

Dispositivi attivi: utilizzati per moltissime funzioni diverse

Punti di vista per una classificazione (oggi)

a) Modo di funzionamento:

Analogico / Lineare vs Logico / Digitale

[Inoltre: *Mixed Signal* (← Entrambi)]

b) Funzione

Molte diverse

Forte tendenza a unita' funzionali complesse integrate su un unico chip

Mattoni elementari:

Come nel LEGO, 'pochi' (?) tipi fondamentali

[Oggi in numero maggiore di ieri i tipi di componenti elementari;
tuttavia scenario generale dominato dai MOS, fundamentalmente tutti simili]

Molte variet a' riguardo dimensioni,

frequenza di lavoro, correnti/tensioni/potenze max, etc

Richiamo: Principio di funzionamento della giunzione *pn*

Bande di energia in un cristallo semiconduttore:

B. di valenza - *e* legati, mobili solo da un sito reticolare a un altro vicino

B. di conduzione - *e* liberi, mobili senza vincoli

Presenza di *e* nella b. di conduzione dovuta a:

effetti termici (*intrinseci*) ← Cessione di energia da reticolo a elettrone

impurita' (*estrinseci*) ← Siti reticolari con atomi $\neq Si$ ← Donatori

Presenza di *lacune* nella b. di valenza dovuta a:

effetti termici (*intrinseci*) ← Cessione di energia da reticolo a elettrone

impurita' (*estrinseci*) ← Siti reticolari con atomi $\neq Si$ ← Accettori

[Modo di vedere la cosa: Creazione di 'mancanze' nell'insieme di elettroni legati

→ Ai fini della conduzione, 'mancanze' \sim cariche positive $\equiv lacune$

Lacune nella b. di valenza: \sim libere]

Moto libero degli elettroni nella banda di conduzione

→ Corrente in presenza di un campo ext

Moto 'legato' degli elettroni nella b. di valenza

→ Moto 'libero' delle 'mancanze' in direzione opposta

→ Corrente in presenza di un campo ext

→ Contributo indipendente alla conduzione in presenza di un campo ext

[NB In presenza di un campo ext:

Moto di elettroni e lacune in direzioni opposte, cariche opposte

→ Correnti *concordi*]

→ Corrente in un semiconduttore: 2 contributi indipendenti

Come in un gas ionizzato, ma: *Solo* nel reticolo cristallino

a) Drogaggio opposto in due zone confinanti di un substrato semiconduttore

NB Di regola, le concentrazioni di donatori (n) e accettori (p)

non sono uguali; differenza di qualche ordine di grandezza

→ Contributi alla corrente diversi

→ Concentrazione di $\begin{cases} \text{elettroni nella banda di conduzione } (\sim \text{liberi}) - \text{lato } n \\ \text{lacune nella banda di valenza } (\sim \text{libere}) - \text{lato } p \end{cases}$

b) Diffusione

Dovuta a tendenza statistica a equalizzare le concentrazioni

→ Correnti di diffusione

e da lato n a lato p

h da lato p a lato n

c) Formazione di un campo elettrostatico sul confine fra le due regioni

A causa della diffusione:

Impoverimento di elettroni sul bordo del lato n → Carica $+va$

Impoverimento di lacune sul bordo del lato p → Carica $-va$

→ Campo \mathbf{E} diretto da n a p

d) Drift di elettroni e lacune sotto l'azione di \mathbf{E}

→ Correnti di drift

e da lato p a lato n

h da lato n a lato p

e) Equilibrio:

Drift = Diffusione → Corrente tot = 0

Barriera di potenziale dovuta al campo built-in:

ostacolo al passaggio delle cariche

→ Regione di carica spaziale sul confine della giunzione

→ Strato di svuotamento

Aggiunta di diff di pot esterna:

Rottura dell'equilibrio → Campo elettrico che si aggiunge/sottrae a quello built-in
→ Innalzamento/Abbassamento della barriera che si oppone alla conduzione

Polarizzazione inversa:

Barriera aumentata → No conduzione
(eccetto quella intrinseca)

Polarizzazione diretta:

Barriera ridotta → Conduzione
(I crescente rapidamente con V)

