placa de proves:



3.4. SPICE

Un simulador ens permet, abans de muntar un circuit, veure si el que hem dissenyat funcionarà o no. També ens serveix per a estalviar-nos equacions matemàtiques feixugues o desenvolupaments matemàtics llargs, ja que en cinc minuts en un simulador traurem les mateixes conclusions.

Els simuladors d'avui en dia es basen tots, o gairebé tots, en l'**SPICE** (programa de simulació orientat a circuits integrats o *simulation program with integrated circuits*

emphasis). Aquest sistema, desenvolupat per la Universitat de Berkeley el 1975, volia estandarditzar la simulació de components electrònics, modelitzant qualsevol circuit amb els models bàsics: resistències, condensadors, bobines, díodes, transistors, etc. D'aquesta manera, cada empresa, que sap com estan fets internament els xips, pot crear el **model SPICE**, que descriu com es comporta aquest circuit. L'**SPICE** permet fer simulacions en temps, simulacions en freqüència, etc.

Hi ha una versió de l'SPICE gratuïta per a estudiants (**PSpice Student v. 9.1**). Un dels possibles enllaços de baixada és el següent: <http://pspice.softonic.com/>

El **PSpice Student** és la versió per a estudiants d'un dels entorns més utilitzats en el disseny i l'anàlisi de circuits electrònics.

Bàsicament, amb el **PSpice** podeu crear els vostres propis circuits (tant analògics com digitals), analitzar-los mitjançant un potent laboratori virtual i simular-ne el comportament.

La base de dades d'aquest programa inclou tot tipus d'elements electrònics: fonts d'alimentació, resistències, transistors, condensadors, bobines o inductors, interruptors, potenciòmetres i, fins i tot, transformadors de nucli ferromagnètic i amplificadors operacionals.

Com a eines per a l'anàlisi, el programa permet fer escombratges en continu (DC Sweep) per generar gràfiques de variables, anàlisis d'elements crítics per a detectar quins elements són els més sensibles a canvis, anàlisis de tolerància i sensibilitat, anàlisis per a calcular funcions de transferència i anàlisis transitòries mitjançant Fourier, entre altres possibilitats.

Gràcies al mòdul de simulació que té, podeu posar a prova el vostre disseny i deixar que el programa mateix calculi el comportament del circuit basant-se en les lleis d'Ohm i de Kirchhoff.

En definitiva, el **PSpice** és un entorn excel·lent per a dissenyar, analitzar i simular tot tipus de circuits electrònics.

En el material complementari i en les fonts i autories d'aquest document hi teniu l'adreça d'un **programa d'aprenentatge** molt complet d'instal·lació i de maneig del **PSpice Student**, concretament la versió 9.1, que és la gratuïta.

Fonts i autories

Material de l'autor

McGraw-Hill (<http://www.mcgraw-hill.es/>)

Ebook Search (<http://ebookbrowse.com/>)

Programa d'aprenentatge del PSpice (profesores.fi-b.unam.mx)

PSpice Student (<http://pspice.softonic.com/>)

Programa d'aprenentatge del PSpice Student ([http://www.slideshare.net/Ingvictor/manual-pspice-91](http://www.slideshare.net/Ingvictor/manual-<u>pspice-91</u>)), Universitat Politècnica de Madrid.

