

$$P(x) = P(0) e^{-\frac{V(x)}{V_T}}$$

$$n(x) = n(0) e^{\frac{V(x)}{V_T}}$$

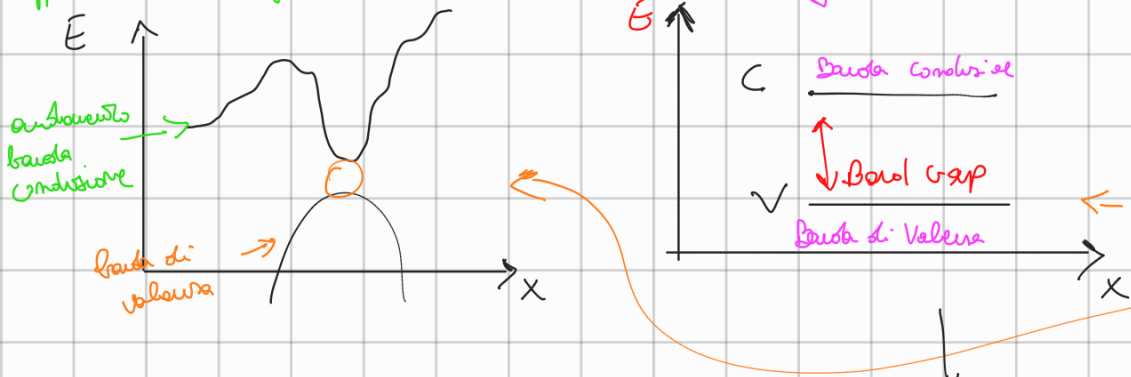
Relaz. non lineari tra
abbondanza della conc. dei
portatori e il potenziale
inteso da co

BANDE DI ENERGIA

I materiali sono caratterizzati da livelli energetici ADDENSATI e non uniformi distribuiti
in generale gli elettroni nei materiali tendono a muoversi nei gusci vicini ^{al nucleo} V e poi quelli esterni;
Posso rappresentare la Distribuzione degli elettroni con 2 bande

Rappresentazione a Bande

Rappresentazione Energia del valore



Band-Gap, chiamata "PROIBITA"
Per due bande, in cui non
può esistere alcun elettrone,
e la distanza più piccola,
LA TRANSIZIONE avviene
QUI

Rappres. ingegneristica di
questo punto, il
più vicino

Se un livello energetico possono
esistere massimo 2 el., solo
Se hanno spin opposto

INSIEME dei livelli ^{energetici} addensati più vicini
al nucleo, non è un livello energetico
ma un insieme, più gusci energetici

Ci sono molti gusci energetici vicini che hanno
più o meno la stessa energia, tali da poter
accumulare un
di elettroni
in bande

• In Banda di CONDUZIONE gli elettroni hanno energia
sufficiente da non essere vincolati a NESSUN ORBITALE

• Banda energetica definisce energia che ha l'elettrone per muoversi

• elettrone in banda di V non è libero di muoversi, in banda di C avrà la suff.
energia per muoversi

• Band-Gap differenza tra le due bande

Se fornisco ad un el. in banda V energia
dentro il band-gap, non si muove

• Per poter passare dalla banda di valenza alla banda di conduzione

Serve una energia, pari a 1,12 eV nel Si. Se gliene do di meno, rimane
nella Banda di Valenza

electron Volt
↑
silicio

Probabilità che un

$$P(E) =$$

STATISTICA DI FERMI

$$1$$

$$1 + \frac{E - E_F}{e^{kT}}$$

• Dato un el. e dato un livello
di energia ^{an. tot.}, costante di Boltz. e
la temperatura qual è la
probabilità che un el. occupi quel liv. Energ?

• E = livello energetico di cui voglio

elettrone occupi un
certo liv. energetico E

Definisco ENERGIA di Fermi

Stabilire la probabilità

• E_F = livello di energia equivalente a quello massimo che raggiungerebbero tutti gli elettroni di un atomo se li mettessi nell'atomo allo 0 assoluto, mettendoli partendo dal livello più vicino al nucleo

Probabilità di occupare un liv. energetico più a E_F è 50%.

• C'è l'idea dell'energia che tutti gli elettroni del materiale potrebbero occupare se fossero allo 0 assoluto, ma agito Fermico

Nel silicio intrinseco

• E_F si trova a metà tra le 2 Bande nel silicio, tra Valenze e Condus
 ⇒ Prob. che un el. ha di stare nella Banda di Fermi?