Contributi di e e h alla corrente \propto concentrazioni ← Drogaggio
→ Possono essere notevolmente diversi

Caratteristica $I - V$ della giunzione pn : Eq. di Shockley

$$I = I_s \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) = I_s \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right)$$

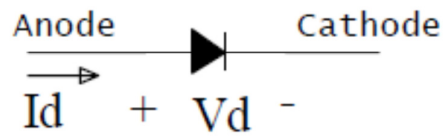
I_s corrente (inversa se $V < 0$) di saturazione

I_s molto piccola, aumenta rapidamente con T

$$V_T = \frac{kT}{q} \text{ tensione termica } \sim 26 \text{ meV @ } T = 300 \text{ K}$$

I aumenta molto rapidamente con V quando $V \geq 0.7 \text{ V}$ (Silicio)

$I \approx -I_s$ quando $V < 0$;

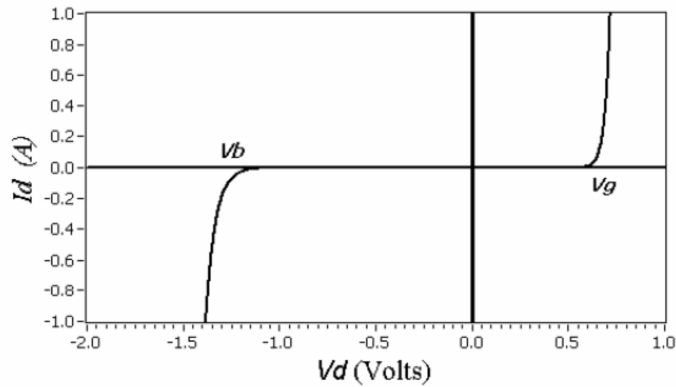


Diodo: Giunzione *pn*

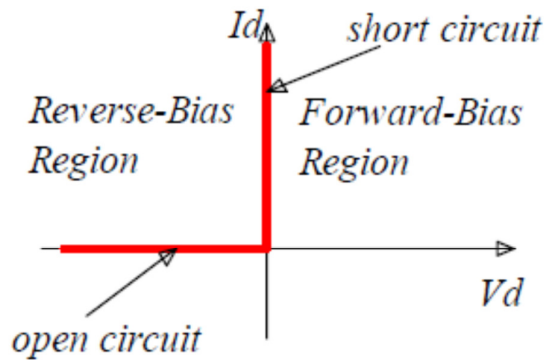
Caratteristica $I - V$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{non lineare} \\ \text{dipendente dalla polarita' di V} \end{array} \right.$

V_g : tensione di ON $\sim 0.6 - 0.7$ V per Si

V_b : tensione di breakdown, variabile entro limiti molto larghi

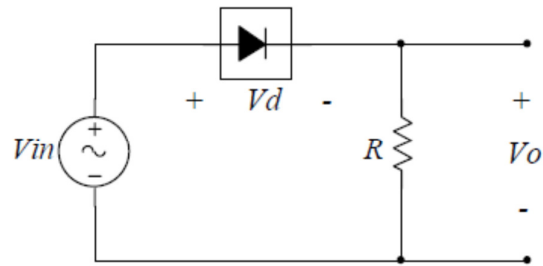


Approssimazione drastica:

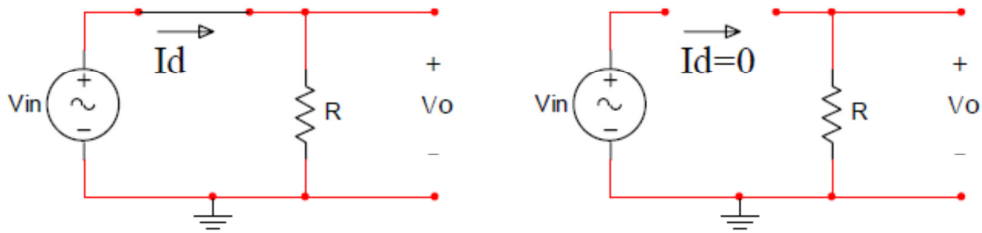


Circuiti con diodi

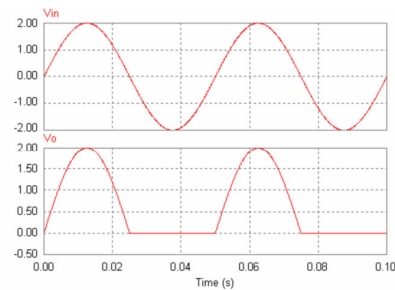
a) Raddrizzatore a una semionda



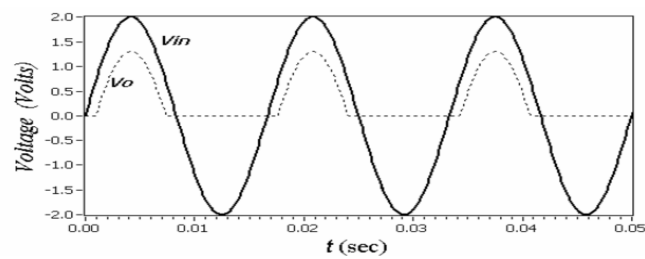
Circuiti equivalenti per $V > 0$ e $V < 0$



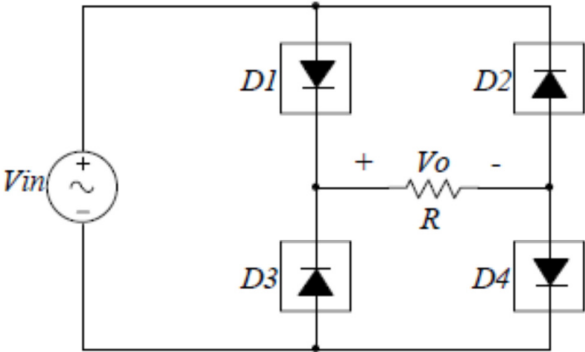
Risultato, approx drastica:



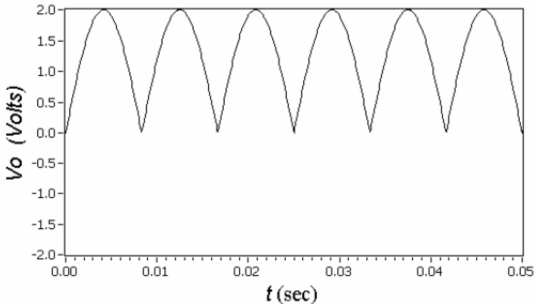
Risultato, approx realistica:



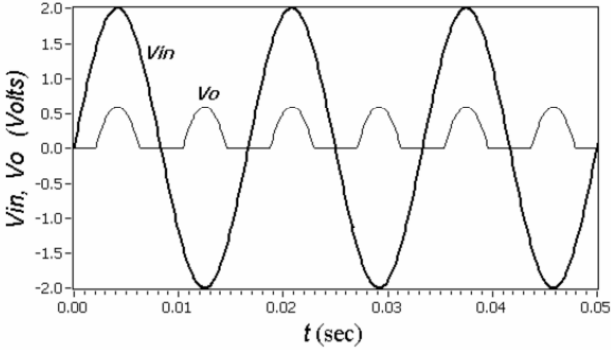
b) Raddrizzatore a due semionde



Risultato, approx drastica:

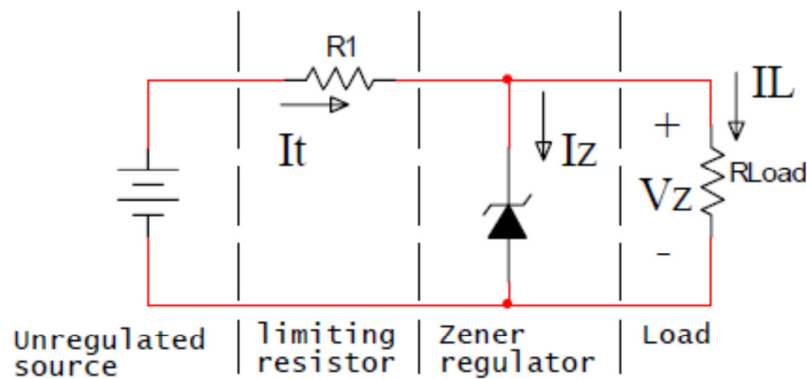


Risultato, approx realistica:



c)Regolatore di tensione:

Sfrutta la tensione di breakdown



$$I_L = \frac{V_Z}{R_L} \quad \text{corrente nel carico}$$

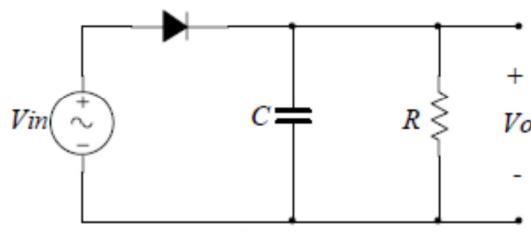
$$I_L + I_Z = I_T \quad \text{corrente totale}$$

Per V_{in} variabile (\leftarrow instabile):

$$V_Z = \text{cost} \rightarrow I_L \text{ stabilizzata} \rightarrow V_L = V_Z \text{ stabilizzata}$$

d) Raddrizzatore migliorato:

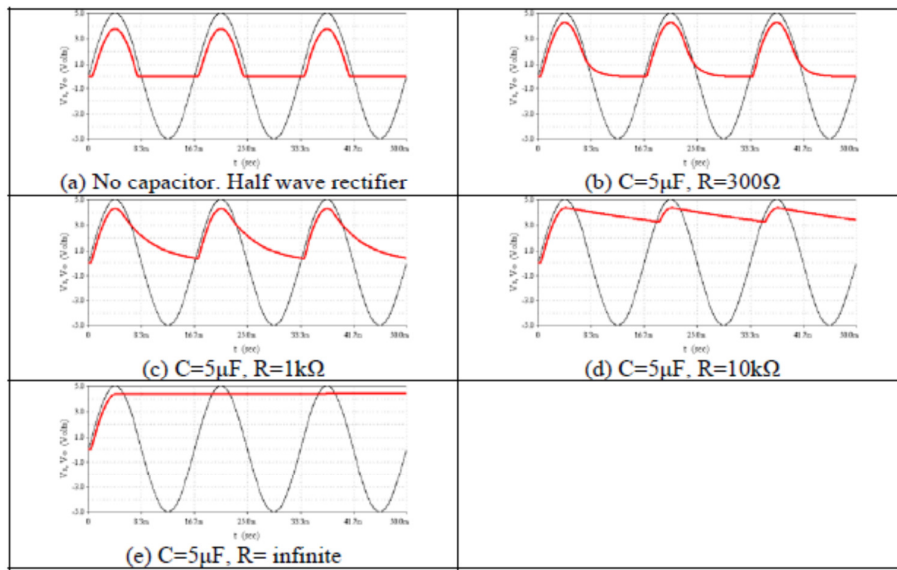
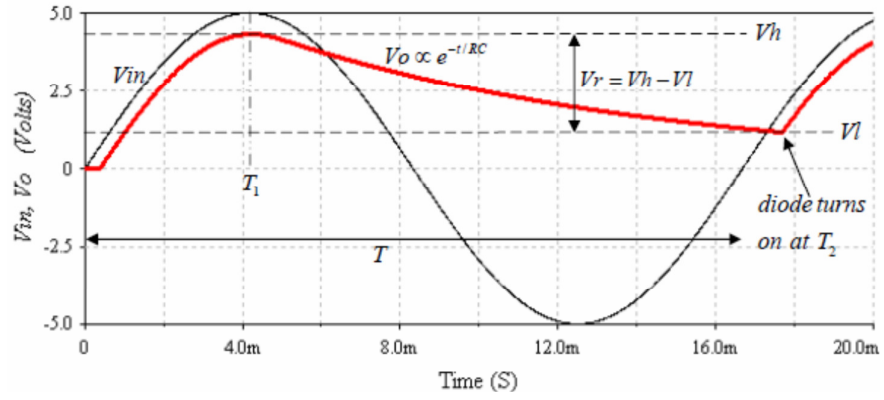
Aggiunta di una capacita' in parallelo al carico