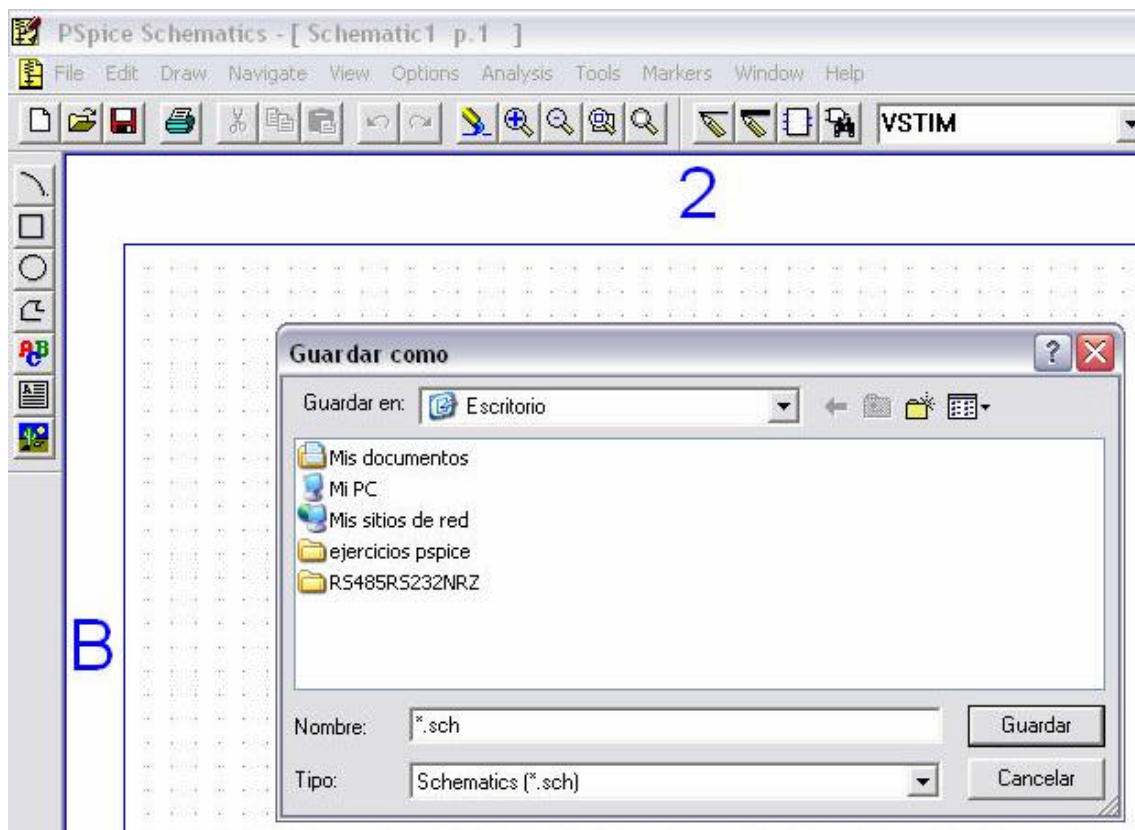
Wikipedia (<http://es.wikipedia.org>)

GUÍA DE SIMULACIÓN DE CIRCUITOS EN PSPICE

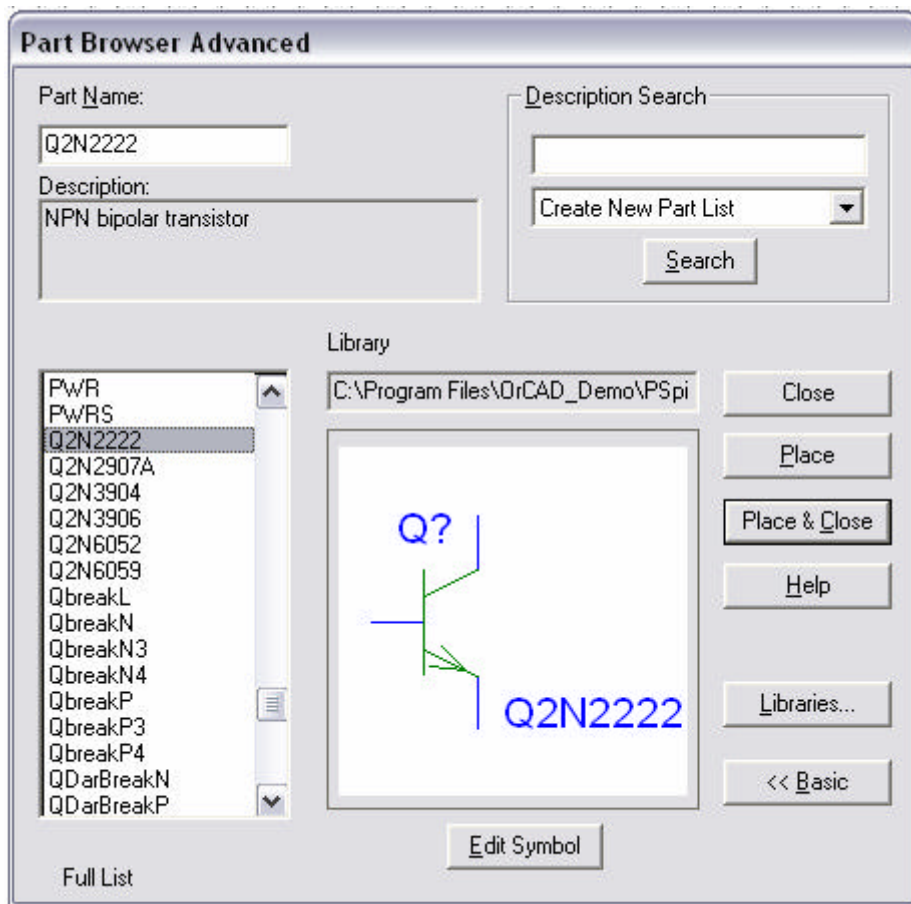
1.- Ejecutar Pspice Schematics.



