

TEMA 1. INTRODUCCIÓ A L'ELECTRÒNICA ANALÒGICA.

CONTROL ELÈCTRIC I ELECTRÒNIC

1.1. Introducció a l'electrònica. Camps d'aplicació

Has estudiat diferents tècniques basades en fenòmens elèctrics, com l'estudi dels circuits elèctrics bàsics, la producció i la generació d'electricitat i les màquines elèctriques més habituals. Totes aquestes tècniques s'engloben dins el que s'anomena *electrotècnia*, que té com a objectius fonamentals la producció, distribució i utilització de l'energia elèctrica.

Correlativa a l'electrotècnia hi ha una altra tecnologia, l'*electrònica*, les aplicacions de la qual són, actualment, imprescindibles en qualsevol àmbit productiu o social, sobretot en el de les comunicacions.

Els objectius bàsics de l'electrònica són el tractament i la transmissió, no d'energia, sinó d'informació a partir de senyals elèctrics generalment febles, basats en el moviment dels electrons en el buit, en gasos o en sòlids.

L'**electrònica** és la part de la ciència i de la tècnica que tracta de l'estudi dels electrons i de les seves aplicacions en el tractament i la transmissió d'informació.

1.2. Una mica d'història

L'origen de l'electrònica se sol situar a finals del segle XIX, quan, l'any 1883, Thomas A. Edison va descobrir l'efecte termoiónic, en observar que quan s'escalfava un material metàl·lic es produïa una emissió d'electrons. J.A. Fleming va aprofitar aquest descobriment per construir, el 1904, la vàlvula de buit, amb la qual va detectar senyals de ràdio



Les **vàlvules termoióniques de buit**, semblants a les làmpades d'incandescència i fonamentades en l'emissió d'electrons de part d'un material incandescent, són considerades el primer component electrònic i van afavorir nous descobriments: la ràdio, la televisió, el radar, el control de sistemes, la construcció del primer ordinador (anomenat ENIAC) el 1941, Però no va ser fins al 1948 que comencen a ser substituïdes per díodes i transistors fabricats amb materials semiconductors, com el silici o el germani.

La utilització dels díodes i transistors va representar un important salt qualitatiu en l'electrònica, atès que gaudien d'avantatges considerables: eren més sòlids i robusts, més resistents als cops, d'un volum molt més reduït, d'una vida útil més llarga i milloraven el tractament del senyal. Els dos principals inconvenients que tenien, d'inici, eren la sensibilitat als canvis de temperatura i, també, que no podien subministrar potències elevades.

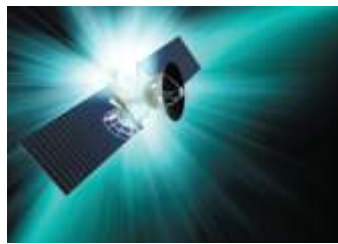
El 1960 va aparèixer el primer circuit integrat (xip), la qual cosa va permetre miniaturitzar encara més els equips electrònics. El 1971 l'empresa Intel va fabricar el primer xip microprocessador i va donar un nou impuls al progrés tecnològic i a la investigació en electrònica.

Tots aquests avenços de l'electrònica han estat fonamentals per al desenvolupament de diferents camps d'aplicació industrial i domèstica: automatització, control i regulació de processos, informàtica, robòtica, telecomunicacions, transports, electromedicina, investigació científica i espacial, làser, electrònica de consum, electroacústica, etc.

L'àmbit d'investigació i de desenvolupament de l'electrònica consisteix a dissenyar nous circuits basats en el comportament dels electrons en els materials. És per això que la seva evolució pràctica va lligada al coneixement tecnològic dels materials.



Circuit integrat (xip)



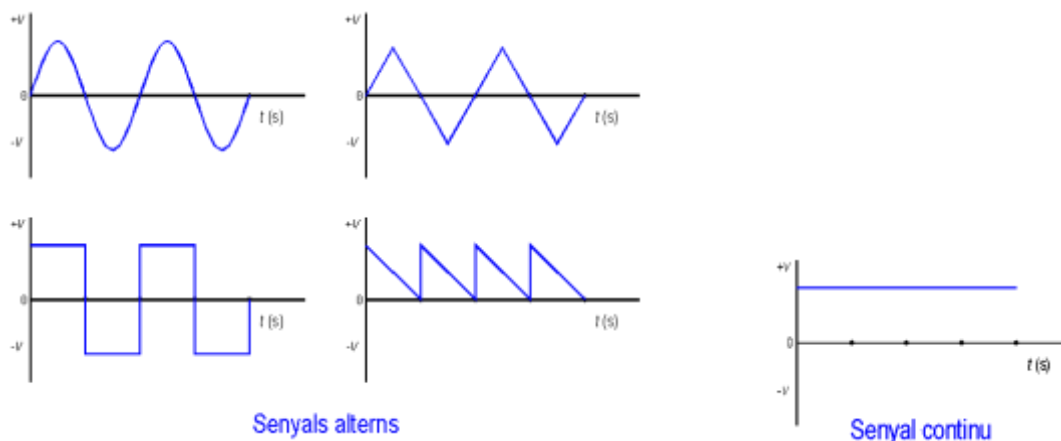
Satèl·lit de telecomunicacions

1.3. Corrent altern i corrent continu

Tot i que l'electricitat estàtica fa més de 2 000 anys que es coneix, no ha estat fins als dos darrers segles que s'ha aconseguit generar i utilitzar de forma útil. Sens dubte, el progrés tecnològic del darrer segle és degut en bona part a l'electricitat. Com ja has estudiat en cursos anteriors, podem considerar bàsicament dos tipus de corrent elèctric: el **corrent continu** i el **corrent altern**.

El **corrent continu** es caracteritza pel fet que el desplaçament d'electrons es fa sempre en el mateix sentit, amb una tensió i intensitat constants en el temps. És el corrent que proporcionen, per exemple, les piles i les bateries.

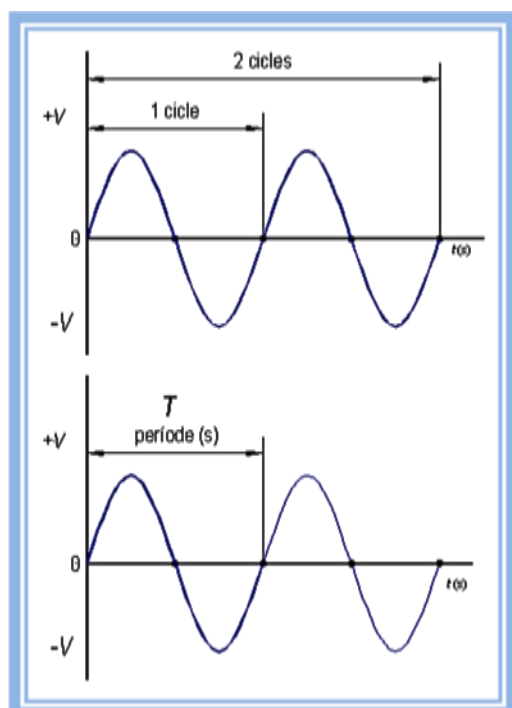
En canvi, el **corrent altern** es distingeix pel fet de ser un corrent variable en què les principals magnituds que el defineixen, tensió i intensitat, canvien contínuament de valor i de sentit. És el corrent que es fa servir més majoritàriament, tant als habitatges com a les indústries. Quan connectem un aparell a un endoll li estem subministrant corrent altern.



Ja al final del segle XIX, i després de grans disputes sobre quin era el millor sistema de distribució d'electricitat, el corrent altern va guanyar la batalla al corrent continu pels seus avantatges pel que fa a producció, transport, distribució i utilització. És especialment avantatjós l'ús del corrent altern en el transport d'energia elèctrica, ja que permet minimitzar al màxim les pèrdues a la xarxa elèctrica. Per reduir considerablement aquestes pèrdues, atès que els centres de producció d'electricitat i els centres de consum estan situats a grans distàncies, cal transportar el corrent a altes tensions. És per això que, un cop produïda l'electricitat a les centrals, cal elevar-ne el voltatge per al transport, i tornar-lo a disminuir per al consum, per mitjà d'uns aparells, anomenats transformadors, que només funcionen amb corrent altern. El corrent altern que produeixen els generadors a les centrals i que utilitzem habitualment és del tipus **sinusoïdal**. Es tracta d'un senyal elèctric periòdic, és a dir, que es reproduïx en intervals de temps iguals. A casa fem servir corrent altern de 220 volts i 50 hertz de freqüència.

Els paràmetres principals que defineixen el corrent altern sinusoïdal són els següents:

- **Cicle.** És la part del senyal que es va repetint en el temps. Un cicle complet està format per dos semicicles idèntics, però de sentit contrari.



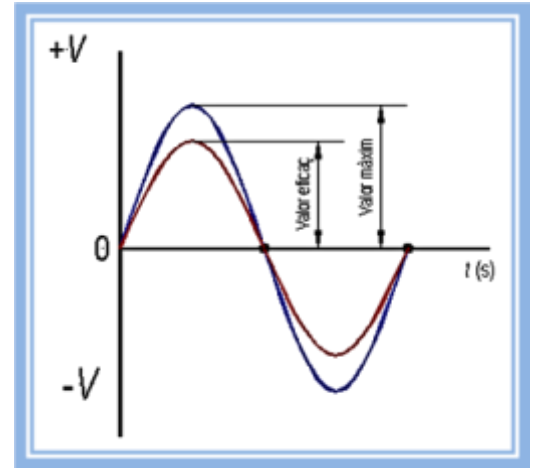
- **Període (T).** És el temps de durada d'un cicle complet. Es mesura en segons.

- **Freqüència (f).** És el nombre de cicles que es produeixen o es repeteixen en un determinat interval de temps, normalment 1 segon. La seva unitat és l'hertz (Hz). La relació entre el període i la freqüència és:

$$f = \frac{1}{T}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

- **Valor instantani** (v , i). És el valor que pren el senyal a cada instant de temps. La unitat de tensió és el **volt** (V), i la d'intensitat, l'**ampere** (A).
- **Valor màxim** ($V_{m\grave{a}x}$., $I_{m\grave{a}x}$.). És el valor més gran del senyal dins d'un període. També s'anomena amplitud del senyal. Hi ha dos valors màxims, un de positiu ($V_{m\grave{a}x}$.) i un altre de negatiu ($-V_{m\grave{a}x}$.).



- **Valor eficaç** (V_{ef} o simplement V). Equival al valor d'un corrent continu que produeix el mateix treball elèctric en un receptor; és a dir, produiria, per exemple, els mateixos efectes calorífics en una estufa. Es tracta d'un dels paràmetres més importants del corrent altern. Així, els aparells que mesuren la tensió o la intensitat en corrent altern indiquen els seus valors eficaços.

La relació entre el valor màxim i el valor eficaç és:

$$V_{ef} = \frac{V_{m\grave{a}x}}{\sqrt{2}}$$

Per defecte, quan parlem d'una tensió alterna de 220 volts, ens referim al seu valor eficaç.

1.4. Estudi i experimentació de components electrònics bàsics. Components passius

El disseny, la fabricació i l'anàlisi de circuits electrònics és l'objectiu de l'electrònica. El conjunt d'elements que integren aquests circuits s'anomenen **components electrònics**, els quals es poden classificar en **actius** i **passius**.

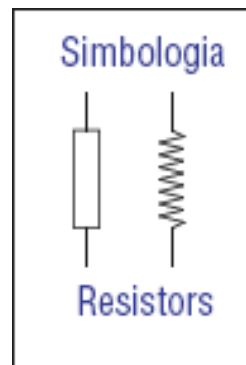
- Els **components electrònics passius** són aquells que, per si sols, no són capaços d'amplificar o generar senyals elèctrics, és a dir, que actuen com a càrregues (elements receptors d'energia elèctrica), de manera que permeten reduir o ajustar el senyal elèctric del circuit. Alguns exemples són els **resistors**, els **condensadors** i les **bobines**. Components electrònics actius
- Els **components electrònics actius**, en canvi, són capaços de generar, modificar i amplificar el valor del senyal elèctric. Són producte del descobriment dels materials semiconductors, com el silici i el germani. En destaquen els **díodes** i els **transistors**, que per la seva importància estudiarem en els propers apartats.

Components passius

Resistors

Els **resistors** són components passius que ofereixen una determinada resistència al pas del corrent elèctric. És molt habitual trobar-los en circuits electrònics i es fan servir, sobretot, per limitar la intensitat del corrent elèctric en un punt determinat del circuit o per dividir el valor total de la tensió.

Hi ha una gran varietat de resistors, encara que els més habituals són els de pel·lícula de carbó i els de fil bobinat. El seu valor, que es mesura en ohms (Ω), pot estar escrit directament a la cara exterior del component, tot i que, generalment, es determina a partir d'un codi internacional de colors.



Código de colores

Colores	1ª Cifra	2ª Cifra	Multiplicador	Tolerancia
Negro		0	0	
Marrón	1	1	$\times 10$	$\pm 1\%$
Rojo	2	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$
Naranja	3	3	$\times 10^3$	
Amarillo	4	4	$\times 10^4$	
Verde	5	5	$\times 10^5$	$\pm 0.5\%$
Azul	6	6	$\times 10^6$	
Violeta	7	7	$\times 10^7$	
Gris	8	8	$\times 10^8$	
Blanco	9	9	$\times 10^9$	
Oro			$\times 10^{-1}$	$\pm 5\%$
Plata			$\times 10^{-2}$	$\pm 10\%$
Sin color				$\pm 20\%$



Ejemplo:

Si los colores son: (**Marrón** - **Negro** - **Rojo** - **Oro**) su valor en ohmios es
1 **0** **$\times 100$** **5%** = **1000 Ω** = **1K Ω**
 Tolerancia de $\pm 5\%$



A l'hora de fer servir un resistor cal tenir present, essencialment, tres característiques: el valor òhmic, la tolerància i la potència que pot dissipar. Resistors de carboni amb codi de colors.

Quan circula intensitat per un resistor, s'escalfa, atès que l'energia elèctrica que absorbeix la dissipa en forma de calor. La potència d'un resistor depèn de la calor que pot cedir sense que es deteriori. Com més potència té un resistor, més gran sol ser. Els valors més usats de potència són des d'1/8 de watt, fins a 2 watts (W).

→**Exercici 1.1** : Identifica el valor de les següents resistències:

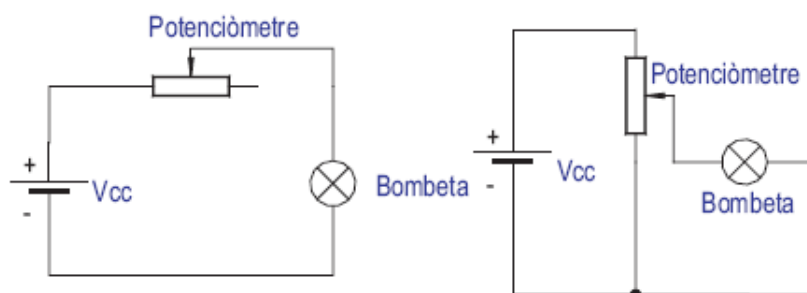
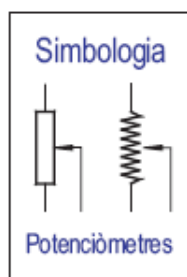
Codi de colors	Valor ohmic	Codi de colors	Valor ohmic
Vermell, vermell, groc, marró	$560 \Omega \pm 2\%$	Marró, vermell, groc, argent	$780 \Omega \pm 2\%$
Blau, verd, vermell, vermell	$12 K \pm 5\%$	Verd, verd, groc, marró	$4K4 \pm 2\%$
Taronja, groc, taronja, or	$6K2 \pm 1\%$	Gris, verd, marró, or	$110\Omega \pm 1\%$
Marró, negre, marró, marró		Vermell, vermell, vermell, or	

→**Exercici 1.2** : Indica si els valors de les resistències està dins de la tolerància facilitada pel fabricant:

- a) Vermell, lila, vermell, or = 2570Ω
- b) Gris, vermell, marró, plata = 905Ω
- c) Marró, verd, taronja, or = 15700Ω
- d) Gris, vermell, negre, or = 77Ω

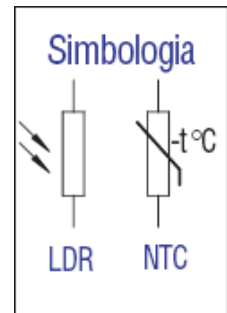
Circuits amb potenciómetres

Els potenciómetres o reòstats són resistors variables que es poden graduar manualment. Serveixen, per exemple, per variar el volum d'un aparell de música, la intensitat de llum d'una bombeta o la velocitat d'un motor.



Hi ha altres components electrònics resistius, anomenats genèricament resistors no lineals, el valor de resistència dels quals és variable i depèn de les variacions de determinades magnituds com la llum o la temperatura.

Resistor fix		
Reòstat		
Potenciòmetre		



Un **resistor LDR** és sensible a la intensitat de llum que rep i, per tant, la seva resistència varia segons la llum que hi incideix; com més llum, menor resistència.

Un **resistor NTC**, en canvi, varia amb la calor; té un coeficient de temperatura negatiu, és a dir, quan augmenta la temperatura disminueix la seva resistència. El **resistor PTC** es comporta de manera contrària a un NTC, incrementa la seva resistència en augmentar la temperatura.



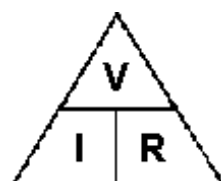
La Llei d'Ohm.

El 1820 Simon Ohm, mestre de l'escola Alemanya, va trobar que el corrent que circula per un circuit era directament proporcional a la diferència de potencial que produeix la corrent i inversament proporcional a la resistència que limita aquest corrent. Això expressat matemàticament és:

$$V = R \cdot I$$

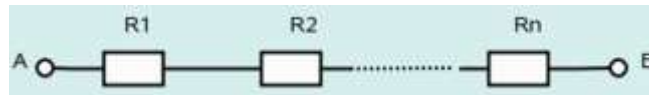
Expressarem sempre el voltatge en Volts (V), la intensitat en Amperes (A) i la resistència en Ohms (Ω)

Per facilitar les tasques de càlcul utilitzarem el triangle de la Llei d'Ohm, on es relacionen les 3 magnituds:



Associació en sèrie de resistències

Diem que dues o més resistències estan en sèrie quan el final de la primera està connectat amb el principi de la segona i així successivament, o sigui que una està a continuació de l'altra. Quan apliquem un diferència de potencial totes són recorregudes pel mateix corrent:



Per tant:

$$R_e = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

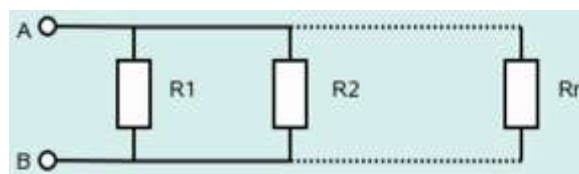
$$I_T = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

$$V_T = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

Associació en paral·lel de resistències

Diem que dues o més resistències es troben en paral·lel quan tenen dos terminals en comú de manera que al aplicar una diferencia de potencial, totes les resistències tenen la mateixa caiguda de tensió.

Per tant:

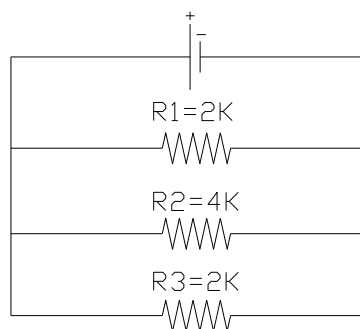
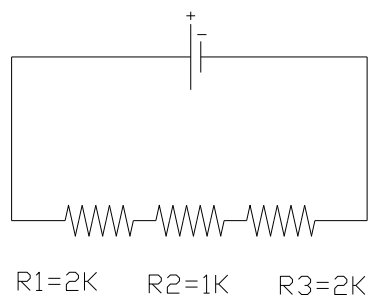


$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$I_T = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

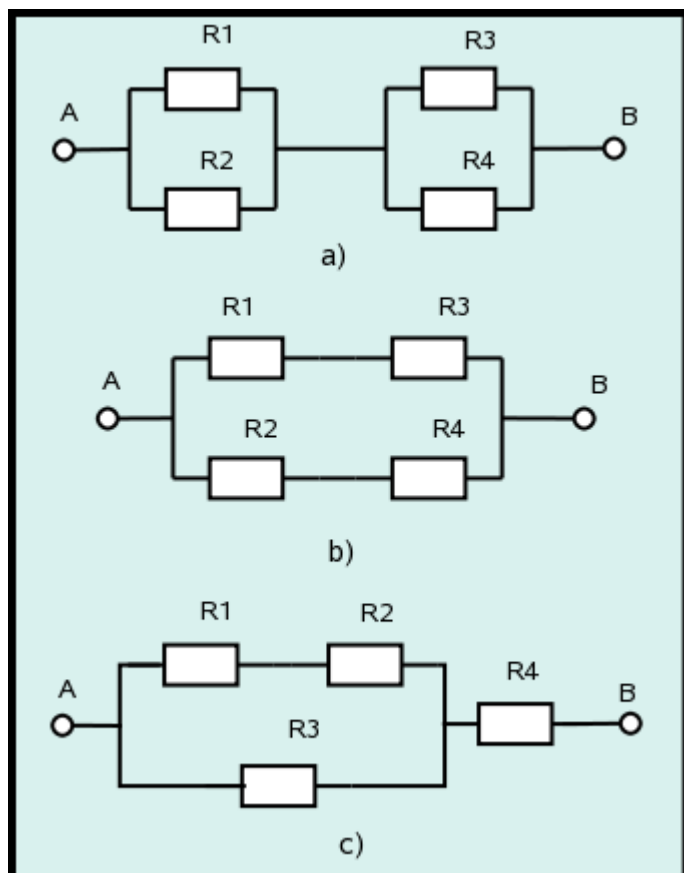
$$V_T = V_1 = V_2 = \dots = V_n$$

→**Exercici 1.3** : Calcula els valors de R_e i les intensitat i voltatges parcials de cada circuit:



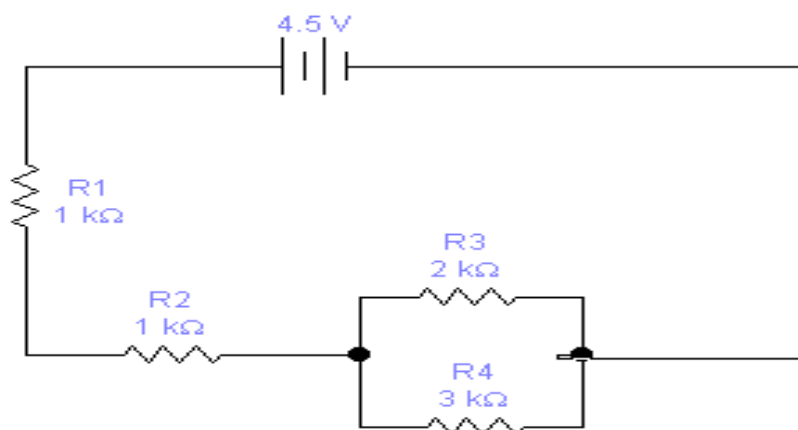
Associació de resistències en connexió mixta

En una connexió de resistències mixta ens podem trobar conjunts de resistències en sèrie amb d'altres en paral·lel i a la inversa. En la següent figura podem trobar diferents opcions com a exemple:

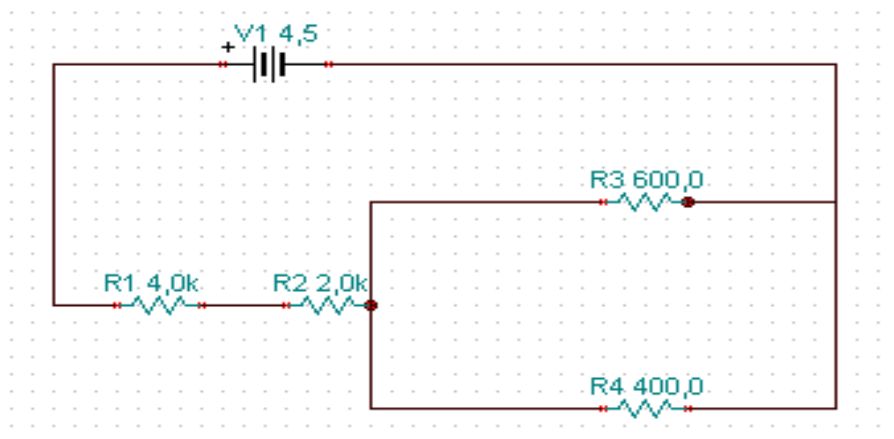


Per determinar la resistència equivalent d'aquests circuits es va simplificant les resistències que es troben en sèrie i les que es troben en paral·lel, de manera que cada cop el conjunt sigui més senzill.

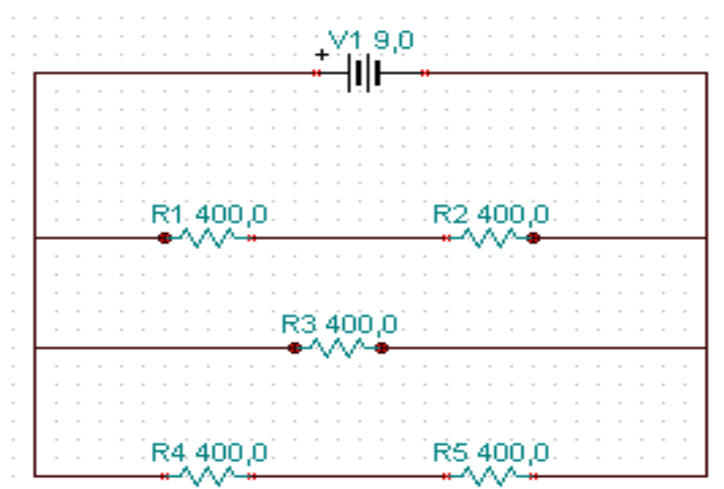
→**Exercici 1.4** : Calcula els valors de R_e i les intensitat i voltatges parcials del següent circuit:



→**Exercici 1.5** : Calcula els valors de R_e i les intensitat i voltatges parcials del següent circuit:



→ **Exercici 1.6** : Calcula els valors de R_e i les intensitat i voltatges parcials del següent circuit:

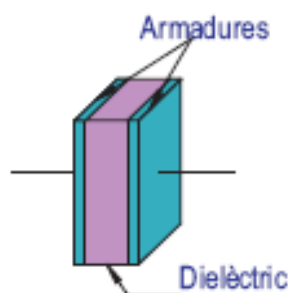


Condensadors

En electrònica és necessari, en ocasions, disposar de components capaços d'emmagatzemar electricitat temporalment i descarregar-la de cop en un determinat instant; per exemple, el flaix d'una màquina fotogràfica. Aquests components són els condensadors.

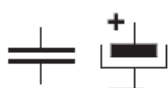
El **condensador** és un component que serveix per emmagatzemar temporalment càrregues elèctriques sobre una superfície relativament petita.

La constitució interna d'un condensador dues plaques metàl·liques paral·leles, separades per un material aïllant (paper, etc.), anomenat *dielèctric*. La seva capacitat plaques, la distància que les separa i la



està formada bàsicament per anomenades *armadures*, ceràmica, polièster, mica, plàstic, depèn de la superfície de les naturalesa del dielèctric.

Simbologia



La capacitat d'emmagatzematge d'un condensador, que és la relació entre la càrrega elèctrica que rep i la diferència de potencial que adquireix, es mesura en **farad (F)** en el Sistema Internacional (SI). Com que es tracta d'una unitat de valor molt elevat, a la pràctica s'utilitzen submúltiples.

A l'hora de fer servir un condensador cal tenir presents, essencialment, dues característiques: el seu valor de capacitat i la tensió que suporta el dielèctric del condensador. Per sobre d'aquest valor el condensador es fa malbé.

Els condensadors són, després dels resistors, els components electrònics més utilitzats. Es fan servir, entre altres aplicacions, en fonts d'alimentació, en filtres electrònics i en circuits de sintonització de senyals de radiofreqüència. Pràcticament tots els aparells electrònics empren condensadors: ordinadors, telèfons mòbils, televisors, walkmans, MP3, etc.



Submúltiples del farad

microfarad (μF)	$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$
nanofarad (nF)	$1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$
picofarad (pF)	$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$

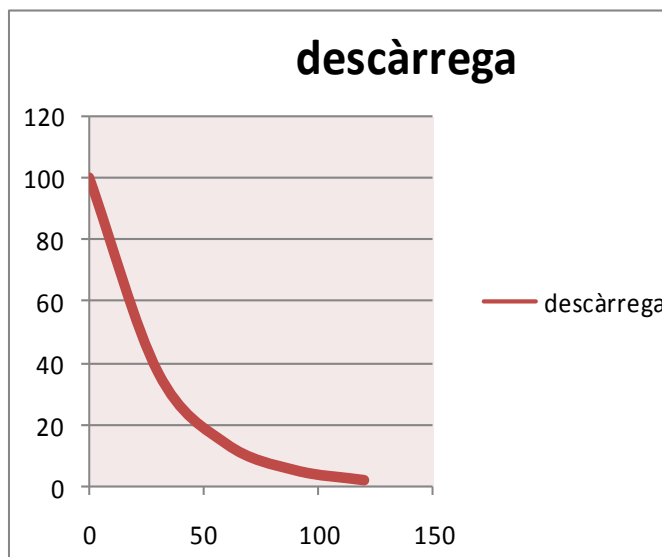
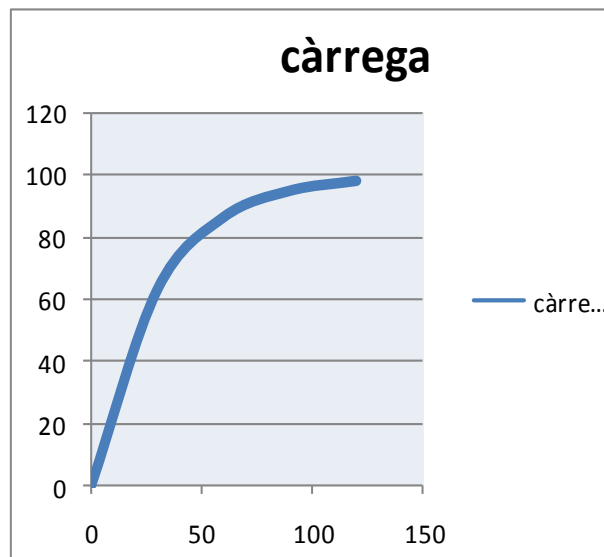
Capacitat del condensador:

$$C = \frac{Q}{V}$$

En el procés de càrrega la tensió s'incrementa, la velocitat de càrrega depèn de $\tau = RC$

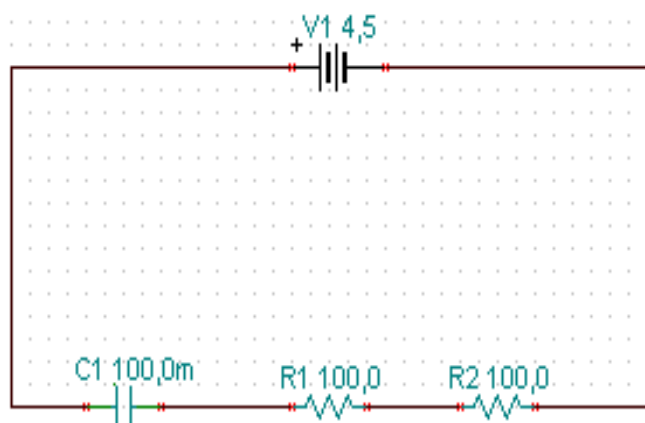
Per el procés de descàrrega passa el mateix però a la inversa.

	t=0	t= τ	t= 2 τ	t= 3 τ	t=4 τ
Càrrega	0%	63.2%	86.5%	95%	98.2%
Descàrrega	100%	36.8%	13.5%	5%	1.8%



→**Exercici 1.7** : Calcula la velocitat de càrrega d'un condensador de 22 μ F que està connectat en sèrie a dues resistències de 60K i 180K respectivament.

→**Exercici 1.8**: Calcula la velocitat de càrrega del condensador d'aquest circuit i dibuixa les gràfiques teòriques de càrrega i descàrrega.



Com es construeix un imant artificial: enrotllant un fil de coure aïllat o envernissat sobre un material ferromagnètic, com ara un cargol. En circular corrent elèctric pel fil, el cargol queda magnetitzat.

Una bobina és precisament un component format per un conductor elèctric aïllat i enrotllat sobre una superfície cilíndrica que serveix per crear un camp magnètic quan un corrent elèctric hi circula.

Cada bobina, en funció de les especificacions constructives, tindrà unes determinades característiques magnètiques i elèctriques. La magnitud que determina aquest comportament per a cada bobina s'anomena **coeficient d'autoinducció** o **inductància**. La seva unitat en el SI és l'**henry** (H).

Les bobines són presents en infinitat de dispositius i aplicacions: motors elèctrics, filtres electrònics, aparells de ràdio, televisors, etc.

Simbologia

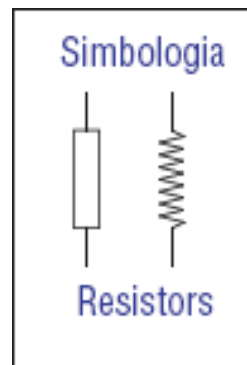
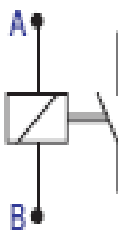
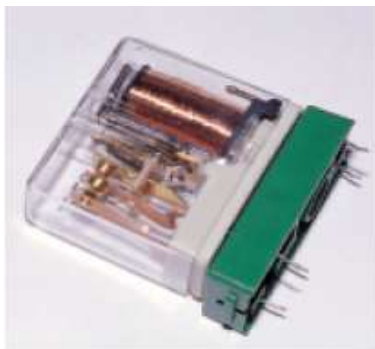


Relés

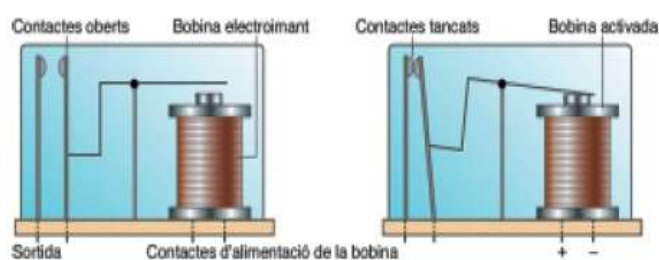
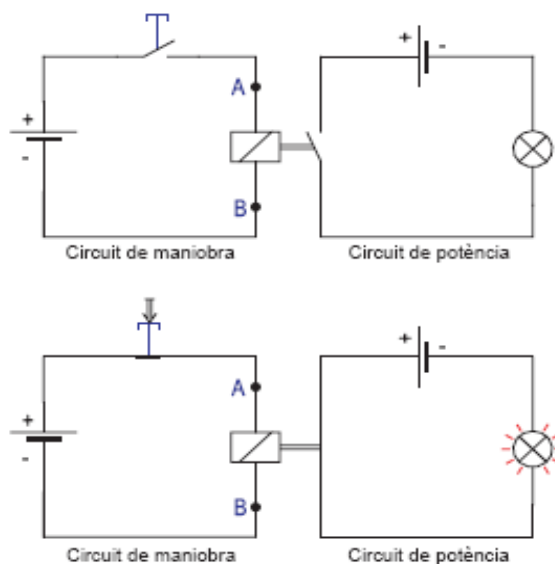
Encara que l'element bàsic de la constitució d'un relé és una bobina, no se'l sol classificar específicament com a component electrònic passiu, atès que es tracta d'un element de característiques singulars que s'utilitza tant en circuits elèctrics com electrònics.

El **relé** és un interruptor elèctric que s'acciona per mitjà d'un electroimant. Està format per una bobina que, quan hi circula un corrent elèctric, atreu una làmina metàl·lica que acciona un contacte, el qual s'obre o es tanca. Quan el corrent deixa de circular per la bobina de l'electroimant, una molla fa retornar la làmina metàl·lica i el contacte a la seva posició original.

Els relés són molt útils i es fan servir molt, perquè, amb corrents de poca intensitat, permeten controlar altres circuits d'intensitat molt més gran, i també perquè poden ser governats a distància. El corrent que circula per la bobina del relé rep el nom de *corrent de maniobra* o de *comandament*, mentre que el que circula pel segon circuit (és a dir, pels contactes) rep el nom de *corrent principal* o de *potència*. Per exemple, un relé de 9 volts de CC el podem accionar fent servir una pila de 9 volts per al circuit de maniobra; en canvi, en el circuit de potència, a través dels contactes del relé, poden connectar una bombeta de 220 volts de corrent altern.



El relé és un tipus particular d'interruptor o commutador, accionat elèctricament, que es pot controlar de maneres molt diverses: amb llum, emprant un LDR; amb calor, fent servir un NTC; amb sensor magnètic; amb un detector d'infraroig, a través del telèfon; amb programador horari; per so; etc. Hi ha relés, però, que incorporen més d'un contacte.



Components actius

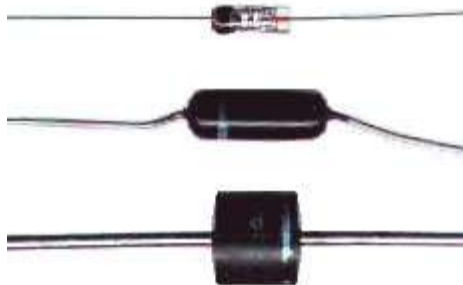
Díode

Els **díodes** són uns components electrònics actius que permeten el pas del corrent en un únic sentit. Es fonamenten en les propietats físiques que presenten els semiconductors, uns materials sòlids que, en la taula periòdica dels elements, tenen una valència electrònica de 4 i que, a temperatura ambient, tenen una resistència que es troba entre els materials aïllants i els materials conductors.

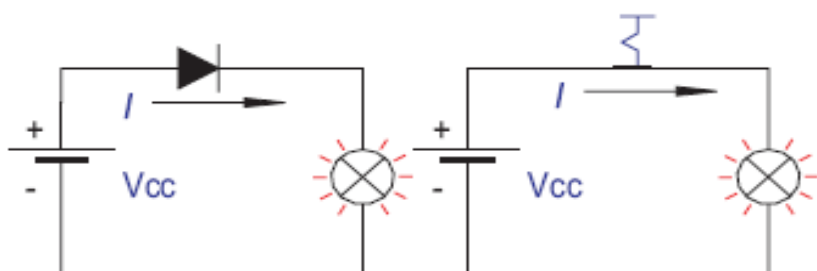
El díode es basa en la unió de dos materials semiconductors, **silici** o **germani**, un de **tipus P** i un altre de **tipus N**. Al de tipus **P**, s'hi afegeix un determinat nombre d'impureses (elements de valència 3, com el bor) capaces d'acceptar electrons. Al de tipus **N**, en canvi, s'hi afegeixen impureses (elements de valència 5, com el fòsfor) capaces de cedir electrons. Aquest procés d'afegir impureses a un material semiconductor s'anomena **dopatge**.



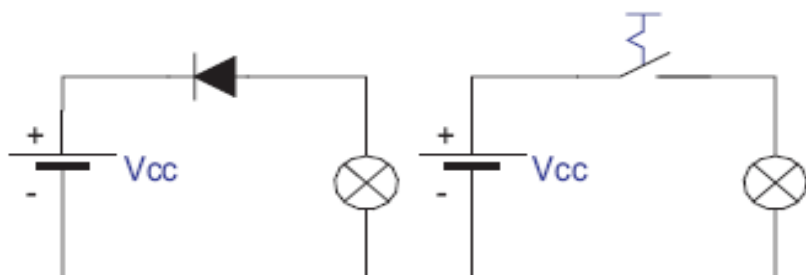
El díode és segurament el component semiconductor més senzill. Té dos terminals, anomenats *ànode* (zona P) i *càode* (zona N). Si es connecta el born positiu d'una pila o font d'alimentació a l'ànode i el negatiu al càode, el díode condueix (estat de conducció) i permet el pas del corrent a través seu. Quan es troba en aquest estat, el díode té **polarització directa** i podem dir que es comporta com un interruptor tancat.



Si invertim la polaritat, el positiu el connectem al càode i el negatiu a l'ànode, el díode no condueix (estat de blocatge) i no permet el pas de corrent a través seu. El díode es troba en **polarització inversa** i es comporta com un interruptor obert.



Els díodes són molt utilitzats en fonts d'alimentació com a rectificadors, és a dir, per convertir en corrent continu el corrent altern de la xarxa elèctrica. També s'utilitzen en circuits limitadors, en funcions lògiques i com a elements de protecció.

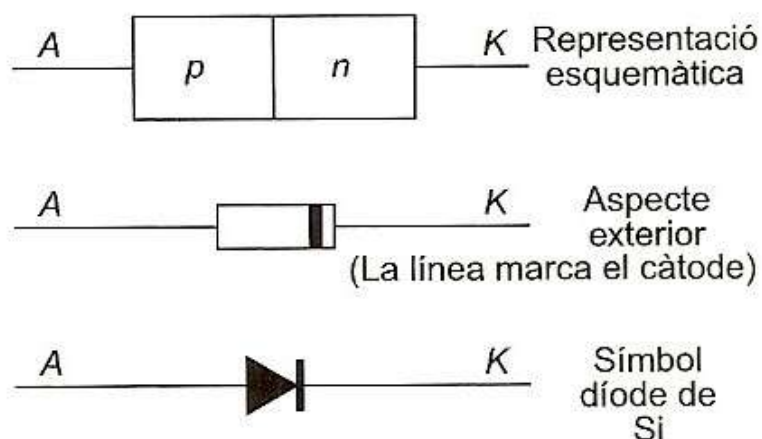


Els díodes són molt utilitzats en fonts d'alimentació com a rectificadors, és a dir, per convertir en corrent continu el corrent altern de la xarxa elèctrica. També s'utilitzen en circuits limitadors, en funcions lògiques i com a elements de protecció.

En el díode cal destacar dos valors límits importants que és convenient respectar per no fer-lo malbé: el **màxim corrent directe** ($I_{Fmàx}$), que és la màxima intensitat que pot suportar el díode en polarització directa, i la **màxima tensió inversa** (V_{AKr}), que és la màxima tensió que pot suportar el díode quan es troba

en polarització inversa i no condueix. Aquests valors estan indicats en els manuals de característiques. A títol d'exemple, hem posat al marge els valors d'uns díodes d'ús corrent.

Els díodes poden presentar, bàsicament, dos tipus d'avaries: el curt circuit, que succeeix quan el díode condueix en ambdós sentits, i l'obertura, que es dona quan el díode no condueix en cap dels dos sentits.



El càtode d'un díode s'identifica a simple cop d'ull, perquè té inscrit algun tipus de marca, normalment una línia o franja circular. Amb un òhmmetre també es poden identificar els terminals d'un díode, atès que la seva resistència en polarització directa és molt menor que en polarització inversa.

El LED

Hi ha un tipus especial de díode, anomenat díode LED (*Light Emitting Diode*) o *díode emissor de llum*, molt popularitzat i utilitzat com a indicador lluminós de l'estat d'un aparell (encès, apagat, en espera, etc.), que té com a característica principal l'emissió de llum quan condueix.

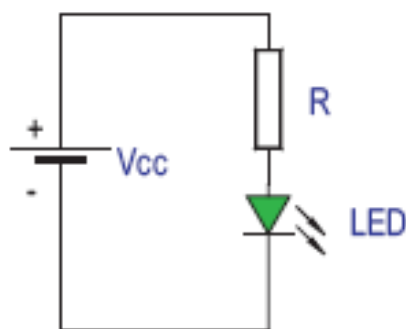
El **LED** és un component electrònic que emet llum quan és travessat per un corrent elèctric.

Es tracta d'un díode semiconductor, semblant a efectes electrònics al que has estudiat, però que té la propietat de transformar l'energia elèctrica en energia lluminosa. Els avantatges més importants que presenten els LED, respecte de les bombetes pilot de filament, són: alt rendiment energètic, poca producció de calor, vida útil molt elevada, mida reduïda, carcassa resistent, disponibilitat de diversos colors i consum baix.

Els LED més usuals funcionen amb intensitats compreses entre 10 i 30 mA. La llum que desprenen depèn de la seva intensitat. Es poden connectar a qualsevol tensió, sempre que no se sobrepassi el màxim corrent directe i la màxima tensió inversa que poden suportar. És per això que sempre es connecten amb un resistor en sèrie que té la funció de limitar la intensitat de corrent que travessa el LED. Al marge pots veure'n el circuit típic d'aplicació.

Hi ha una gran varietat de LED en diversos colors (vermell, groc, verd, blau, blanc...) i amb formes diferents (rodons, rectangulars, triangulars...). També s'utilitzen per construir indicadors numèrics, com els anomenats *indicadors de set segments*, que s'apliquen àmpliament en dispositius i instruments electrònics.

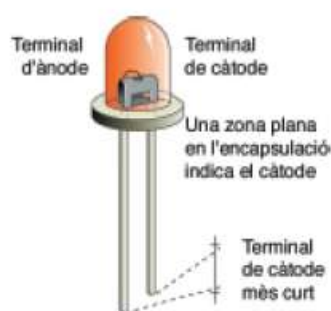




Els LED tenen múltiples aplicacions. Són molt emprats en aparells diversos (televisors, vídeos, ordinadors, equips de música, rentadores, càmeres fotogràfiques, carregadors de bateries, etc.) per indicar l'estat de funcionament.

També s'utilitzen en semàfors, rètols lluminosos, pantalles de gran format, i en comandaments a distància que serveixen per emetre llum de freqüència no visible i raigs làser en lectors òptics de CD i DVD.

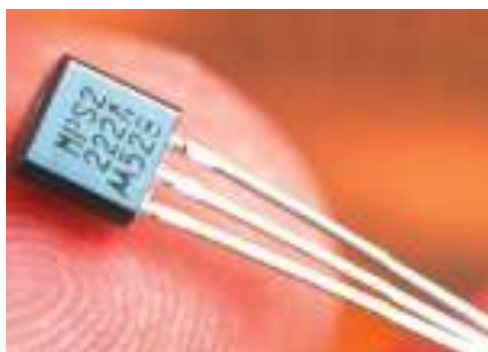
Per facilitar la identificació dels terminals d'un díode LED, el fabricant sol indicar el càtode amb una osca o zona plana en l'encapsulat i fent-ne el terminal més curt.



El transistor

El descobriment del **transistor**, l'any 1948, va representar un avenç important, tal com va succeir prèviament amb el díode semiconductor, que va ampliar els camps de l'electrònica i va iniciar una gran modernització dels components electrònics de nombrosos aparells d'ús quotidià. Va permetre, a més, una gran evolució tecnològica fins a arribar als circuits integrats i els microprocessadors. Avui dia, per exemple, hi caben milions de transistors en un xip.

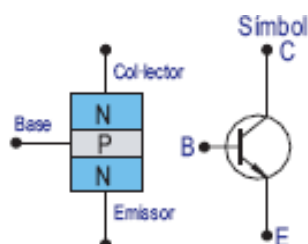
El **transistor** és un component electrònic format per material semiconductor que consta de tres parts ben diferenciades: **emissor** (E), **base** (B) i **col·lector** (C). Físicament, la base sempre està enmig de l'emissor i el col·lector. La combinació d'aquestes parts de semiconductor de classe P o N dona lloc a dos tipus de transistors: **transistor NPN** i **transistor PNP**.



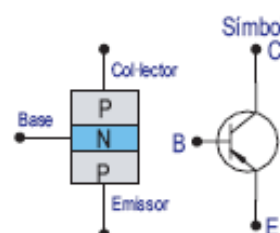
El transistor, per tant, és una espècie de sandvitx entre capes de material semiconductor de signe oposat (P o N). La zona intermèdia es la *base* i, les dues extremes, l'*emissor* i el *col·lector*. Amb l'aplicació d'un petit corrent a través de la unió base-emissor, s'estableix un corrent molt més gran entre la unió col·lector-emissor. El poder amplificador del transistor es basa precisament en el fet que febles variacions de corrent entre la base i l'emissor controlen fortes variacions entre l'emissor i el col·lector. Bàsicament, la intensitat de base és la que controla l'estat del transistor. El seu valor és molt petit en relació amb la intensitat de col·lector i emissor.



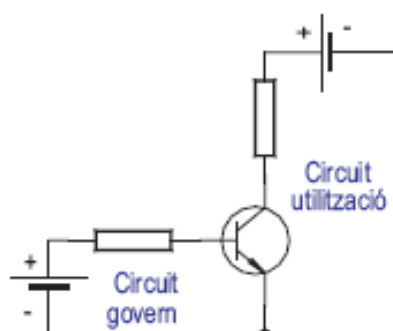
Transistor NPN



Transistor PNP



Per tant, en un transistor podem establir dos circuits: el **circuit de govern** o **comandament** i el **circuit principal** o **d'utilització**. En el circuit de comandament amb un transistor NPN, el corrent entra per la base i surt per l'emissor. En el circuit d'utilització, hi arriba pel col·lector i en surt per l'emissor. La intensitat de base és molt petita en relació amb les intensitats de col·lector i d'emissor.



En un transistor NPN, la intensitat d'emissor I_E és igual a la suma de les intensitats de base I_B i de col·lector I_C :

$$I_E = I_B + I_C$$

En un transistor, si considerem que la intensitat de base I_B actua com a corrent d'entrada i la intensitat de col·lector I_C com a corrent de sortida, podem establir una relació entre aquestes dues intensitats: $I_C = I_B \cdot \beta$, on el paràmetre multiplicador β , anomenat **guany de corrent**, ens indica la capacitat d'amplificació de corrent del transistor per un determinat punt de treball. En alguns manuals, el guany de corrent s'anomena h_{FE} .

Hi ha milers de transistors amb característiques i aplicacions diferents. Alguns es diferencien externament per la forma de la càpsula i per la distribució de les potes. Per conèixer les seves característiques, però, cal

consultar els manuals o *handbooks* específics. Actualment, hi ha moltes pàgines web que donen també aquest tipus d'informació.

Funcionament del transistor

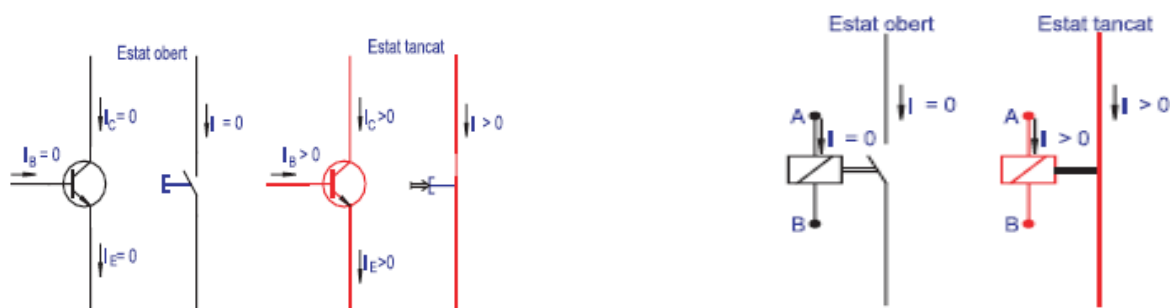
Fonamentalment, el transistor pot funcionar de dues maneres diferents: en **commutació** i en **mode lineal**.

- El **mode no lineal** o en **commutació** del transistor es caracteritza perquè només es fan servir dos estats ben definits:

- Estat **obert**, de bloqueig o de no-conducció (OFF). La resistència entre els terminals emissor-col·lector del transistor és molt alta o infinita.

- Estat **tancat** o de conducció màxima (ON). La resistència col·lector-emissor és pràcticament zero.

El funcionament del transistor en aquesta forma de treball és semblant al d'un interruptor, té dos únics estats ben definits: obert i tancat. Mentre en un interruptor el seu estat es controla manualment, accionant una palanca o basculant, en el transistor, el seu estat es governa elèctricament a través del terminal de la base. L'anomenat *interruptor del transistor* està constituït pel circuit format pels terminals col·lector-emissor. També es pot fer l'analogia del transistor treballant en commutació amb un relé. El circuit de comandament (base-emissor) en un relé és la bobina, i el circuit d'utilització (col·lector-emissor) són els terminals del contacte normalment obert del relé.



Algunes aplicacions del transistor en mode commutació són els sistemes digitals, molts tipus d'automatismes, etc.

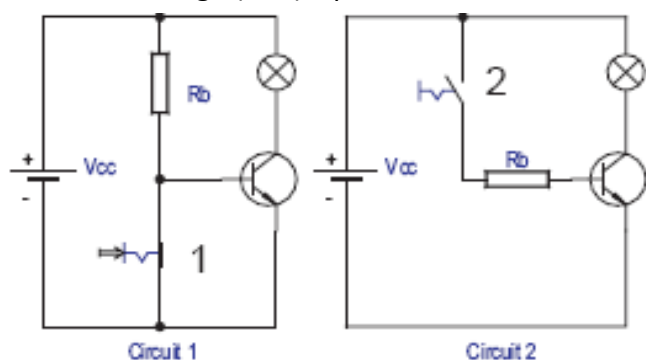
- El **mode lineal** del transistor es caracteritza perquè les intensitats i tensions de sortida (de col·lector-emissor) són funció de les intensitats i tensions d'entrada (de base-emissor), les quals poden adoptar múltiples valors i punts de treball. Per tant, aquest mode de treball del transistor permet, per exemple, regular gradualment la lluminositat d'una bombeta, la velocitat d'un motor de CC o el volum d'un amplificador.

És un sistema encara molt utilitzat, especialment en sistemes analògics (no digitals), com ara amplificadors, aparells de mesura analògics, reguladors, aparells de ràdio i televisió, etc.

Per il·lustrar aquests dos sistemes de treball del transistor, en commutació i en mode lineal, vegem ara un parell d'exemples per controlar i regular la llum d'una bombeta.

1) En primer lloc, analitzarem un circuit senzill amb el transistor funcionant en commutació, per fer un control *tot o res* de la bombeta, és a dir, per encendre-la o apagar-la.

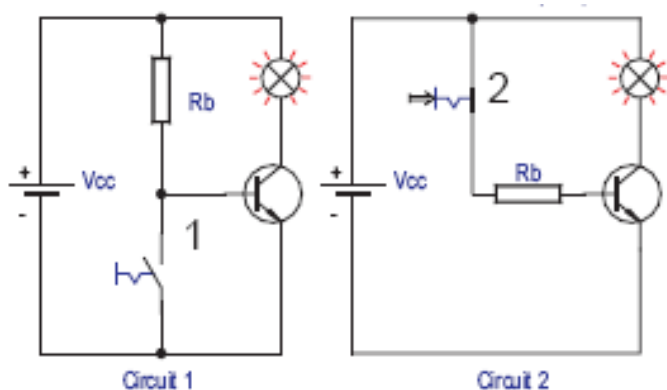
En aquesta figura hi ha representats dos circuits equivalents. En ambdós casos, el transistor es troba en estat de blocatge (OFF) i, per tant, la bombeta està apagada. En el circuit 1, la base del transistor no rep



corrent d'entrada, ja que està connectada directament al pol negatiu a través de l'interruptor 1, que està tancat. En el circuit 2, la base tampoc no rep corrent, ja que l'interruptor 2 està obert i per tant el seu terminal és a l'aire. En aquests dos circuits, en lloc de l'interruptor podríem haver fet servir altres dispositius, com ara un final de cursa o un detector magnètic.

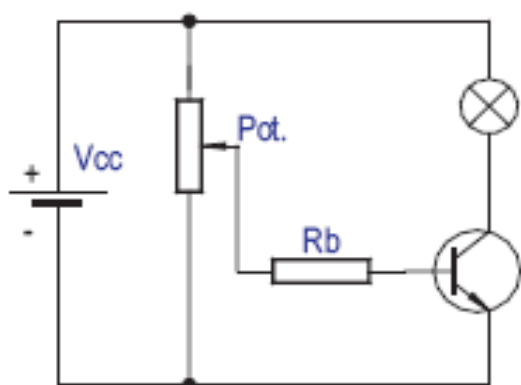
Encara que els dos circuits són similars i puguin funcionar de forma satisfactòria, en el circuit 2 el transistor pot presentar problemes d'inestabilitat quan la base és a l'aire (estat OFF, interruptor obert), ja que llavors és molt sensible als paràsits, és a dir, el terminal de base fa d'antena, i pot succeir que la bombeta no quedi totalment apagada. En canvi, el circuit 1 no presenta aquests possibles problemes d'inestabilitat perquè el terminal de base mai no és a l'aire i sempre rep algun tipus de polaritat, de signe negatiu quan l'interruptor està tancat o bé de signe positiu a través del resistor de polarització R_B quan l'interruptor està obert.

En canvi, en tots dos circuits, quan s'accionen els respectius interruptors, la base rep corrent a través del resistor de polarització R_B i s'estableix el corrent de base-emissor I_{BE} . El transistor, aleshores, condueix entre col·lector-emissor (I_{CE}) encén la bombeta.



2) Ara analitzarem un circuit simple amb el transistor funcionant en mode lineal, però en aquest cas no només encendrem i apagarem la bombeta, sinó que a més podrem regular-ne la intensitat lluminosa a voluntat nostra.

En aquest circuit, a través del potenciòmetre podem regular la intensitat de base. El transistor, en funció d'aquest corrent de base, regularà el corrent del col·lector, que és el que travessarà la bombeta i generarà una lluminositat determinada. Quan el cursor del potenciòmetre es trobi a l'extrem inferior (vegeu l'esquema), el corrent de base serà zero ($I_B = 0$) i el transistor es trobarà en estat de blocatge. A mesura que anem movent el cursor cap a l'extrem superior, el corrent de base cada cop serà més gran i la bombeta anirà subministrant més llum perquè la travessarà més intensitat de col·lector i rebrà més tensió. Quan el cursor estigui a l'extrem superior, la conducció del transistor i la il·luminació de la bombeta seran màximes.



Circuit de regulació electrònica de llum

Per últim, et presentem el circuit d'un llum regulable electrònicament, el qual també pot servir per variar la velocitat d'un petit motor de CC, sempre que el consum no superi la intensitat màxima de col·lector I_{Cmax} del transistor. En el BC337, la I_{Cmax} és de 0,5A. Quadre resum de simbologia

En aquest circuit, en el qual podem regular la lluminositat de la bombeta a voluntat nostra, pretenem que el transistor treballi en mode lineal. El potenciòmetre, connectat com a divisor de tensió, permet regular la intensitat de base i, per tant, les condicions de treball del transistor. Quan el cursor del potenciòmetre està situat a l'extrem inferior o esquerre (a prop del pol negatiu), el corrent de base és pràcticament zero i el transistor no condueix. Quan movem el cursor cap a l'altre extrem (a prop del pol positiu), la intensitat de base augmenta i el transistor condueix cada cop més, i fa que la lluminositat de la bombeta augmenti progressivament. Quan el cursor es troba a l'extrem superior o dret, la intensitat de base i la conducció del transistor són màximes, i la bombeta il·lumina amb la màxima intensitat.