Semi-ciclo positivo: Diodo \sim c.chiuso $\rightarrow V_{out} \sim V_C \sim V_{in}$

Semi-ciclo negativo: Diodo \sim c.aperto $\rightarrow C$ si scarica attraverso R

\rightarrow Se $RC \gg \text{periodo}$, riduzione dell'andamento pulsato di V_{out}



e) LED

Emissione di luce al passaggio di corrente, continua o variabile

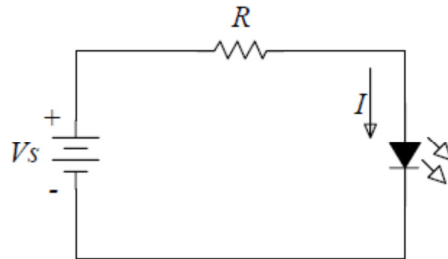
Meccanismo:

Ricombinazione $e-h$ nello strato di svuotamento quando il diodo e' in conduzione

Intensita' luminosa \propto Corrente

Colore luce: dipende da E_{gap}

Materiali vari, non Si: $V_g \sim 1.5 - 2.5 \text{ V}$

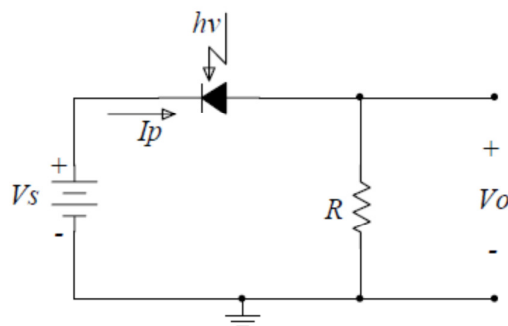


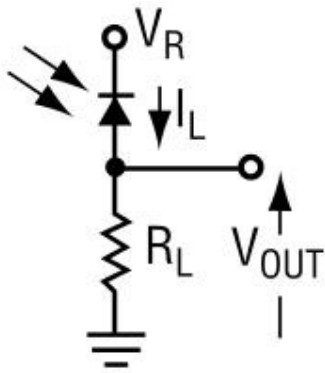
f) Fotodiodo

Passaggio di corrente in presenza di radiazione luminosa quando il diodo e' interdetto

Meccanismo:

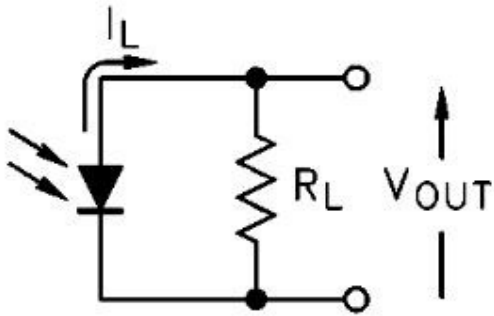
Formazione di coppia $e-h$ nell'assorbimento di 1 fotone





Modo fotoconduttivo:

Richiede polarizzazione inversa



Modo fotovoltaico:

Usato nelle celle solari

Proprieta' resistive e reattive del diodo

a) Resistive

Pol. inversa:

$$R_{eq} \rightarrow \infty$$

Pol. diretta:

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

$$\frac{dI}{dV} = \frac{I_S}{V_T} \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) \approx \frac{I}{V_T}$$

$$\rightarrow R_{din} \approx \frac{V_T}{I} \sim \frac{0.026}{I} \Omega = 26 \Omega @ I = 1 \text{ mA}$$

b) Reattive

- Capacita' di transizione \sim Cap. del depletion layer

$$C_T = \frac{A}{V^\alpha}, \quad A, \alpha \text{ dipendente dal tipo di giunzione}$$

Dominante per pol. inversa

- Capacita' di diffusione: dovuta allo storage di carica nella giunzione

$$Q = I\tau_F, \quad \tau_F \text{ tempo di transito dei portatori nella giunzione}$$

$$C = \frac{dQ}{dV} = \tau_F \frac{dI}{dV} = \frac{\tau_F}{V_T} I$$

Dominante per pol. diretta

Circuito equivalente del diodo in conduzione:

