ELETTRONICA DI BASE

CONDENSATORI IN PARALLELO ED IN SERIE

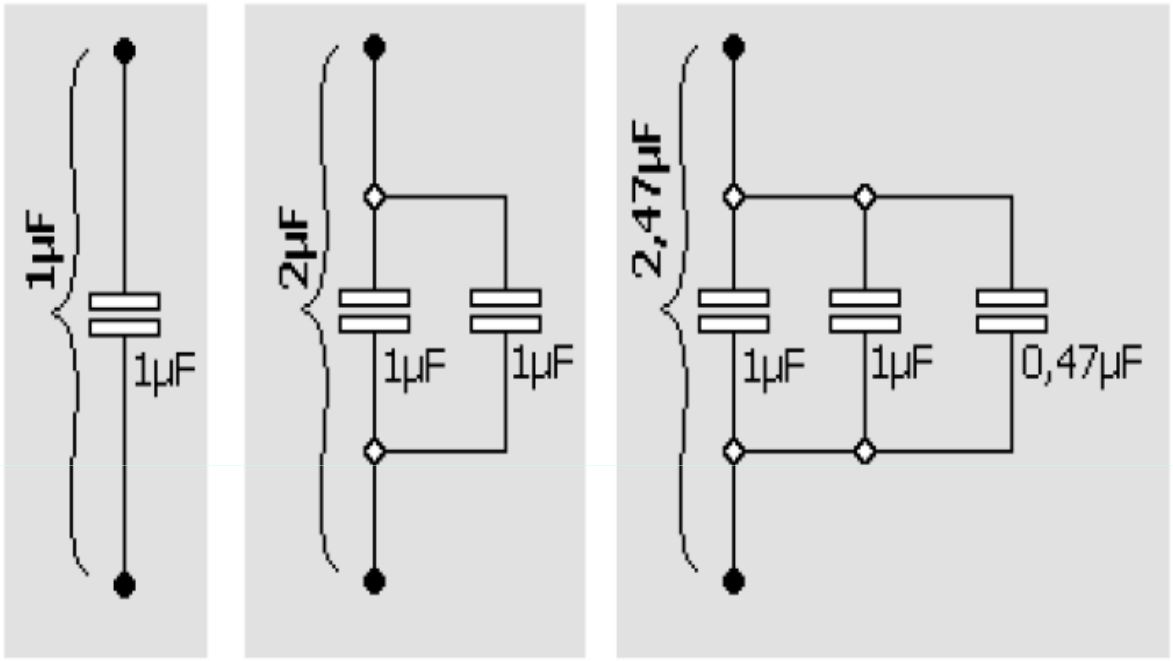


figura 7 - condensatori in parallelo

Se occorre una capacità più alta di quella che ci può offrire un solo condensatore, è possibile usare più condensatori collegati uno di fianco all'altro, e cioè in parallelo ; in questo modo la capacità totale equivale alla somma delle singole capacità.
Come si vede in figura 7, affiancando due condensatori da 1 µF si ottiene un capacità complessiva di 2 µF; aggiungendone un altro da 0,47 µF, la capacità totale arriva a 2,47 µF.

Maggiormente complicato è invece calcolare la capacità di più condensatori in serie ; nel caso più semplice, quando cioè si collegano in serie 2 condensatori uguali, la capacità risultante è uguale alla metà di quella di ciascun condensatore (figura 8).

Quando i condensatori in serie hanno valori diversi, la capacità risultante (che è sempre più piccola della più bassa fre le capacità dei vari condensatori collegati) si calcola come l'inverso della somma degli inversi delle singole capacità.

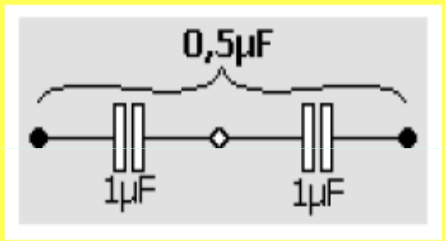


figura 8 - condensatori in serie

Facciamo un esempio pratico: abbiamo 3 condensatori con capacità di 100 pF, 220 pF e 470 pF ;

- l'inverso di 100 è 1/100 = 0,01

- l'inverso di 220 è 1/220 = 0,00455

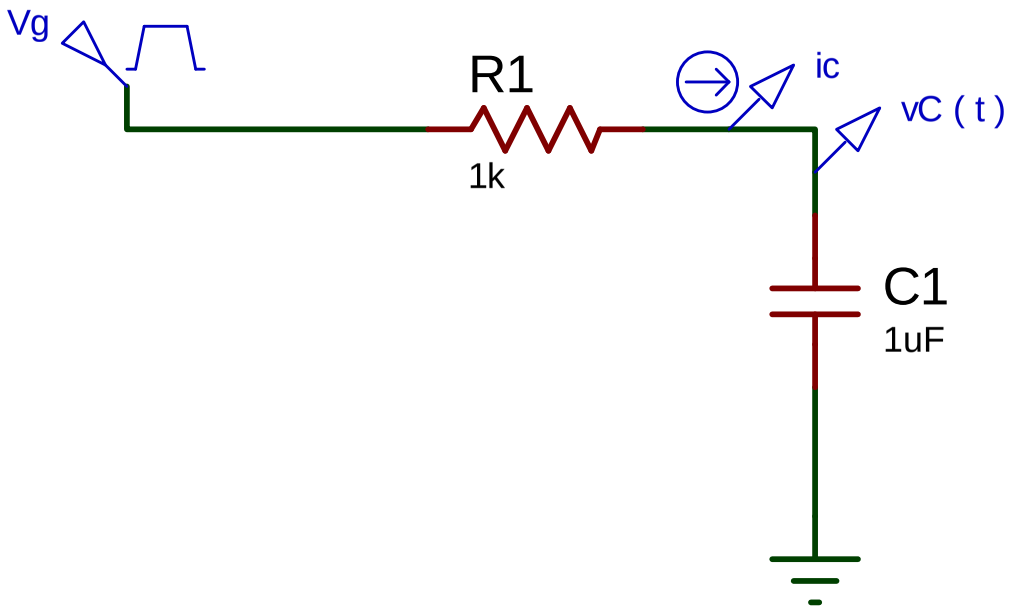
- l'inverso di 470 è 1/470 = 0,00213

- la somma degli inversi è 0,01 + 0,0045 + 0,00213 = 0,01667

- il risultato finale è l'inverso di tale somma, ovvero 1/0,01667 = 59,9768

Si vede quindi che collegando in serie tre condensatori da 100, 220 e 470 pF si ottiene un valore risultante di 59 pF, che è più piccolo del più piccolo fra i tre valori (100 pF).

CIRCUITO RC IN REGIME DI ONDA QUADRA



Vg min = 0

Vg max = 5 [V]

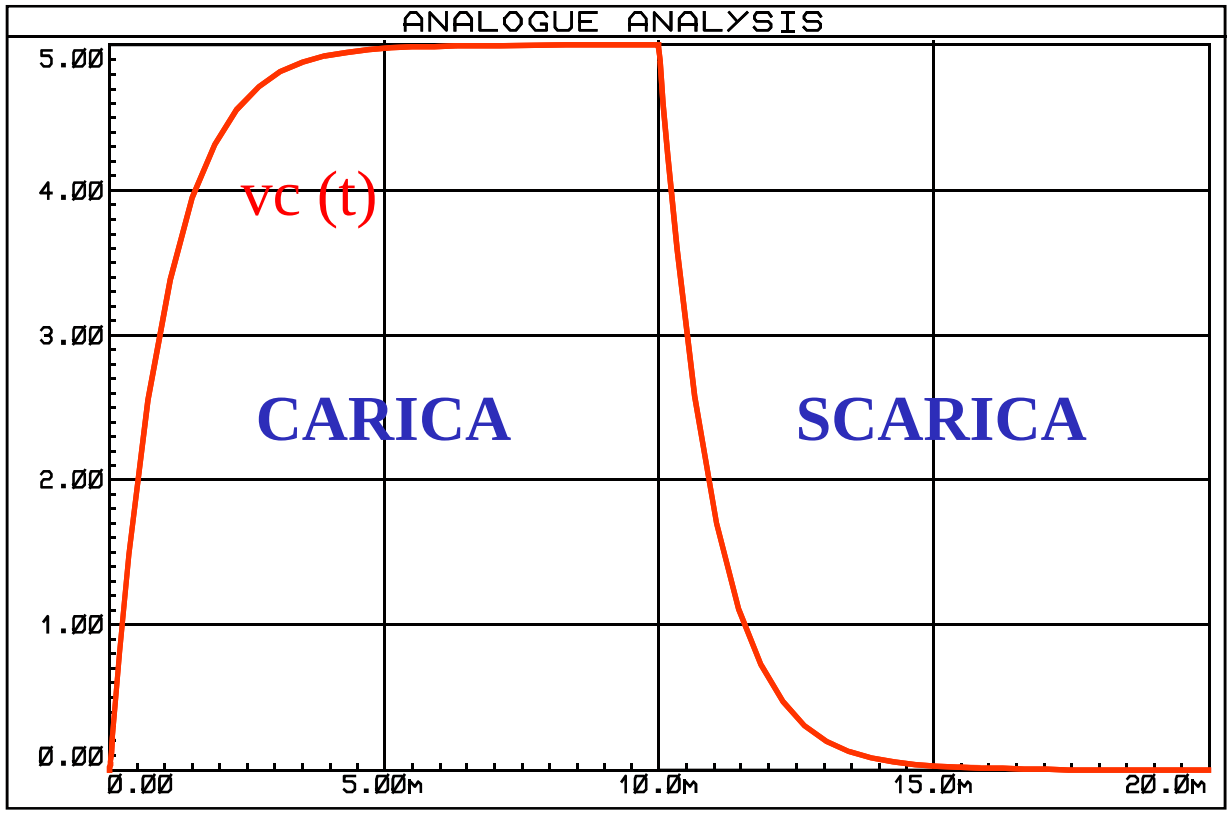
tau = RC = 1 [K] * 1 [uF] = 1 [ms]

fg = 50 [Hz] **Tg = 20 [ms]**

TH = TL = 10 [ms]

FASE DI CARICA :

$$vc(t) = Vg\,(1 - e^{-t/RC}) = 5\,(1 - e^{-t/RC})\ [V]$$



$$\tau = 0{,}1 * Tg/2$$

$$vc(t) = Vg\,(1 - e^{-t/RC}) = 5\,(1 - e^{-t/10^{-3}})\ [V]$$

$$vc\,(t = tau) = 5 * (1 - 1/e) = 5 * 0.63 = 3.17\ [V]$$

$$vc\,(t = 5tau) = 5 * 0.993 = 4.97\ [V]$$

Calcolo della **tensione** nella fase di **carica**, per $\mathbf{t = \tau}$ e per $\mathbf{t = 5\tau}$

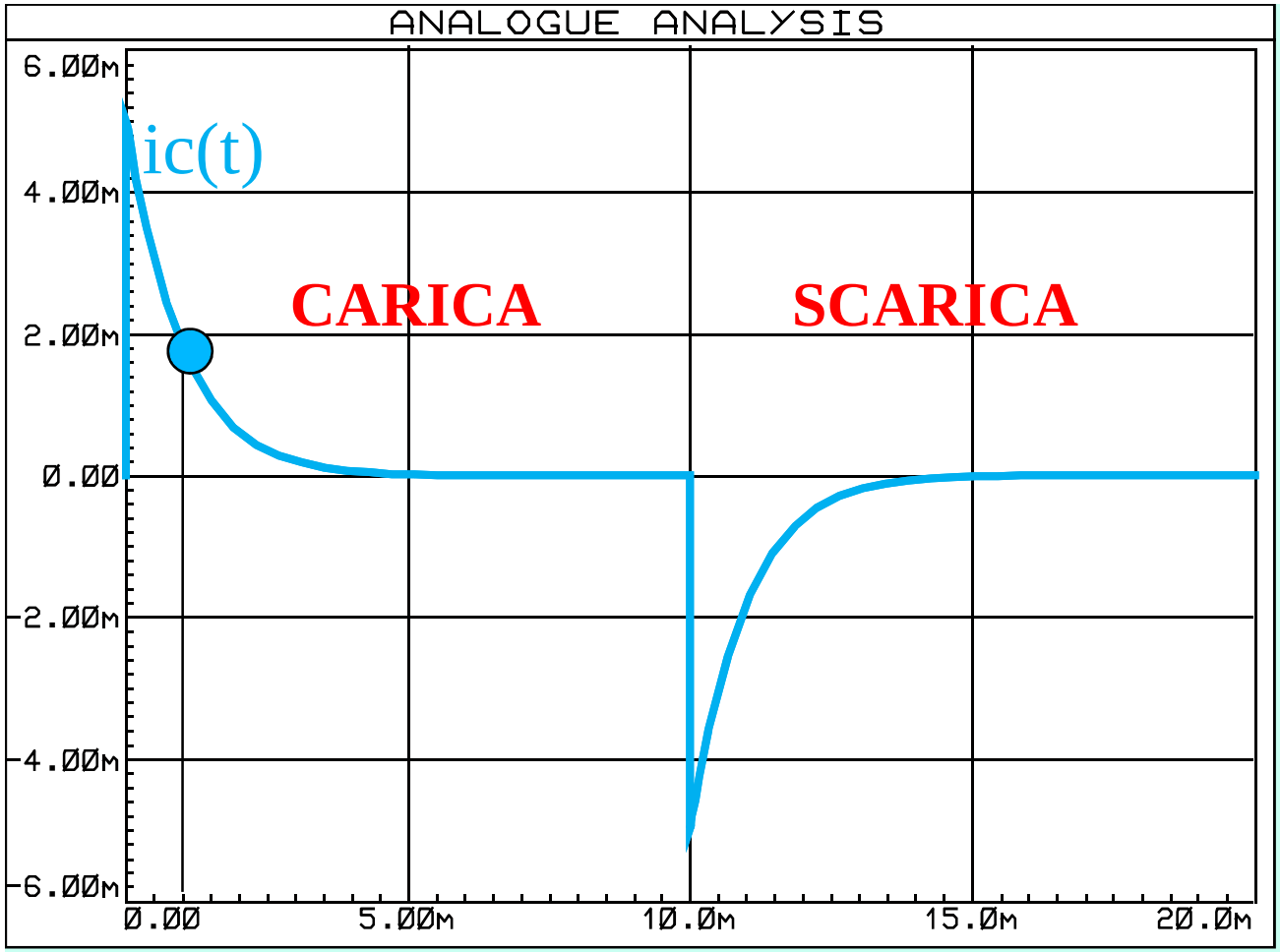


GRAFICO DELLA CORRENTE

$$ic(t) = Imax * e^{-t/RC} = 5 * e^{-t/RC} \ [mA]$$

$$I_{max} = Vg / R = 5 \ [ma]$$

$$ic(t = tau) = 5 * 1 / e = 1.84 \ [mA]$$

$$ic(t = 5\,tau) = 5 * 1 / e^{5} = 33 \ [uA]$$

Calcolo della **corrente** nella fase di carica, per $\mathbf{t = \tau}$ e per $\mathbf{t = 5\tau}$

Perciò, qualunque sia il valore di τ = **RC** , nella **fase di carica**, cioè di valore **alto** della tensione a Onda Quadra del generatore, la tensione **vc(t)** sul Condensatore **sale** seguendo un ben preciso andamento, dato dalla somma algebrica di 2 termini :

valore costante [**Vg**] **–** esponenziale decrescente, a partire da **Vg**

La tensione **vc(t)** parte quindi da **zero** (se il Condensatore è **inizialmente scarico**) e dopo un tempo pari a τ vale **0,63*Vg [63% Vg].**

Dopo un tempo pari a **5 RC,** la **vc(t)** vale **0,993*Vg [99,3% Vg] .**

Contemporaneamente, la corrente **ic(t)** parte dal valore massimo

Imax=Vcmax/R (limitato appositamente dalla R) e **scende** con legge esponenziale : dopo un tempo pari a τ, vale **0,37*Imax [37% Imax]** , dopo un tempo pari a **5τ,** la **ic(t)** vale **0,0067*Imax [0,67% Imax].**

Perciò dopo 5τ il regime transitorio di carica del Condensatore si considera terminato.

Nella **fase di scarica**, quando la tensione del generatore è al livello basso, la vc(t) scende con legge esponenziale decrescente, a partire dal valore max raggiunto nella fase di carica :

$$v_c(t) = V_{cmax}\, e^{-t/\tau}$$

Vediamo cosa succede alla corrente :

Fase di scarica:

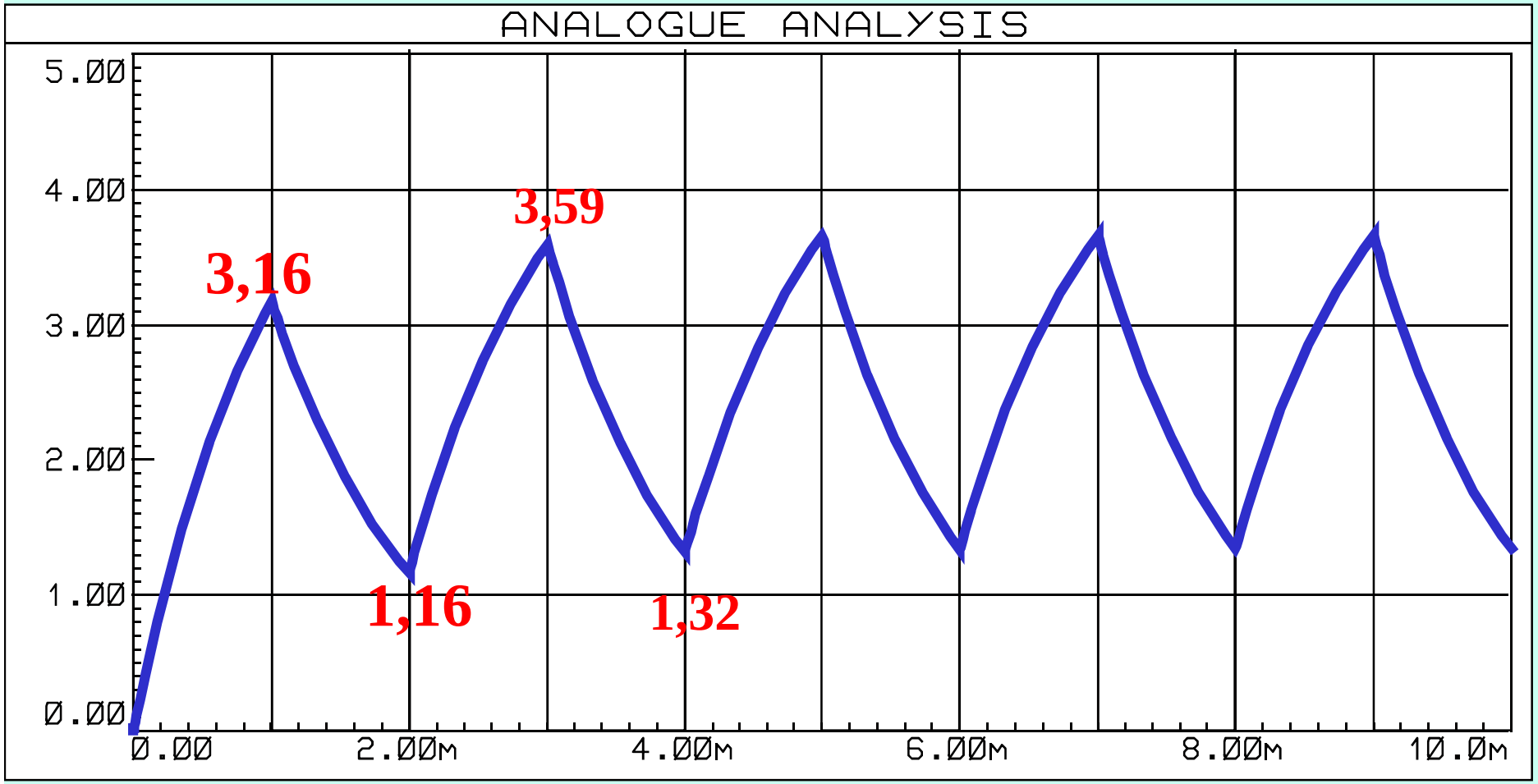
$$i_c(t) = -\, I_{max}\, e^{-t/\tau}$$

con $I_{max} = V_{cmax} / R$

Il segno – indica che la corrente di scarica ha verso opposto a quello della corrente di carica.

Se τ non è abbastanza **piccola** rispetto al semiperiodo **T/2** dell' Onda Quadra, il Condensatore **non** riuscirà a caricarsi (e poi scaricarsi) completamente, cioè la tensione **vc(t)** non riuscirà a seguire, riprodurre, la tensione del Generatore.

Ecco cosa succede con $\tau = 1$ [ms] e Tg = 2 [ms]



Calcoliamo i valori finali e iniziali di alcuni semiperiodi, con l' equazione esponenziale generale, valida in ogni situazione :

$$v_C(t) = V_{FIN} - [\, V_{FIN} - V_{INIZ} \,] * e^{-t/\tau}$$

dove, in questo esempio numerico, $V_{FIN} = 5$ [V] , V_{INIZ} invece varierà di semiperiodo in semiperiodo, fino a stabilizzarsi entro 2 - 3 cicli .

1° semiperiodo di carica : $v_C(t) = Vg - [\, Vg - 0 \,] * e^{-t/RC}$

Per calcolare la tensione Vcmax1 a fine semiperiodo, sostituiamo ora Tg/2 = 1 [ms] al posto di t e poniamo RC = 1 [ms] :

$Vcmax1 = 5 - 5e^{-1} = 3{,}16$ [V] **questo è il valore iniziale della 1° fase di scarica**

1° semiperiodo di scarica : $v_C(t) = V_{cmax1} * e^{-t/\tau}$

come prima, sostituiamo ora Tg/2 = 1 [ms] al posto di t e $\tau = 1$ [ms] :

$Vcmin1 = 3{,}16\, e^{-1} = 1{,}16$ [V] **questo sarà il valore iniziale della 2° fase di carica**

2° semiperiodo di carica : $V_{cmax2} = 5 - [\ 5 - 1{,}16\ ] * e^{-t/RC}$

$V_{cmax2} = 5 - [\ 5 - 1{,}16\ ] * e^{-1} = 5 - 3{,}84 * e^{-1} = 3{,}59\ [V]$

2° semiperiodo di scarica : $V_{cmin2} = V_{cmax2} * e^{-t/\tau}$

$V_{cmin2} = 3{,}59\ e^{-1} = 1{,}32\ [V]$

e così via ….

N.B. : anche l'equazione di scarica discende dalla eq. generale , ponendo

Vfin = 0 e Viniz = Vcmax :

$V_{cmin2} = 0 - [\ 0 - 3{,}59\ ] * e^{-1} = 3{,}59\ e^{-1}$

MATERIALI SEMICONDUTTORI

I dispositivi più utilizzati in elettronica sono i componenti a semiconduttore. I materiali utilizzati per la loro realizzazione sono:

- Silicio (Si) (il più usato)
- Germanio (Ge)
- Arseniuro di Gallio (GaAs) e altri

I semiconduttori presentano quattro elettroni di valenza (tetravalenti) e una struttura cristallina in cui ciascun atomo mette in comune un elettrone di valenza con quattro atomi circostanti formando legami covalenti.
Questo fa in modo che gli elettroni risultino saldamente vincolati nel reticolo cristallino.
La conduttività è bassissima e i semiconduttori si comportano come isolanti (a basse Temperature).

STRUTTURA DEL CRISTALLO DI SILICIO (PURO)

Il reticolo cristallino di questo materiale è costituito da una successione tridimensionale regolare di celle, aventi la forma di un tetraedro con un atomo ad ogni vertice. Gli atomi sono tenuti insieme da 4 legami covalenti (doppietti elettronici)

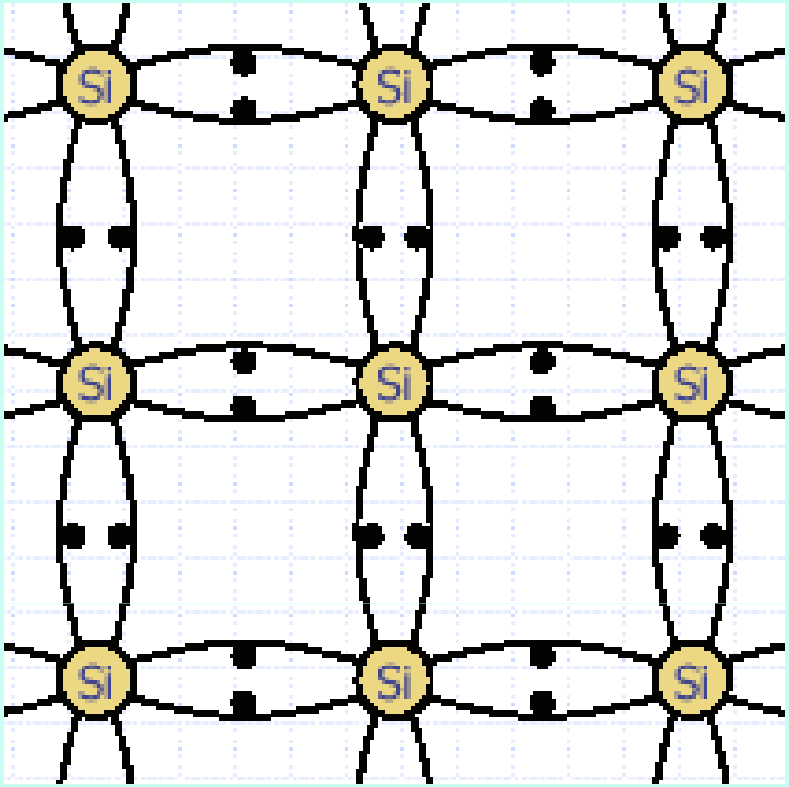


Fig.1

Fornendo energia, ad esempio termica, è possibile spezzare qualche legame creando lacune ed elettroni liberi per la conduzione. Una lacuna è costituita dalla mancanza di un elettrone in un legame covalente.

IL DROGAGGIO DEI SEMICONDUTTORI

E' un procedimento tecnologico con il quale inseriamo, nella struttura cristallina di un materiale semiconduttore, **atomi** di :

materiali pentavalenti (fosforo, arsenico, antimonio), detti donatori

materiali trivalenti (boro, gallio,Indio), detti accettori

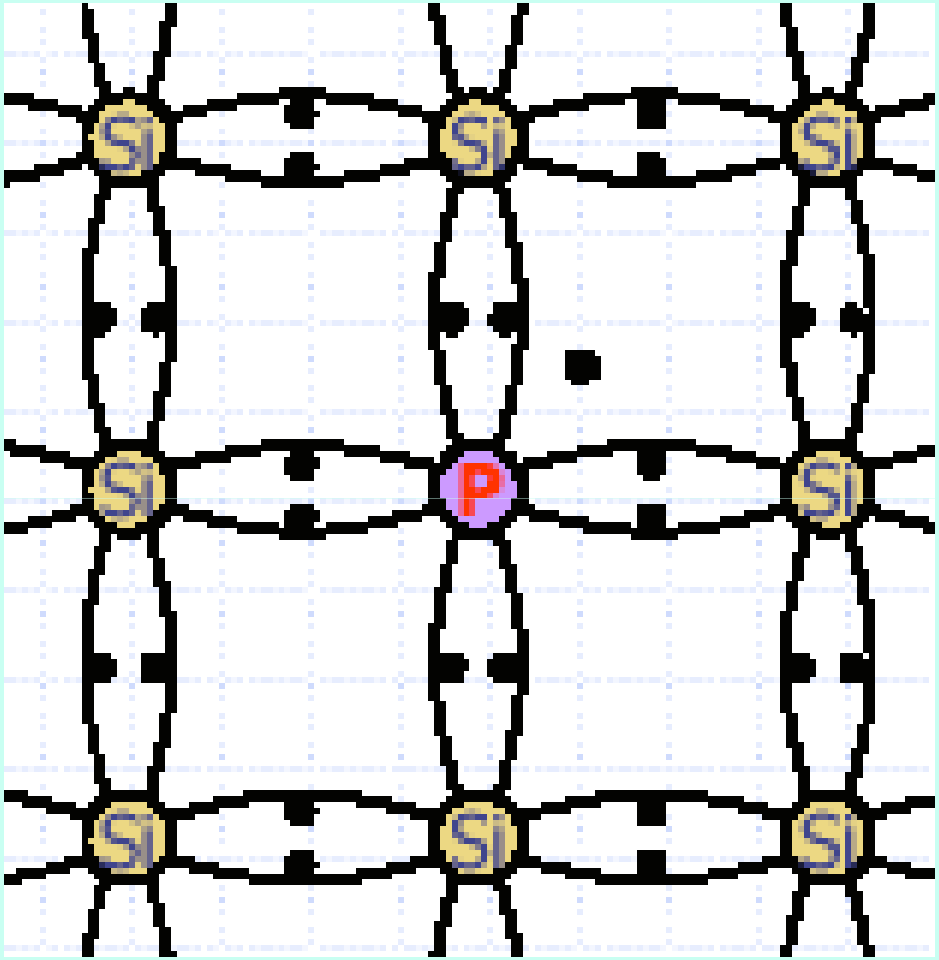
La percentuale di atomi droganti è molto bassa (**1 atomo / 10^8 atomi di Si**)

Per cui il drogaggio **NON** altera le proprietà fisico-chimiche del Silicio, ma quelle **elettriche**, variando cioè la sua conducibilità .

ZONA N	**ZONA P**
Materiali pentavalenti	Materiali trivalenti
Drogaggio di tipo N	Drogaggio di tipo P
Aumentano gli elettroni liberi	Aumentano le lacune
Cariche maggioritarie: elettroni	Cariche maggioritarie: lacune
Cariche minoritarie: lacune	Cariche minoritarie: elettroni

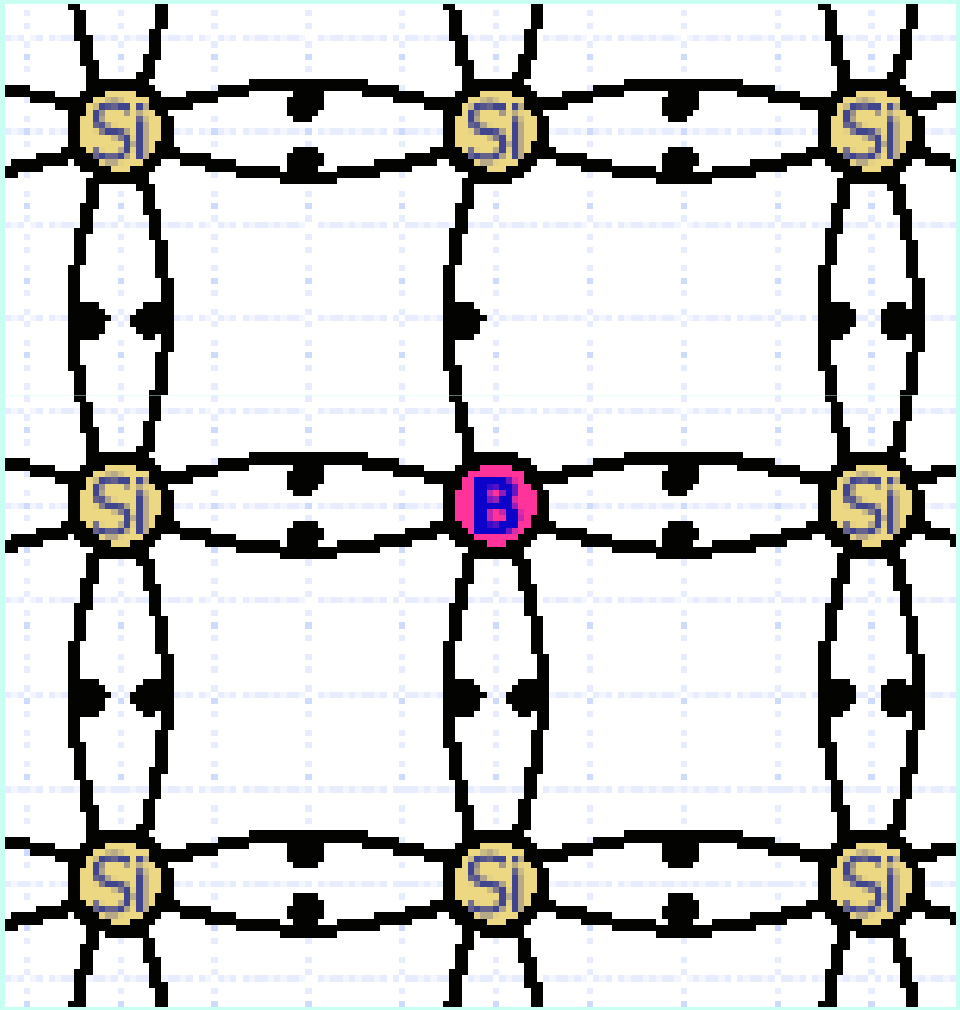
SILICIO DROGATO DI TIPO N

(con aggiunta di atomi di Fosforo, con 5 elettroni di valenza)



SILICIO DROGATO DI TIPO P

(con aggiunta di atomi di Boro, con 3 elettroni di valenza)



SEMICONDUTTORI : ELETTRONI E LACUNE

I **semiconduttori** sono materiali che hanno una resistività intermedia tra i conduttori e gli isolanti.

Sono alla base di tutti i principali dispositivi elettronici e microelettronici quali i transistor, i diodi , i diodi ad emissione luminosa (**LED**) nonché molti **trasduttori**.

Le loro caratteristiche quali resistenza, mobilità, concentrazione dei portatori di carica sono importanti per determinare il **campo di utilizzo**.

Le proprietà dei semiconduttori diventano interessanti se vengono opportunamente drogati con impurità.

I **semiconduttori drogati** sono quei semiconduttori ai quali vengono aggiunte impurità sotto forma di VAPORE tramite il processo di drogaggio, che avviene a temperature alte (**900 ÷ 1100 [°C]**)

Con il termine **drogaggio**, nell'ambito dei semiconduttori, si intende l'aggiunta al semiconduttore di piccole percentuali di atomi non facenti parte del semiconduttore stesso, allo scopo di modificare le **proprietà elettriche** del materiale.

- **Il drogaggio può essere di tipo N :**

  l'atomo drogante ha un elettrone **in più** di quelli che servono per soddisfare i legami del reticolo cristallino e tale elettrone acquista **libertà di movimento** all'interno del semiconduttore.

- **Il drogaggio può essere di tipo P :**

  l'atomo drogante ha un elettrone **in meno** di quelli che servono per soddisfare i legami del reticolo cristallino e tale mancanza di elettrone, indicata con il nome di lacuna, si comporta come una particella carica positivamente e si può spostare all'interno del semiconduttore.

- Le quantità di elementi droganti utilizzate per effettuare il drogaggio sono, in termini percentuali, **bassissime** : si parla per l'appunto di **impurità elettroniche** in quanto tali impurità sono in grado di modificare le proprietà elettriche del semiconduttore ma **non** le proprietà chimiche dello stesso.

- L'entità del drogaggio si misura in atomi a centimetro cubo, **[atomi/cm³]**

- I drogaggi più bassi che si possono ottenere, al limite del silicio **intrinseco** (purissimo), sono dell'ordine di **10^{13}** [atomi/cm^3]. I drogaggi più elevati, al limite del silicio **degenere**, sono dell'ordine di **10^{20}** [atomi/cm^3].

- Si noti che, come precedentemente esposto, i numeri in gioco sono molto lontani dal **numero di atomi di silicio in un centimetro cubo di materiale, che è dell'ordine di 10^{22}.**

- In altre parole si può dire che un buon drogaggio consiste nell'immissione nel Silicio di **1 atomo di sostanza drogante ogni 10^8 atomi di Silicio, cioè in assoluto di 10^{14} [atomi/cm^3]** (di **Fosforo** o **Boro**)

La propagazione della corrente elettrica varia a seconda del materiale in quanto la **conducibilità è proporzionale alla concentrazione N degli elettroni liberi.**

- Per un **buon conduttore**, **N** è molto grande (**10^{28} elettroni /cm^3**)
- Per un **isolante**, **N** è molto piccolo (**10^7 elettroni /cm^3**)
- Per un semiconduttore, **N** è un numero compreso tra questi due estremi.

Gli elettroni di valenza nei semiconduttori non sono liberi di muoversi come nei metalli, ma sono vincolati tra due ioni adiacenti.

- Il silicio ha complessivamente **14** elettroni, disposti su diversi orbitali : 2 sul primo e più interno, 8 sul secondo, 4 sul terzo (più esterno cioè di valenza).
- Ogni atomo nel cristallo di silicio fornisce perciò **quattro elettroni di valenza,** quindi si dice che l'atomo di Silicio è tetravalente.
- Il nucleo dell'atomo di silicio fornisce una carica positiva **+ 4,** misurata assumendo come unità di riferimento la carica dell'elettrone (e del protone).
- Le forze di legame tra atomi adiacenti derivano dal fatto che ogni elettrone di valenza dell'atomo di silicio è in comune con uno degli atomi "primi vicini".
- Questo doppietto elettronico, o **legame covalente**, è rappresentato con due linee tratteggiate che congiungono ogni atomo con ciascuno degli atomi adiacenti.
- Il fatto che gli elettroni di valenza servano a vincolare un atomo agli altri, fa sì che **gli elettroni di valenza siano rigidamente legati al nucleo**.
- Quindi, nonostante gli elettroni di valenza disponibili siano numerosi, la **conducibilità del cristallo è bassa.**

- A temperature estremamente basse **(prossime a 0 °K)** ci si avvicina alla struttura ideale di figura 1 e il cristallo si comporta da **isolante** poiché **non** vi sono portatori di cariche elettriche liberi.
- A temperatura ambiente, invece, **alcuni legami covalenti si spezzano a causa dell' energia termica fornita al cristallo,** si creano alcuni **elettroni liberi** e la conduzione diventa possibile.
- Un elettrone, che per la maggior parte del tempo ha partecipato a un legame covalente, si allontana dal suo posto e quindi è libero di muoversi a caso entro il cristallo.
- La mancanza di un elettrone in un legame covalente è rappresentato **in fig.2** da un cerchietto e questo legame incompleto è chiamato **lacuna**. L'importanza della lacuna risiede nel fatto che essa si comporta come un portatore di carica, proprio come un **elettrone libero**.

L'energia EG necessaria a spezzare un legame covalente è circa 0,72 [eV] per il Germanio e 1,1 [eV] per il Silicio, a temperatura ambiente (25 [°C])

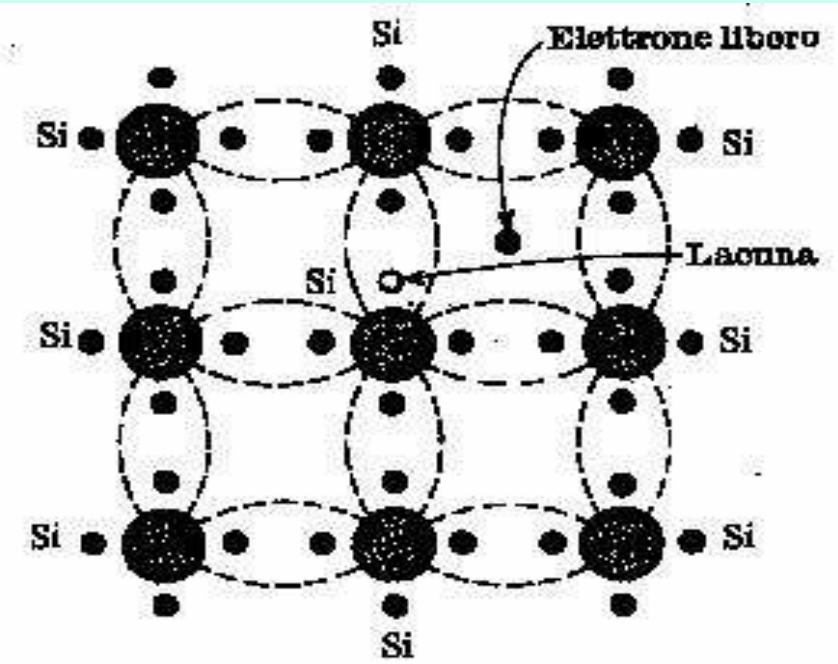


Fig. 2 - Cristallo di silicio nel quale un legame covalente è stato spezzato .

- Il meccanismo secondo cui le lacune contribuiscono alla conducibilità è all'incirca il seguente: quando un **doppietto elettronico** è incompleto ed esiste una lacuna, è relativamente facile che un elettrone di valenza di un atomo adiacente lasci il suo legame covalente per occupare la lacuna.
- Un elettrone che si allontana dalla sua posizione per neutralizzare una lacuna, lascia una nuova lacuna nella posizione che esso occupava prima.
- Quindi la lacuna si sposta effettivamente nella direzione opposta a quella dell'elettrone.
- Questa lacuna, nella sua nuova posizione, può ora essere neutralizzata da un elettrone di un legame covalente e di conseguenza essa si muove ancora in direzione contraria al moto dell'elettrone.
- **Quindi siamo in presenza di un fenomeno di conduzione che non implica elettroni *liberi*.**
- Per quanto riguarda il flusso di corrente, la lacuna si comporta effettivamente come una carica positiva di valore uguale alla carica dell'elettrone. Possiamo quindi considerare le lacune come entità fisiche il cui moto determina una corrente.
- **In un semiconduttore puro il numero di lacune è uguale al numero di elettroni liberi**.
- L'agitazione termica produce **continuamente** nuove coppie elettrone-lacuna, mentre come effetto della ricombinazione si neutralizzano altre coppie.

SEMICONDUTTORI COMPOSTI

L'evoluzione e le necessità di alcuni settori dell'elettronica hanno motivato la ricerca verso nuovi materiali semiconduttori che presentassero, per particolari esigenze, migliori caratteristiche del silicio e del germanio.

Le ricerche si sono indirizzate nel campo dei semiconduttori composti che dal punto di vista chimico sono formati da leghe binarie del **III°** e **V°** gruppo, per es. **GaAs (Arseniuro di Gallio) , InP (Fosfuro di Indio**) e del **II°** e **VI°** gruppo del sistema periodico, per es. **CdS (Solfuro di Cadmio)**.

La conducibilità del silicio aumenta all'incirca del 8% per ogni grado di aumento della temperatura.

Questo notevole aumento della conducibilità con la temperatura pone un limite alla possibilità di impiegare dispositivi a semiconduttore in alcuni circuiti.

D'altro canto è proprio questa proprietà dei semiconduttori che, per alcune applicazioni, viene sfruttata vantaggiosamente. Un semiconduttore usato in questa maniera è chiamato ***termistore*** .

Un tale dispositivo trova una notevole applicazione in termometria, nella misura di potenza in alta frequenza, come relè termico, nei basati sulla variazione della temperatura, nei **sistemi di controllo .**

Il silicio e il germanio **non** vengono impiegati come termistori, in quanto le loro proprietà dipendono in maniera eccessiva dalla presenza di **impurità.**

Si deve far notare come la diminuzione esponenziale con la Temperatura della **resistività** (l'inverso della **conducibilità)** di un semiconduttore sia in contrasto con l'aumento piccolo e quasi lineare della resistività che si riscontra in un metallo (conduttore).

Un aumento di temperatura in un metallo provoca una maggiore **agitazione termica** degli ioni, e quindi una certa diminuzione del **cammino libero medio** degli elettroni.

Il risultato è una diminuzione della mobilità, e quindi della conducibilità.

Per molti metalli la resistenza **aumenta** all'incirca dello **0,4%** per ogni **grado** di aumento della temperatura.

Bisogna notare che per un termistore **NTC**, nella formula che dà la resistenza in funzione della temperatura, il coefficiente **α** ("coefficiente di temperatura della resistenza") è **negativo**, mentre per i metalli il coefficiente di temperatura è positivo e molto più piccolo.

La quantità di impurità che bisogna aggiungere per avere un effetto apprezzabile sulla conducibilità è molto piccola.

Per esempio, se viene aggiunta una quantità di impurità di tipo N pari a

1 parte su 10^8, la conducibilità del Germanio a **30 °C** è moltiplicata per **12.**

Si arriva quindi all'importante risultato che il drogaggio di un semiconduttore intrinseco non solo aumenta la conducibilità, ma serve a produrre un semiconduttore nel quale le cariche sono o prevalentemente le lacune o prevalentemente gli elettroni.

In un semiconduttore di tipo n, gli elettroni sono portatori maggioritari e le lacune portatori minoritari.

In un materiale di tipo p, le lacune sono i portatori maggioritari, e gli elettroni i portatori minoritari.

L'energia necessaria per separare dall'atomo drogante del **5°** gruppo il quinto elettrone è dell'ordine di soli **0,01 [eV]** per il Germanio, e di **0,05 [eV]** per il Silicio.

LA GIUNZIONE PN

L' unione di una zona drogata di tipo P con una zona drogata di tipo N crea una giunzione PN .

In prossimità della giunzione :

- Alcuni elettroni della zona N passano nella zona P ricombinandosi con le lacune e dando luogo a ioni negativi (-)
- Alcune lacune della zona P "passano" nella zona N ricombinandosi con gli elettroni e dando luogo a ioni positivi (+)

Ai capi della giunzione si crea una differenza di potenziale di alcuni decimi di volt.

Questa d.d.p. :

- ostacola un'ulteriore diffusione di cariche maggioritarie

  (corrente di diffusione)

- favorisce un flusso di cariche minoritarie in senso

  opposto (corrente di deriva)

Si raggiunge l'equilibrio quando queste due correnti si uguagliano.

POLARIZZAZIONE DELLA GIUNZIONE

Se applichiamo una batteria ai capi della giunzione possiamo, a seconda del verso di applicazione, avere due casi :

POLARIZZAZIONE INVERSA

- \+ su zona n
- – su zona p
- Aumenta la tensione ai capi della giunzione
- La corrente convenzionale va da n a p, è dovuta alle cariche minoritarie, è debolissima
- Corrente inversa di saturazione

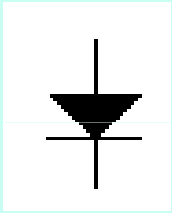
POLARIZZAZIONE DIRETTA

- – su zona n
- \+ su zona p
- Diminuisce la tensione ai capi della giunzione
- La corrente convenzionale va da p a n, è dovuta alle cariche maggioritarie (elettroni, da zona n a zona p)
- Corrente diretta

IL DIODO A GIUNZIONE PN

Il componente che si ottiene da una giunzione prende il nome di DIODO, il simbolo elettrico è il seguente

ANODO



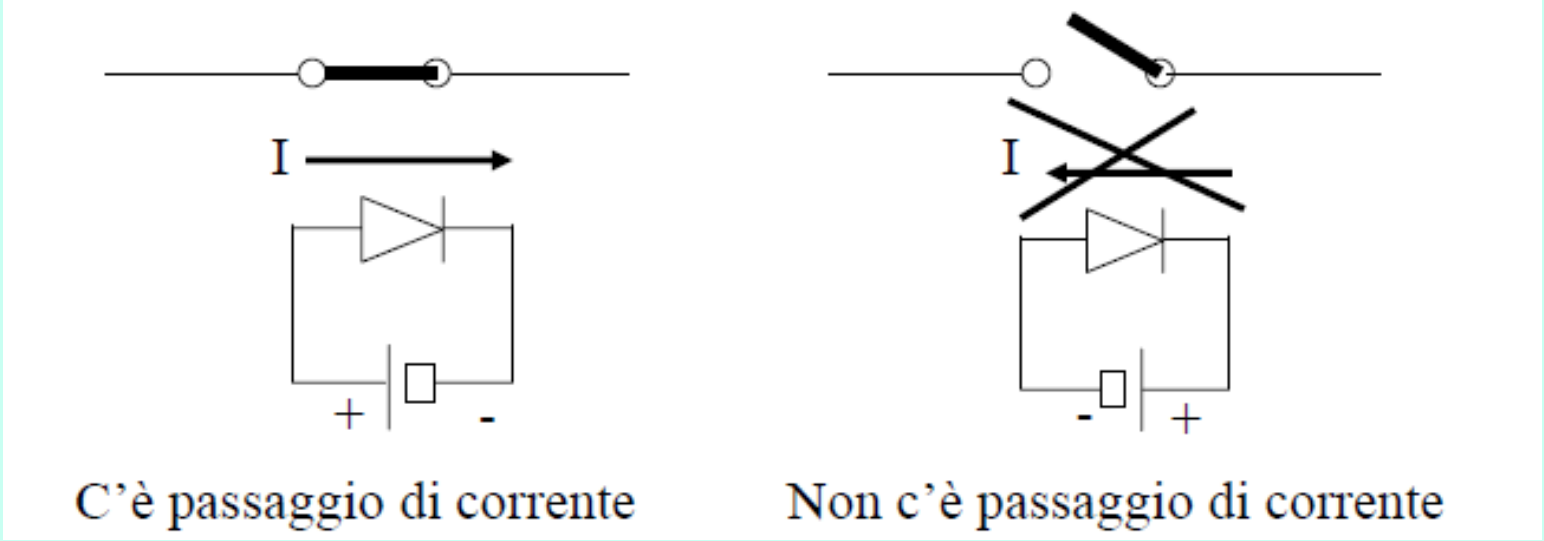
CATODO

Il morsetto collegato alla zona p si chiama anodo
Il morsetto collegato alla zona n si chiama catodo

MODELLO APPROSSIMATO DEL DIODO

Il modello più semplice per rappresentare il comportamento di un diodo consiste nel considerare :

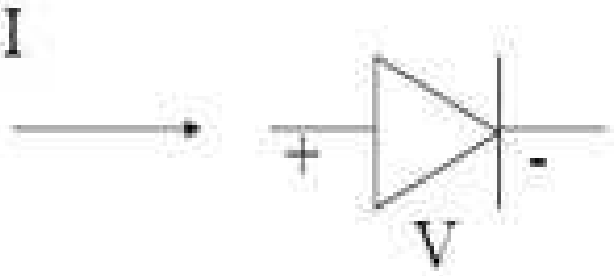
- Il diodo in polarizzazione inversa equivalente ad un interruttore aperto (circuito aperto ≡ resistenza infinita)
- Il diodo in polarizzazione diretta equivalente ad un interruttore chiuso (corto circuito ≡ resistenza nulla)



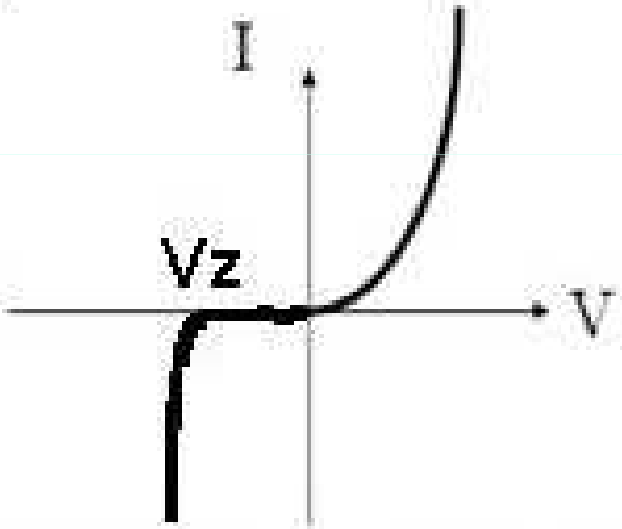
C'è passaggio di corrente

Non c'è passaggio di corrente

Caratteristica della giunzione p-n



$$I = I_0\left(e^{V/V_T} - 1\right)$$



V_T è un termine che tiene conto delle variazioni del comportamento del semiconduttore in funzione della temperatura; viene definita "tensione termica" e vale 0.026 V a 27 °C

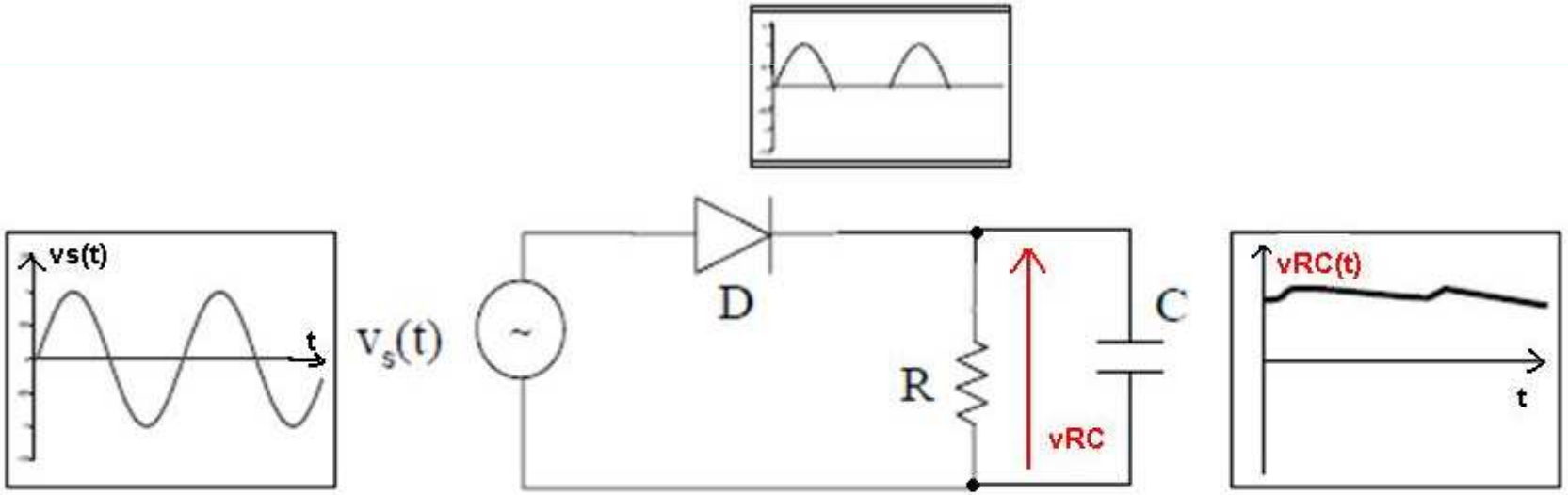
Io è una caratteristica del componente

Il raddrizzatore

Sfruttando la proprietà dei diodi di lasciarsi attraversare dalla corrente solo in un verso, si possono realizzare i **raddrizzatori**.

Un raddrizzatore serve per ottenere un **valore praticamente continuo di tensione** a partire da una tensione alternata.

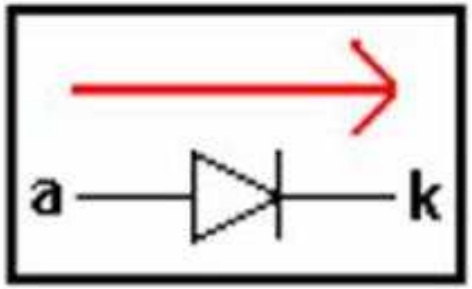
Schema di un raddrizzatore

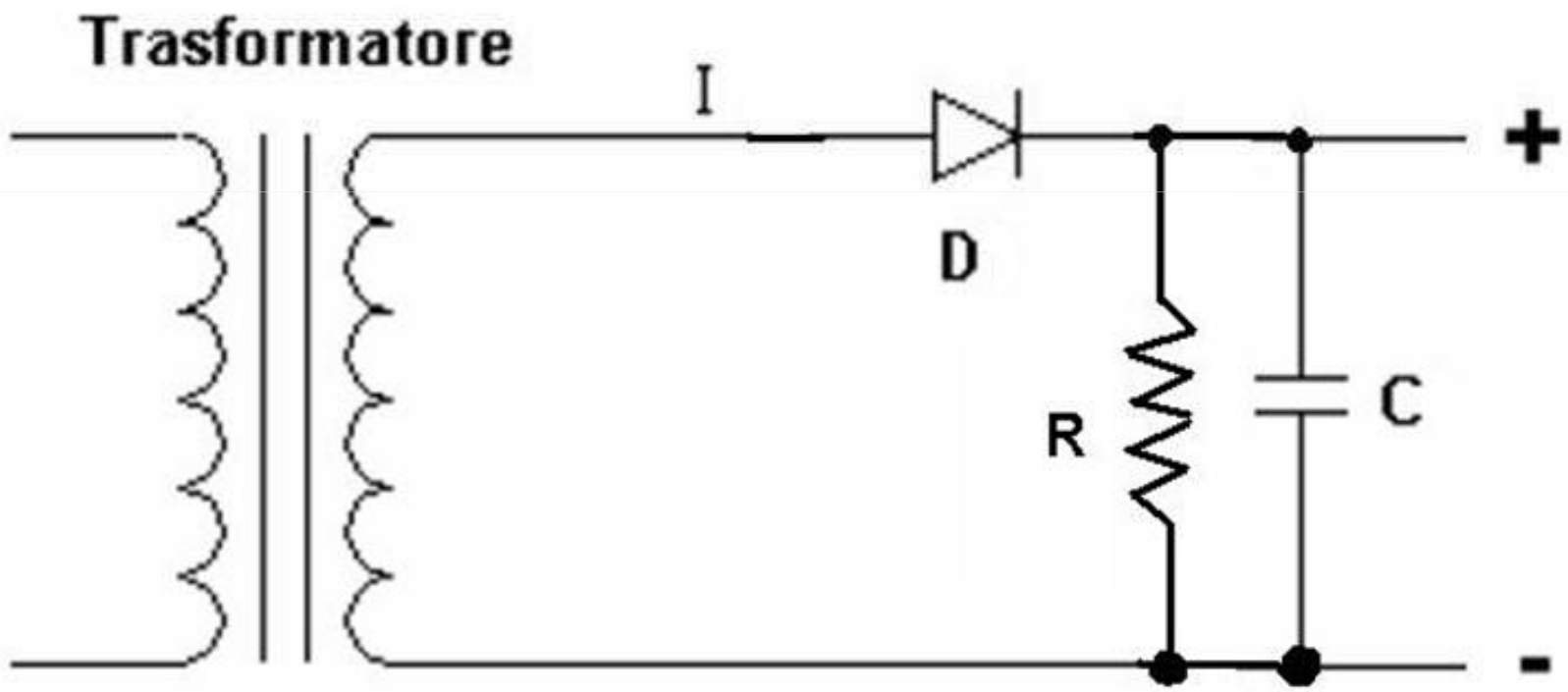


Tensione sinusoidale in ingresso

Tensione raddrizzata in uscita

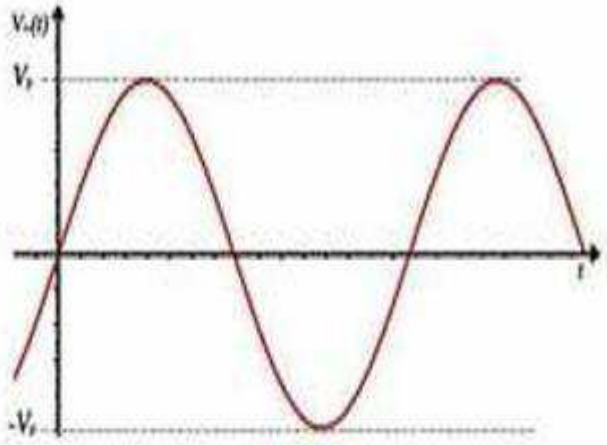
Il diodo si fa attraversare dalla corrente in una sola direzione.



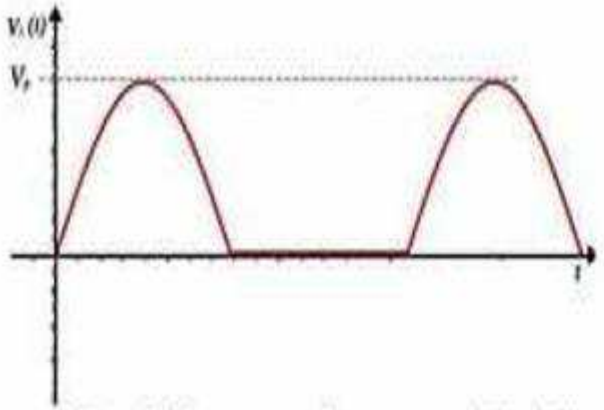


Raddrizzatore ad una semionda

Nello schema **precedente** potete distinguere **4** componenti, ovvero il **trasformatore**, indicato con due avvolgimenti simbolici, il **diodo D** , **R** ed il **condensatore C** . Il trasformatore come affrontato poco fa, trasforma la tensione alternata a 220 volt in una tensione minore che dipende dal rapporto spire primario/secondario. Questa tensione è ancora alternata, quindi prima del diodo D1 abbiamo una corrente che **cambia verso continuamente**. Come potete vedere dallo schema, il diodo è un particolare componente elettronico che si fa attraversare dalla corrente solo se questa scorre dall'anodo verso il catodo, ovvero nella direzione del triangolo che lo rappresenta. Ciò che si ottiene applicando ad un diodo una tensione alternata lo possiamo apprezzare nello schema seguente:

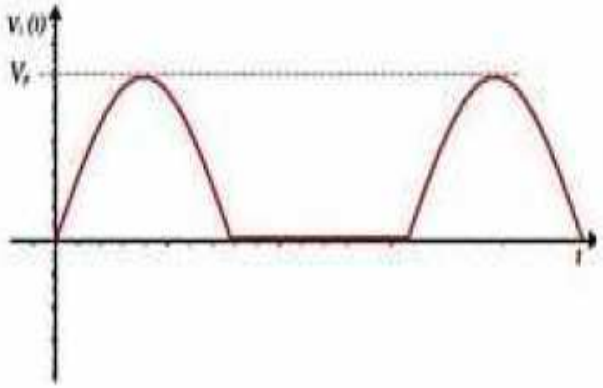


Tensione alternata

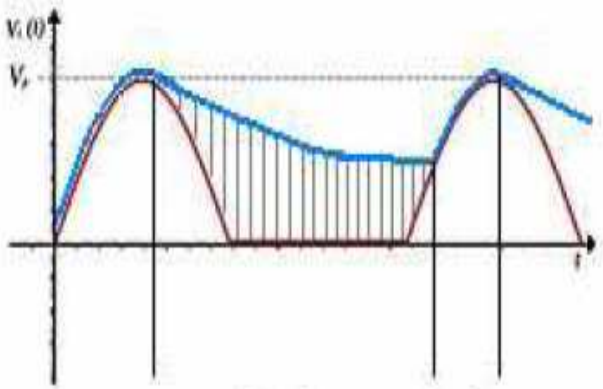


Raddrizzata ad una semionda

E' evidente che il diodo, se polarizzato direttamente, ovvero con la corrente che lo attraversa dall'anodo verso il catodo, lascia passare la **semionda positiva**, mentre quando la tensione scende nei pressi dello zero, la **semionda negativa** viene **bloccata** poichè il diodo si comporta come un interruttore su OFF. La tensione ottenuta non è ancora lineare comunque, infatti per metà mostra una variazione da zero alla tensione massima, mentre per l'altra metà del periodo è completamente a zero: se alimentate qualsiasi circuito che richieda tensione continua con questa semionda, probabilmente non funzionerà. Il trucco per "livellare" la tensione, è l'inserimento di un **condensatore detto di livellamento**. Il condensatore è un particolare componente elettrico che immagazzina una certa carica, come fosse una piccola batteria, ma è **capace di rilasciare la carica** anche istantaneamente quando necessario; questo a differenza delle normali batterie che sono molto più lente e meno durevoli nel tempo.



Semionda positiva in uscita dal diodo



Scarica Carica

In questo schema potete notare l'effetto del condensatore. La linea blu è la tensione che otteniamo inserendo il condensatore nel circuito: al crescere della tensione il condensatore si carica, per poi rilasciare l'energia quando manca la tensione di alimentazione. Notare che l'area tratteggiata, l'energia rilasciata dal condensatore, è molto estesa. Questo significa che C1 sarà molto stressato in questa applicazione, e la tensione in uscita non sarà perfettamente lineare poiché nel lungo periodo temporale senza possibilità di ricarica, la tensione fornita dal condensatore inizia a scendere. Un alimentatore del genere, nonostante non sia perfetto, riesce già a fornire una tensione sufficientemente stabile per alimentare una buona parte di apparecchiature che richiedono piccole correnti: **correnti troppo intense scaricherebbero velocemente il condensatore che non riuscirebbe a mantenere la tensione a livelli accettabili!**

Per calcolare la tensione di uscita: Vcc = (Vac - 0.6) x 1,41 **dove:**

Vcc = sono i Volt ai capi del condensatore;

Vac = sono i Volt efficaci della tensione alternata;

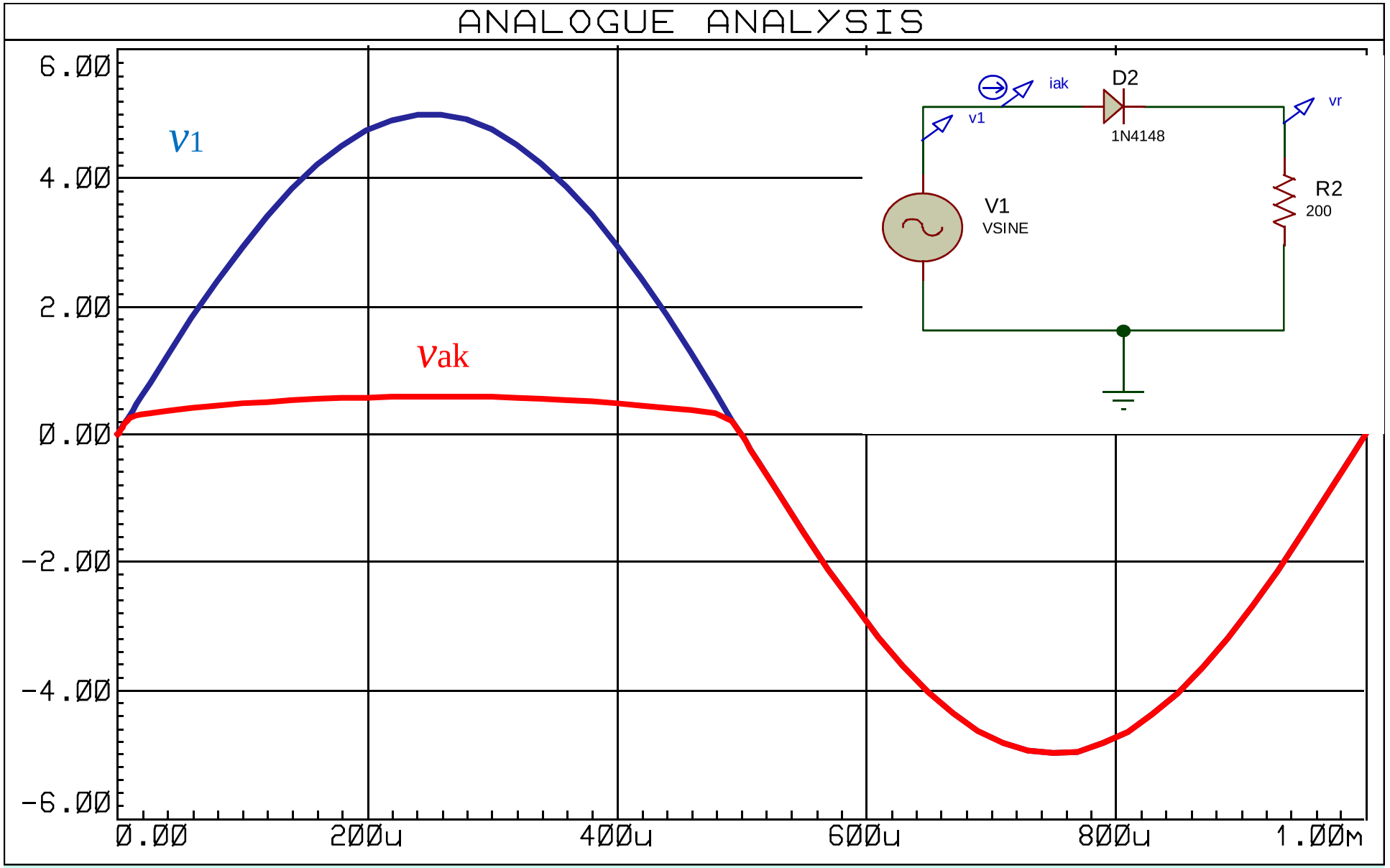
0.6 = è la caduta di tensione del diodo raddrizzatore;

1.41 = é il fattore moltiplicativo per ottenere i Volt di picco;

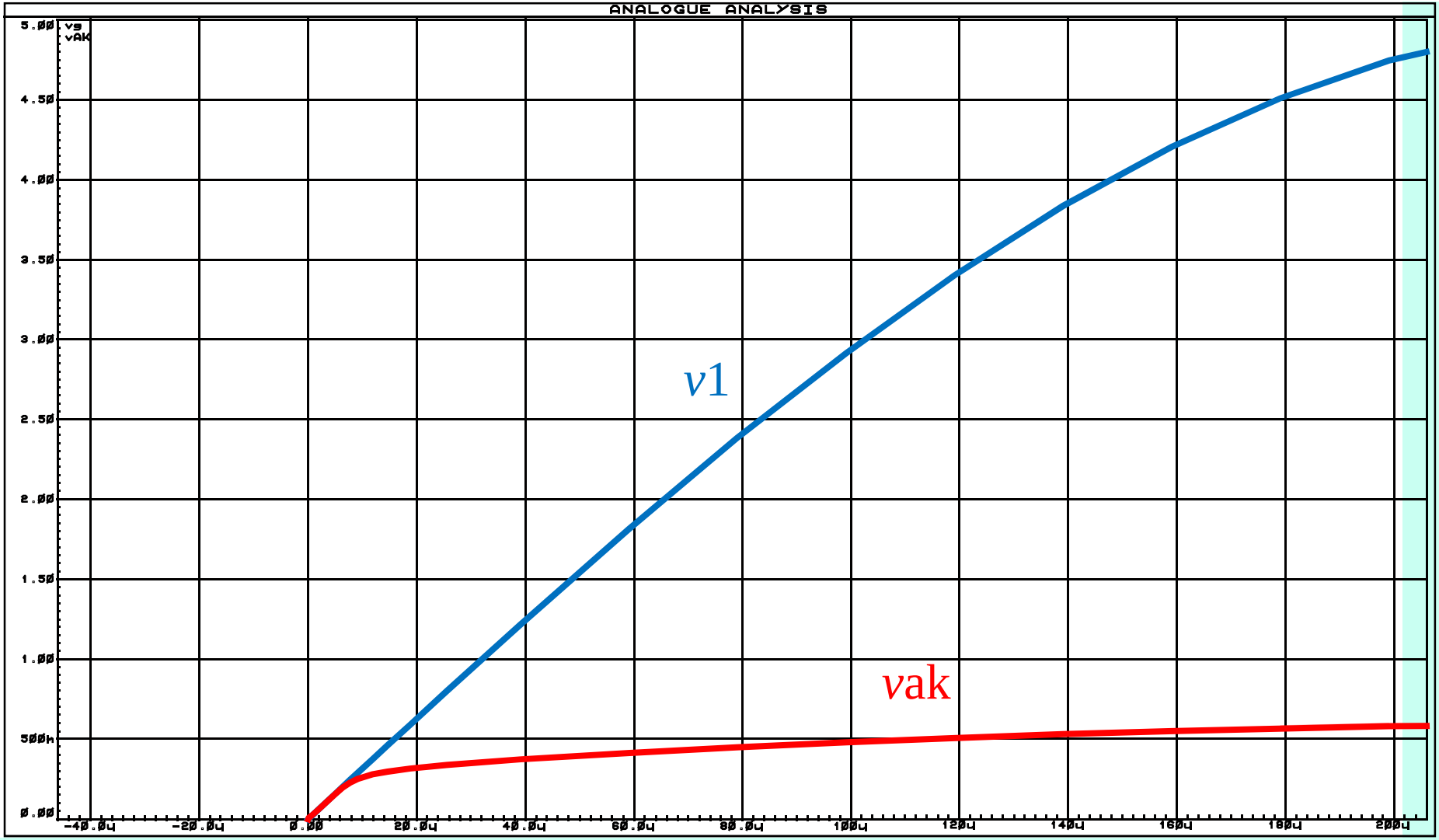
Nei grafici precedenti si è considerato il diodo ideale, cioè equivalente ad un corto circuito ($r_{ON} = 0$) per tutta la semionda positiva della tensione di alimentazione e ad un circuito aperto ($r_{OFF} = \infty$) per tutta la semionda negativa.

Inoltre si è considerata nulla la tensione di soglia Vs , per cui il periodo di conduzione del diodo risultava essere = semiperiodo della tensione di alimentazione (semionda positiva) e analogamente il periodo di non conduzione (interdizione) = semionda negativa.

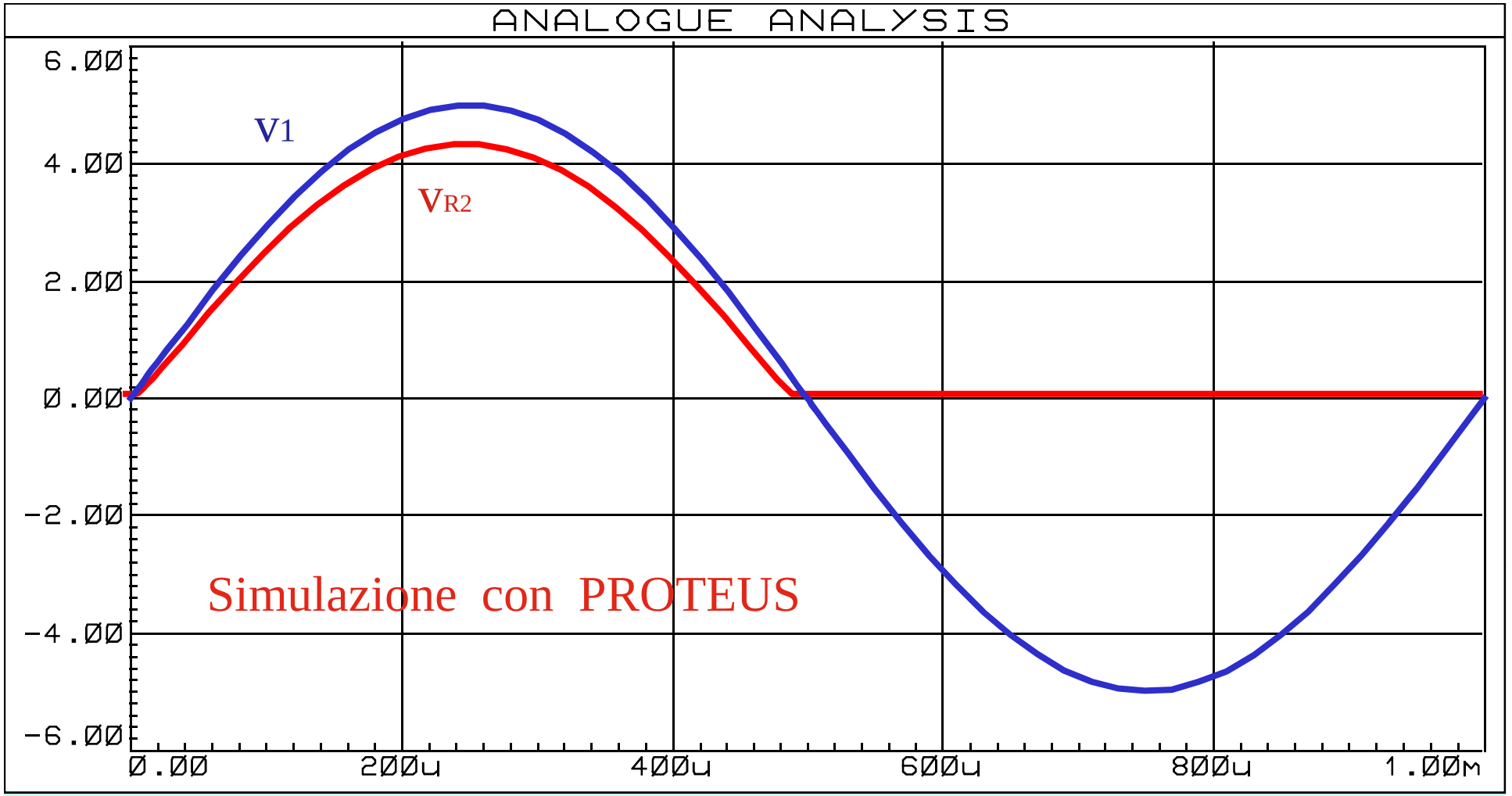
Nel caso reale, invece, il diodo inizia a condurre (stato ON) solo quando la tensione del generatore vale circa 0,3 [V] e la sua resistenza in questo stato non è nulla ma di qualche decina di [Ω] .
Non conduce quando la tensione vs è < 0,3 [V] , da cui si capisce perché il periodo di conduzione sia < semiperiodo positivo e quello di non conduzione sia > semiperiodo negativo.



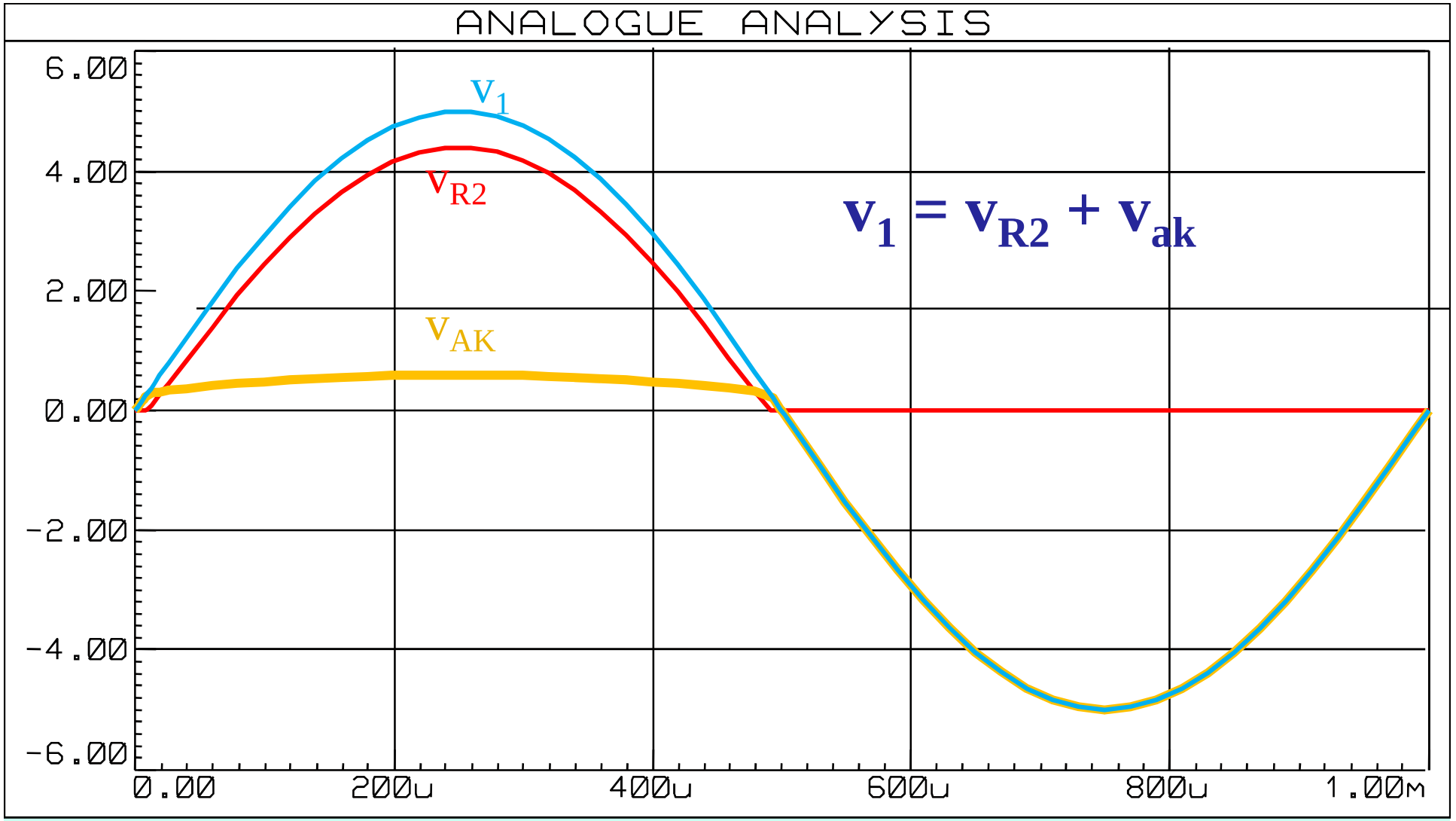
$V_1(t) = 5 \sin (2\pi*1000*t)$ [V]

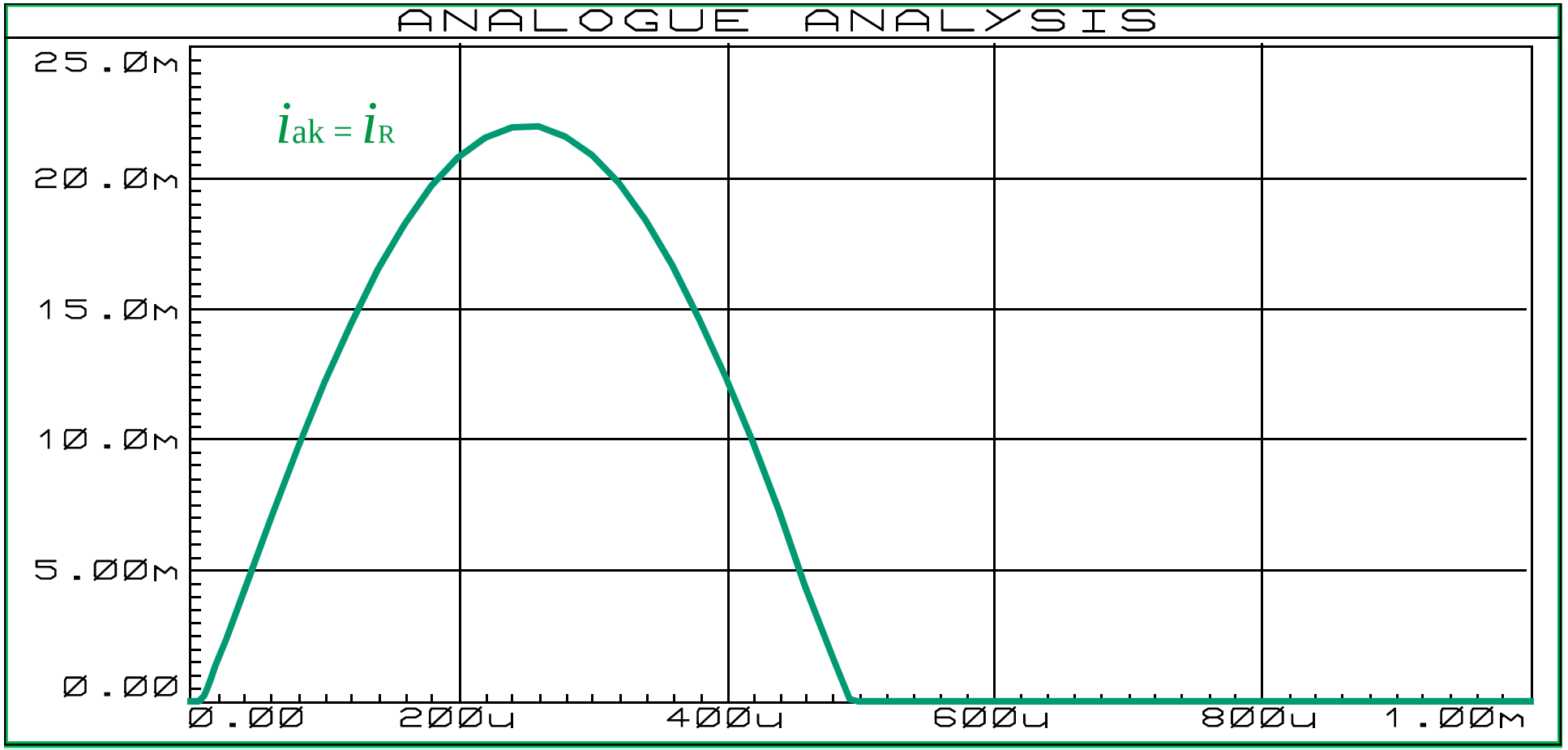


In questo zoom grafico, si vede bene quando inizi a condurre il diodo e come la tensione sul diodo non sia esattamente costante ma passi da circa 0,3 a 0,7 [V]



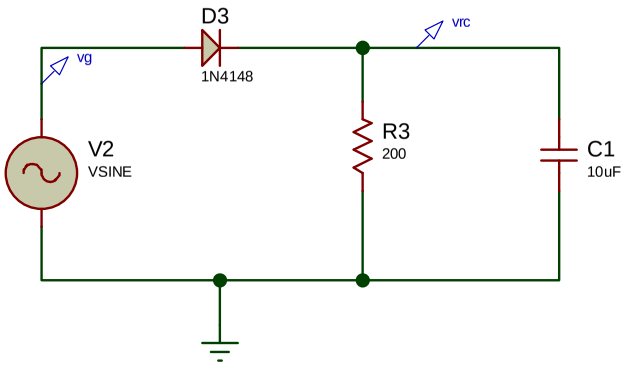
Le 3 tensioni v_1, v_{R2}, v_{ak} soddisfano la 2° Legge di Kirchhoff : la somma algebrica delle tensioni in un circuito chiuso è = 0, ovvero la tensione del generatore è = somma delle cadute di tensione sui vari componenti passivi presenti, per cui $V_1 = V_{R2} + V_{ak}$

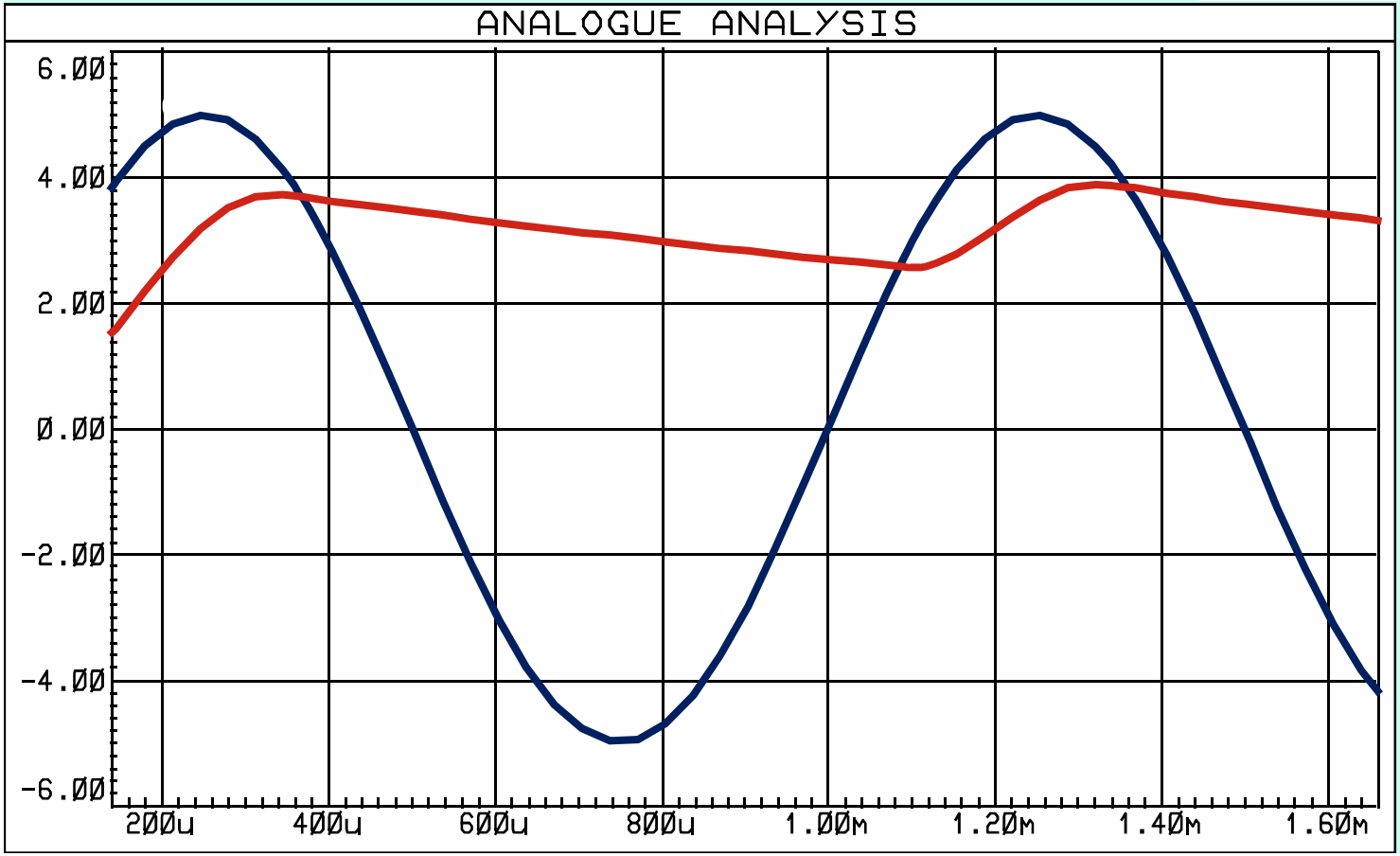

ANALOGUE ANALYSIS
6.00
4.00
2.00
0.00
-2.00
-4.00
-6.00
0.00
200u
400u
600u
800u
1.00m
V1
VR2
VAK
V1 = VR2 + Vak



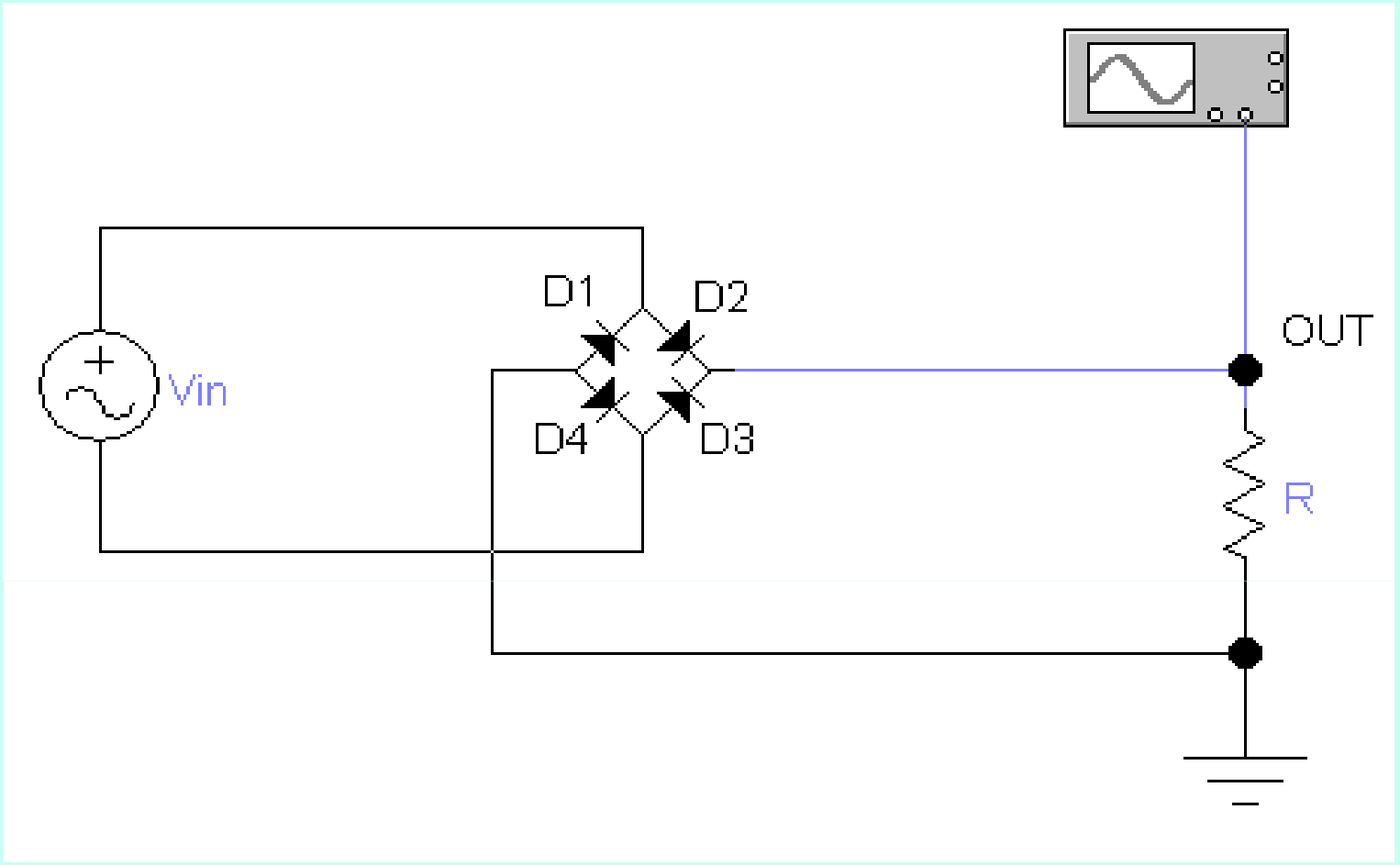
La corrente nel circuito ha andamento a semionda sinusoidale, ed è nulla per più di un semiperiodo , per quanto detto prima.
Il valore Imax (22 [μA]) è dato da $V_{1max} / (R + r_{on})$, dove r_{on} è la resistenza del diodo in conduzione, del valore, in questo circuito, di circa 27 [Ω].

La scarica del Condensatore dipende dalla costante di tempo RC del circuito : più è grande, più lenta sarà la scarica, più è piccola, più veloce sarà la scarica e, ovviamente, la carica.



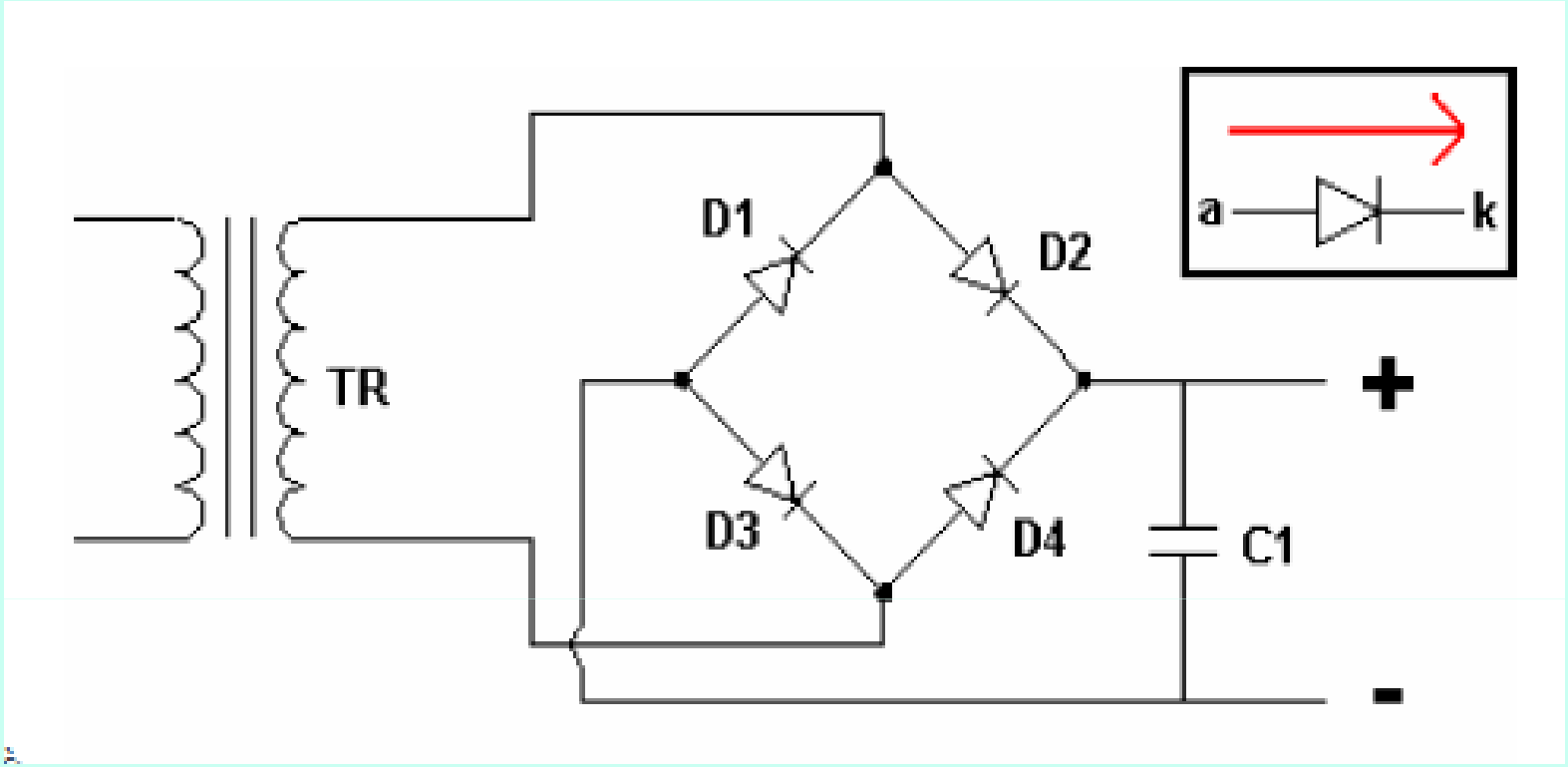


RADDRIZZATORE A DOPPIA SEMIONDA

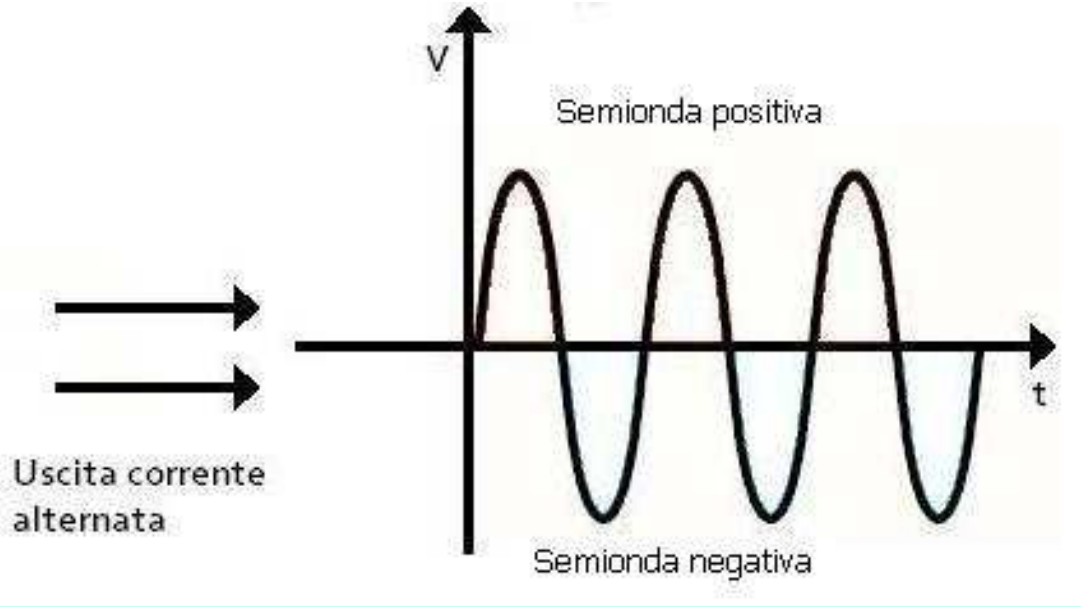


Esso come vedete è formato da 4 diodi al silicio, polarizzati in modo da far passare solo le semionde positive e raddrizzare (ribaltare) le semionde negative.
E' importante sapere che il ponte raddrizzatore provoca una caduta di tensione pari a ≈ 1,4 [V], il che sta ad indicare che se sul suo ingresso applichiamo una tensione alternata di 14 [V], in uscita troveremo una tensione continua di circa 12,6 [V].

RADDRIZZATORE A DOPPIA SEMIONDA CON FILTRO CAPACITIVO

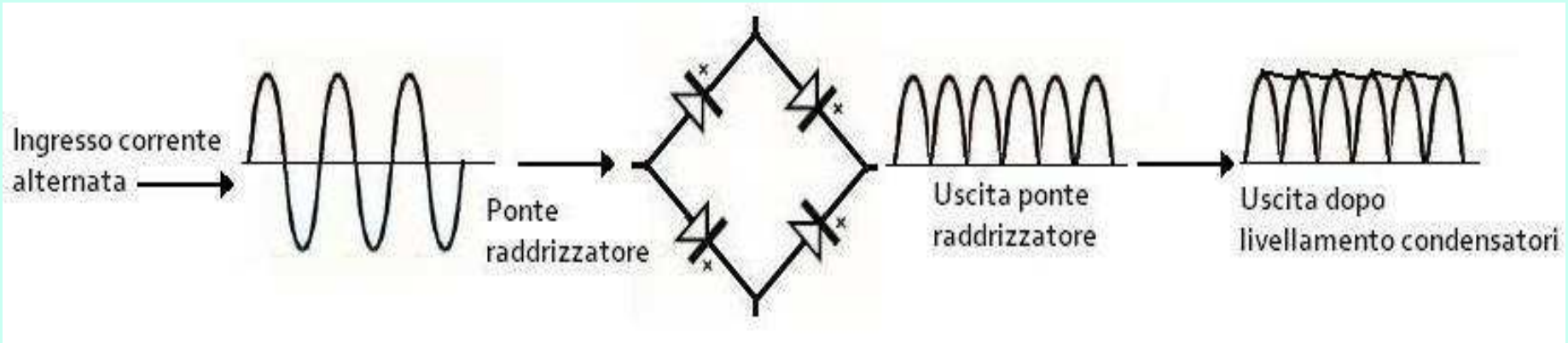


Questo particolare groviglio di diodi è definito **ponte di Graetz**. Con questo curioso stratagemma è possibile ottenere una tensione raddrizzata a doppia semionda senza ricorrere ad un trasformatore con presa centrale! Per capire cosa succede quando la tensione attraversa i quattro diodi, è necessario esaminare i due casi separati, il primo quando si ha la semionda positiva, il secondo quando si ha la semionda negativa. Vi ricordo che la corrente scorre solamente dall'anodo verso il catodo del diodo!

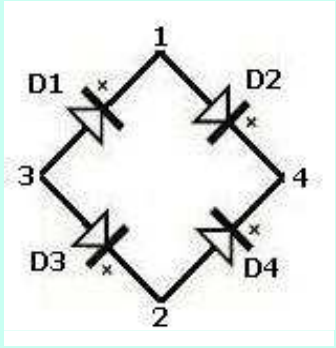


La figura qui sopra rappresenta l'andamento della tensione generata dall'uscita di un trasformatore .
Tutte le semionde negative dovranno successivamente essere raddrizzate, in modo da rendere il più possibile continua la tensione in uscita.

Processo di raddrizzamento :



La corrente alternata (AC , dall'inglese Alternating Current) è caratterizzata da un flusso di corrente variabile nel tempo sia in intensità che in direzione e non può essere utilizzata direttamente per alimentare circuiti e componenti elettrici ; deve infatti subire un processo in grado di modificare l'onda sinusoidale, con l'obiettivo di renderla continua. Questo compito viene affidato al ponte raddrizzatore.
Nello specifico, il ponte raddrizzatore effettua due passaggi importanti per modificare l'onda sinusoidale , sia della corrente che della tensione:

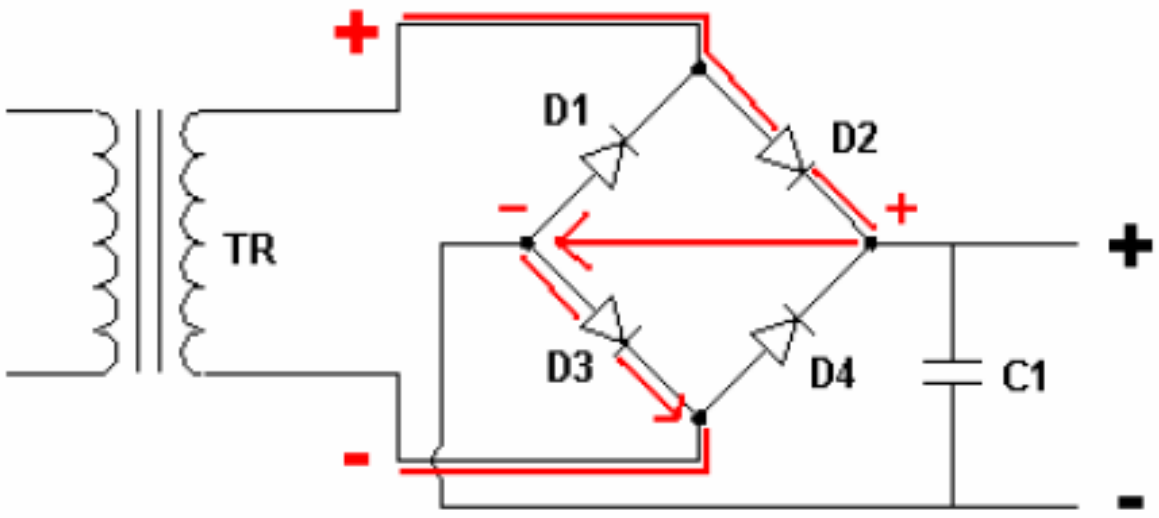


- quando tra i punti 1 e 2 sarà presente la semionda positiva, la tensione verrà raddrizzata dai diodi D2 e D3;

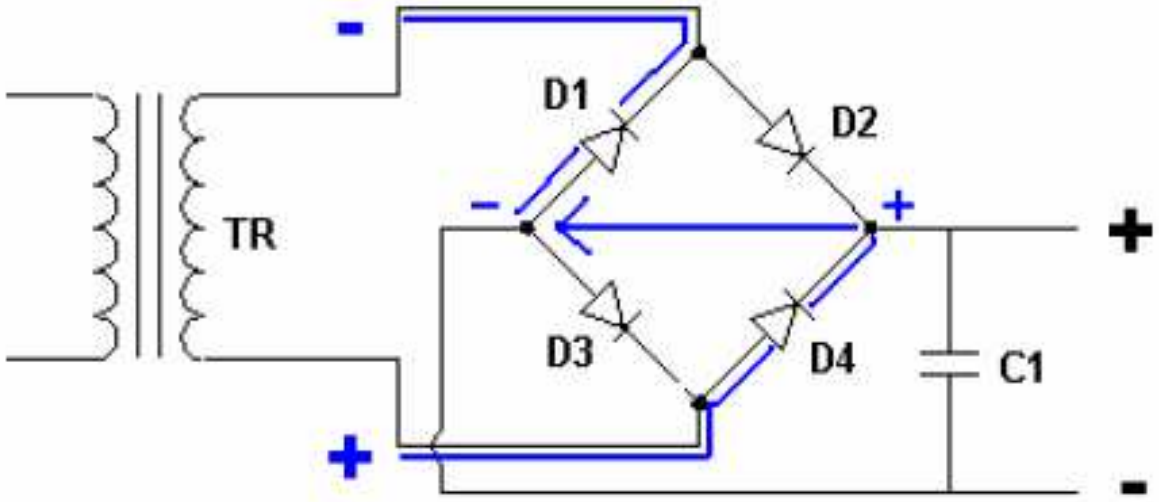
- quando tra i punti 1 e 2 sarà presente la semionda negativa, la tensione verrà raddrizzata dai diodi D1 e D4.

Questo processo, sfruttando di conseguenza anche le semionde negative, porterà ad un aumento della frequenza.
Infatti collegando un trasformatore alla tensione di rete, con primario 220 [V]eff e secondario con tensione a scelta a seconda delle nostre esigenze, la frequenza subirà un aumento di circa il 50%, passando da 50 [Hz], che è la frequenza standard della corrente di rete, a 100 [Hz].

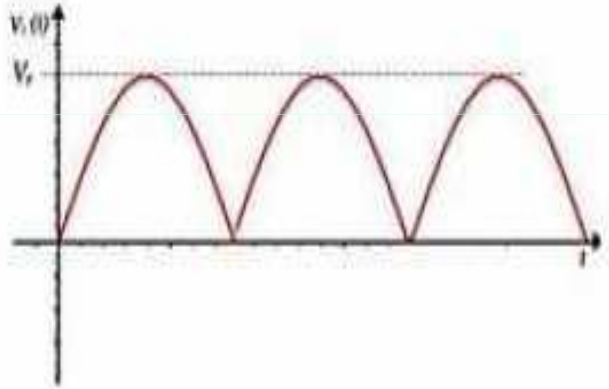
La corrente positiva scorre dal ramo alto verso quello basso, quindi attraversa D2 e D3



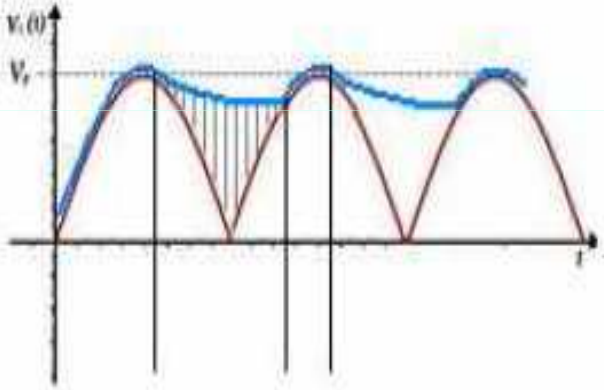
La corrente negativa scorre dal ramo basso verso l'alto, quindi attraversa D4 e D1



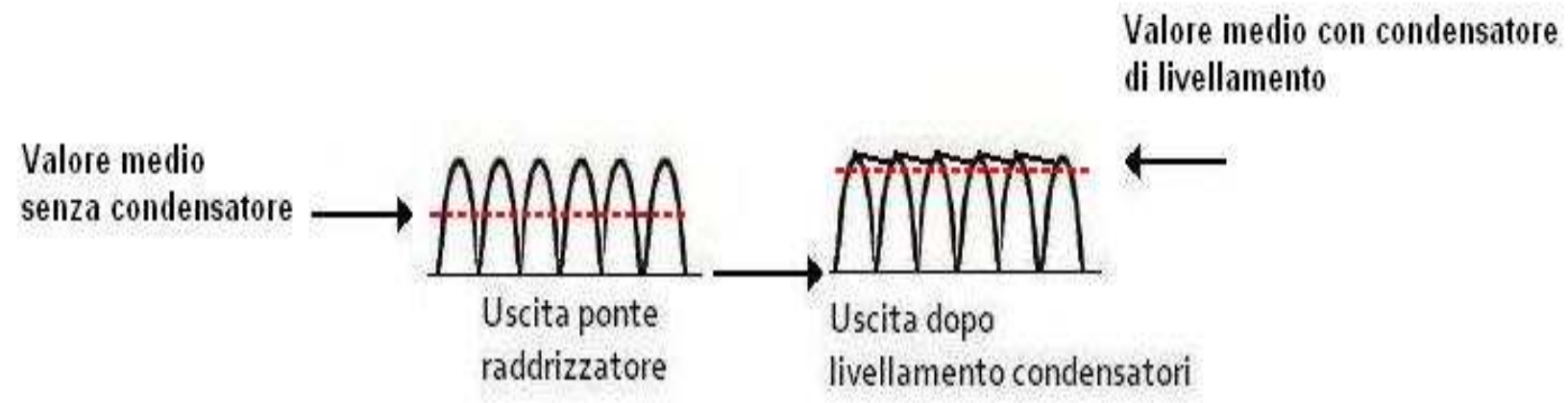
Le frecce nel centro non indicano che la corrente attraversa il "vuoto" ma significa che comunque si manifesta una tensione tra i due nodi indicati, dai quali come potete notare preleviamo appunto il positivo ed il negativo. Osservate come la corrente negativa seguendo un percorso alternativo, arriva comunque ai nodi interessati scorrendo nella stessa direzione di quella positiva e quindi mantenendo invariate le polarità dei due nodi interessati! In questo modo sul nodo a cui colleghiamo il positivo si manifesta sempre e comunque una tensione positiva, mentre sul negativo sempre tensione negativa! In uscita avremo :



Semionda positiva in uscita dal circuito



Scarica Carica



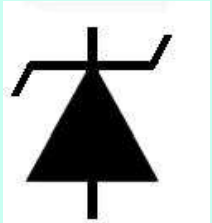
Dall'uscita del ponte raddrizzatore si ricaveranno quindi solo le semionde positive con frequenza doppia.
Anche se la frequenza risulterà raddoppiata, tra una semionda e l'altra si troverà sempre un piccolo spazio di tempo in cui il livello dell'onda non sarà presente, infatti esso scenderà fino a raggiungere una tensione di 0[V] circa, per poi risalire alla tensione ottimale.

Questo fattore negativo, anche se nella maggior parte dei casi i circuiti non subiranno perdite, può essere risolto con un **condensatore elettrolitico**, chiamato condensatore di **livellamento**, che ha il compito di eliminare le pulsazione della corrente alternata.

Si tratta solo di porre in parallelo alla tensione continua in uscita dal ponte raddrizzatore, un condensatore elettrolitico di capacità calcolata, in modo da aumentare il valore medio della tensione, ed eliminare il ronzio della tensione alternata.

DIODI ZENER

I diodi Zener, a differenza dei diodi al silicio, non vengono utilizzati per raddrizzare tensioni alternate, ma solamente per **stabilizzare** tensioni continue.
Infatti, essi vengono costruiti appositamente per sfruttare il cosiddetto funzionamento in zona di "break down" o "a valanga". In questo modo la tensione ai capi del diodo rimane approssimativamente costante al variare della corrente assorbita.
In figura

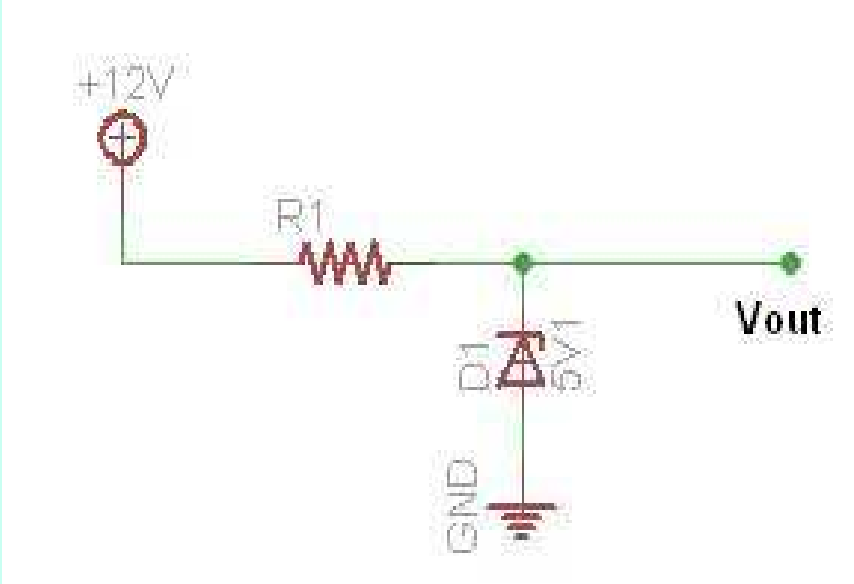


Simbolo Elettrico diodo ZENER

possiamo osservare il simbolo elettrico del diodo Zener, che si differenzia dal classico diodo comune per la presenza sul catodo delle due alette con direzione opposta.
Come già detto, il compito del diodo zener è quello di stabilizzare una tensione continua, portandola ovviamente su valori standard in base al diodo zener inserito.
Infatti, sul corpo del diodo zener è stampata la tensione di lavoro del diodo stesso;
la scritta 5V1 equivale ad una tensione di 5.1 [V], ovviamente in ingresso dovrà essere presente una tensione maggiore, rispetto a quella da stabilizzare , di almeno 2-3 Volt.

Come stabilizzare una tensione con un Diodo Zener

Per poter creare una tensione stabilizzata con un diodo Zener, è necessario sempre disporre di una **resistenza di caduta** , di valore opportuno, tra la tensione in ingresso e il catodo del diodo.



Infatti come possiamo notare nello schema , la resistenza R1 è collegata alla tensione in ingresso di 12[V] ed al catodo del diodo Zener ; l'anodo invece è collegato direttamente a GND.

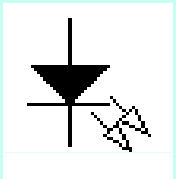
Il valore della resistenza R1 va calcolato in base alle nostre esigenze e cioè in funzione della sua potenza e della tensione di alimentazione ; infatti al variare della tensione in IN, della tensione in OUT e in base al tipo di diodo Zener, il valore resistivo R1 assumerà ogni volta valori e dimensioni diverse.

IL DIODO LED

Un diodo LED (Light Emitting Diode) è un particolare diodo che emette radiazioni luminose quando è attraversato da corrente.

Il simbolo elettrico è il seguente

ANODO



CATODO

La lunghezza d'onda della radiazione emessa dipende dal materiale con il quale il diodo LED viene realizzato.

I diodi LED vengono impiegati quali elementi di segnalazione visiva.

Se vengono assemblati in opportune configurazioni geometriche consentono di realizzare sistemi di visualizzazione più sofisticati

(display a sette segmenti, a matrice)

TRANSISTOR

- Il Transistor (Transfer - Resistor), componente che segna la nascita dell' Elettronica, è un componente realizzato in una piastrina (chip) di Silicio.
- E' l'equivalente della valvola termoionica o Triodo .
- Esistono 2 tipi di Transistor :

  - BJT : TRANSISTORI a Giunzione (PN) Bipolari (2 tipi di portatori di carica : elettroni e lacune)

  - JFET / MOSFET : TRANSISTORI a Giunzione a Effetto di Campo (Elettrico) ; questi sono Unipolari, cioè hanno un solo tipo di portatori : o elettroni o lacune.

- Sia il Triodo che il BJT che il MOSFET hanno 3 terminali, con la stessa funzione ma nomi diversi.

Nomi e funzioni dei 3 terminali

- TRIODO : Catodo, Griglia, Anodo
- BJT : Emettitore, Base, Collettore
- MOSFET : Source, Gate, Drain (Sorgente, Porta, Pozzo o Collettore)

Nel Triodo gli elettroni, emessi dal catodo (costituito da un metallo a basso lavoro di estrazione, cioè che perde facilmente elettroni) vengono attratti dall' anodo, posto a un potenziale elettrico superiore al catodo (in genere connesso a massa).
Il potenziale applicato alla griglia , superiore a quello del catodo ma inferiore a quello dell' anodo, regola istante per istante il flusso di elettroni, favorendolo od ostacolandolo.

Analogamente, nel BJT l' Emettitore emette gli elettroni che vengono attratti in Base, tenuta a un potenziale + alto. Dalla Base gli elettroni vengono attratti verso il Collettore, tenuto a un potenziale + alto della Base.
Variando il potenziale della Base , si può modulare il flusso di elettroni dall' Emettitore al Collettore.

Nel Mosfet il Source emette, il Drain riceve e il Gate regola il flusso (di elettroni o lacune).

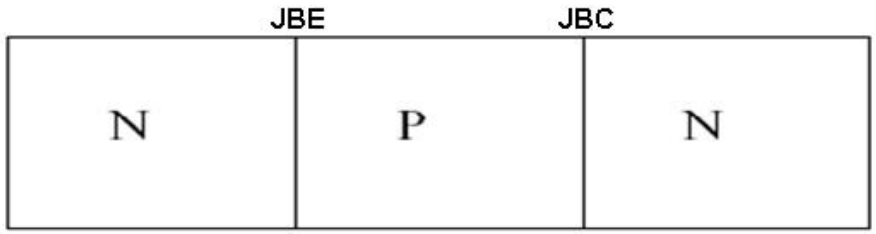
Sia il Triodo che il BJT e il JFET /MOSFET possono funzionare in 2 modi :

- **DIGITALE BINARIO (ON / OFF)**
- **ANALOGICO**

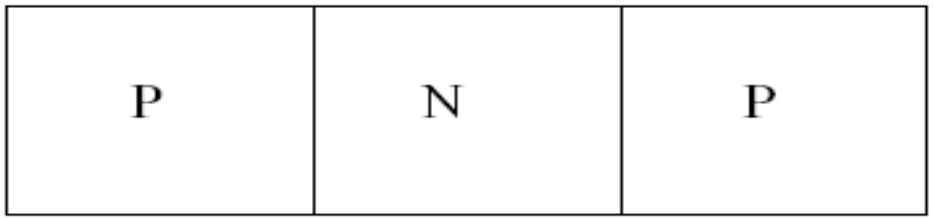
Nel 1° modo, in uscita abbiamo corrente nulla o massima (questo valore dipende dal circuito).
Nel 2° modo, la corrente di OUT è molto > della corrente di IN e con la sua stessa forma (funzionamento lineare).

IL TRANSISTOR BJT (Bipolar Junction Transistor)

Un transistor bipolare è costituito da tre regioni adiacenti di materiale semiconduttore, drogate alternativamente N e P.

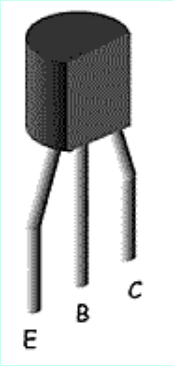


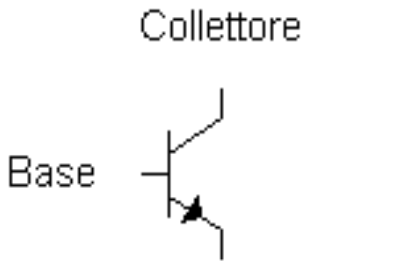
EMETTITORE BASE COLLETTORE



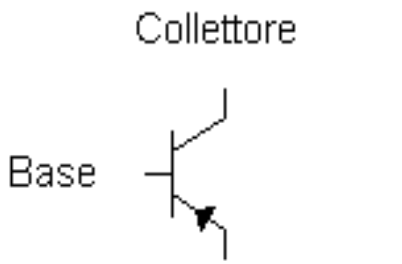
EMETTITORE BASE COLLETTORE

La regione centrale si chiama Base, le altre due Emettitore e Collettore.
Fra queste 3 regioni vi sono 2 giunzioni PN, la JBE e la JBC .
Possiamo avere due tipi di transistor bipolari: NPN e PNP.
Si distinguono, nel simbolo grafico, per la freccia sull' emettitore, che indica il verso CONVENZIONALE della corrente.





TRANSISTOR npn



TRANSISTOR pnp

La regione di base è molto sottile e molto meno drogata rispetto alle regioni di emettitore e di collettore. La più drogata è quella di emettitore.

Nel dispositivo sono presenti **2** giunzioni : **J_{BE} (base – emettitore)** e **J_{BC} (base – collettore) e 3 terminali (pin) : E, B, C**

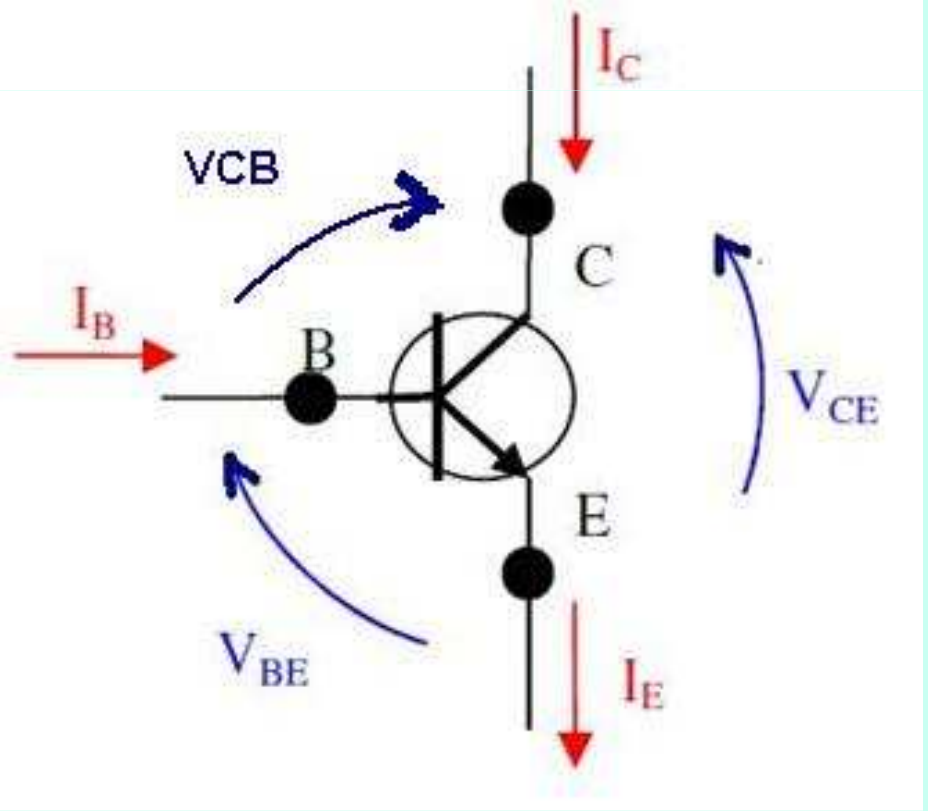
Circolano 3 correnti **: I_B, I_C, I_E** legate dalla relazione **$I_E = I_B + I_C$**

Si definisce il parametro **$h_{FE} = I_C / I_B$** **(guadagno di corrente in continua , o statico)**

Fra i 3 terminali si creano le 3 tensioni

V_{BE}, V_{CE}, V_{CB} legate dalla relazione :

$$V_{BE} + V_{CB} = V_{CE}$$



Configurazioni del BJT :

Essendoci 3 terminali, a seconda di quale viene connesso a massa si otterranno 3 diverse configurazioni e modalità di funzionamento :

- CONFIGURAZIONE CE (Common Emitter)
- CONFIGURAZIONE CB (Common Base)
- CONFIGURAZIONE CC (Common Collector)

(common significa che quel terminale è comune al circuito di IN e di OUT)

Nella configurazione CE il BJT fornisce Guadagno di corrente e di tensione (cioè di potenza) : la tensione e la corrente in OUT sono > di quelle in IN.

Nella configurazione CB il BJT fornisce solo Guadagno di tensione.

Nella configurazione CC il BJT fornisce solo Guadagno di corrente.

Il Transistor, in ogni configurazione, può funzionare in 2 modi :

- in modo analogico (Funzionamento Lineare)
- in modo digitale binario (Funzionamento ON – OFF)

Nel 1° modo amplifica o la corrente o la tensione o entrambe, perciò in OUT abbiamo la stessa forma d' onda, variata solo in ampiezza.

Nel 2° modo passa dallo stato di INTERDIZIONE (OFF) a quello di SATURAZIONE (ON), precisamente :
quando è OFF, in OUT la corrente è circa ZERO e la tensione è circa V**cc**
quando è ON, in OUT la corrente è la max possibile e la tensione è circa ZERO

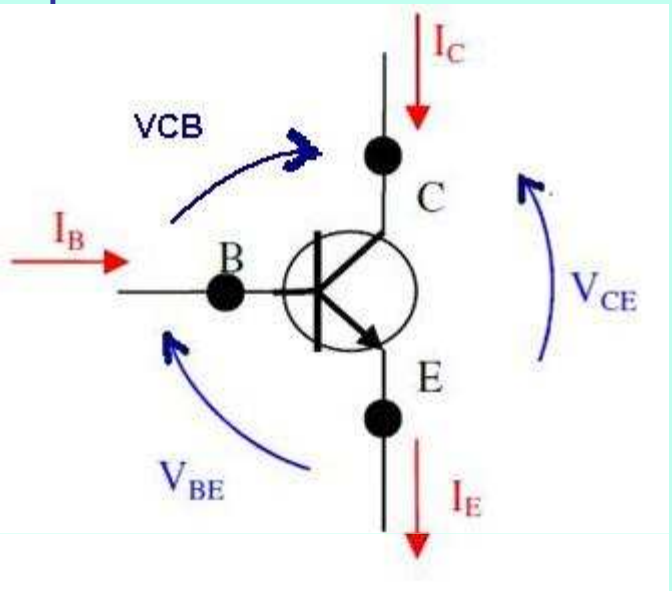
Si dice anche che il BJT funziona in :

- Regione (o Zona) Attiva (Funzionamento Lineare)
- Regione di Saturazione ON
- Regione di Interdizione OFF

Perciò in totale abbiamo 9 diverse modalità (3 configurazioni x 3 regioni)

Regioni (Zone) di FUNZIONAMENTO del BJT (NPN)

La polarizzazione delle due giunzioni presenti nel dispositivo determina la sua Zona (Regione) di funzionamento. In particolare :



Se le due giunzioni J_{BE} e J_{BC} sono entrambe polarizzate inversamente (+ su N, - su P)
($V_{BE} \leq 0$, $V_{CB} > 0$, cioè $V_{CE} > V_{BE} > 0$),
il transistor lavora nella zona di interdizione.

Se le due giunzioni sono entrambe polarizzate direttamente,
($V_{BE} > 0$, $V_{CB} < 0$, cioè $V_{CE} < V_{BE}$), il transistor lavora nella zona di saturazione.

Se la giunzione Base-Emettitore è polarizzata direttamente e la giunzione Base-Collettore è polarizzata inversamente , ($V_{BE} > 0$, $V_{CB} > 0$ cioè $V_{CE} > V_{BE} > 0$),
il transistor lavora in regione attiva o lineare.

Per un dispositivo PNP le disequazioni precedenti si invertono.

In ogni caso, cosa succede nel BJT in zona attiva ?

Riferendoci alla Configurazione CE, l' Emettitore (connesso a massa) emette elettroni che vengono attirati in Base, essendo qui il potenziale elettrico + alto ; il numero di elettroni è molto + grande del numero di lacune presenti in Base (a causa del diverso drogaggio), per cui la maggior parte degli elettroni viene spinta fino al Collettore, dove c'è un potenziale molto + alto che sulla Base.

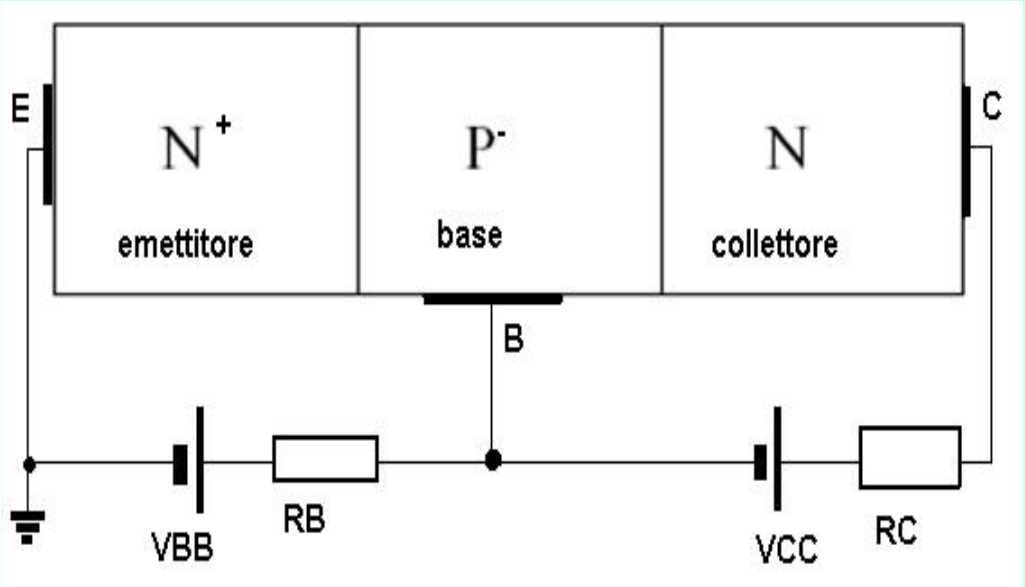
Tutto dipende perciò dalle tensioni applicate ai 3 terminali e alle 2 giunzioni, cioè dal circuito di polarizzazione .

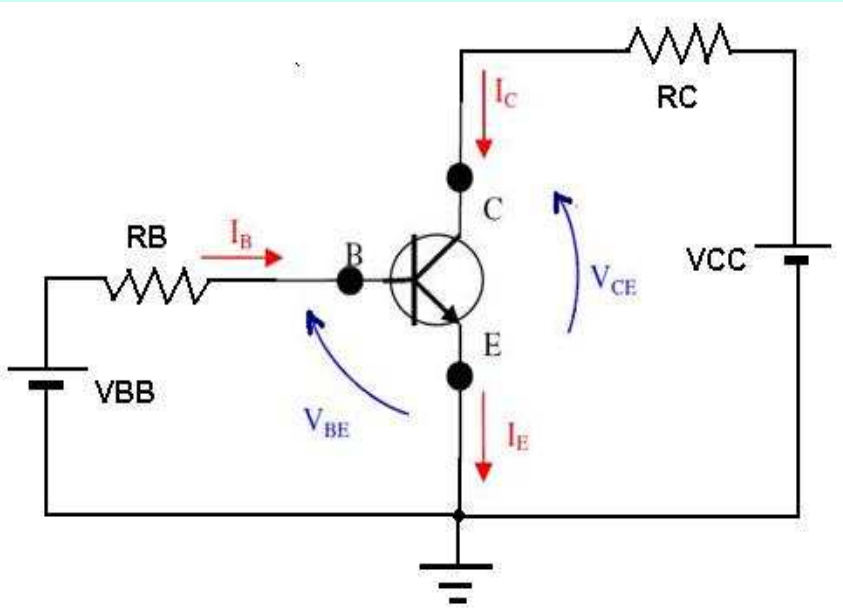
CIRCUITI DI POLARIZZAZIONE (ALIMENTAZIONE)

Per portare un transistor BJT in regione attiva, dove può amplificare, si utilizzano dei circuiti di polarizzazione opportuni.

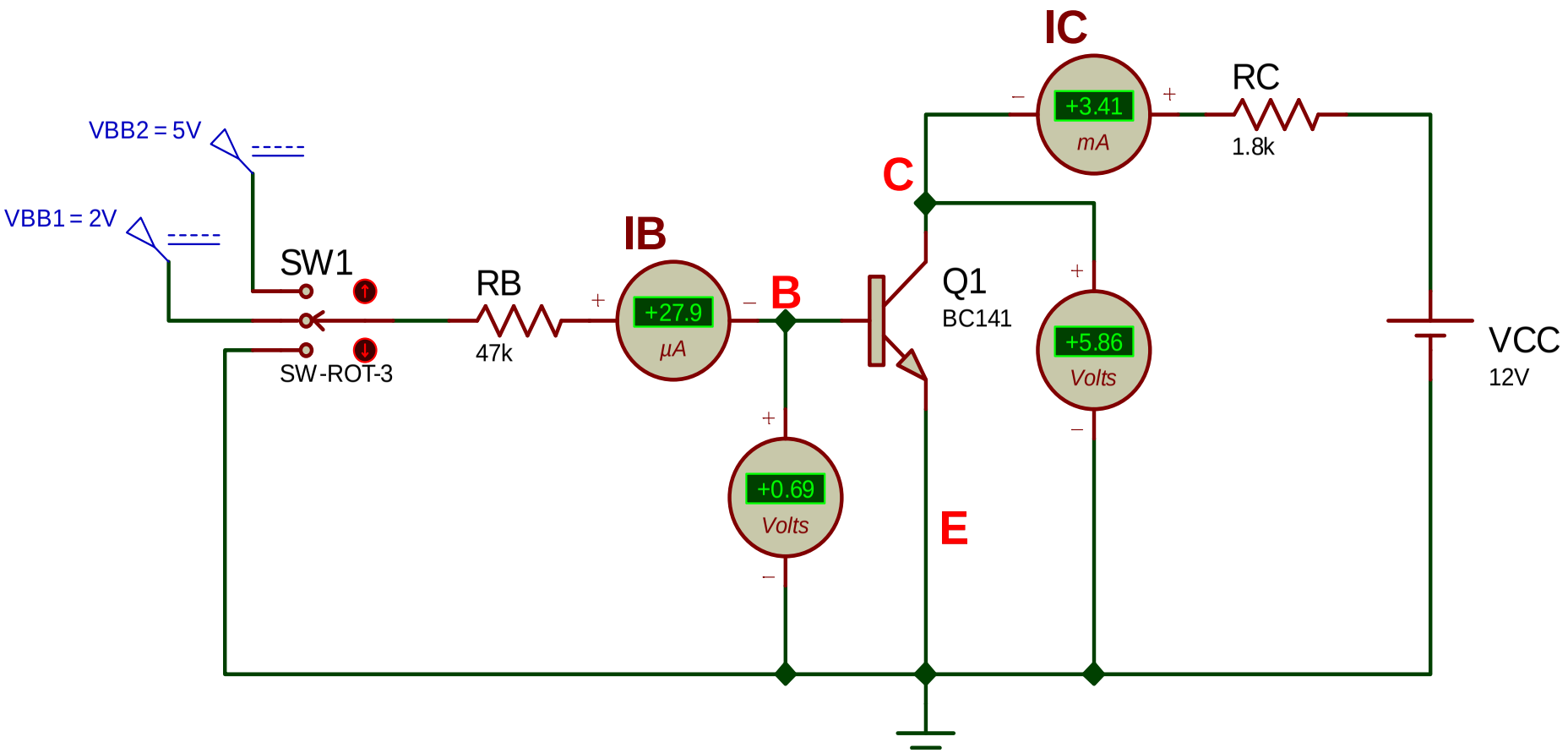
Precisamente, si deve inserire il dispositivo in una rete elettrica, adeguatamente dimensionata, in grado di rendere verificate le disequazioni introdotte precedentemente e che garantiscono il funzionamento in regione attiva.

Ad esempio per un dispositivo di tipo NPN : **$V_{CC} > V_{BB}$**





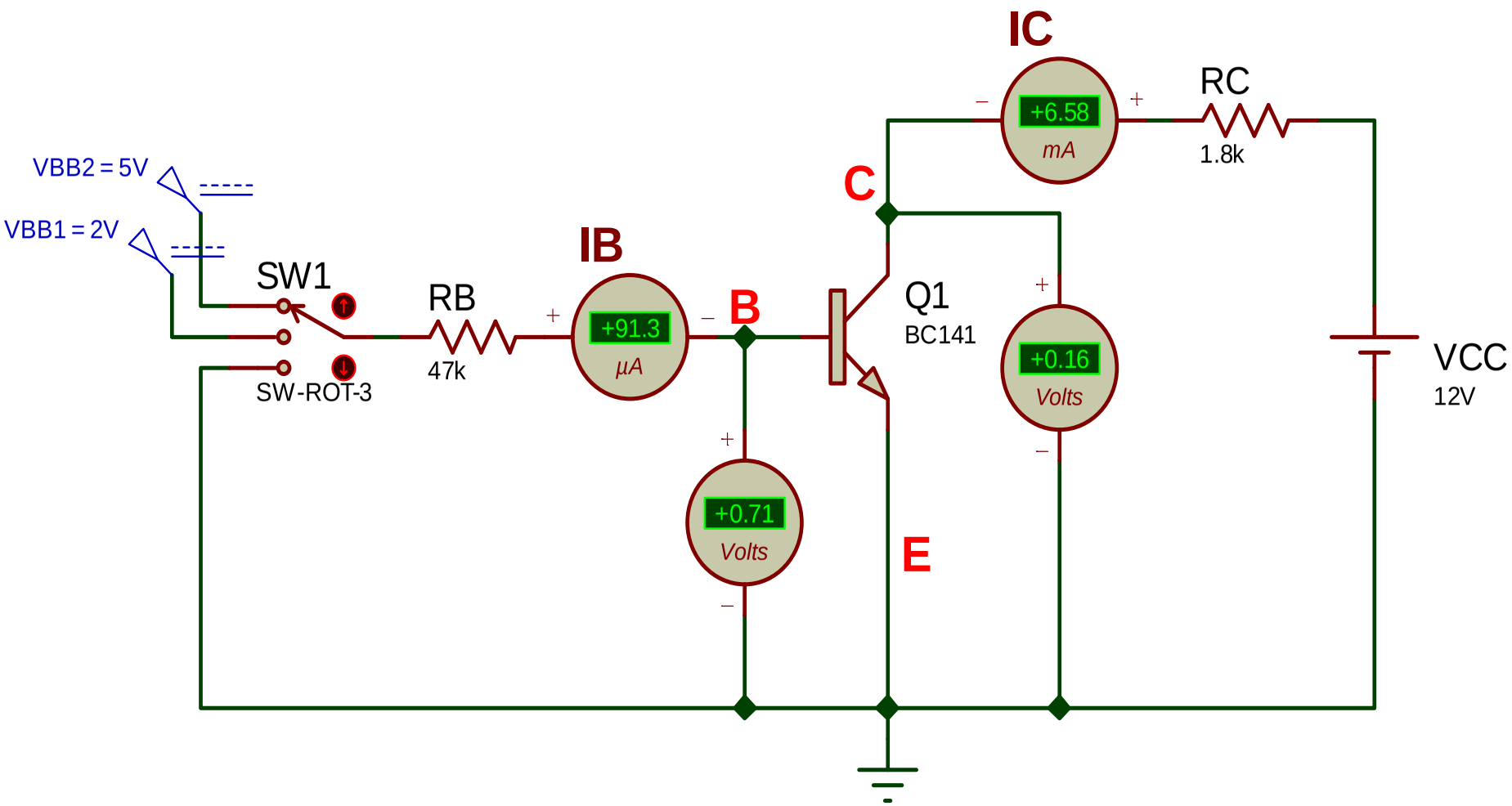
CIRCUITO DI POLARIZZAZIONE per BJT NPN



hFE1 = IC1 / IB1 = 3410 / 27,9 = 122

REGIONE ATTIVA **QIN1 = (IB1 ; VBE1) = (27,9 [uA] ; 0,69 [V])**

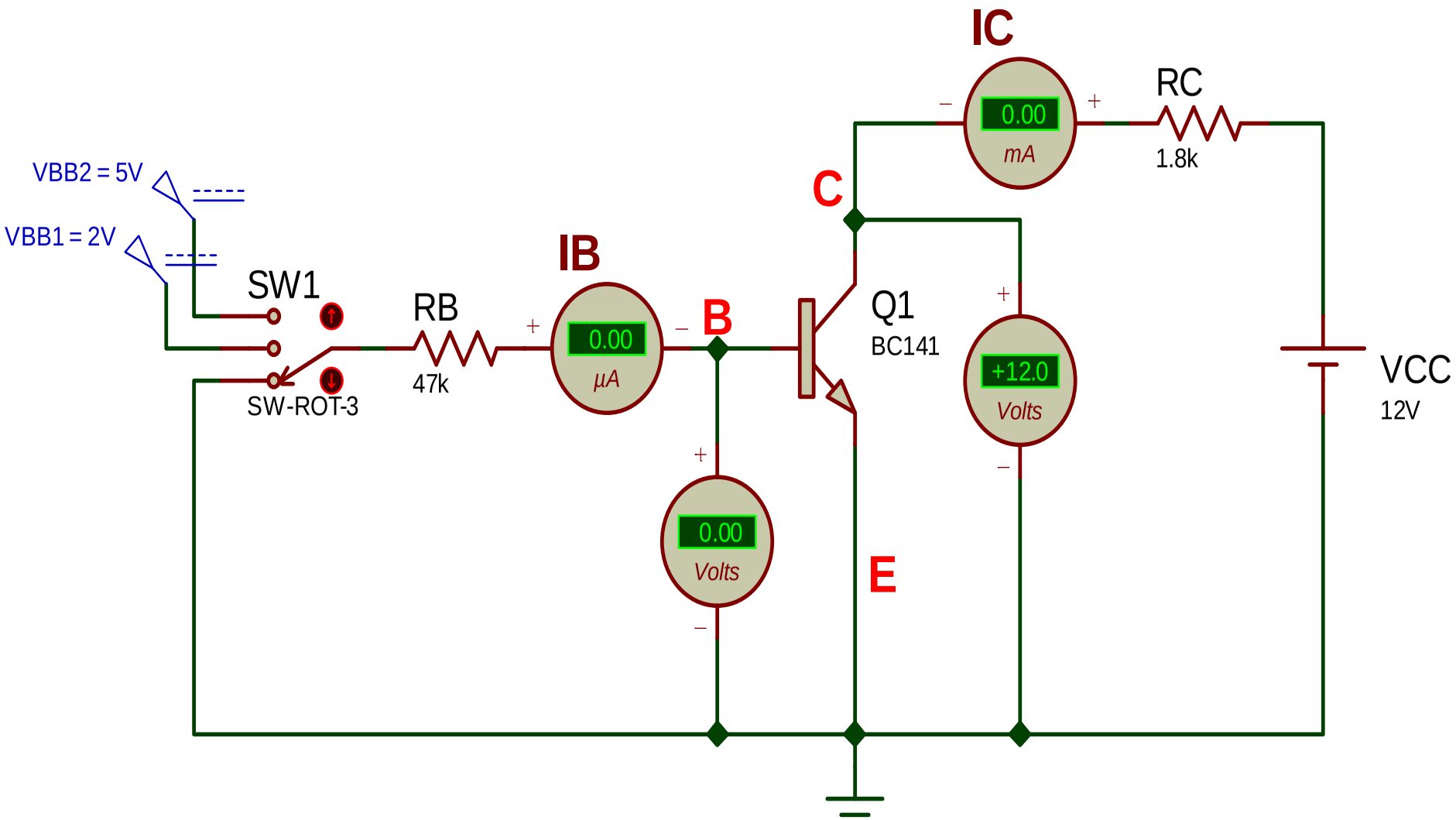
QOUT1 = (IC1 ; VCE1) = (3,41 [mA] ; 5,86 [V])



QINsat = (IBsat ; VBEsat) = (91,3 [uA] ; 0,71[V])

SATURAZIONE **QOUTsat = (ICsat ; VCEsat) = (6,58 [mA] ; 0,16 [V])**

hFEsat = 6580 / 91,3 = 72



QIN3 = (IB3 ; VBE3) = (0[uA] ; 0[V])

INTERDIZIONE

QOUT int = (0 [mA] ; 12 [V])

hFEint = 0

IL BJT COME INTERRUTTORE

In molteplici applicazioni il transistor BJT viene utilizzato in commutazione tra la zona di interdizione e quella di saturazione.

In questo caso il suo comportamento è quello di un **interruttore elettronico**, in cui il percorso **collettore - emettitore** del transistor può esser considerato equivalente ad un interruttore, il cui funzionamento è controllato dalla tensione tra il terminale di base e GND.

Con l' Emettitore a massa (Configurazione CE) e il Collettore a Vcc, se anche la Base viene portata a potenziale di terra, il BJT si **interdice** :
IB si annulla, così come IC, mentre la VCE diventa quasi uguale a Vcc.
Se invece la Base assume un potenziale abbastanza alto (alcuni Volt), il BJT **satura :**
IB raggiunge il valore max (IBsat), limitato da RB, anche la IC raggiunge il valore max (Icsat), limitato da RC, mentre la VCE diventa quasi zero.

IL BJT COME INTERRUTTORE

Si dimostra che il rapporto tra la corrente interrotta e inserita dal transistor, e la corrente necessaria per farlo funzionare è maggiore di 100.

Ciò spiega il grosso vantaggio di questo interruttore : per interrompere grandi correnti è sufficiente una corrente di polarizzazione molto più piccola.

Gli interruttori a transistor vengono utilizzati per la commutazione veloce, a breve e media distanza.

L'elemento di commutazione dello stadio a transistor è il collegamento collettore - emettitore del transistor stesso.

Tale collegamento deve prima essere ad alto valore ohmico, in modo da interdire la corrente di collettore - emettitore, poi il collegamento deve scendere a basso valore ohmico e consentire il flusso della corrente.

IL BJT COME INTERRUTTORE

Il transistor quindi deve passare dallo stato di interdizione allo stato di conduzione (figure 1 e 2).

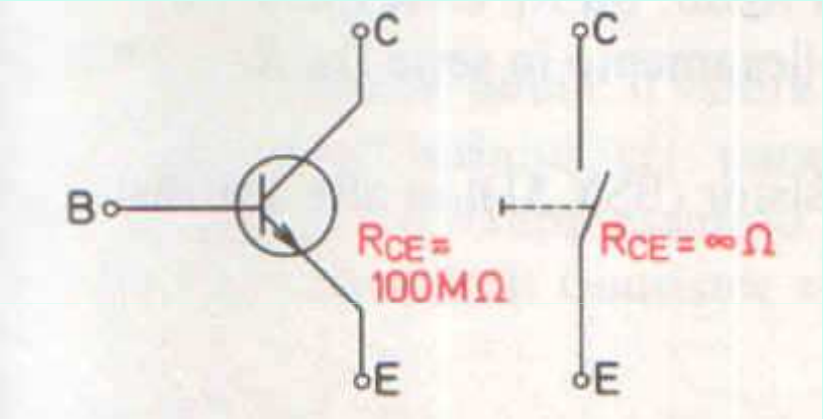


fig.1

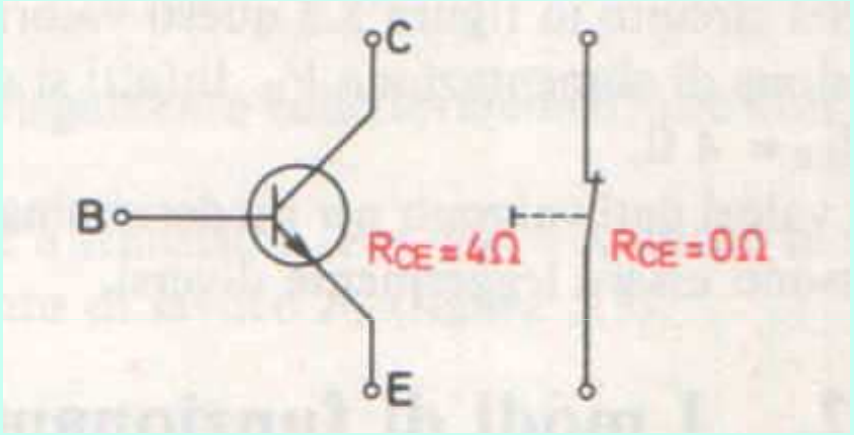


fig. 2

Il passaggio da uno stato all'altro è controllato dalla corrente di base o dalla tensione tra Base ed Emettitore.

Se si lascia aperto l'ingresso o si applica all'ingresso il potenziale della massa, la corrente di base non fluisce e praticamente neanche la corrente di collettore.

IL BJT COME INTERRUTTORE

La figura 3 mostra un esempio molto semplice di interruttore a transistor:

il transistor non viene comandato direttamente dalla tensione V_{BE}, ma

il comando è esercitato dalla resistenza **R_B** sulla base.

Nello stato di interdizione il transistor può presentare i seguenti parametri :

IB = 0 VBE = 0 RCE= 100 [MΩ] Ic = 0 VCE = VCC = 12 [V]

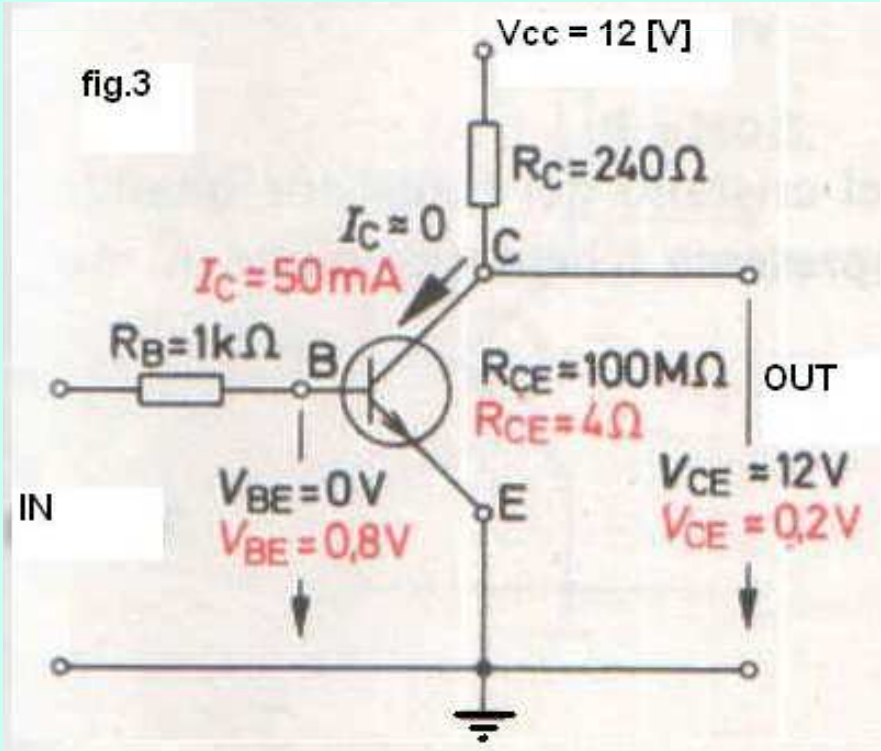
Se la base riceve una corrente di 1 **mA**, il transistor entra in conduzione.
Il collegamento collettore - emettitore scende a un basso valore ohmico e la tensione Vce si riduce.

Nello stato di massima conduzione il transistor può presentare i seguenti parametri :

IB = 1 **mA** **VBE =** 0,8 **V**

Ic = 50 **mA** **VCE=** 0,2 **V**

RCE = 4 **Ohm**



APPLICAZIONI DEL BJT ON - OFF

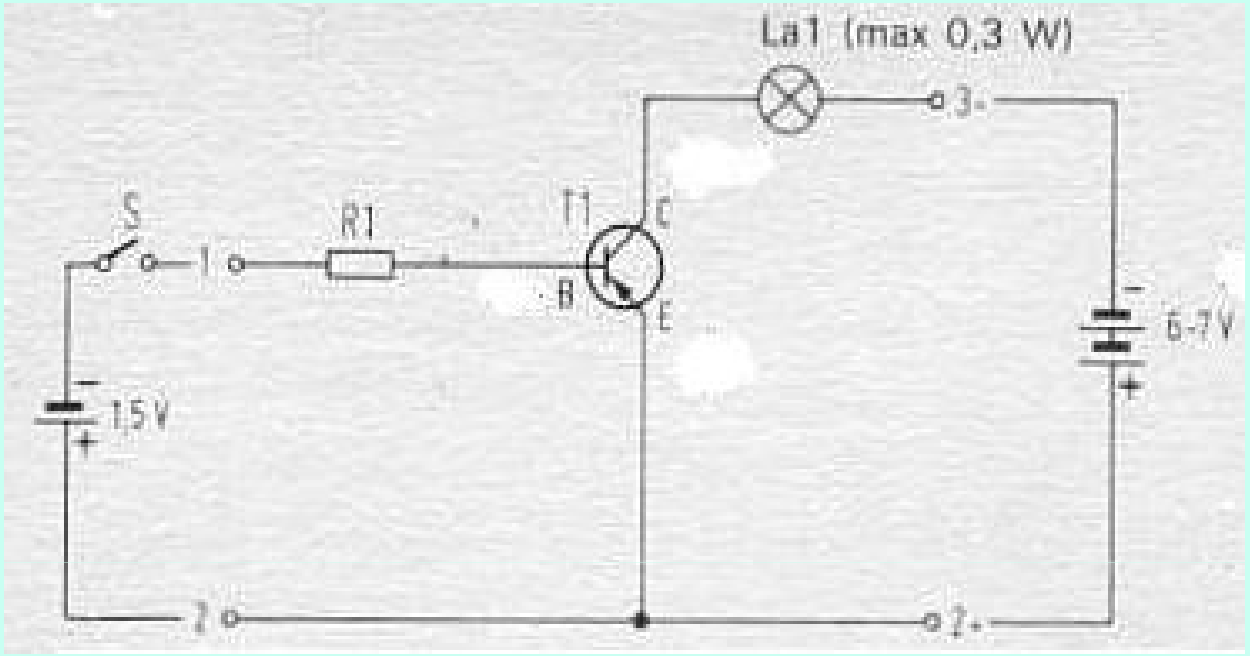
Interruttore per lampadine ad incandescenza.

- Di fronte al problema di accendere e spegnere una lampadina, saremmo tentati di pensare che un normale interruttore possa risolverlo in ogni caso in maniera più che soddisfacente. Ciò però non è vero, come dimostrano i seguenti ragionamenti.

  Come ognuno di noi ha osservato, interrompendo correnti intense, sui contatti di un interruttore si vedono delle scintille, e perciò localmente si originano altissime temperature.
- In seguito a ciò hanno luogo diversi processi chimico - fisici a livello dei contatti, che lentamente si usurano; infatti gli archi elettrici che s'innescano determinano ogni volta una migrazione di particelle di materiale.
  Un giorno l'interruttore sarà carbonizzato e non più in grado di assolvere il suo compito.
- Per questa ragione, per gli interruttori sensibili, si dà un limite superiore di corrente, oltre il quale l'interruttore non può funzionare, il cosiddetto <<potere di interruzione>>.
- Esistono interruttori che funzionano fino ad un massimo di 1 **mA** (per esempio microrelè) e quindi non sono adatti come interruttori per lampadine: questi ultimi richiedono circa 50 **mA.**
- Una possibile soluzione è l'uso del transistore come interruttore.

Interruttore per lampadine ad incandescenza.

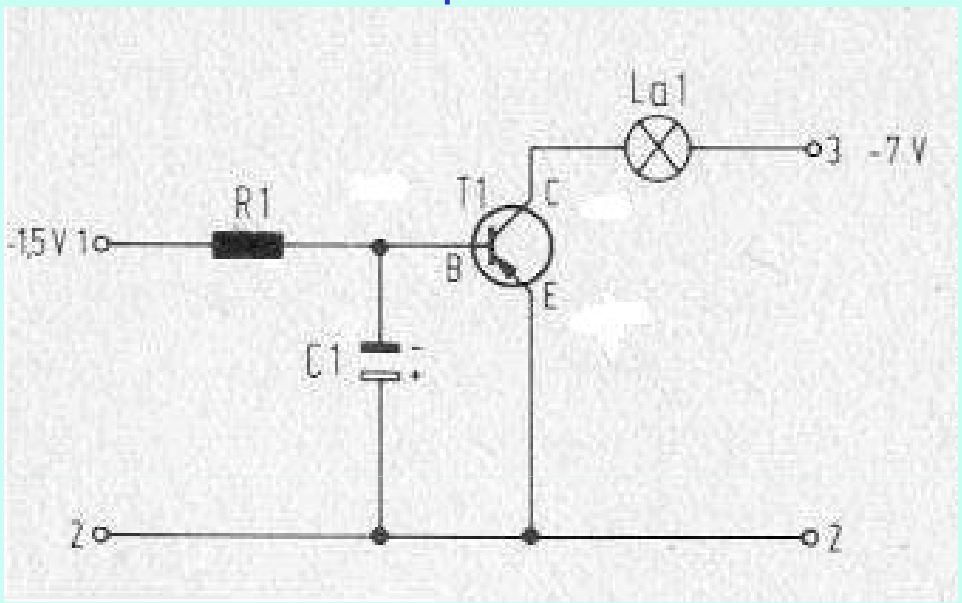
La fig. 2 mostra lo schema del circuito.



Attraverso il collettore, a transistor non interdetto, passa la corrente di 50 **mA** necessaria per l'accensione della lampadina.
L'interruttore S interrompe la corrente del generatore da 1,5 **V** inserito sulla base, con la cui tensione polarizza il circuito d'ingresso del transistor facendolo andare in conduzione: ovviamente affinché la lampadina s'illumini normalmente è necessario che la resistenza emettitore - collettore di T1 sia prossima allo zero, ovvero che T1 lavori in <<saturazione>>.

Interruttore per lampadine ad incandescenza

- Ogni volta che accendiamo una lampadina ad incandescenza, la sua vita diminuisce. Sarebbe vantaggioso, specie con lampade costose, riuscire ad accenderle lentamente o come si dice tecnicamente operando un soft start.
- Utilizzando il circuito di figura è possibile raggiungere lo scopo.



- E' noto che un condensatore impieghi un certo tempo per arrivare alla completa carica ; il resistore R1 accoppiato con C1 realizza un circuito RC, in cui il tempo necessario per far salire $\mathbf{v_{c1}(t)}$ al 63% della tensione applicata tra i morsetti 1 e 2 è dato dalla seguente formula, dove il τ viene chiamato <<costante di tempo>> : $\tau = \mathbf{RC}$

- Dopo aver collegato la batteria da 1,5V, il condensatore si carica attraverso R1, mentre la tensione alla base cresce lentamente fino al valore della tensione di soglia, pari cioè a 0,7 volt. Appena il valore della tensione anzidetta è raggiunto, la lampadina brilla di piena luce.

IL BJT COME AMPLIFICATORE

In regione attiva il BJT può funzionare come amplificatore di segnale.

Si definisce **amplificazione di tensione** il rapporto fra la tensione di uscita **Vout** e la tensione di ingresso **Vin** del dispositivo

Si definisce **amplificazione di corrente** il rapporto fra la corrente di uscita **Iout** e la corrente di ingresso **Iin** del dispositivo

Si definisce **amplificazione di potenza** il rapporto fra la potenza di uscita **Pout** e la potenza di ingresso **Pin** del dispositivo

RISPOSTA IN FREQUENZA DI UN AMPLIFICATORE

Un amplificatore ha un comportamento che, a causa della presenza di elementi reattivi (induttori, condensatori) nel circuito, varia al variare della frequenza.

La frequenza di taglio di un amplificatore è quella alla quale il modulo dell'amplificazione si riduce a $1/\sqrt{2} \approx 0{,}7$ del valore massimo.

Si definisce banda passante di un amplificatore l'intervallo di frequenze, comprese tra la frequenza di taglio inferiore e la frequenza di taglio superiore, in cui il guadagno è massimo e costante.

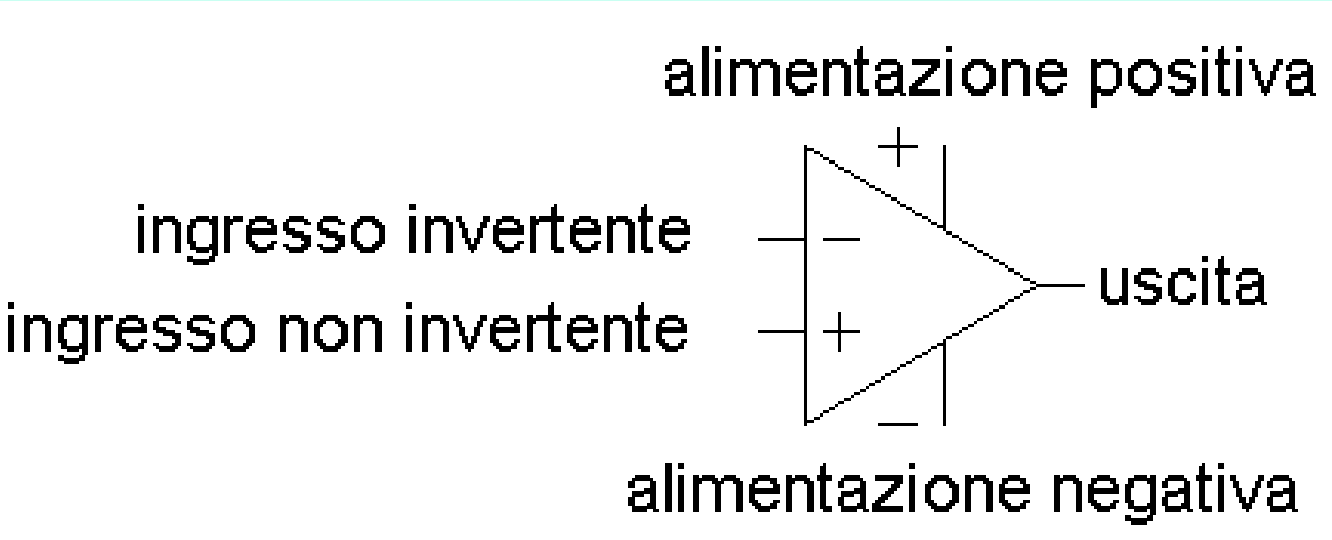
Per comprende gli aspetti essenziali di questo fenomeno facciamo sempre riferimento alla configurazione ad emettitore comune.

AMPLIFICATORE OPERAZIONALE

L'amplificatore operazionale è un componente elettronico fondamentale, utilizzato come elemento attivo nella maggior parte delle applicazioni analogiche.

Viene realizzato in forma integrata con ingombro molto ridotto e costi limitati.

Il simbolo grafico è il seguente :



AMPLIFICATORE OPERAZIONALE

Un amplificatore operazionale ideale presenta le seguenti caratteristiche :

- Guadagno (differenziale) di tensione, ad anello aperto $A_d = \infty$
- Resistenza di ingresso $R_i = \infty$
- Resistenza di uscita $R_o = 0$
- Banda passante $B_w = \infty$

Un amplificatore operazionale necessità quasi sempre di un'alimentazione di tipo duale +V e –V

AMPLIFICATORE OPERAZIONALE

Nonostante gli amplificatori operazionali realmente disponibili abbiano caratteristiche non coincidenti con quelle del modello ideale, il loro comportamento è approssimabile con errore accettabile, perlomeno per le applicazioni che saranno esaminate durante queste lezioni, con quello del modello ideale.

L'escursione della tensione di uscita dipende dal valore delle tensioni di alimentazione.

Infatti nei casi reali tale escursione è limitata tra le tensioni di saturazione +Vsat e -Vsat che valgono circa il 90 % della tensione di alimentazione.

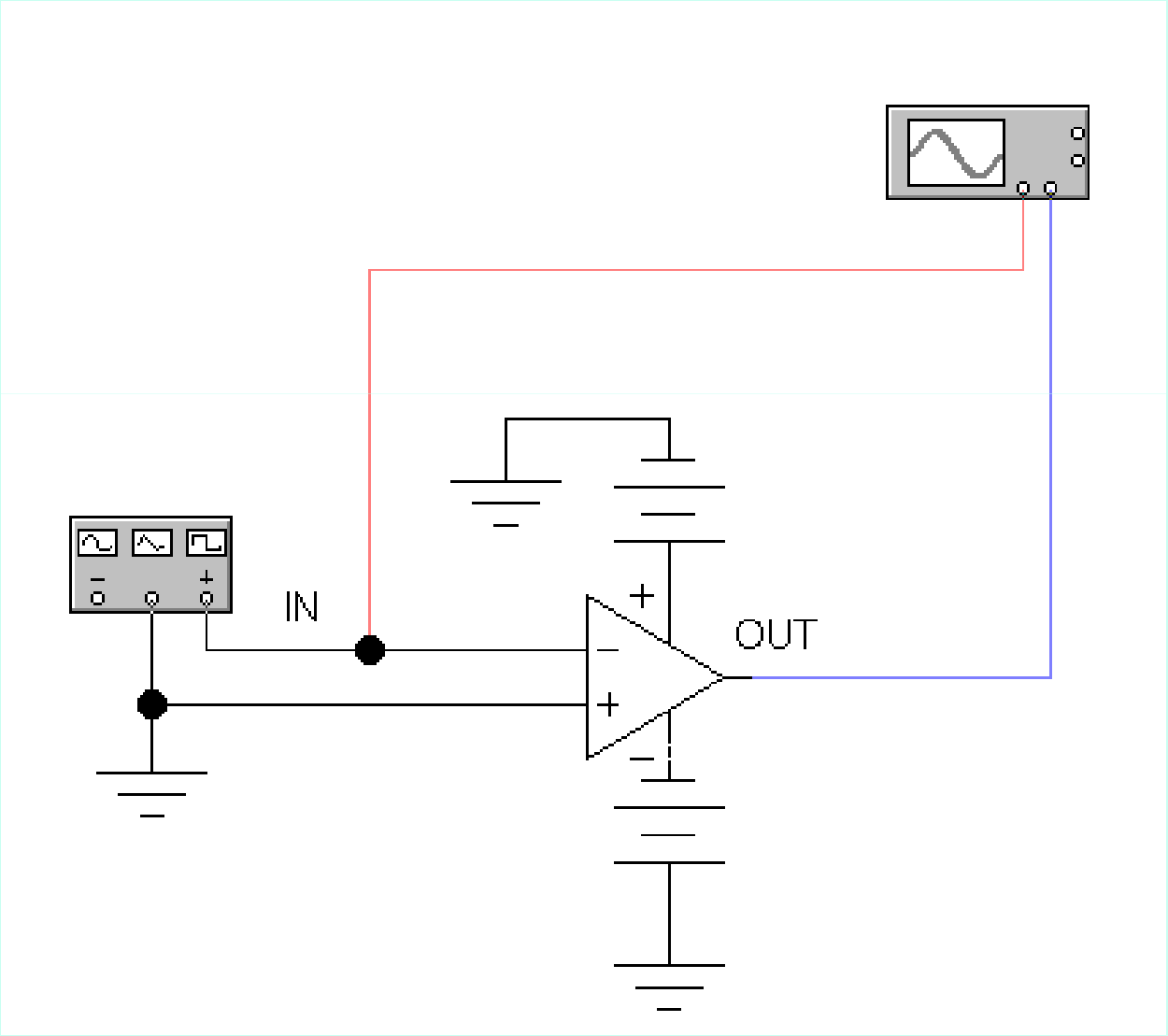
AMPLIFICATORE OPERAZIONALE AD ANELLO APERTO

Se utilizzo il dispositivo in anello aperto non posso avere un comportamento lineare.

Il guadagno è talmente elevato che anche un piccolo valore di tensione applicata tra gli ingressi dell'operazionale, provoca la sua saturazione.
La tensione di uscita:
assume il valore +Vsat se prevale la tensione sull'ingresso non invertente
assume il valore -Vsat se prevale la tensione sull'ingresso invertente

Questo rende, pertanto, la configurazione in anello aperto inutilizzabile per la realizzazione di amplificatori e circuiti lineari in genere.

AMPLIFICATORE OPERAZIONALE AD ANELLO APERTO



APPLICAZIONI LINEARI

Per realizzare degli amplificatori o dei circuiti in grado di effettuare elaborazioni di tipo lineare sui segnali di ingresso, l'amplificatore operazionale deve essere inserito all'interno di reti elettriche opportune, dando luogo circuiti applicativi con i quali si possono sfruttare completamente le potenzialità del dispositivo.

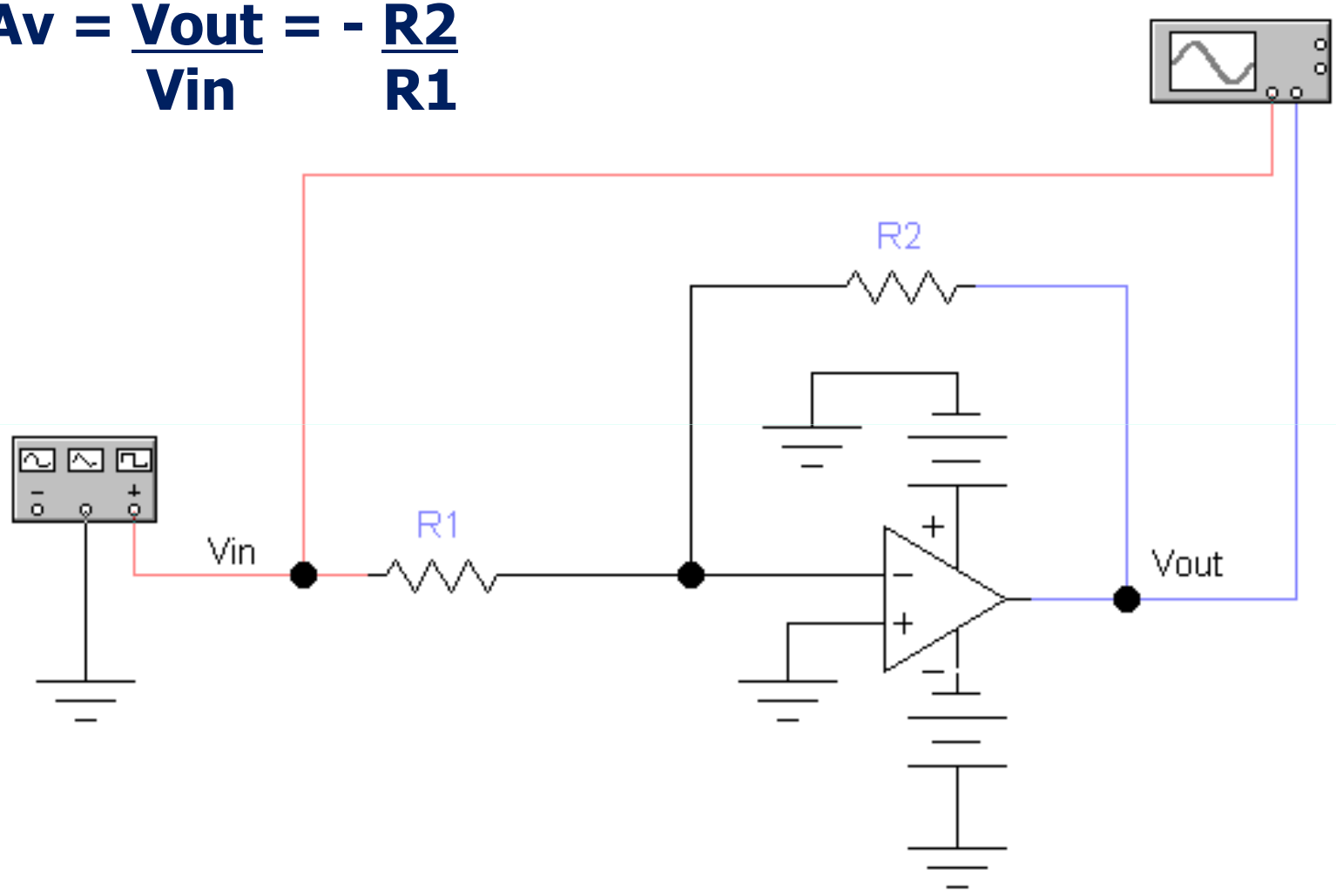
Per esaminare i circuiti lineari successivi, terremo conto delle seguenti considerazioni che derivano dalle caratteristiche tipiche degli amplificatori operazionali.

Il notevole valore dell'amplificazione in anello aperto, nel caso ideale infinito, implica che la differenza di potenziale fra i due ingressi del dispositivo, nelle applicazioni lineari che considereremo, sia di valore trascurabile; di conseguenza assumeremo che tra i due ingressi del dispositivo esista un "corto circuito virtuale".

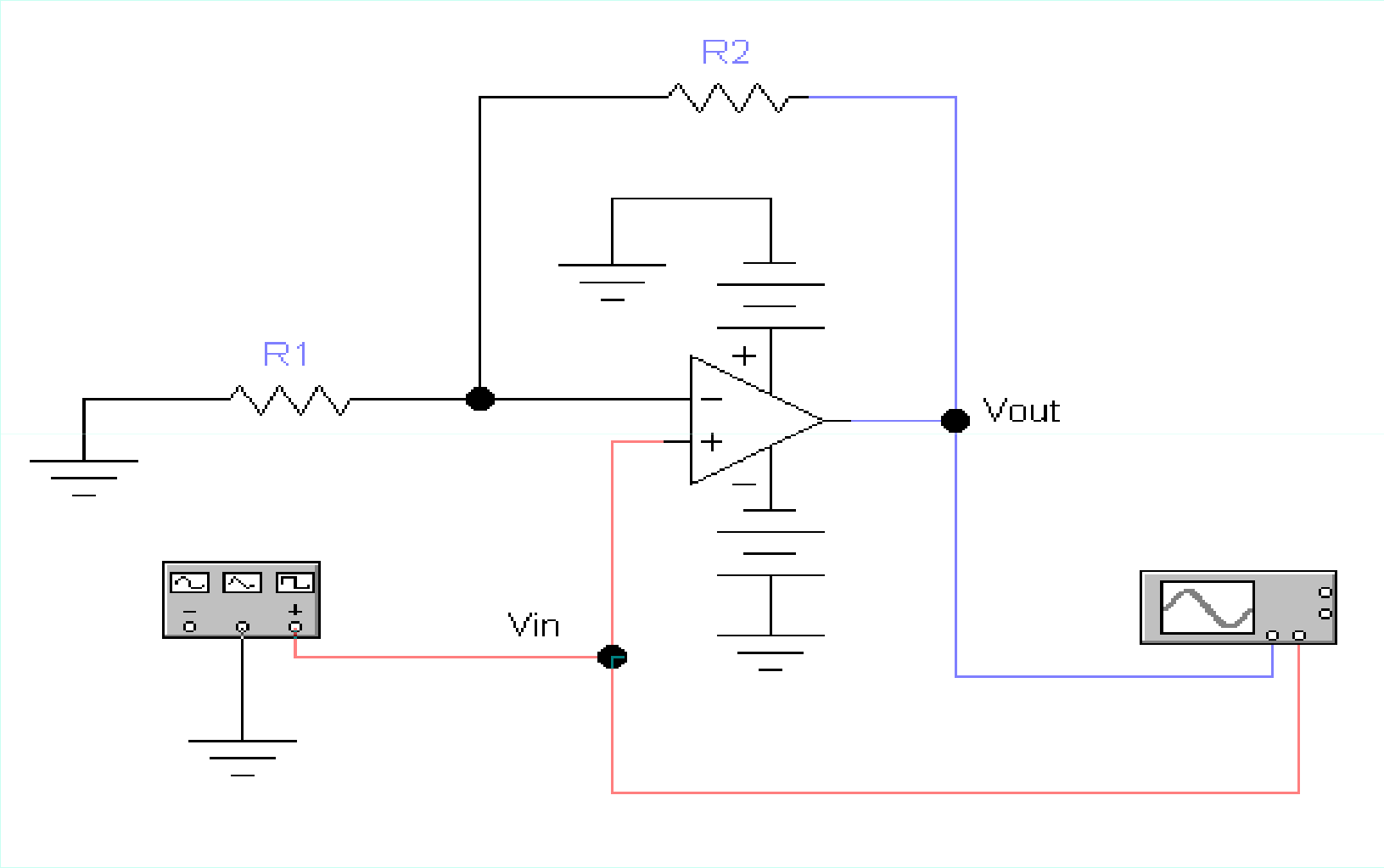
Il notevole valore della resistenza di ingresso del dispositivo, nel caso ideale infinito, implica che le correnti di ingresso siano di valore trascurabile; di conseguenza assumeremo tali correnti di valore uguale a zero.

AMPLIFICATORE INVERTENTE

$$Av = \frac{Vout}{Vin} = -\frac{R2}{R1}$$

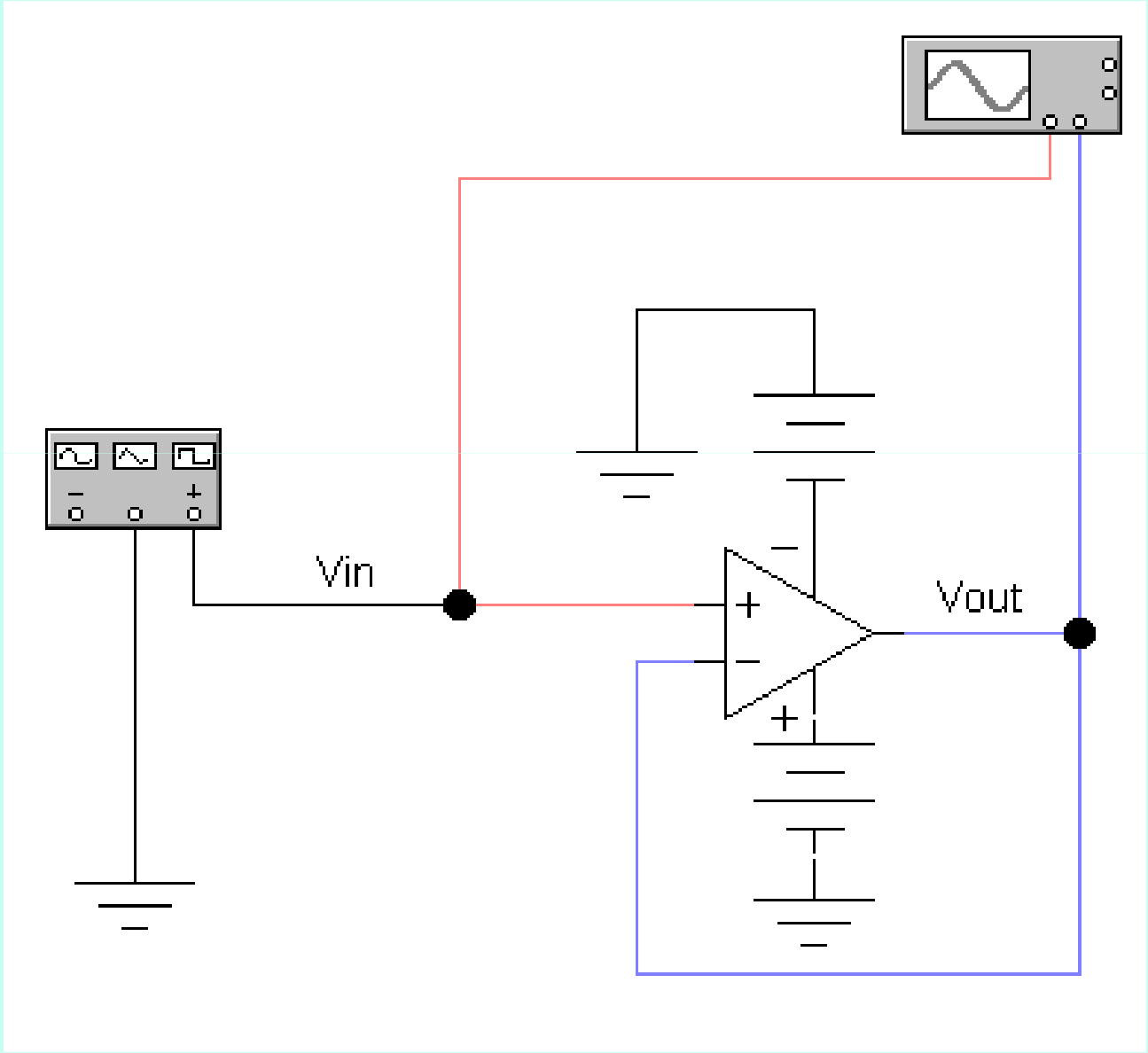


AMPLIFICATORE NON INVERTENTE

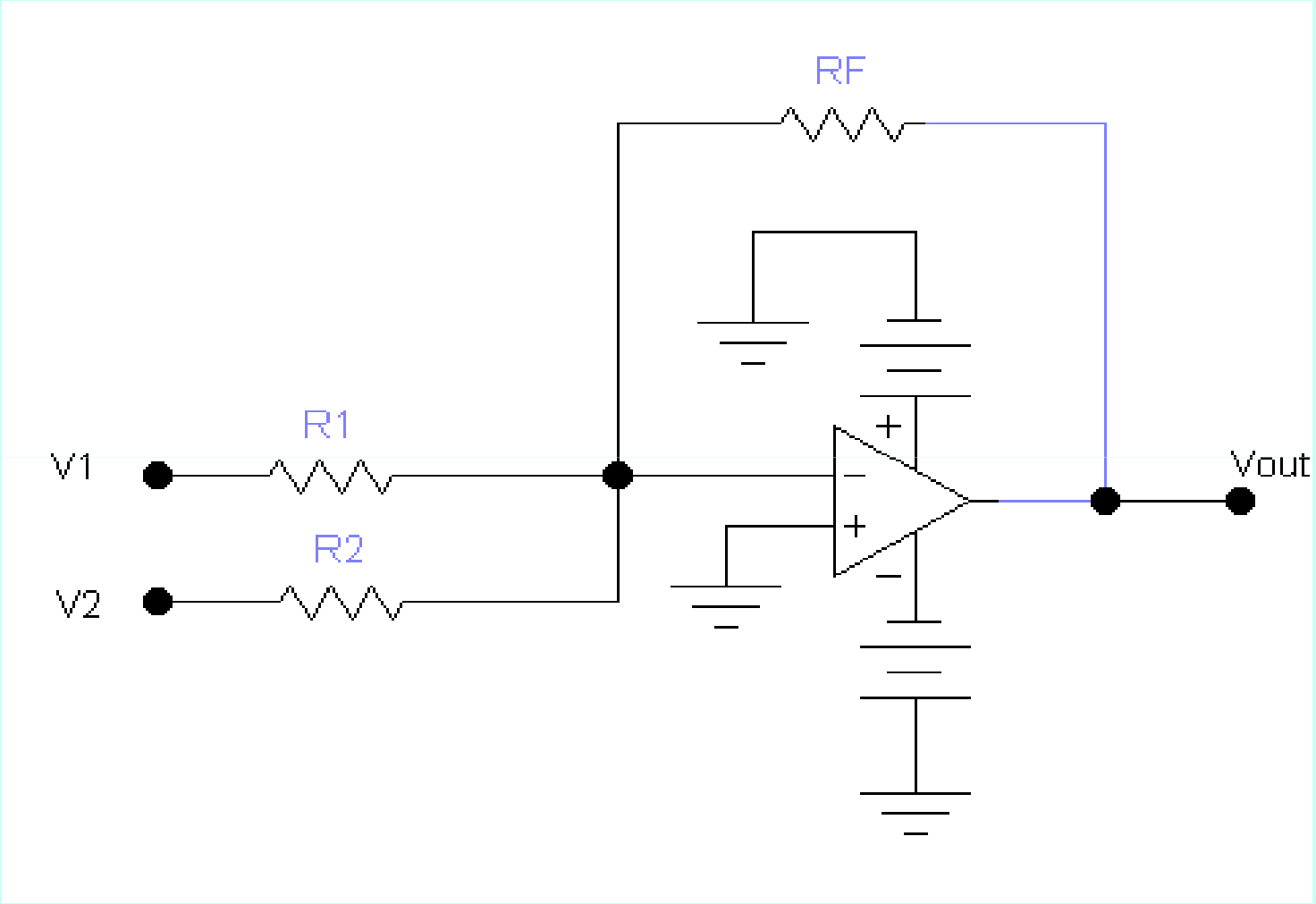


$$Av = \frac{Vout}{Vin} = 1 + \frac{R2}{R1}$$

INSEGUITORE DI TENSIONE

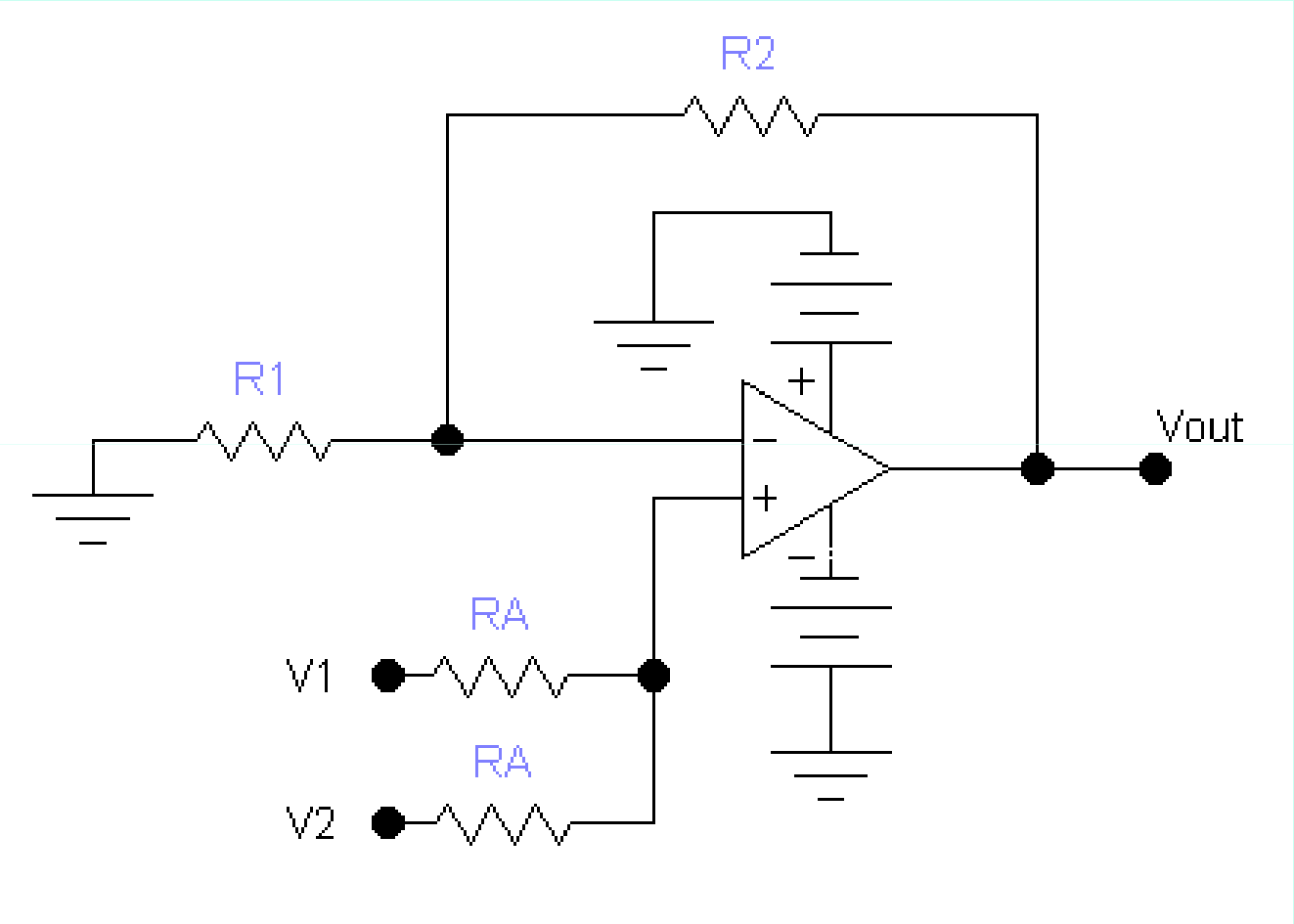


SOMMATORE INVERTENTE



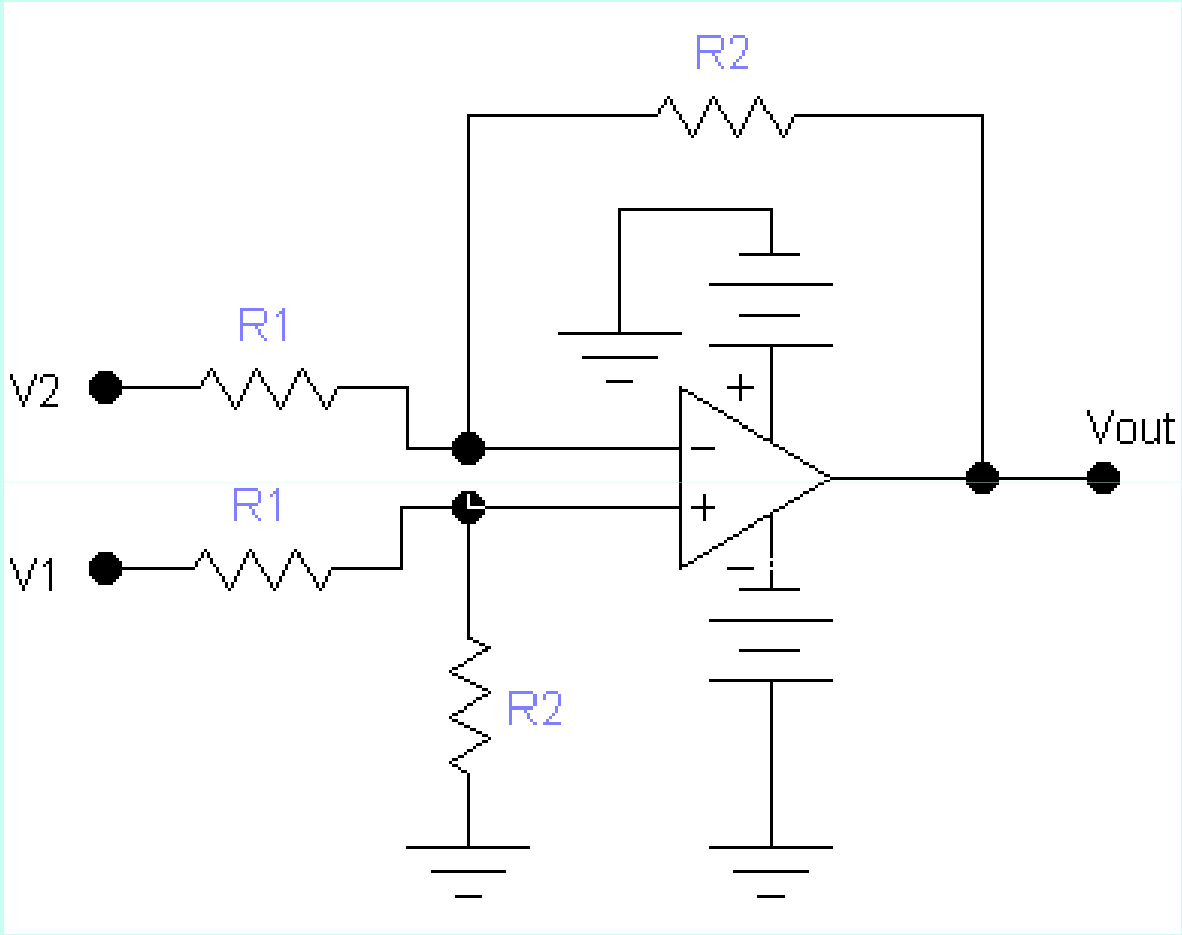
$$Vout = -\frac{RF}{R1} V1 - \frac{RF}{R2} V2 = -Rf/R1\,(V1 + V2)$$

SOMMATORE NON INVERTENTE



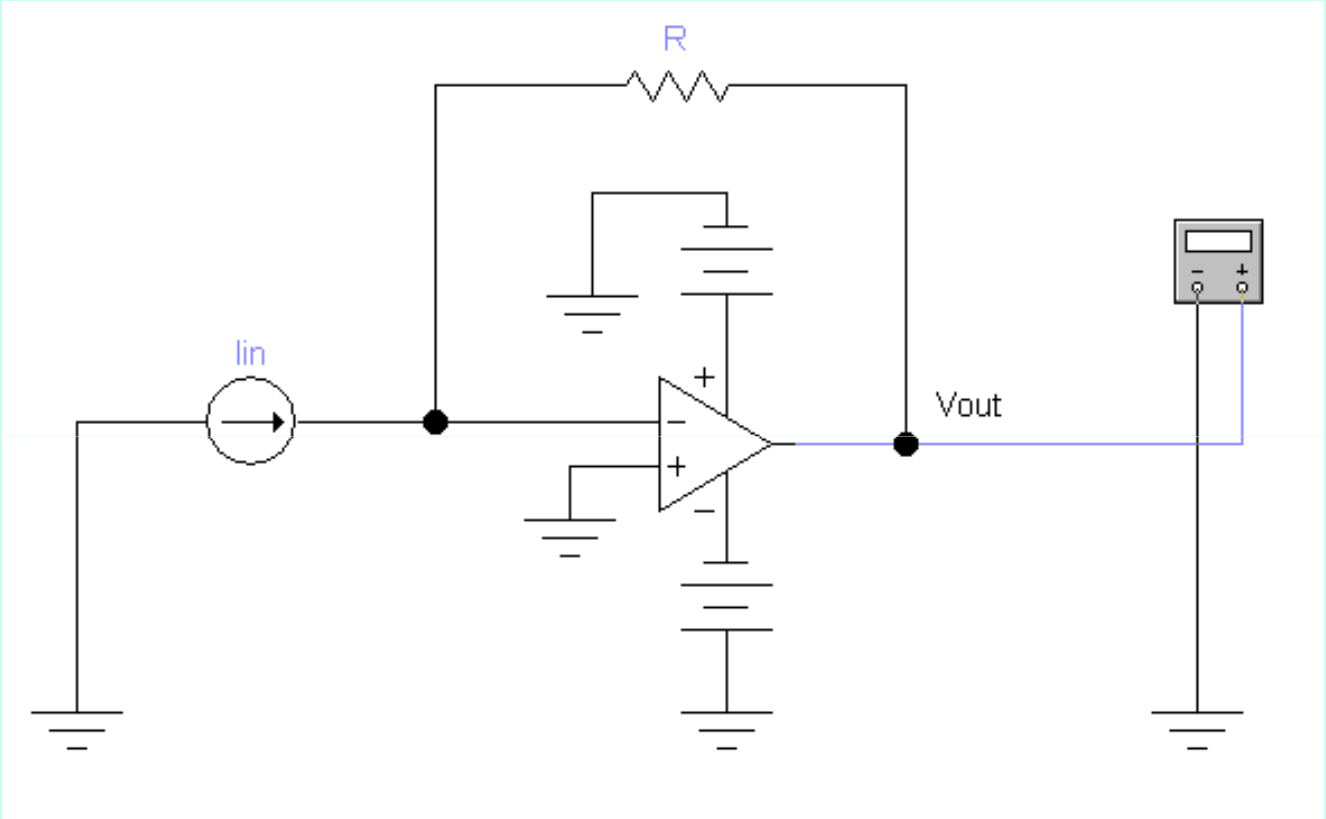
$$\mathbf{Vout = \frac{(R1 + R2)(V1+V2)}{2R1}}$$

AMPLIFICATORE DIFFERENZIALE



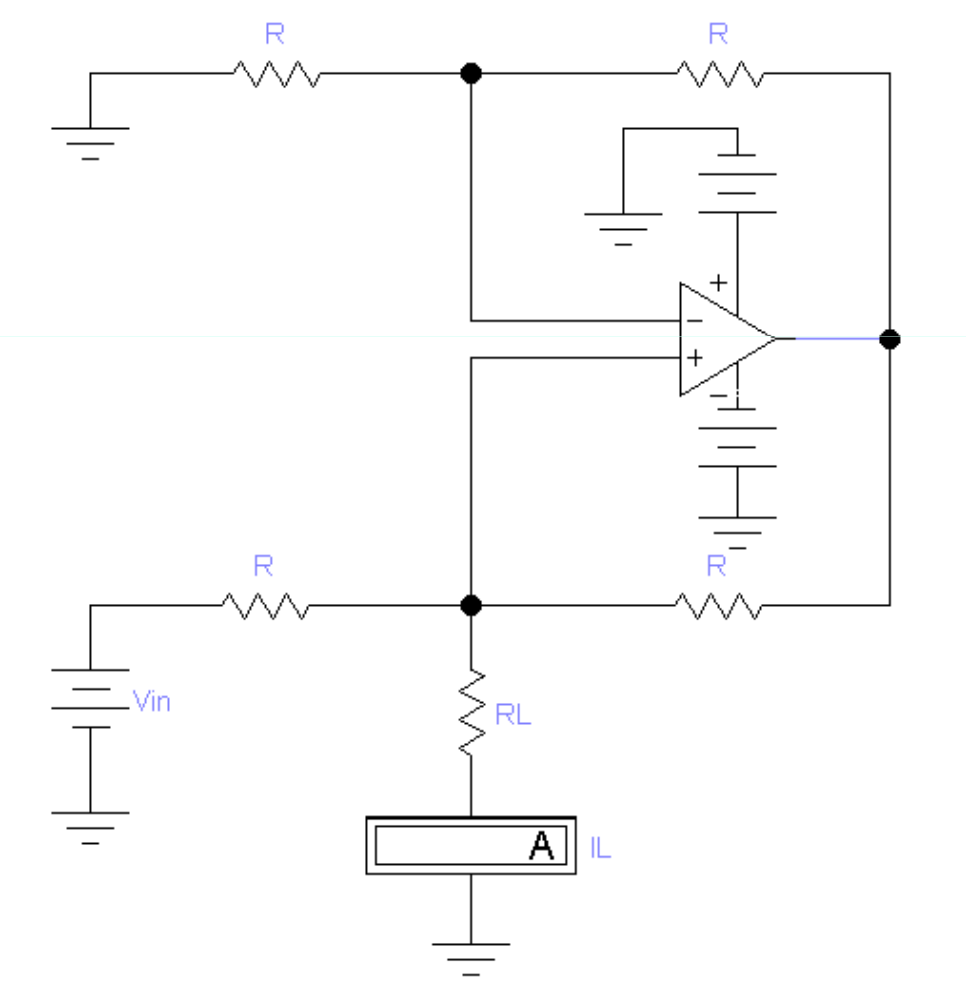
$$Vout = \frac{R2}{R1}(V1 - V2)$$

CONVERTITORE CORRENTE – TENSIONE INVERTENTE



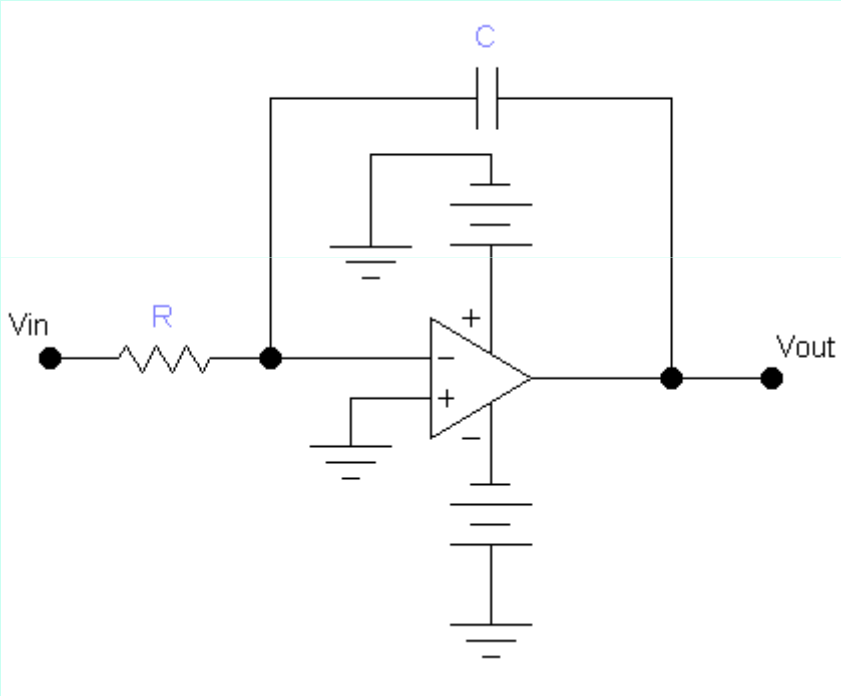
Vout = - Iin*R

CONVERTITORE TENSIONE-CORRENTE



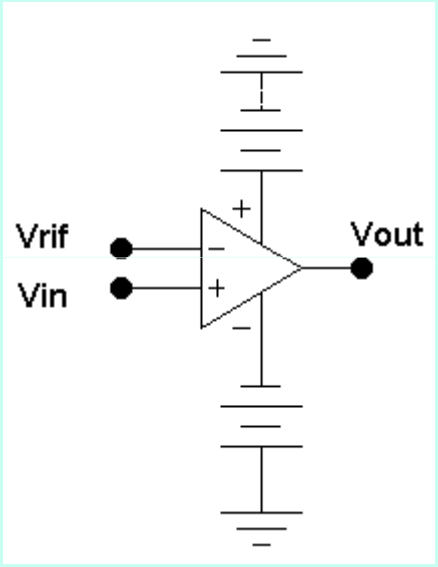
$$IL = \frac{Vin}{R}$$

CIRCUITO INTEGRATORE

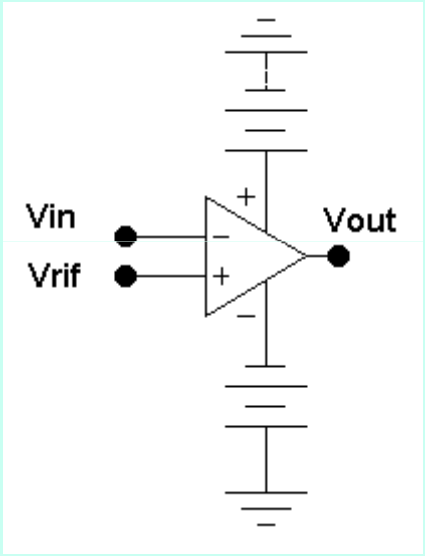


$$Vout = -\frac{1}{RC}\int Vin(t)\,dt$$

COMPARATORE

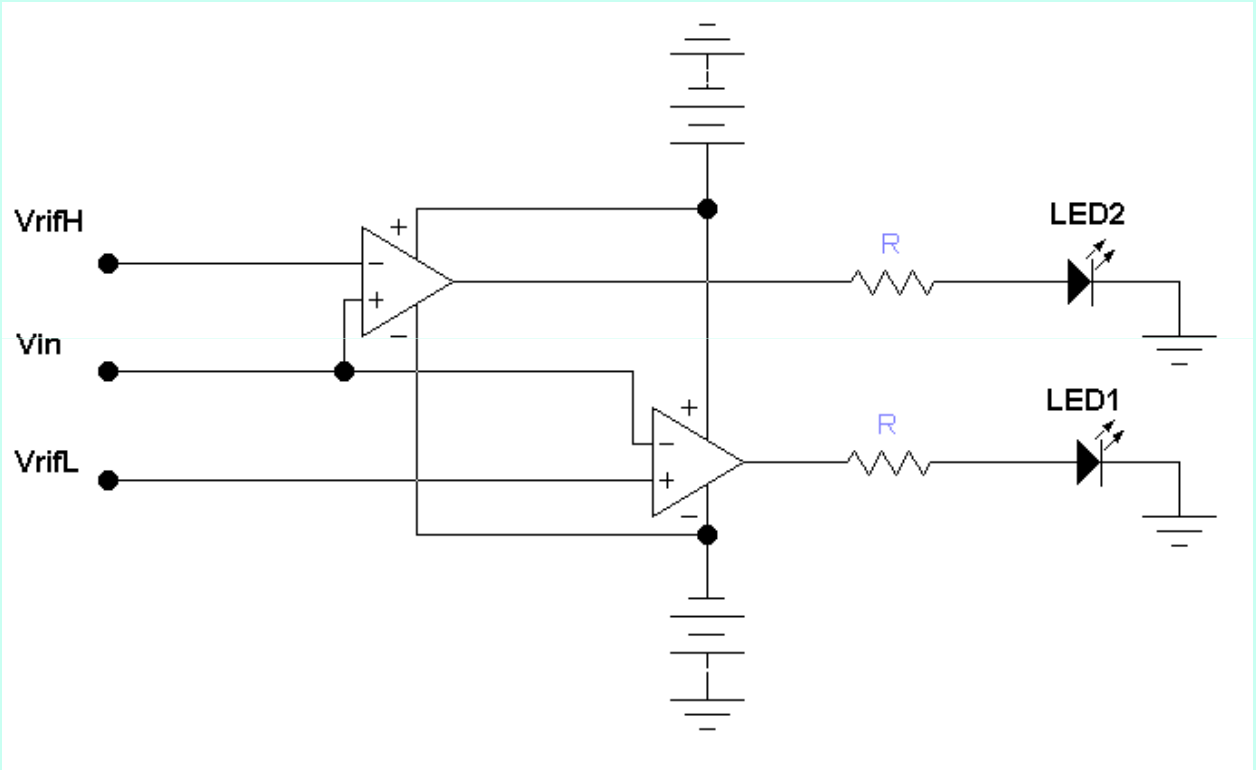


Vin < Vrif Vout = -Vsat
Vin > Vrif Vout = +Vsat



Vin < Vrif Vout = +Vsat
Vin > Vrif Vout = -Vsat

COMPARATORE A FINESTRA



Vin < VrifL	LED1 ON	LED2 OFF
VrifL < Vin < VrifH	LED1 OFF	LED2 OFF
Vin > VrifH	LED1 OFF	LED2 ON