Components bàsics i fonts d'alimentació

Santiago Cerezo Salcedo, Àngel L. Miguel Rodríguez, Josep M. Pallarés Serres i Juan Perona Camacho
Adaptació de continguts: Santiago Cerezo Salcedo

Electrònica

Índex

Introducció **5**

Resultats d'aprenentatge **7**

1 Components electrònics emprats en rectificació i filtrat. Tipologia i característiques **9**
1.1 Components passius: tipus, característiques i aplicacions . . . 9
1.2 Resistències fixes, ajustables i potenciòmetres . . . 10
1.2.1 Codi de colors per a resistències . . . 12
1.3 Condensadors. Bobines . . . 13
1.3.1 Condensadors . . . 14
1.3.2 Bobines . . . 15
1.3.3 Codificació de valors de condensadors . . . 15
1.4 Díodes semiconductors . . . 16
1.4.1 Corba característica. Zones de funcionament . . . 17
1.5 Rectificació. Filtres . . . 17
1.5.1 Rectificació de mitja ona . . . 18
1.5.2 Rectificació d'ona completa o de doble ona . . . 18
1.5.3 Filtres . . . 19
1.6 Díodes Zener. Característiques i aplicacions . . . 21
1.7 Components actius. Característiques i aplicacions . . . 22
1.8 El transistor. Polarització . . . 23
1.8.1 Zones de funcionament . . . 24
1.8.2 Circuits de polarització . . . 26
1.8.3 Recta de càrrega i punt de treball (Q) . . . 27

2 Fonts d'alimentació **29**
2.1 Fonts lineals: estabilització i regulació amb dispositius integrats . . . 29
2.1.1 Estabilitzador amb díode Zener . . . 30
2.1.2 Estabilitzador amb reguladors integrats . . . 31
2.2 Fonts commutades: característiques, fonaments i blocs funcionals . . . 33
2.2.1 Reguladors commutats a la freqüència pròpia . . . 34
2.2.2 Configuracions bàsiques . . . 34
2.2.3 Esquema d'una font commutada completa . . . 37

Introducció

La irrupció dels sistemes digitals en la nostra vida quotidiana sovint ens fa oblidar que el món és analògic, molt lluny dels uns i zeros sense matisos que ha imposat l'electrònica digital. Abans de l'abaratiment dels circuits digitals, l'electrònica analògica era la que es feia servir massivament per a qualsevol aplicació, i avui encara hi ha casos en què no ha estat substituïda pels sistemes digitals o bé no podrà ser substituïda mai. Així, l'estudi dels sistemes analògics encara i sempre revesteix una importància que no es pot ignorar sense més ni més.

La base de l'electrònica analògica recau sobre els dos tipus de components que hi ha: els components passius i els actius.

Els components passius duen a terme la seva funció *per se*, és a dir, només amb la seva presència en el circuit. Aquests components estan governats per unes lleis físiques concretes i són relativament fàcils de descriure.

Els components actius necessiten una aportació extra d'energia per dur a terme la seva funció dins del circuit. Aquesta aportació extra d'energia rep el nom d'*alimentació*. Alguns d'aquests components són prou bàsics per poder ser inclosos, juntament amb els components passius, en l'apartat "Components electrònics emprats en rectificació i filtrat. Tipologia i característiques".

Els components actius bàsics que seran descrits en aquest apartat són els díodes i els transistors. Els uns i els altres són la base de pràcticament tots els avenços que s'han fet en el camp de l'electrònica (tant analògica com digital) des de la dècada de 1940.

En l'apartat "Fonts d'alimentació", es descriuen les fonts d'alimentació com a bloc essencial per al funcionament de qualsevol circuit electrònic. Hi veureu quines parts les componen i quina és la funció de cadascuna de les parts.

Resultats d'aprenentatge

En finalitzar aquesta unitat, l'alumne/a:

1. Reconeix circuits de rectificació i filtrat determinant les seves característiques i aplicacions.
    - Reconeix els diferents components.
    - Descriu els paràmetres i magnituds que caracteritzen els circuits amb components passius.
    - Utilitza els instruments de mesura adients (multímetre i oscil•loscopi, entre d'altres).
    - Relaciona els components amb els símbols que apareixen als esquemes.
    - Descriu els tipus de rectificadors i filtres.
    - Munta o simula circuits.
    - Obté els paràmetres i característiques elèctriques dels components dels sistemes.
    - Descriu les aplicacions reals d'aquest tipus de circuits.
    - Realitza les tasques que cal fer individualment amb autosuficiència i seguretat.
2. Reconeix fonts d'alimentació determinant les seves característiques i aplicacions.
    - Descriu les diferències entre fonts commutades i no commutades.
    - Descriu el funcionament dels diferents blocs que componen els sistemes complets d'alimentació.
    - Identifica les característiques més rellevants proporcionades pels fabricants.
    - Descriu les diferents configuracions de circuits reguladors integrats.
    - Munta o simula circuits.
    - Utilitza els instruments de mesura adients (multímetre i oscil•loscopi, entre d'altres).
    - Descriu aplicacions reals de les fonts commutades .
    - Verifica el funcionament de les fonts commutades.
    - Descriu aplicacions reals de les fonts commutades.
    - Realitza les tasques que cal fer individualment amb autosuficiència i seguretat.

1. Components electrònics emprats en rectificació i filtrat. Tipologia i característiques

Alguns dels elements més importants que podem trobar generalment en un circuit electrònic són:

- Resistències
- Condensadors
- Bobines
- Díodes
- Transistors

Els components elèctrics s'agrupen en dues grans famílies:

- **Passius**: fan la seva funció per les característiques físiques i l'estructura interna pròpies.
- **Actius**: necessiten una aportació extra d'energia (alimentació) per poder fer la seva funció en el circuit.

1.1 Components passius: tipus, característiques i aplicacions

Els components passius basen el seu funcionament en algun principi físic concret dels que governen l'electricitat i el magnetisme. Així, a grans trets es podria parlar del següent:

- **Resistències**: relacionades amb el pas del corrent elèctric pel circuit, serveixen per modificar la tensió i limitar el corrent.
- **Condensadors**: molt lligats al camp elèctric, absorbeixen les variacions ràpides de tensió elèctrica.
- **Bobines**: relacionades amb els efectes magnètics del corrent elèctric (electromagnetisme), absorbeixen les variacions ràpides de corrent elèctric.

Les principals aplicacions d'aquests components apareixen en la taula 1.1.

Taula 1.1. Aplicacions dels components passius

Component	Aplicacions principals
Resistència o *resistor*	Divisió de tensió, limitació de corrent, adaptació d'impedàncies, filtratge
Condensador	Adaptació d'impedàncies, filtratge
Bobina o inductor	Adaptació d'impedàncies, filtratge

1.2 Resistències fixes, ajustables i potenciòmetres

La **resistència** és la dificultat que ofereixen els cossos al pas del corrent elèctric. Aquesta propietat la tenen tots els materials en major o menor grau. En el cas dels conductors, el valor de la resistència elèctrica és determinat per tres factors:

- **Tipus de material** que defineix una constant ϱ anomenada **resistivitat**. Com millor conductor és el material, més baix és aquest paràmetre.
- **Secció** (S)
- **Longitud** (L)

De manera que com més secció, menys resistència, i com més longitud més resistència. L'expressió per calcular la resistència d'un cos és:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

La unitat de resistència és l'**ohm** (Ω).

> En electrònica, una **resistència** és un component electrònic que té la propietat d'oposar-se al pas del corrent elèctric.

Una de les funcions primordials de les resistències és adequar els valors de tensió i d'intensitat de corrent de l'alimentació a aquells valors que es necessiten en els diferents punts d'un circuit.

Per tal d'aconseguir reduir al mínim els circuits, i per tant els equips, els fabricants de components electrònics intenten fer els elements cada vegada més petits, és a dir, ampliar al màxim l'escala d'integració. En el cas concret de les resistències, es tracta d'aconseguir el valor de resistència emprant el mínim volum possible, sempre que el consum de potència posterior de la resistència ho permeti (una resistència només podrà ser molt petita si ha de dissipar poca energia).

Les resistències es poden dividir en tres grups: lineals, variables i no lineals.

1. Resistències lineals fixes: aquests components de dos terminals presenten un valor nominal de resistència constant (predeterminat pel fabricant) i un comportament lineal. Es representa per un dels símbols que es poden veure en la figura 1.1.

FIGURA 1.1. Símbols de resistències

Les característiques de les resistències que hem de tenir en compte la majoria de les vegades són: **valor**, **tolerància** i **potència**.

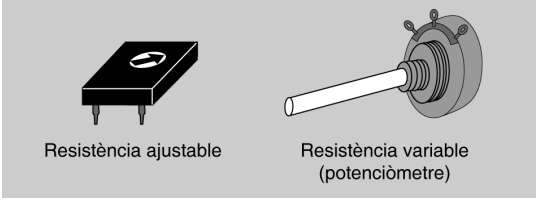
Les **especificacions tècniques** més importants que podem trobar en els fulls de característiques que ens subministra el fabricant són les següents:

- **Valor nominal**: és el valor òhmic que s'espera que tingui el component.
- **Tolerància**: és el marge de variació, respecte al valor indicat pel fabricant. Cada vegada la precisió és més gran, però és clar que per als fabricants és més fàcil, i sobretot menys costós, fer resistències d'un valor aproximat, que de valor exacte. S'expressa en tant per cent sobre el valor ($\pm$ %).
- **Potència nominal**: és la potència (en watts) que la resistència pot dissipar sense deteriorar-se a la temperatura nominal de funcionament.
- **Tensió màxima de funcionament** ($V_{màx}$): és la màxima tensió contínua o alterna eficaç que el dispositiu no pot sobrepassar de manera continuada a la temperatura nominal de funcionament.
- **Temperatura màxima de funcionament** ($T_{màx}$): és la màxima temperatura ambient en què el dispositiu pot treballar sense deteriorar-se. Tingueu en compte que la dissipació de l'escalfor d'una resistència disminueix a mesura que augmenta la temperatura ambient en què està treballant.
- **Coeficient de temperatura** (C_t): és la variació del valor de la resistència amb la temperatura.
- **Soroll elèctric**: és el senyal no desitjat que la resistència afegeix al senyal principal i que provoca petites variacions de tensió.

2. Resistències variables: el seu valor de resistència pot variar entre un valor mínim, 0, i un valor màxim, R. Per exemple, si la resistència és de 10 kΩ = 10.000 Ω, podem fixar qualsevol valor entre 0 i 10.000 Ω.

Per tal d'aconseguir això, se'ls ha afegit un tercer terminal de connexió unit a un contacte mòbil anomenat *cursor* que es pot desplaçar a sobre de l'element resistiu proporcionant variacions en el valor de la resistència. Aquest tercer terminal pot tenir un desplaçament angular (giratori) o longitudinal (lliscant). Podem veure una representació esquemàtica de l'aspecte que té en la figura 1.2.

FIGURA 1.2. Aspecte d'una resistència ajustable i un potenciòmetre



Comportament com a reòstat

Tant en un potenciòmetre com en una resistència ajustable o *trimmer*, en deixar un dels seus terminals extrems a l'aire, es comportaran com un reòstat, encara que aquests estan dissenyats per suportar grans corrents.

Segons la funció que tenen en el circuit, aquestes resistències es denominen:

- **Potenciòmetres**: s'apliquen en circuits en què l'usuari varia la resistència des de l'exterior (controls d'àudio, vídeo, etc.).
- **Resistències ajustables**: es diferencien de les anteriors en el fet que el seu ajust és definitiu en el circuit en què van aplicades. Només hi pot accedir personal tècnic (controls de guany, polarització, etc.) i són de poca potència.
- **Reòstats**: són resistències variables en què un dels terminals extrems està elèctricament anul·lat. Solen ser de gran potència, és a dir, que poden circular-hi grans corrents.

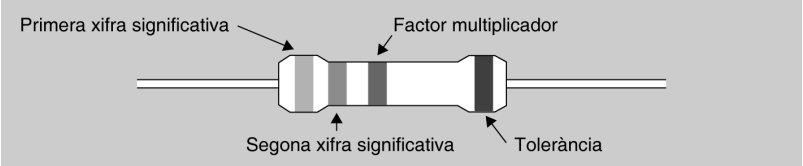
3. Resistències no lineals: es caracteritzen perquè el seu valor òhmic varia de manera no lineal, depenent de diferents magnituds físiques com ara la temperatura, la tensió, la llum, els camps magnètics, etc. Per aquest motiu, aquestes resistències també són considerades com a sensors. Entre les més comunes podem destacar les següents:

- **Termistors**: en aquestes resistències, el valor òhmic canvia quan varia la temperatura, i en podem destacar dos grans grups: **resistències de coeficient de temperatura negatiu** (**NTC**, la resistència baixa quan puja la temperatura) i **resistències de coeficient de temperatura positiu** (**PTC**, la resistència augmenta quan augmenta la temperatura).
- **Varistors**: aquests dispositius, també anomenats **VDR**, experimenten una disminució en el seu valor òhmic de resistència a mesura que augmenta la tensió aplicada en els seus extrems. Les aplicacions més importants d'aquest component es troben en protecció contra sobretensions, regulació de tensió i supressió de transitoris.
- **Fotoresistències**: aquestes resistències, també conegudes com a **LDR**, es caracteritzen pel fet que la resistència disminueix a mesura que augmenta la llum que hi incideix. Les principals aplicacions d'aquests components són en controls d'enllumenat, control de circuits amb relés, alarmes, etc.

1.2.1 Codi de colors per a resistències

S'acostuma a indicar el valor de les resistències mitjançant un codi de colors: normalment sobre un fons de color marró clar hi ha unes franges de color (figura 1.3), generalment n'hi ha quatre (cinc per a toleràncies del 2% o menys). Els colors, per si mateixos, tenen associat un valor, i la posició del color els dóna un significat determinat, com es descriu en la taula 1.2.

Figura 1.3. Codi de quatre colors



TAULA 1.2. Codificació de les resistències

Color	1a Banda	2a Banda	Multiplicador	Tolerància (%)
Negre	0	0	× 1	
Marró	1	1	× 10	1%
Vermell	2	2	× 100	2%
Taronja	3	3	× 1.000	
Groc	4	4	× 10.000	
Verd	5	5	× 100.000	0,5%
Blau	6	6	× 1.000.000	0,25%
Violeta	7	7	× 10.000.000	0,10%
Gris	8	8	× 100.000.000	0,05%
Blanc	9	9	× 1.000.000.000	
Or			0,1	5%
Argent			0,01	10%

Per conèixer el valor de la resistència, començarem per determinar la línia de color de la tolerància: or, argent, vermell, marró o cap color. Si les línies són de color or o argent, és clar que són les corresponents a la tolerància i hem de començar la lectura per l'extrem contrari. Si són de color vermell o marró i estan separades de les altres tres o quatre línies, començarem la lectura per l'extrem oposat. D'aquesta manera la primera franja de color indicarà la primera xifra del valor, la segona franja indicarà la segona xifra del valor, la tercera franja indicarà el nombre de zeros (o factor multiplicador) i l'última franja de color, la tolerància. Es pot donar el cas que hi hagi cinc colors en comptes de quatre. En aquest cas, en lloc de dues xifres significatives de color, n'hi haurà tres (tres xifres més multiplicador més tolerància).

1.3 Condensadors. Bobines

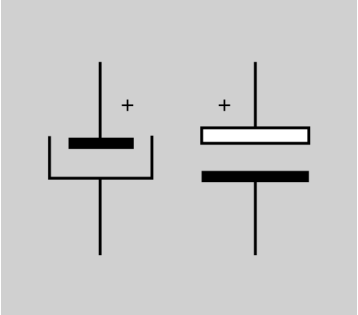
El condensador i la bobina són dos elements de circuit passius que són capaços d'emmagatzemar energia. En el cas dels condensadors, s'emmgagatzema energia elèctrica i en el cas de les bobines, energia magnètica.

Tant quan parlem de *condensadors* com de *bobines*, hi ha diferents tecnologies de fabricació, com en el cas de les resistències, que fan aparèixer tot tipus de peculiaritats en les seves característiques. A més, també hi ha condensadors i bobines fixos i variables.

1.3.1 Condensadors

El condensador emmagatzema energia en forma de camp elèctric. Aquesta propietat s'anomena **capacitància** o **capacitat** (**C**) i expressa la quantitat de càrregues elèctriques que és capaç d'acumular. Aquesta capacitat s'expressa en una unitat anomenada **farad** (**F**). Alguns símbols de condensadors apareixen en la figura 1.4.

Figura 1.4. Símbols de condensador electrolític i de tàntal



La capacitància o capacitat depèn de les característiques físiques del condensador:

- **Superfície de les plaques**: com més grans siguin les plaques, més capacitat té el condensador.
- **Distància entre les plaques**: com més distància hi hagi entre les plaques, menys capacitat té el condensador.
- **Material dielèctric**: els diferents materials que s'utilitzen com a dielèctrics tenen diferents graus de permitivitat. Com més permitivitat, més gran és la capacitat del condensador.

Els **condensadors** són uns dispositius electrònics que estan formats per dues plaques metàl·liques separades per un aïllant anomenat **dielèctric**. El dielèctric o aïllant és un material que evita el pas del corrent.

El que fa interessant el condensador és el fet que s'oposa als canvis bruscos de tensió, cosa que el fa molt útil en filtres i en estabilitzadors.

En cas de **connectar-lo a un circuit de corrent altern** (variable en el temps), el condensador, anàlogament a la resistència, s'oposa al flux de corrent, però a diferència de la resistència, aquesta oposició no s'anomena *resistència òhmica*, sinó **reactància capacitiva** (X_C) i es pot calcular mitjançant:

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

En què f és la freqüència del corrent altern en Hz i C és la capacitat del condensador en F. Observeu que com més alta és la freqüència, menys impedància

té el condensador. A freqüència zero (corrent continu) és com un circuit obert.

1.3.2 Bobines

La bobina emmagatzema energia en forma de camp magnètic. Aquesta propietat s'anomena **inductància** (**L**). Aquesta inductància s'expressa en una unitat anomenada **henry** (**H**). El símbol de la bobina es pot veure en la figura 1.5.

Figura 1.5. Símbol de l'inductor o bobina

Quan circula corrent per un conductor es crea un camp magnètic. Com que la bobina està feta amb espires de conductor, les línies del camp magnètic passen pel centre de la bobina i tanquen el seu camí per la banda exterior.

Una característica interessant de les bobines és que s'oposen als canvis bruscos del corrent que hi circula. Això significa que a l'hora de modificar el corrent que circula per les bobines, com per exemple, quan es connecta i desconnecta d'una font de corrent directe, aquesta tractarà de mantenir la seva condició anterior. Una **inductància** és un element que s'oposa a les variacions del corrent elèctric; per tant, és evident que reaccionarà només davant el corrent altern. Podem dir que la inductància tendeix a impedir que el corrent augmenti o disminueixi.

En cas de **connectar-la a un circuit de corrent altern** (variable en el temps), la bobina, anàlogament a la resistència, s'oposa al flux de corrent, però a diferència de la resistència, aquesta oposició no s'anomena *resistència òhmica*, sinó **reactància inductiva** (X_L) i es pot calcular mitjançant:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

En què f és la freqüència del corrent altern i L el valor de la inductància. Com més alta és la freqüència, més gran és la impedància. A freqüència zero (corrent continu), es comporta com un curtcircuit.

1.3.3 Codificació de valors de condensadors

A diferència de les resistències, no hi ha una única manera generalitzada d'expressar el valor d'un condensador. Entre d'altres, podem trobar les següents:

- **Codi de colors**: similar al de les resistències, és bastant obsolet.

- **Codificació directa**: es dóna directament el valor del condensador. Per exemple, **15p** vol dir **15 pF** (15 picofarads = $15 \cdot 10^{-12}$ F), o **6n8** vol dir **6,8 nF** (6,8 nanofarads = $6{,}8 \cdot 10^{-9}$).

- **Mantissa i exponent**: es dóna la mantissa i l'exponent del multiplicador. El resultat seran pF (picofarads). Per exemple, **334** vol dir **$33 \cdot 10^4$ pF = 330.000 pF = 330 nF**, o **102** vol dir **$10 \cdot 10^2$ pF = $10 \cdot 100$ pF = 1.000 pF = 1 nF**.

1.4 Díodes semiconductors

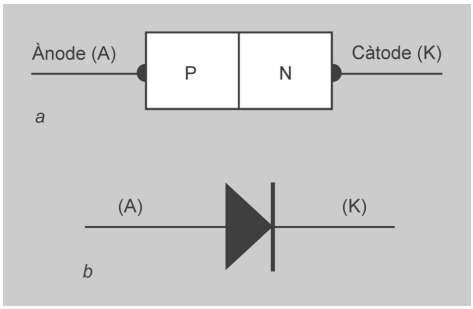
Zones P i zones N

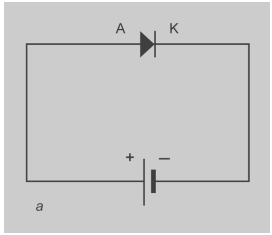
Els dispositius semiconductors (díodes i altres) es basen, com el nom indica, en materials semiconductors com el silici. Per si sols són aïllants, però **dopant** (sobrecarregant) unes zones positivament (zones P) i unes altres negativament (zones N), en la frontera entre les zones es pot produir conducció elèctrica forçant-la mitjançant una tensió elèctrica d'unes característiques concretes.

Un díode és un dispositiu que permet el pas del corrent elèctric en una única direcció. De manera simplificada, la corba característica d'un díode (I-V) consta de dues regions: per sota de certa tensió es comporta com un circuit obert (no condueix), i per sobre de certa tensió es comporta com un circuit tancat amb una resistència elèctrica molt petita (pràcticament un curtcircuit). A causa d'aquest comportament, se'ls sol denominar *rectificadors*, ja que són dispositius capaços de convertir un corrent altern en un de continu.

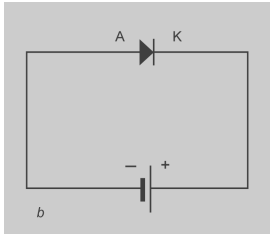
El díode està constituït per una unió P-N i disposa de dos terminals: l'**ànode** (**A**) connectat a la zona P, i el **càtode** (**K**) connectat a la zona N. En la figura 1.6 es pot veure un diagrama de la unió P-N i el símbol elèctric corresponent.

Figura 1.6. Unió P-N i símbol del díode





Díode polaritzat en directa



Díode polaritzat en inversa

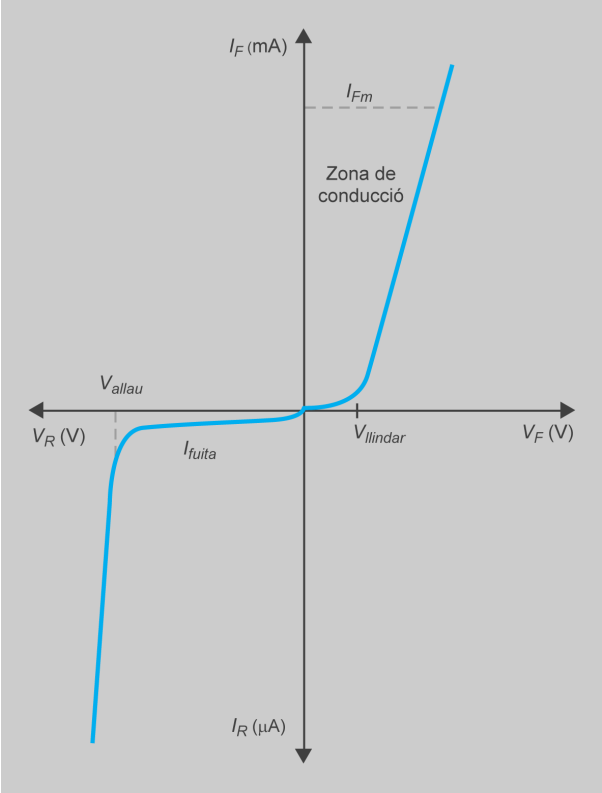
Quan es polaritza directament, l'ànode (A) es connecta al positiu de la pila i el càtode al negatiu. El díode condueix i es comporta com un curtcircuit o un interruptor tancat. La resistència que ofereix entre ànode i càtode en aquest cas és molt baixa, pràcticament nul·la.

En polarització inversa, connectem l'ànode al negatiu d'una pila i el càtode al positiu. El díode no condueix, i es comporta com un interruptor obert. La resistència entre ànode i càtode és molt elevada, pràcticament un circuit obert.

1.4.1 Corba característica. Zones de funcionament

Podem observar en la figura 1.7 la corba característica del díode.

Figura 1.7. Corba característica del díode



Distingim la **zona de conducció** (polarització directa) de la **zona de no-conducció** (polarització inversa). La **tensió de llindar** (V_{on}) és de 0,7 V per al díode de silici, i de 0,3 V per al de germani. S'ha de superar aquesta tensió en la polarització directa per considerar que el díode condueix. En polarització inversa hi ha un **tensió d'allau** que no s'ha de superar (el díode es trenca).

1.5 Rectificació. Filtres

Per *rectificació* s'ha d'entendre la conversió d'un corrent altern (per exemple, que canvia de signe) en un corrent continu (per exemple, que no canvia de signe, o sigui que pot variar en el temps, no necessàriament ha de ser *constant*).

Fet aquest aclariment, el principal element utilitzat en qualsevol procés de rectificació del senyal elèctric és el díode. En funció del tipus de rectificació que es vulgui, la configuració dels díodes rectificadors és variada. Bàsicament, hi ha dos tipus de rectificació:

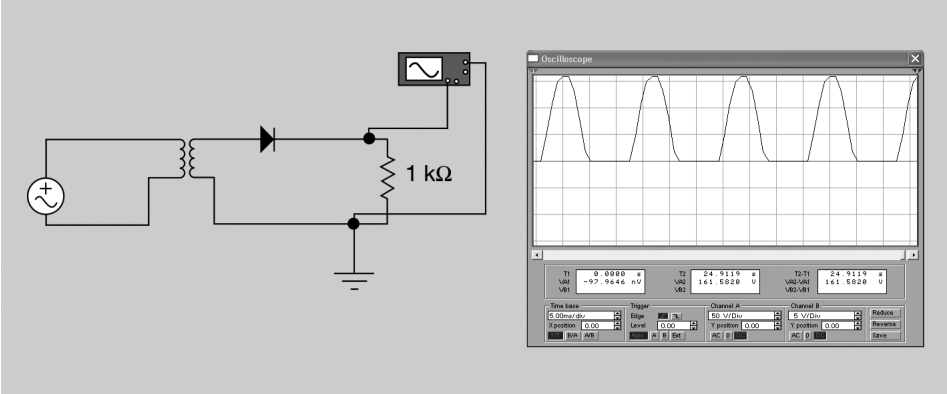
1. Rectificació de mitja ona

2. Rectificació d'ona completa o doble ona

1.5.1 Rectificació de mitja ona

El rectificador de mitja ona és el rectificador més senzill: utilitza únicament un díode. Se'n mostren l'esquema i el senyal de sortida en la figura 1.8.

Figura 1.8. Rectificació de mitja ona



La rectificació de mitja ona consisteix a eliminar un semiperíode de la tensió aplicada a l'entrada. Quan la tensió a l'entrada del rectificador sigui positiva, la tensió de l'ànode serà més gran que la del càtode, i per tant el díode conduirà, i quan la tensió sigui negativa, la tensió a l'ànode serà més petita que la del càtode, i per tant el díode no conduirà.

1.5.2 Rectificació d'ona completa o de doble ona

La majoria de fonts d'alimentació utilitzen aquest tipus de rectificador, en el qual els dos semiperíodes del senyal aplicat a l'entrada passen a tenir la mateixa polaritat, com es mostra en la figura 1.9.

El circuit més utilitzat que fa aquesta operació és l'anomenat **pont de Graetz** o **pont de díodes**, que apareix en la figura 1.10.

En aquest circuit condueixen dos díodes dels quatre a la vegada, en cada un dels semiperíodes del senyal de sortida. Això fa que les pèrdues siguin aproximadament de 2 volts, ja que són dos díodes polaritzats directament.

Aquest tipus de rectificador és tan comú que es venen els quatre díodes ja empaquetats en un sol component (figura 1.11).

Figura 1.9. Senyal rectificat de doble ona

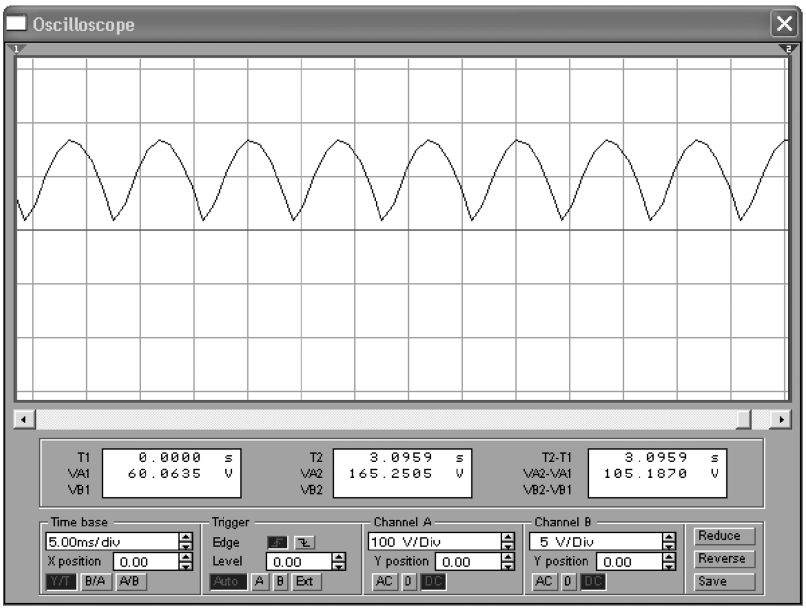


Figura 1.10. Rectificador amb pont de díodes

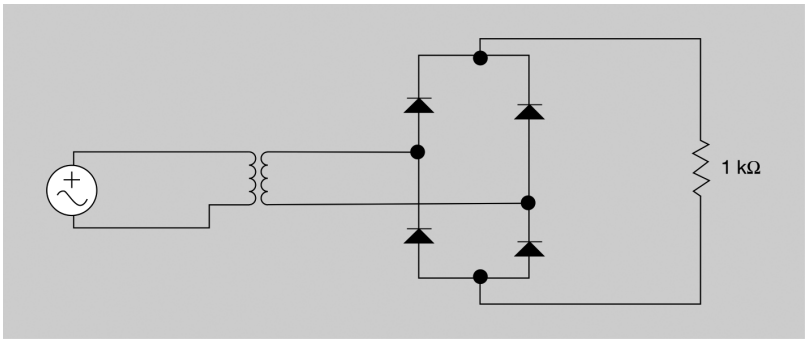
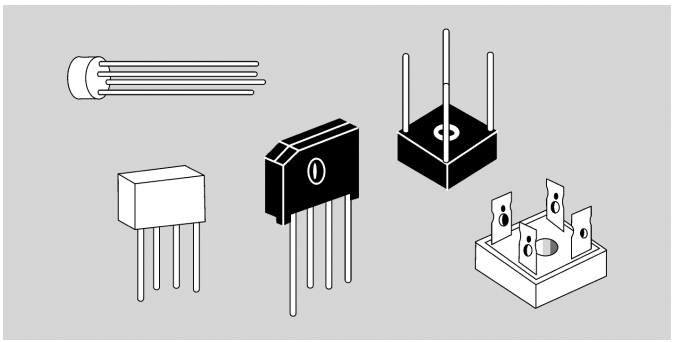


Figura 1.11. Ponts de díodes integrats



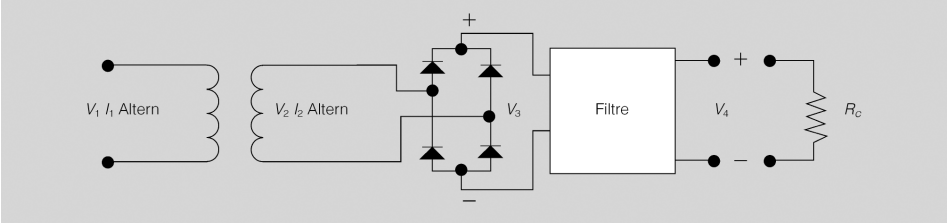
1.5.3 Filtres

En fonts d'alimentació, l'objectiu del **filtre** és reduir la tensió d'arrissament per augmentar el valor mitjà de l'ona rectificada. S'intenta aconseguir la tensió de sortida més estable i constant possible (se'n pot veure la ubicació en la figura 1.12).

Tensió d'arrissament

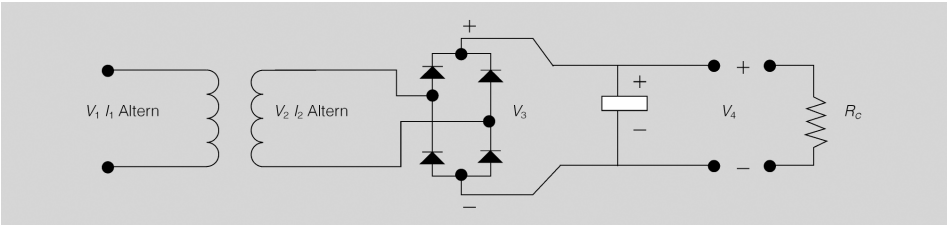
La tensió d'arrissament és la petita fluctuació o oscil·lació que pateix el senyal continu d'una font d'alimentació.

Figura 1.12. Filtre d'arrissament



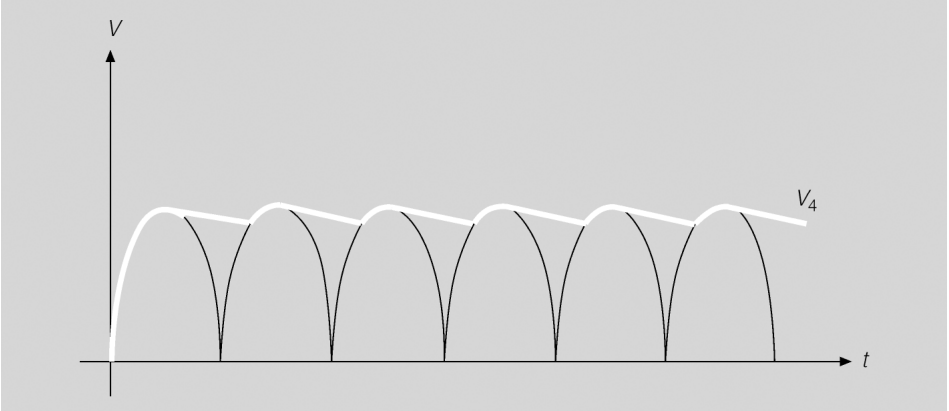
El filtre que s'utilitza més en les FA consisteix a col·locar un condensador en paral·lel amb la resistència de càrrega (figura 1.13).

Figura 1.13. Filtre d'un condensador



En la figura 1.14 es pot veure la tensió a la sortida del rectificador (**negre**) i la tensió a la sortida del filtre (**blanc**). D'aquesta manera se'n pot observar el funcionament.

Figura 1.14. Sortida del filtre d'arrissament



El condensador es va carregant fins a arribar al valor màxim de l'ona de sortida del rectificador; quan la tensió cau, el condensador es va descarregant i forma la recta que s'observa, fins que l'ona rectificada torna a ser més gran que la tensió acumulada al condensador. Aquest es torna a carregar fins al valor màxim de l'ona rectificada i es repeteix el cicle.

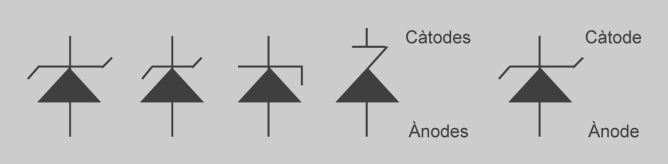
El pendent d'aquesta recta de descàrrega del condensador serà més petit com més temps trigui a descarregar-se el condensador. Això s'aconsegueix amb una capacitat gran.

Per al filtre hi ha altres opcions més complexes, com ara filtres LC.

1.6 Díodes Zener. Característiques i aplicacions

El díode Zener té els mateixos pius que el díode rectificador, i es representa amb els símbols de la figura 1.15.

Figura 1.15. Símbols elèctrics de díodes Zener

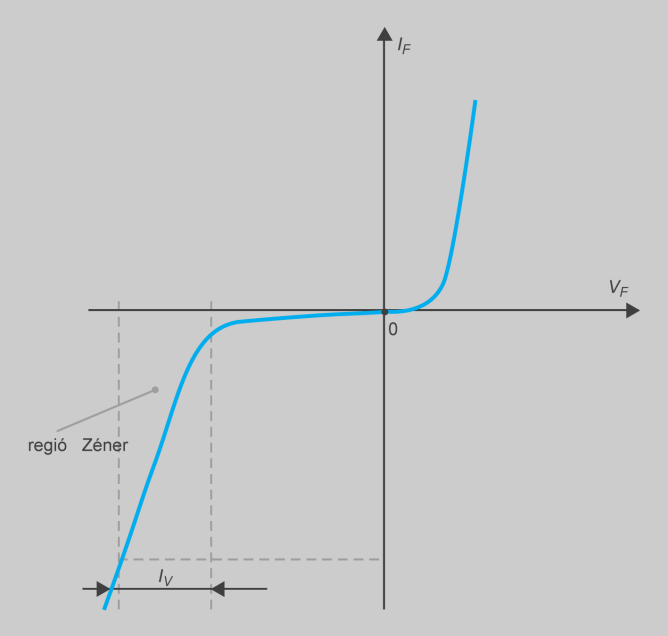


En polarització directa es comporta com un díode normal, però en polarització inversa, quan arriba a la tensió d'allau, estabilitza la seva tensió entre el càtode i l'ànode al valor de **tensió de Zener** (V_z). La tensió de Zener pràcticament no canvia si hi ha variacions de corrent, és a dir, es manté la V_z i el díode no es destrueix.

La principal aplicació dels díodes Zener és l'**estabilització de tensió**, fent servir la seva **tensió de Zener** a aquest efecte.

En la figura 1.16 es pot veure la corba característica tensió-corrent d'un díode Zener qualsevol. Es pot observar que a la part esquerra de la gràfica (tensions negatives, o sigui, en inversa), en lloc de tenir una tensió d'allau (ruptura del díode) tenim una *tensió de Zener*, que en realitat varia molt poc, a la qual es queda *clavat* el díode quan l'assoleix.

Figura 1.16. Corba característica d'un díode Zener



Els paràmetres més rellevants del díode Zener són la tensió de Zener (V_z) i la potència (P_z), que en dispositius de baixa potència és de 0,4 W o 1,3 W.

1.7 Components actius. Característiques i aplicacions

Per definició, els components actius són aquells que poden fer alguna de les tasques següents:

- **Excitar circuits**: proporcionar senyals d'alimentació o d'entrada al circuit.
- **Donar guanys**: amplificar senyals del circuit.
- **Controlar**: prendre decisions automàticament sobre el comportament del circuit.

A grans trets, es podria dir que els elements actius són aquells que necessiten alimentació extra per fer la seva tasca (per exemple, un resistència no necessita alimentació extra, sinó que treballa directament amb el senyal que li arriba, però un amplificador *engreixa* el senyal que li arriba gràcies a una aportació externa d'energia, que és l'alimentació de l'amplificador). Els components actius més habituals són:

- **Díodes**: basats en uns materials anomenats *semiconductors*, són capaços de conduir corrent elèctric en només un sentit i a més fer-ho de manera controlada, segons les seves característiques.
- **Tiristors** o **SCR**: són un tipus de díode controlable per tensió.
- **DIAC** i **TRIAC**: també anomenats *díodes* i *tríodes d'alterna*, són dispositius semiconductors que poden conduir corrent en tots dos sentits.
- **Transistors**: dispositius semiconductors capaços d'amplificar un corrent o d'obrir-li i barrar-li el pas.
- **Amplificadors operacionals**: conjunt de transistors integrats en un únic circuit que té dues entrades i una sortida, i que serveix per fer operacions matemàtiques entre les entrades. Segurament és el circuit més versàtil de l'electrònica analògica.
- **Components digitals**: circuits lògics i programables.

Les principals aplicacions d'aquests components apareixen en la taula 1.3.

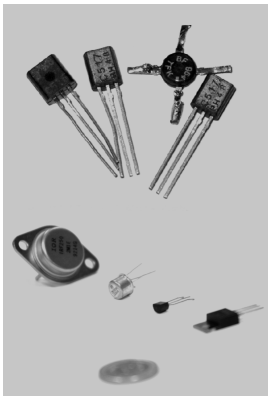
Taula 1.3. Aplicacions dels components actius

Component	Aplicacions principals
Díode	Rectificació, regulació
Tiristor	Control de sistemes de potència

Taula 1.3 (continuació)

Component	Aplicacions principals
DIAC, TRIAC	Control de sistemes de potència
Transistor	Amplificació, oscil·lació, commutació, rectificació
Amplificador operacional	Amplificació, oscil·lació, commutació, rectificació, filtratge, suma, resta, integració, derivació
Components digitals	Sistemes lògics programables i no programables

1.8 El transistor. Polarització



Diferents transistors amb diferents encapsulacions

El **transistor** és un dispositiu semiconductor d'estat sòlid que s'utilitza per a l'amplificació i la commutació, i té tres terminals: un petit corrent o voltatge aplicat a un dels terminals controla el corrent en els altres dos. El transistor és el component principal de tota l'electrònica moderna, i el més utilitzat des del seu descobriment.

Hi ha dos tipus bàsics de transistors, els bipolars (BJT) i els d'efecte camp (FET), i cadascun funciona de manera diferent. El transistor bipolar s'anomena així perquè el canal de conducció principal usa tant electrons com buits per transportar el corrent elèctric principal. Els d'efecte camp (també anomenats *unipolars*) solament usen un dels dos tipus de transportador (o buits, o electrons).

BJT: de l'anglès *bipolar junction transistor* o *transistor d'unions bipolars*.

Història del transistor

El transistor va ser inventat als Laboratoris Bell el desembre de 1947 (mostrat per primera vegada el 23 de desembre) per John Bardeen, Walter Houser Brattain i William Bradford Shockley, als quals es va concedir el premi Nobel de física el 1956. Irònicament, s'havien proposat crear un transistor d'efecte camp (FET) predit per Julius Edgar Lilienfeld ja el 1925, però al final van descobrir l'amplificació de corrent en el transistor amb punts d'unió que posteriorment evolucionà fins a convertir-se en el transistor bipolar (BJT).