• Probabilità che un elettrone sia in E_F , è del 50%, è nel mezzo!
 Come è fatta la $P(E)$?

Banda di Fermi

se ci fosse un tale liv. energetico, un elettrone avrebbe il 50% di esserci

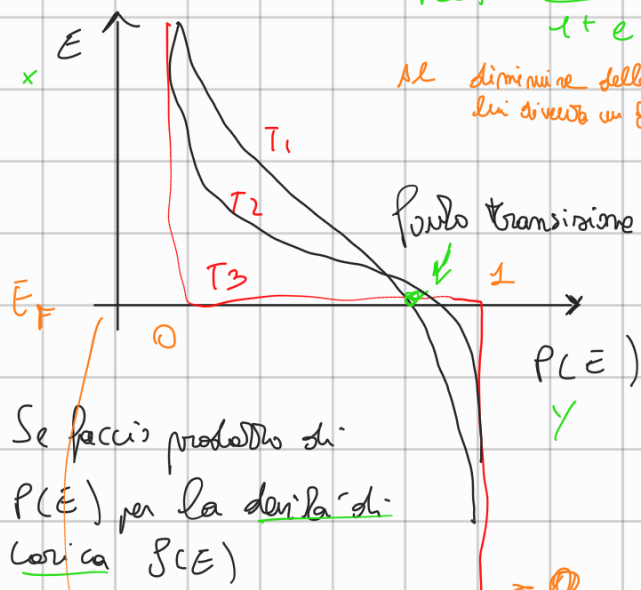
$$P(E) = \frac{1}{1 + e^{\frac{E - E_F}{kT}}}$$

Al diminuire della Temperatura lui diventa un gradino

• Al diminuire della Temperatura, la

curva spaccia sempre di più

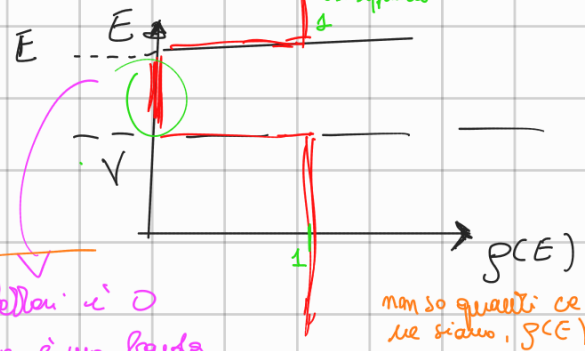
$$T_1 > T_2 > T_3$$



Prevedo
 • $P(E)$
 # el. in una porzione di spazio

densità continua
 sotto la Banda di valenza? looh

spina e sotto
 sotto un dato valore, $P(E)$
 mi indica la possibilità che qui vi siano elettroni

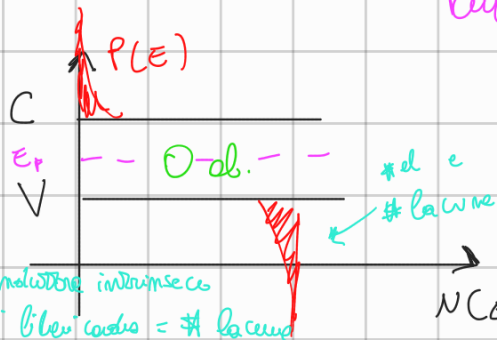


• Se faccio prodotto di $P(E)$ per la densità di carica $g(E)$
 quantità di el. in una porzione dello spazio trova il numero di elettroni che sono nelle rispettive bande

densità elettroni è 0
 tra le due bande, è una banda proibita

• Se faccio tutto ciò per Si INTRINSECO
 moltiplico densità el. in un livello energetico • Probabilità che el. sia in un liv. en.
 $g(E) \cdot P(E) = N(E)$ # elettroni che mi occupano una determinata banda

Tutto questo ragionamento forse...

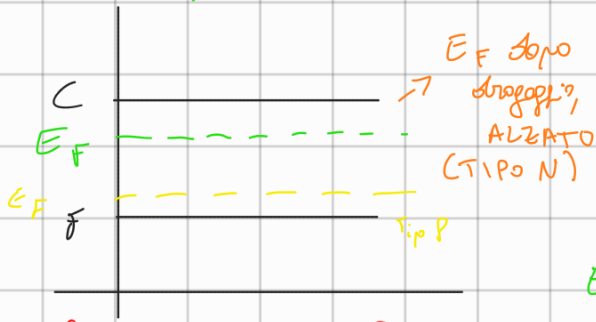


• Se drogo materiale di Tipo N, allora il veicolo, inserisco atomi con elettroni in più

• Se aumento elettroni, artificialmente, con drogaggio N, faccio ALZARE l'ENERGIA di FERMİ

in un semiconduttore intrinseco # elettroni liberi condus = # lacune
 (non quando E_F è al centro)

→ E_F = livello imag. di un ipotetico metallo che non è, che avrei potuto raggiungere se avessi iniziato a mettere gli elettroni a coppie su questi livelli energetici



Se faccio prodotto $P \cdot P(E)$

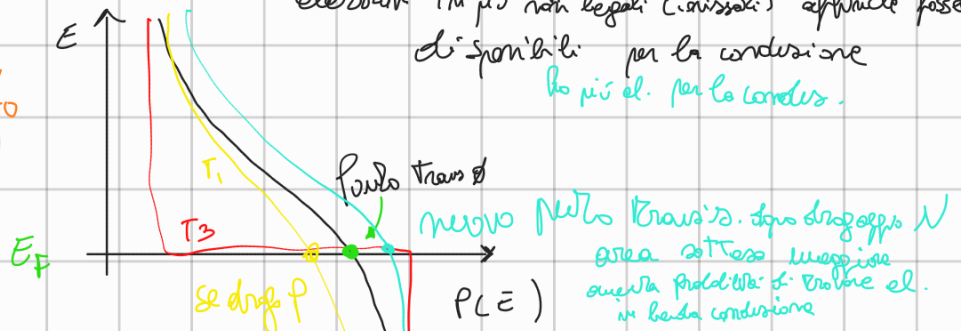
⇒ Avrò # di Elettroni in banda di Conduzione maggiore

↓ Vale Diodo, Drogo di tipo P, metto delle lacune, tolgo el. liberi

⇒ abbasso il livello di Fermi e AVVICINO il punto di transito e se faccio prodotto

dopo drogaggio P, # elettroni legati (V) MINORI, meno el. disponibili alla conduzione. Ho AGGIUNTO LACUNE

perché vuol dire che è NATO PIÙ PROB. Bande Conduzione. Tenere un elettrone su C che su V allora Ma l'energia foto giusta, avere gli elettroni in più non legati (liberizzati) affinché fossero disponibili per la conduzione ho più el. per la conduzione.



rispetto a quello di banda di valenza

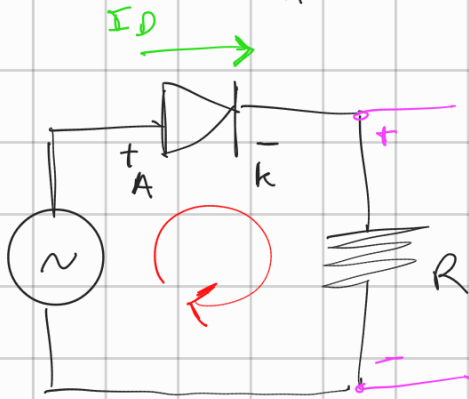
DIODO dispositivo non lineare, utilizzarlo come interruttore

Simbolo



Comportamento Diodo: far passare una certa corrente nel circuito Se la tensione sui capi del diodo è sufficientemente alta da portarlo in conduzione

Lo metto in un circuito e vedo come si comporta

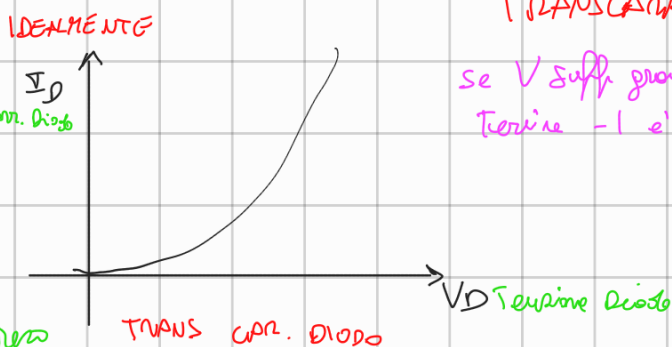


Eq che regola Funz del DIODO

$$I_D = I_0 \left[e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right] \approx I_0 e^{\frac{V_D}{V_T}}$$

Corrente inversa di saturazione

TRANSCARATT. - I trascurabile quando $V_D \gg V_T$ se V sufficientemente grande (es 4V), le Termine -1 e trascurabile

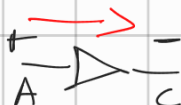


Diodo portato in conduzione

SOTTO una certa tensione la corrente è

Solo quando certi livelli dell'impulso permettono agli elettroni di passare dal catodo all'anodo, e quindi generare CORRENTE

CONVENZ. corrente

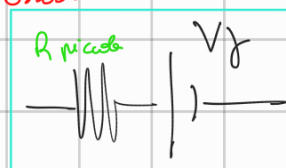


non scorre nel senso opposto. è un interruttore

dell'APERTO AL CHIUSO

Corrente scorre solo da ANODO a CATODO

Modello equiv per piccoli segnali è

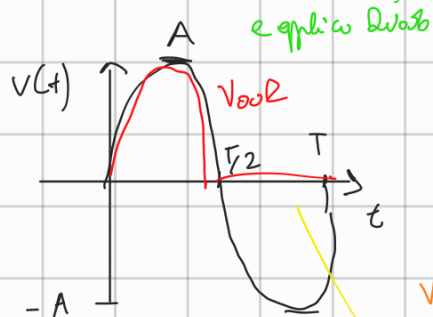


non in conduzione

è un C. A.

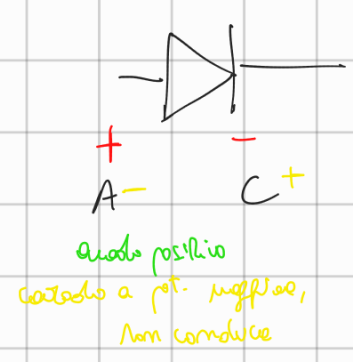
- V_g soglia, si oppone alla Tensione del mio p.e. Modello Diodo IN CONDIZIONE
- ⇒ Vado in conduzione quando riesco a vincere la Tensione che lui oppone (V_g)
 da polo in condiz. Sotto un certo livello, non può condurre

ES ho $V(t) = A \sin(2\pi f t)$ Sopraio $V_g = 0$ ← Tensione Soglia forma d'onda che riesco a prelevare sull'uscita V_{out} ? vedi vicino
 $V_d = 0$

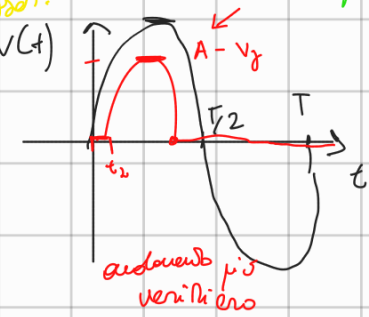


quando diodo va in conduzione, è un filo $\downarrow$ c.c. per tenerlo dove produce Tensione sufficiente da polo in condiz.
 che $V_{in} = V_{out}$

quando $V_g < 0$



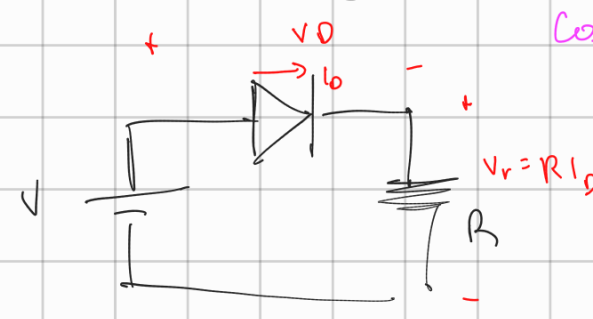
quando onda è negativa
 Se $V_g < 0$ ho questa polarizz. il diodo si mette di conduzione
 ⇒ $V_{out} = 0$



Se $V_g > 0$, spendo un p' di Tensione per arrivare a V_g , non ci arriva subito
 quando arrivo a V_g , sono in condiz.

Se ho anche V_d , non trascurabile, in conduzione ho sia un p.e. che si oppone ma ho anche un partiz. di Tensione sull'uscita ma sarà data dal partiz. tra R e R_D

- Ora, con generatore di Tensione, corr. continua cosa posso rappresentare



Transconduttanze del Diodo: Rappresentazioni in cui si mette in relazione grandezza di ingresso e uscita

es. tensione in ingresso ai capi del diodo, ho una corrente in uscita

es qui $I_D = I_s \left[e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right]$ transconduttanza relaz. non lineare

Curva I_D del Diodo, V_D grande

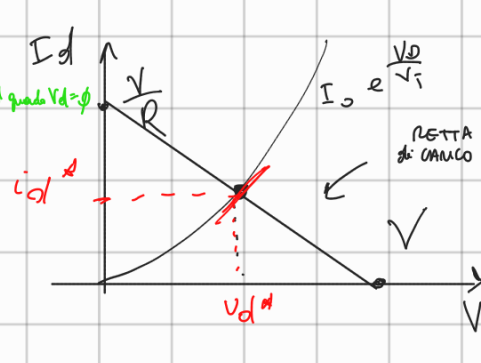


Diodo non regola la corrente che può scendere, per conduzione
 Sopera la soglia V , la corrente che può scorrere è "infinita" CAVITA' UN LIMITE SULLA POTENZA

la potenza che assorbe per il lavoro è $P = V_D I_D$ • il limite me lo dà la potenza
 Corrente che scorre sul Diodo viene determinata dal carico lui cerca indurre una corrente infinita, se non supera quella potenza brucia per effetto Joule

IDEALMENTE

Applicando la qualunque tensione, lui eroga una qualunque corrente
 => la resistenza determina la corrente che viene erogata => devo trovare il punto di lavoro
 nel circuito da KV (con $r_0 = 0$)

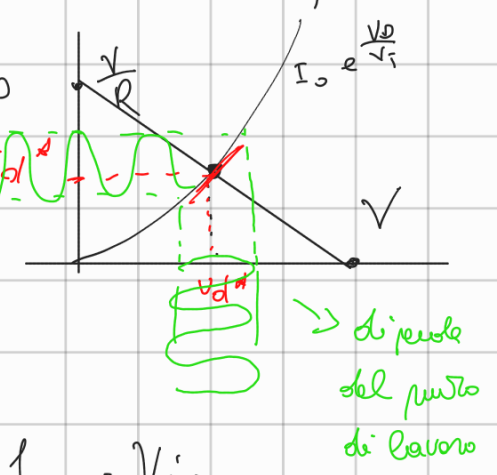


la retta mi identifica il punto di lavoro del diodo
 posso dire che è in punto di lavoro è lineare se li sovrappongo una sinusoidale...
 fissa V e R , e conoscendo le trascorrendo, ho stabilito quanto vale la corrente media e tensione ai capi del diodo

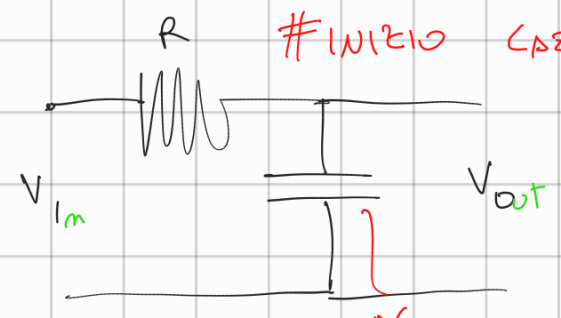
Qualunque dispositivo si comporta in un modo in continua, e in un modo un po' diverso in alternata

PARTE IN CONTINUA determina il PUNTO DI LAVORO

Posso usarlo anche in alternata
 Se conosco il punto di lavoro, sostituisco il modello SOVRAPPONGO SINUSOIDE, ottengo in uscita un'ALTRA SINUSOIDE



RC #INIZIO CAZZIATA



$$V_{out} = \frac{1}{j\omega C} \cdot V_{in}$$

$$\frac{1}{j\omega C} + R$$

RC filtro passabasso, da voler mettere

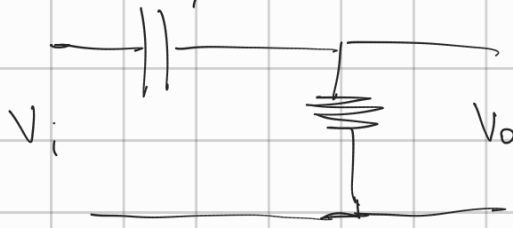
$\frac{1}{j\omega C} \parallel \frac{1}{SC}$
 vedi solo se $\omega = 0$
 regime stazionario

$$V_{out} = \frac{1}{1 + j\omega RC} V_{in}$$

$S = j\omega$, e RC grande

=> Sostituendo $V_{out} = \frac{1}{S RC} V_{in}$

ora invertito, torna dritto



è un derivatore...

Se ho segnale derivato, integro

devo avere corrispondenza tra operazione

$$V_o = \frac{R \cdot V_{in}}{R + \frac{1}{j\omega C}}$$

$$\frac{1}{N} \dots \hat{=} \frac{1}{N \Delta x} \Delta x$$

$$= \frac{SCA \cdot V_{in}}{1 + RC} \quad n \gg 1$$

Moderazione e convergenza Fisico

= SC Vin
moltiplico per S, derivo