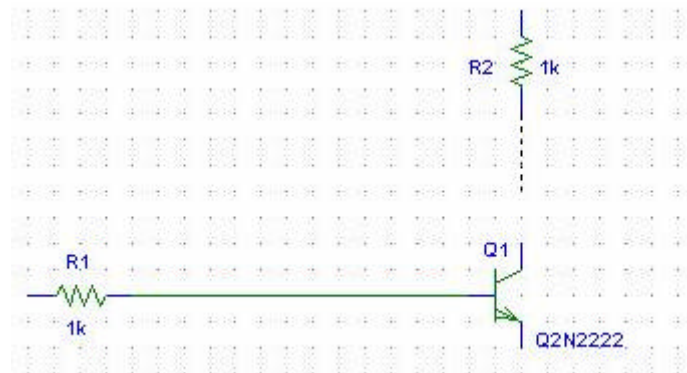
2.- Guardar el diagrama con extensión .sch



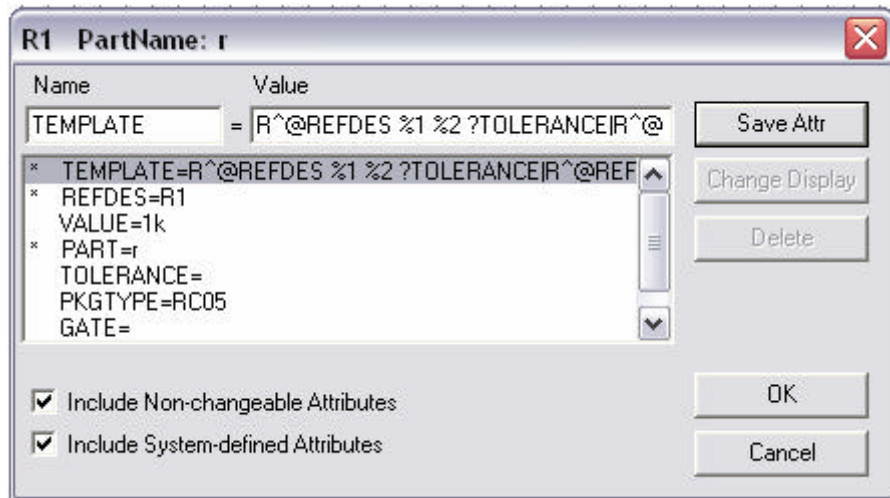
3.- Para iniciar la colocación de componentes hacer click en el icono Get New Part o con CTRL+G para activar la ventana que contiene el listado de componentes con que cuenta Pspice.



4.- Para unir o conectar los componentes, hacer click en el icono Draw Wire o con CTRL+W

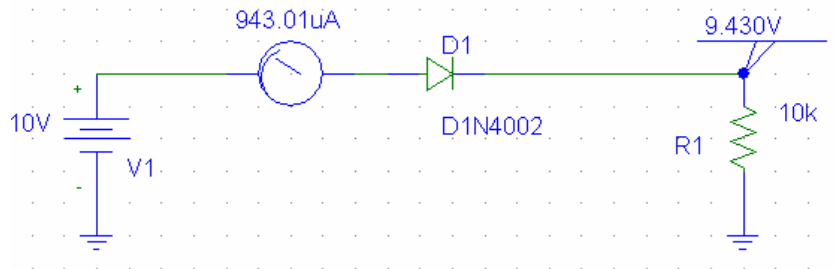


5.- Para cambiar los valores de cada componente, hacer doble click sobre el propio componente o hacer click en atributos del menú Edit.

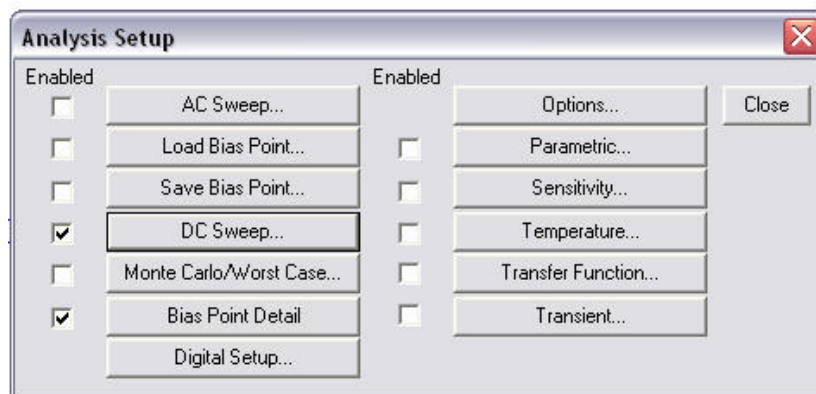


SIMULACION DE CIRCUITOS CON C.D.

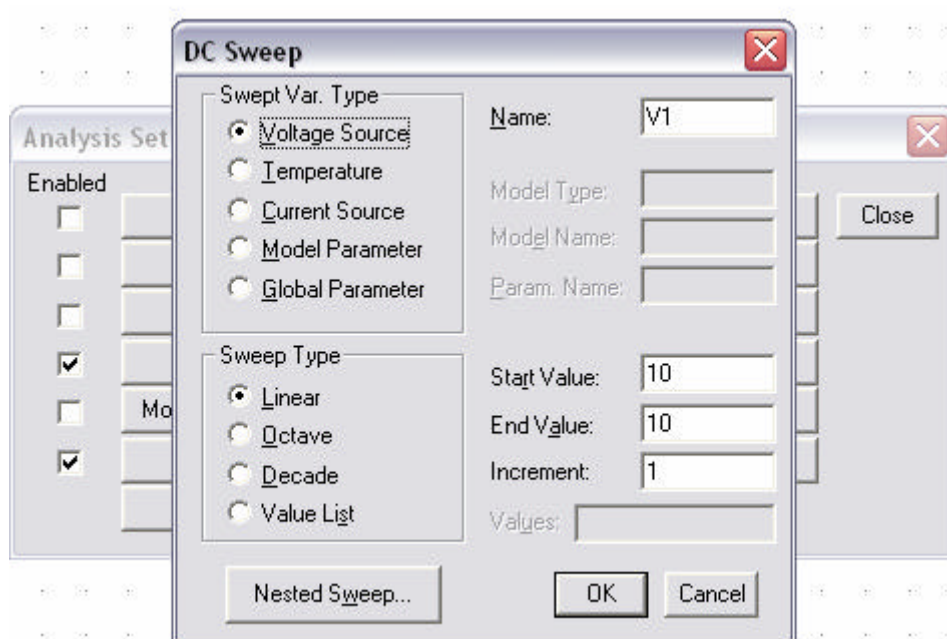
1.- En realidad todos los circuitos se pueden simular en C.D. ya que todos los circuitos son alimentados por una fuente de C.D.



2.- Por ejemplo, para simular el circuito anterior, primero hay que configurar el tipo de simulación que se quiere realizar haciendo click en el icono Setup Analysis o haciendo click en Setup del menú Analysis.



3.- En la simulación en C.D. existen varias variables respecto a las cuales se puede simular, estas son mostradas al hacer click en el botón DC Sweep...

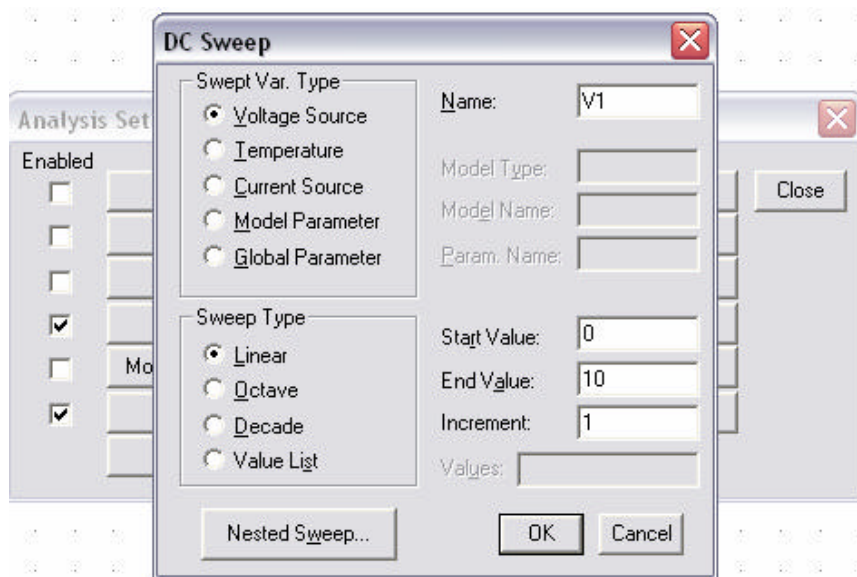


4.- Para simular respecto a una fuente de voltaje, se elige respecto a que fuente se quiere simular.

El nombre de la fuente se escribe en la casilla Name.

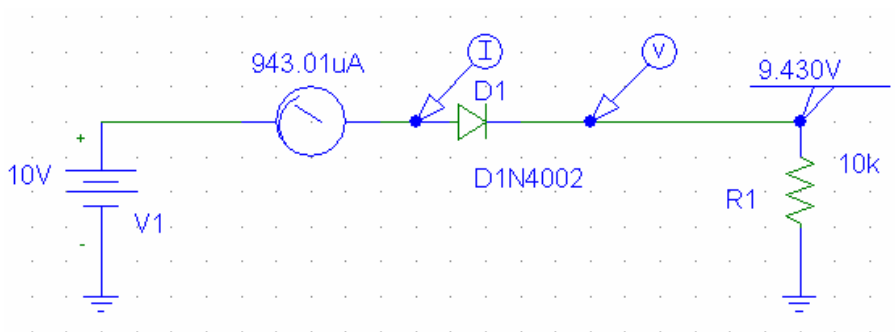
Si la simulación se realiza con un valor fijo de dicha fuente las casillas Start Value y End Value deben tener el valor a la cual se realizara la simulación, la casilla Increment debe contener un valor menor que cualquiera de las otras dos casillas.

Si la simulación se realiza variando el valor de la fuente, la casilla Start Value debe tener un valor menor que End Value, es decir, entre las dos casillas forman el rango de valores a simular, la casilla Increment debe contener un valor menor que cualquiera de las otras dos casillas.

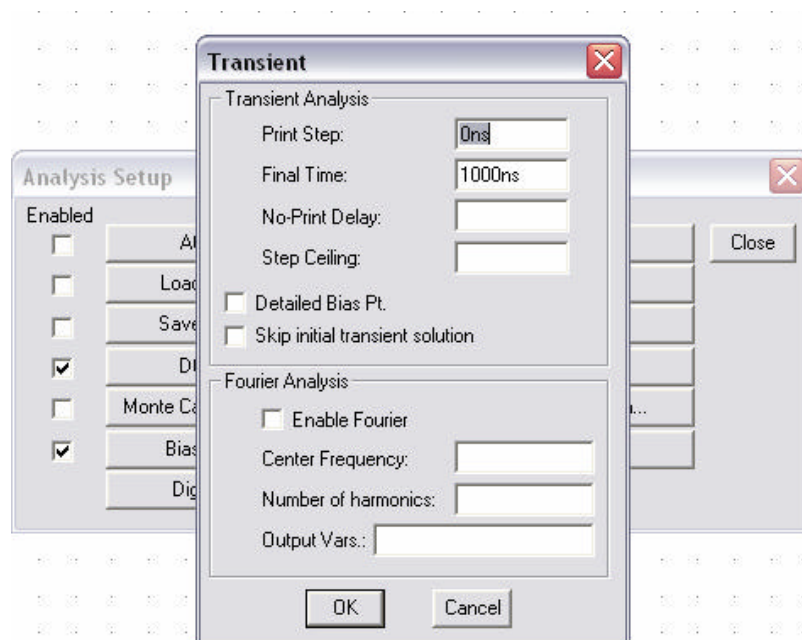


5.- Para iniciar la simulación, hacer click en el icono Simulate o con tecla F11, con esto se abre la ventana de simulación y para poder simular algún parámetro, este se elegirá de una lista que aparece al hacer click en el icono Add Trace, haciendo click en Add Trace del menú Trace o con la tecla Insert

Si se desea que la ventana de simulación muestre automáticamente la simulación de un voltaje o una corriente de algún punto del circuito, colocar en esos puntos una bandera de corriente o voltaje haciendo click en los iconos Voltaje/Level Marker y/o Current Marker o haciendo click en Mark Voltaje/Level y/o Mark Current Into Pin del menú Markers.

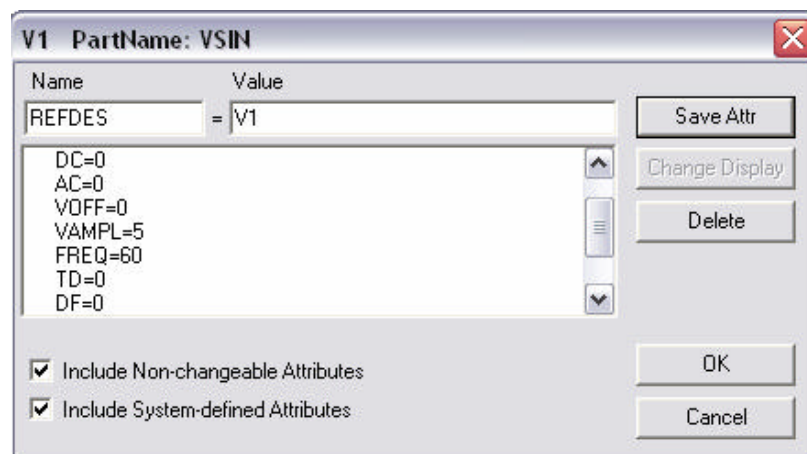


6.- Si se desea hacer una simulación respecto al tiempo nuevamente hacer click en el icono Setup Analysis o haciendo click en Setup del menú Anlysis, pero esta vez hacer click en el botón Transient escribiendo en la casilla Final Time hasta que tiempo se quiere simular y en la casilla Print Step se escribe un valor 1 o 0.



SIMULACION DE CIRCUITOS CON C.A.

1.- Para simular con una fuente de voltaje alterno, se recomienda utilizar la fuente VSIN que se encuentra en la lista de componentes al hacer click en el icono Get New Part o CTRL+G. En dicha fuente hay tan solo configurar VAMPL con el voltaje pico que se desea utilizar y FREQ con la frecuencia deseada.



2.- A partir de aquí, la simulación es igual a los pasos 4 a 6 de la simulación con C.D.