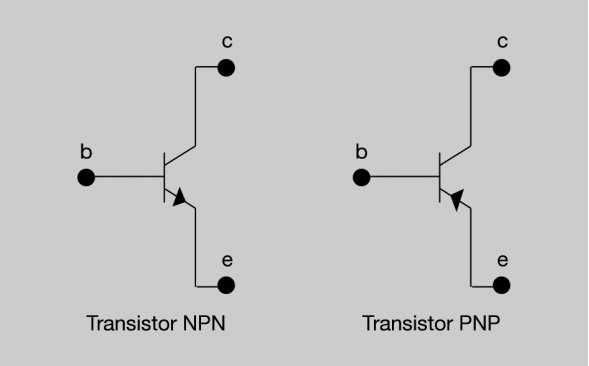
Un **transistor bipolar** (BJT) és un tipus de transistor, un dispositiu que pot funcionar com a amplificador o commutador fet amb semiconductors dopats. El BJT està compost per diverses capes de material dopat, sia NPN o PNP.

Transistors NPN i PNP

Els cristalls de tipus *P* són cristalls de silici als quals s'han afegit impureses amb cristall d'indi o gal·li o qualsevol altre element del grup 3 de la taula d'elements químics. Els cristalls de tipus *N* són el resultat d'afegir al silici àtoms del grup 5 com pot ser l'arsènic. En els transistors NPN, s'utilitzen dos cristalls de silici del tipus *N* i un del tipus *P*. En el transistor PNP, es fan servir dos cristalls de silici de tipus *P* i un de tipus *N*.

Els transistors bipolars són components semiconductors, formats per la unió de tres cristalls de silici contaminats amb algun tipus d'impuresa i que poden funcionar com a amplificadors. L'ordre de col·locació dels cristalls dóna lloc als dos tipus de transistors: els **NPN** i els **PNP**. Tots dos tipus de transistors tenen tres terminals (vegeu la figura 1.17), connectats internament a cada un dels cristalls, anomenats: **base -b-**, **col·lector -c-** i **emissor -e-**.

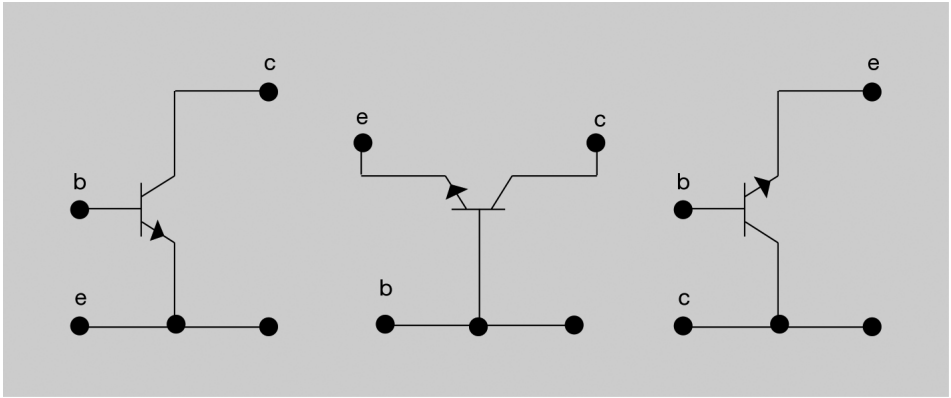
Figura 1.17. Símbols de transistors BJT



El transistor és un element amplificador que proporciona a la sortida un corrent proporcional a l'aplicat a l'entrada. El transistor té tres terminals, però abans hem vist que un amplificador té quatre terminals, dos d'entrada i dos de sortida. Per aquest motiu, s'utilitza una de les tres potetes del transistor com a terminal comú a l'entrada i a la sortida.

D'acord amb això, hi ha tres possibles configuracions, tal com es mostra en la figura 1.18: **emissor comú (EC)**, **base comuna (BC)** i **col·lector comú (CC)**.

Figura 1.18. Muntatge en EC, BC i CC



El muntatge en EC és el més utilitzat per amplificar, ja que el guany de corrent és elevat. En el muntatge BC, el guany de corrent és pràcticament igual a 1, la resistència d'entrada és molt petita i la de sortida molt gran. Per acabar, en el CC el guany de corrent és elevat i presenta una resistència d'entrada petita i una de sortida elevada.

1.8.1 Zones de funcionament

El transistor té tres zones de funcionament:

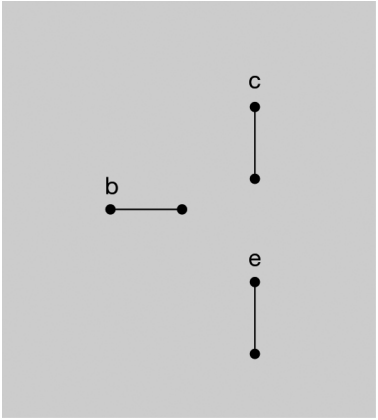
- Tall
- Saturació

- Activa

En circuits de commutació, es fa treballar el transistor en saturació i tall. Si voleu utilitzar el transistor per amplificar, ha de treballar en la zona activa.

Quan funciona en **tall**, el transistor es comporta com un interruptor obert entre el col·lector i l'emissor. Observeu la figura 1.19.

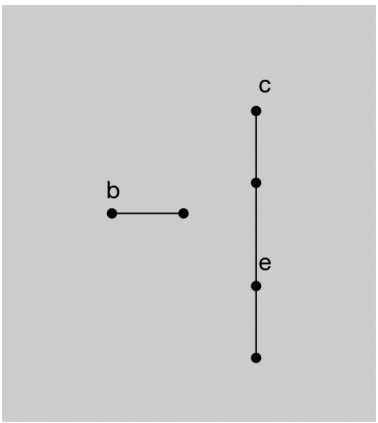
Figura 1.19. Circuit equivalent d'un transistor en tall



Si agafeu com a referència el circuit EC, els valors de tensió entre base i emissor són més baixos que 0,7 V (V_{BE} < 0,7 V), la tensió entre el col·lector i l'emissor (V_{CE}) és igual a la tensió al col·lector (V_C). En tots tres terminals les intensitats són nul·les, ja que estan en circuit obert.

En **saturació**, el transistor es comporta com un interruptor tancat entre el col·lector i l'emissor. Observeu la figura 1.20.

Figura 1.20. Circuit equivalent d'un transistor en saturació



Tenint com a referència el circuit EC, la tensió V_{CE} és aproximadament 0,2 V, la tensió V_{BE} = 0,7 V i la intensitat que circula pel terminal col·lector és la mateixa que a l'emissor.

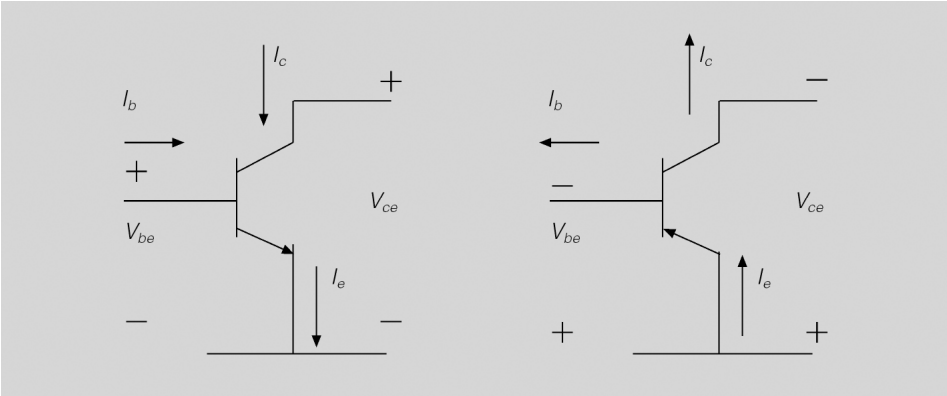
1.8.2 Circuits de polarització

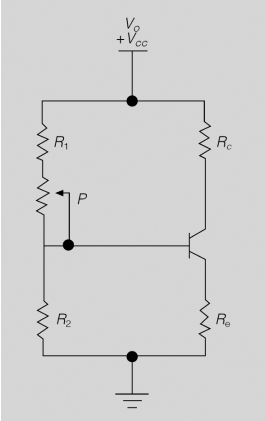
La polarització del transistor consisteix a col·locar el seu punt de treball en zona activa. Això s'aconsegueix amb una xarxa de resistències.

Per poder treballar en zona activa i fer circuits amplificadors, el transistor ha d'estar correctament polaritzat. Per poder-lo polaritzar s'utilitzen resistències.

La polarització d'un transistor NPN és diferent de la d'un PNP. En la figura 1.21 podeu observar la polarització d'un transistor NPN i la d'un PNP. Podeu comprovar que les polaritats de les tensions són diferents i el sentit dels corrents també.

Figura 1.21. Polarització de transistor NPN i polarització de transistor PNP





Circuit de polarització universal

Perquè el transistor bipolar pugui amplificar és necessari polaritzar cada un dels seus terminals, tal com es mostra en la figura 1.21. En els NPN, el col·lector ha de ser sempre positiu respecte a l'emissor, en canvi, en els PNP és el contrari. Si els transistors estaven polaritzats es generen tres corrents diferents en cada un dels terminals que compleixen les equacions següents:

$$I_e = I_c + I_b$$

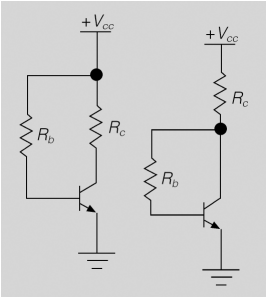
$$I_c = \beta \cdot I_b$$

En què β és el guany de corrent en continu, i és una característica de cada transistor.

Hi ha diferents tipus de circuits de polarització, però el més utilitzat és el **circuit de polarització universal**, ja que proporciona una gran estabilitat.

Polarització fixa i amb realimentació

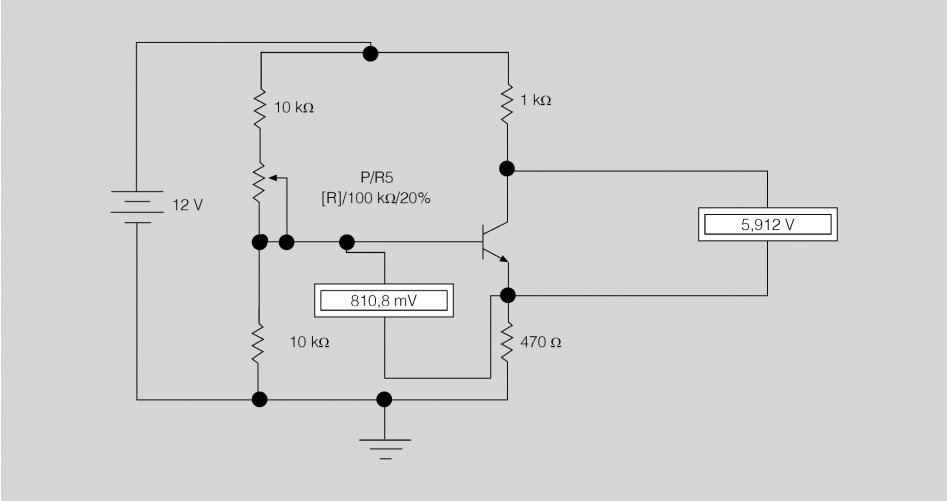
Els circuits de polarització fixa i amb realimentació són els circuits més bàsics utilitzats. Però presenten un problema: amb el pas del temps les característiques del transistor es veuen afectades (per la calor que desprèn, la humitat, les intensitats que la travessen, etc.), cosa que fa que deixi de treballar en una zona activa i que el circuit no funcioni. Com que en aquest tipus de polarització no hi ha cap resistència ajustable, no es podria reparar, s'hauria de canviar el transistor.



Circuits de polarització fixa i polarització amb realimentació

En la figura 1.22 el circuit està format per quatre resistències i un potenciòmetre. Un cop fixat el valor de cada resistència, es varia el potenciòmetre fins que la tensió V_{ce} és igual a la meitat de la tensió d'alimentació. D'aquesta manera ens assegurem que el transistor es troba en zona activa.

Figura 1.22. Transistor NPN polaritzat en una zona activa



V_{ce}: tensió entre el terminal col·lector i el terminal emissor del transistor

En la figura 1.22 podeu veure el transistor amb el circuit de polarització universal. S'han col·locat dos voltímetres que mesuren les tensions V_{be} i V_{ce} per comprovar si està en una zona activa. S'ha anat variant el potenciòmetre fins que la V_{ce} és aproximadament la meitat de l'alimentació, en el nostre cas la meitat de 12 V. El valor de V_{ce} que podeu aconseguir és 5,912 V i observeu que la V_{be} = 0,810 V. Amb aquests dos valors podeu assegurar que el transistor està en zona activa.

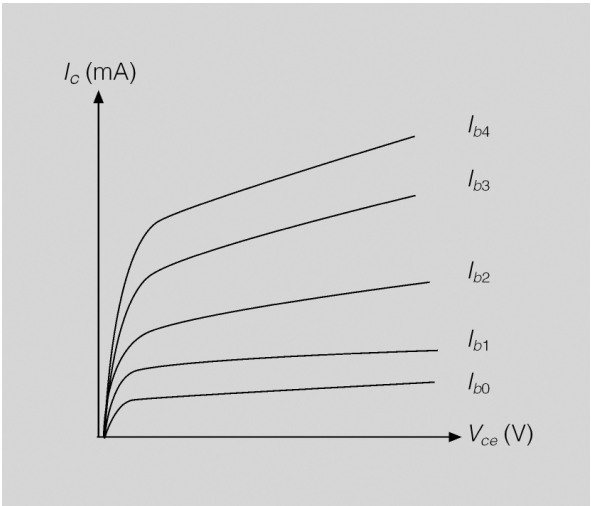
1.8.3 Recta de càrrega i punt de treball (Q)

Recta de càrrega i punt de treball

La recta de càrrega s'obté a partir de les resistències utilitzades en el circuit de polarització del transistor, la qual es representa sobre les corbes característiques del transistor que ens dóna el fabricant. S'utilitza per poder determinar en quina zona funciona el transistor. El punt de treball és un punt qualsevol de la recta de càrrega. Segons en quina posició es troba, el transistor estarà en saturació, en tall o actiu.

Per poder representar la recta de càrrega i determinar el punt de treball s'utilitzen les corbes característiques del transistor. Aquestes corbes són la representació gràfica de les magnituds més importants del transistor (V_{be}, V_{ce}, I_b, I_c). Per consideracions pràctiques, el muntatge EC és el més utilitzat i per aquest motiu les concretarem en aquest muntatge.

Figura 1.23. Corbes característiques del transistor en muntatge EC



En la figura 1.23 podeu veure les corbes característiques d'EC. Sobre aquesta gràfica es dibuixa la recta de càrrega i es determina el punt de treball (***Q***). La recta de càrrega s'obté del circuit de polarització. En el circuit de polarització universal, la recta de càrrega és igual a:

$$V_{CC} = V_{ce} + I_c \cdot (R_c + R_c)$$

Per representar la recta ens faran falta dos punts. Aquests punts es poden veure gràficament en la figura 1.24:

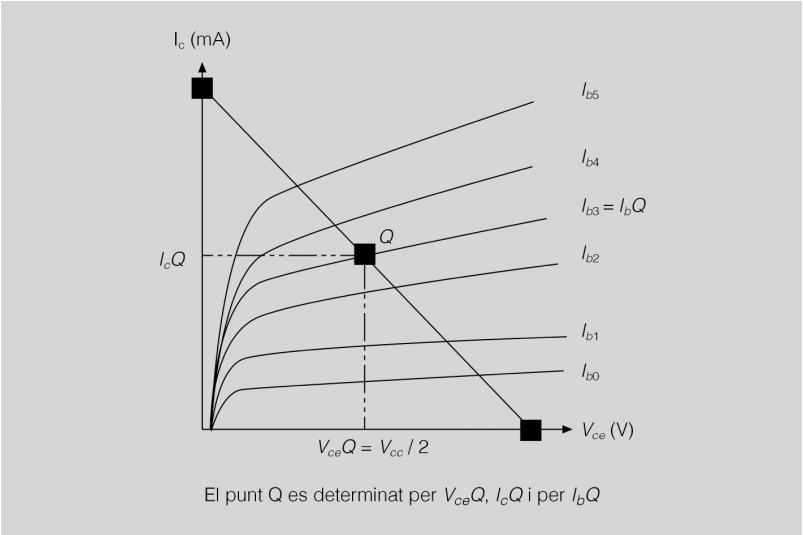
- El **primer punt** el trobeu quan la recta talla amb l'eix V_{ce}, llavors la I_c = 0; substituint, teniu que:

$$V_{CC} = V_{ce}$$

- El **segon punt**, quan la recta passa per l'eix I_c, llavors V_{ce} = 0, i teniu que:

$$I_c = \frac{V_{CC}}{R_c + R_c}$$

Figura 1.24. Representació gràfica de la recta de càrrega i del punt de treball Q



El **punt de treball** es col·loca al mig de la recta de càrrega. Observeu que en el punt Q la V_{ce} és igual a la meitat de la V_{CC}: d'aquesta manera el transistor es troba en zona activa i amplifica el senyal d'entrada al màxim sense cap distorsió.

2. Fonts d'alimentació

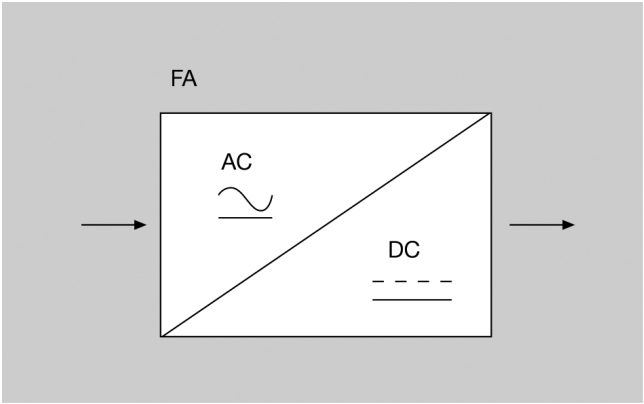
Font d'alimentació d'un ordinador personal (PC)

En un endoll domèstic tenim 230 V 50 Hz.

Qualsevol equip electrònic —sia un televisor, un DVD, un computador, un equip d'àudio, etc.— disposa d'una font d'alimentació (FA). Aquesta s'encarrega de subministrar les diferents tensions per tal que la resta de circuits de l'equipament funcioni correctament. **Si falla la FA, falla tot l'equip**.

La tensió per a l'ús domèstic i industrial se subministra en corrent altern; per tant, serà necessari transformar aquest senyal altern en un senyal continu. El seu símbol apareix en la figura 2.1.

Figura 2.1. Símbol de la font d'alimentació



Soroll

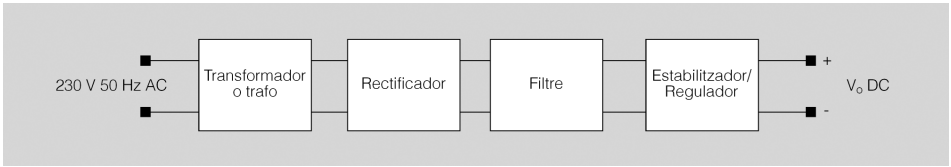
El soroll és el senyal no desitjable que apareix conjuntament amb el senyal de sortida i, si és prou gran, en modifica la forma i el valor. Per exemple, quan fem servir l'assecador davant d'un televisor en marxa es produeixen fluctuacions de la imatge.

La funció de la font d'alimentació és transformar la tensió alterna (corrent altern, AC) a tensió contínua (corrent continu, DC) de la manera més estable possible, sense sorolls, i així subministrar les tensions necessàries per al funcionament correcte dels components electrònics que formen part d'un aparell.

2.1 Fonts lineals: estabilització i regulació amb dispositius integrats

En la figura 2.2 podeu veure la connexió de cadascun dels blocs d'una font lineal. A l'entrada tenim un senyal AC i a la sortida DC; com que és un senyal continu hem de diferenciar el terminal positiu del negatiu. Després del bloc rectificador, el senyal tractat ja té polaritat. A la sortida de cada un d'aquests blocs tenim un tipus d'ona diferent; per tant, observant-la, podrem detectar avaries, mals funcionaments i verificar que funciona correctament. Per poder fer aquests mesuraments és necessari saber utilitzar correctament l'**oscil·loscopi** i el **multímetre**.

Figura 2.2. Diagrama de blocs de la font d'alimentació (FA)

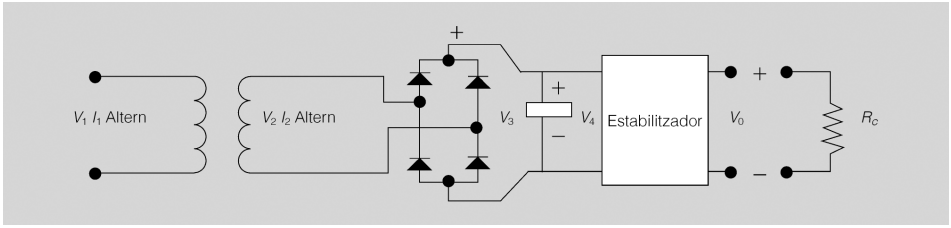


Una font d'alimentació lineal està formada pels blocs següents:

- Transformador
- Rectificador
- Filtre
- Estabilitzador o regulador

L'estabilitzador és l'últim bloc de la FA i, com el seu nom indica, té la funció d'eliminar les fluctuacions de la tensió de sortida, és a dir, estabilitzar-la a una tensió contínua (figura 2.3).

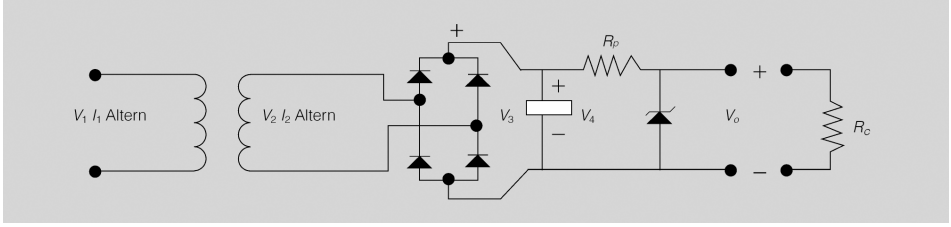
Figura 2.3. Font d'alimentació amb estabilitzador

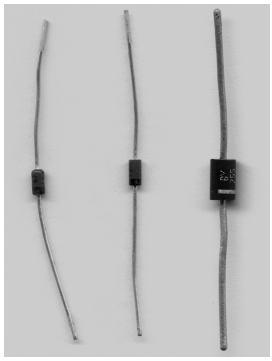


2.1.1 Estabilitzador amb díode Zener

En la figura 2.4 podeu veure l'esquema final d'una FA amb l'esquema de connexió de l'estabilitzador.

Figura 2.4. Esquema de FA amb díode Zener





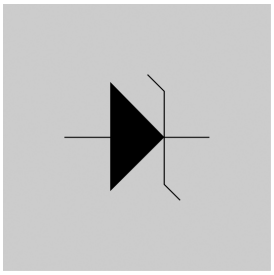
Diferents díodes Zener

El díode Zener s'utilitza en sentit invers en el circuit estabilitzador.

El **díode Zener** és un element electrònic bàsic, que en sentit directe es comporta com un díode normal. Però, al contrari del díode, quan es polaritza en sentit invers, també condueix, i manté en els extrems una tensió constant, fins i tot si varia el corrent invers que el travessa.

El símbol del díode Zener és el que apareix en la figura 2.5.

FIGURA 2.5. Símbol del díode Zener



Les característiques principals del díode Zener són les següents:

- $\boldsymbol{V_z}$: tensió de Zener, que és aquella que es manté constant en els extrems del díode quan està polaritzat inversament.
- $\boldsymbol{I_{z\,mín}}$: valor mínim en què el díode es manté constant en la zona inversa.
- $\boldsymbol{P_z}$: potència màxima que pot arribar a dissipar.

Valors típics de díodes Zener

Díodes Zener de V_z igual a: 5V1 = 5,1 volts, 8V2 = 8,2 volts... Normalment en l'encapsulació va imprès aquest valor.

Per trobar el valor de la resistència de protecció (R_p) del díode Zener per a un circuit com el de la figura 2.4, utilitzarem la fórmula següent:

$$R_p = \frac{V_4 - V_z}{I_o + I_{zmin}}$$

En què V_4 és la tensió de sortida del filtre i I_o és la intensitat que es vol lliurar a la càrrega.

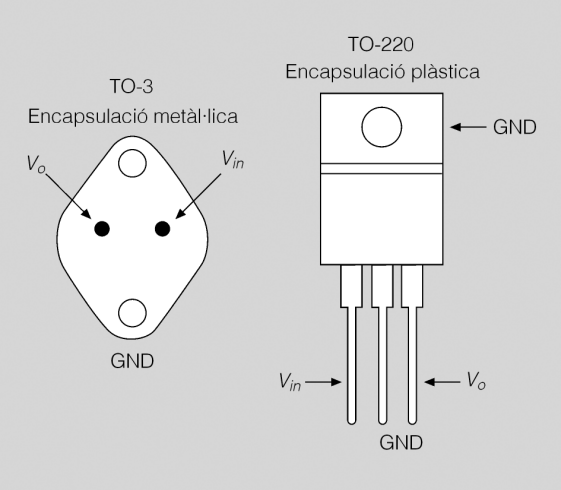
El valor de $\boldsymbol{V_z}$ **del díode** que utilitzarem ha de ser igual a la tensió desitjada a la sortida V_o, ja que el díode Zener mantindrà aquest valor constant (V_z = V_o).

2.1.2 Estabilitzador amb reguladors integrats

Els reguladors de tensió més habituals són els de tres terminals. Hi ha diferents encapsulacions, com les que apareixen en la figura 2.6, depenent del consum de potència que han de tenir.

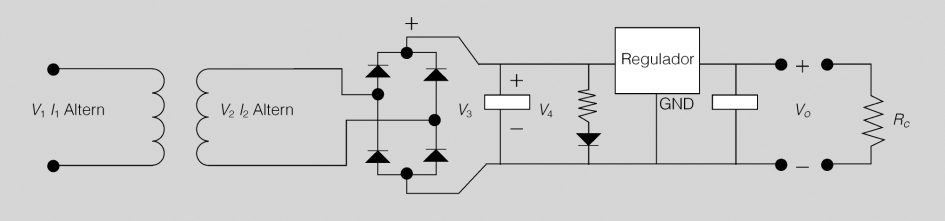
Els **reguladors** són circuits formats per un nombre elevat de components, integrats dins d'una única encapsulació, que són capaços de proporcionar una tensió constant a la sortida. Els reguladors redueixen la tensió d'arrissament unes 100.000 vegades, cosa que esdevé negligible a la pràctica.

Figura 2.6. Encapsulacions de reguladors de tensió



En la figura 2.7 apareix una font d'alimentació amb regulador integrat.

Figura 2.7. Esquema de FA amb regulador



Les característiques o requisits del circuit de la figura 2.7 són:

- La tensió entre V_o i GND serà de valor fix i estable, i dependrà del tipus de regulador.
- La tensió d'entrada al regulador V_4 ha de ser uns 3 volts superior a la V_o per tal d'assegurar el funcionament correcte del circuit regulador.
- El condensador de sortida evita possibles oscil·lacions o impureses.

Radiador com a dissipador

Quan utilitzem un radiador per dissipar la calor, la superfície d'unió s'ha de protegir mitjançant una pasta conductora de la calor i de l'electricitat, per tal de millorar-ne la transmissió, omplint possibles forats i impedint la corrosió de l'alumini produïda pel pas d'un corrent.

Alguns reguladors permeten el muntatge d'un radiador mitjançant un orifici (com és el cas de l'encapsulació TO-220). L'orifici és metàl·lic i coincideix amb el terminal GND. El radiador es col·locarà verticalment, i és millor utilitzar el tipus d'aleta anoditzada i negra, ja que dissipa més calor que les d'alumini blanc. L'objectiu principal és refredar el regulador; si no ho aconseguim, s'han d'utilitzar altres mètodes de refrigeració com poden ser ventiladors, com es fa, per exemple, en la FA d'un ordinador personal.

Els reguladors més utilitzats són els **78XX** i **79XX**. La nomenclatura utilitzada és descrita en la taula 2.1.

Taula 2.1. Descripció de la nomenclatura dels reguladors de tensió

Primer grup	Lletres que indiquen el fabricant
Segon grup	**78** si la tensió de sortida és positiva, **79** si és negativa
Tercer grup	**M** si $I_{omàx}$ = 0,5 A, **S** si $I_{omàx}$ = 2 A, cap si $I_{omàx}$ = 1,5 A
Quart grup	Valor nominal de la tensió de sortida, en dues xifres
Cinquè grup	**C** si la temperatura de funcionament va de 0 a 155 ºC, cap si va de —55 a 155 ºC
Sisè grup	Una lletra que fa referència al tipus d'encapsulació

A part dels reguladors de sortida fixa, n'hi ha d'ajustables, com el component **LM317**.

2.2 Fonts commutades: característiques, fonaments i blocs funcionals

Les fonts commutades són circuits electrònics que converteixen un corrent continu en un corrent polsant de freqüència alta, que després es convertiran una altra vegada en un corrent continu.

Les fonts commutades es van desenvolupar inicialment per a aplicacions militars i aeroespacials en els anys seixanta. La raó principal d'aquest desenvolupament es basava en el fet que tenien un pes i un volum molt més reduïts que les fonts lineals.

D'aleshores ençà s'han desenvolupat diverses topologies i circuits de control que han esdevingut d'ús comú en fonts commutades per a aplicacions industrials i comercials.

Sobretensió

La sobretensió és una tensió que supera els límits determinats pel fabricant de l'element connectat a la font d'alimentació.

Avui en dia la majoria dels equips que utilitzem tenen alimentacions de 12 V.

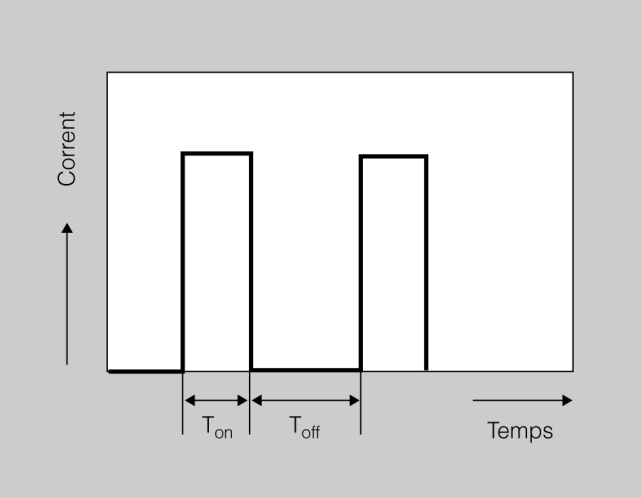
Els avenços de la tecnologia han implicat també que aquests equips comportin un alt grau de sofisticació i que, per tant, siguin molt sensibles als sorolls, les sobretensions o els canvis bruscos en les tensions d'alimentació.

La sofisticació dels equips electrònics ha fet imprescindible que les fonts d'alimentació regulades garanteixin l'estabilitat de la tensió que alimenta l'equip. D'altra banda, per poder aconseguir potències de sortida d'uns 100 a 500 W amb les baixes tensions que necessiten els transistors actuals (12 V), calen corrents d'alimentació alts (20 A o més), la qual cosa ha implicat que les antigues fonts basades en transformadors voluminosos s'hagin substituït per fonts més segures i més petites, les **fonts commutades**.

2.2.1 Reguladors commutats a la freqüència pròpia

Les fonts commutades són circuits que generen la seva freqüència de treball, per la qual cosa es diu que són reguladors a la freqüència pròpia, per diferenciar-los dels reguladors que funcionen a la freqüència de la xarxa elèctrica. Poden funcionar a una freqüència fixa o variable, i fan servir convertidors a partir d'un corrent continu per generar un corrent polsant de cicle de treball o freqüència variable. En la figura 2.8 podem veure el temps de variació del cicle de treball.

Figura 2.8. Temps de sortida del convertidor

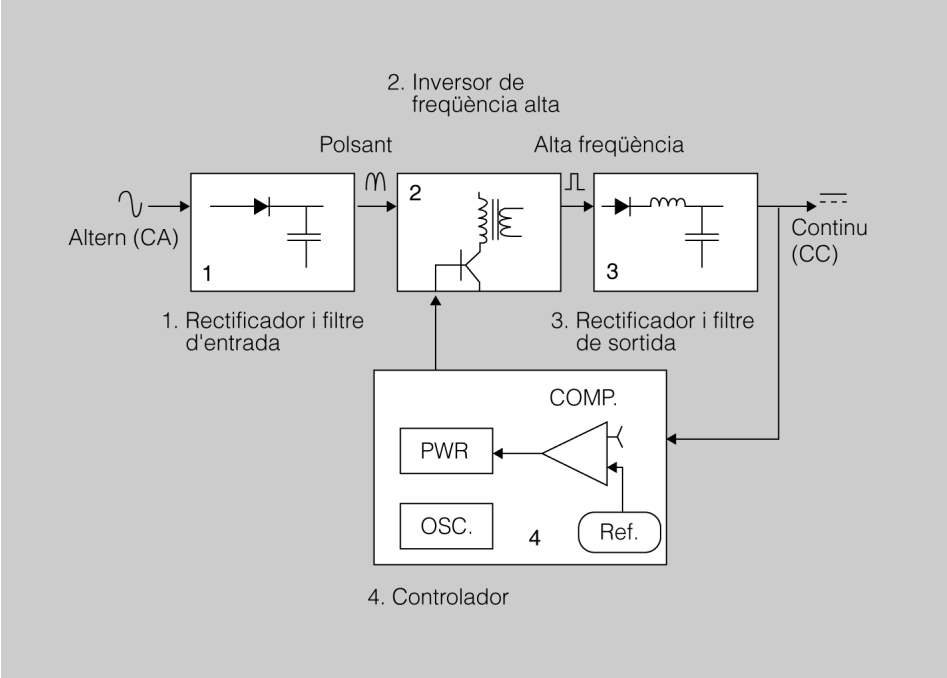


2.2.2 Configuracions bàsiques

Les **fonts commutades** són circuits relativament complexos, però sempre en podem diferenciar quatre blocs constructius bàsics, com es mostra en la figura 2.9.

- El primer bloc rectifica i filtra la tensió alterna d'entrada i la converteix en una tensió contínua polsant.
- El segon bloc s'encarrega de convertir la tensió contínua en una ona quadrada d'alta freqüència (de 10 a 200 kHz). Aquesta és aplicada a una bobina o al primari d'un transformador.
- El tercer bloc rectifica i filtra la sortida d'alta freqüència del bloc anterior i dóna una tensió contínua pura.
- El quart bloc s'encarrega de regular l'oscil·lació del segon bloc. Aquest bloc consisteix en un oscil·lador de freqüència fixa, una tensió de referència, un comparador de tensió i un modulador d'amplada de pols (*pulse width modulator*, PWM).

Figura 2.9. Esquema de blocs d'una font commutada



Modulador d'amplada de pols (PWM)

Un modulador d'amplada de pols (PWM) és un circuit que genera una freqüència en funció d'un senyal d'entrada en comparació amb un altre de referència, de manera que l'amplada del pols varia en funció d'aquest senyal d'entrada.

El **modulador d'amplada de pols** (PWM) rep el pols de l'oscil·lador i en modifica el cicle de treball segons el senyal del comparador, el qual confronta la tensió contínua de la sortida del tercer bloc amb la tensió de referència.

En la majoria dels circuits de fonts commutades trobarem el primer i el quart blocs com a elements pràcticament invariables. En canvi, el segon i el tercer tindran diferents tipus de configuracions.

De vegades el quart bloc estarà format per un circuit integrat; altres vegades, però, ens trobarem amb circuits totalment transistoritzats. El segon bloc és realment l'ànima de la font i tindrà configuracions bàsiques anomenades **reductor** (*buck*), **elevador** (*boost*) i **reductor-elevador** (*buck-boost*).

Filtre LC: filtre format per bobina i condensador.

Reductor (buck)

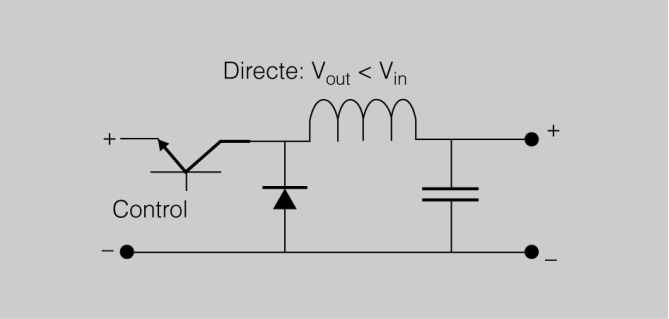
El reductor és un circuit, de configuració bàsica, del segon bloc d'una font commutada (figura 2.10); aquest circuit interromp l'alimentació i proveeix d'una ona quadrada d'amplada de pols variable un simple filtre LC. La tensió es produeix per mitjà de la variació de la freqüència de treball del transistor. La característica més important d'aquest circuit és que **la tensió de sortida V_{out} és més petita que la tensió d'entrada V_{in}**:

V_{out} és l'abreviatura de *tensió de sortida*. V_{in} és l'abreviatura de *tensió d'entrada*.

$$V_{out} < V_{in}$$

En la majoria dels casos, n'hi ha prou amb aquesta regulació i només caldrà ajustar lleument la relació de voltes en el transformador per compensar les pèrdues per l'acció de càrrega resistiva, la caiguda en els díodes i la tensió de saturació dels transistors en la commutació.

Figura 2.10. Circuit reductor



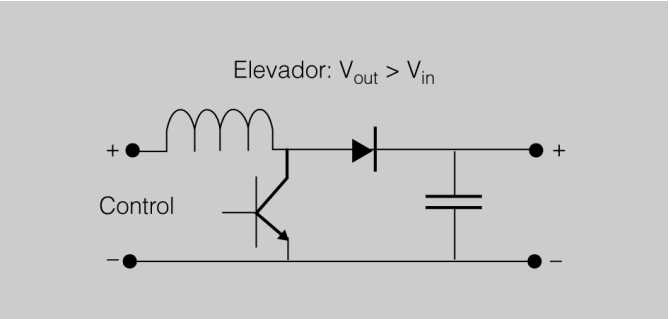
Elevador (boost)

L'elevador és un circuit, de configuració bàsica, del segon bloc d'una font commutada (figura 2.11). Aquest dispositiu presenta un funcionament una mica complex: el circuit elevador emmagatzema l'energia en la bobina i aplica l'energia emmagatzemada més la tensió d'alimentació a la càrrega. Aquest procediment és molt utilitzat en sistemes de flaix fotogràfics o d'ignició de l'automotor per recarregar la càrrega capacitativa. També es fa servir com un molt bon carregador de bateries. Aplica sempre una quantitat fixa de potència a la càrrega sense fixar-se en la seva impedància.

La característica més important d'aquest circuit és que la tensió de sortida V_{out} és més gran que la tensió d'entrada V_{in}:

$$V_{out} > V_{in}$$

Figura 2.11. Circuit elevador (boost)

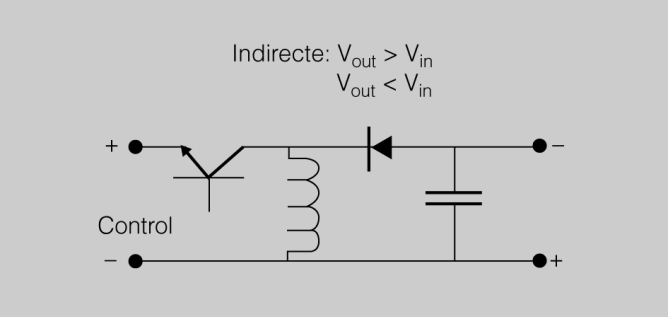


Un *flyback* és un circuit del tipus del reductor-elevador (*buck-boost*) però amb aïllament.

Reductor-elevador (buck-boost)

El reductor-elevador és un circuit, de configuració bàsica, del segon bloc d'una font commutada (figura 2.12). Aquest circuit, també anomenat ***flyback***, és una evolució dels circuits reductor i elevador, però presenta una diferència fonamental respecte d'aquests, atès que aplica a la càrrega només l'energia emmagatzemada en la inductància.

Figura 2.12. Circuit reductor-elevador



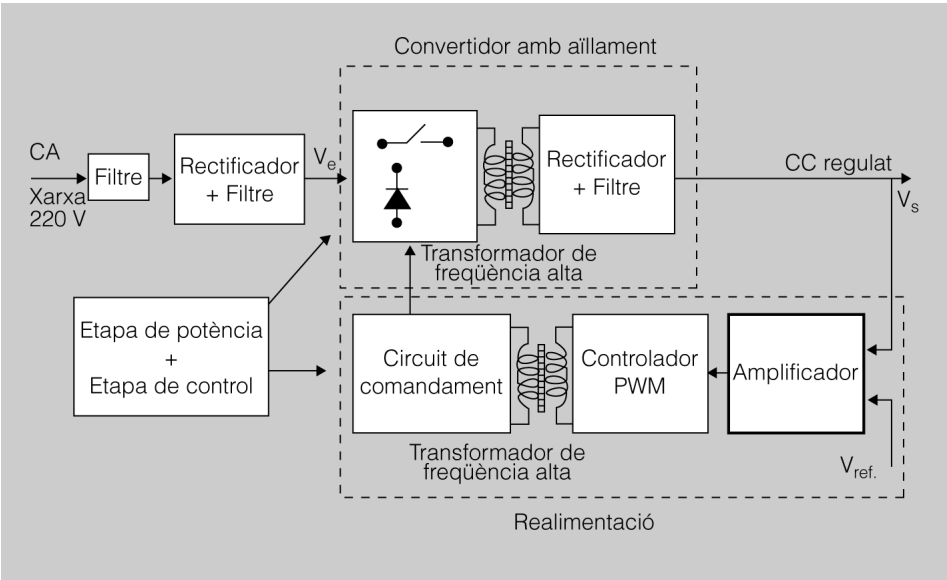
Com podem observar, el sistema elevador només pot regular quan la tensió de sortida V_{out} és més gran que la tensió d'entrada V_{in}, mentre que el *flyback* o reductor-elevador pot regular sempre, independentment de si la tensió de sortida és més petita o més gran que la tensió d'entrada.

2.2.3 Esquema d'una font commutada completa

En l'esquema de la figura 2.13 podem veure una font commutada de tipus professional en blocs. Hi podrem observar cadascuna de les parts que la componen.

L'etapa de potència és la part del circuit per on circula molt corrent, normalment regulat per un transistor o tiristor.

Figura 2.13. Blocs d'una font commutada professional



L'etapa de control és la part del circuit que controla en funció d'uns senyals establerts. Hi circula molt poc corrent.

Hi podem distingir tres grans blocs: el primer, comú a totes les fonts, comprèn el rectificador i el filtre; el segon, que és el bloc del convertidor amb aïllament, pot ser perfectament qualsevol dels que confirmen les configuracions bàsiques de les fonts commutades o d'altres configuracions disponibles (*forward*, semipont, pont, etc.), i el tercer, anomenat **realimentació**, està format per un amplificador comparador, un controlador d'amplada de pols (**PWR**) i un altre convertidor de CC que governarà el circuit de comandament del primer convertidor. Com podem veure, hi ha dos convertidors de CC que garanteixen una gran estabilitat i control.