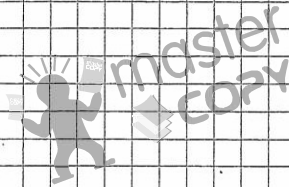
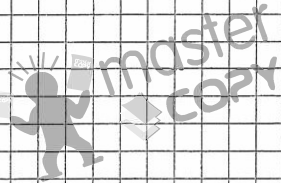
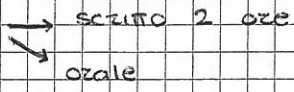


Elettronica Analogica

p. mazconini@iet.unipi.it

bzahms.iet.unipi.it/mazconini/mazconini.html

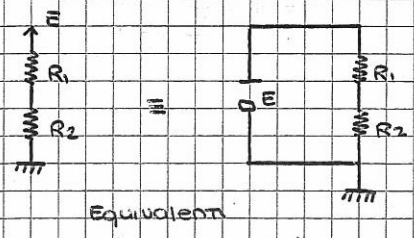
Esame



Energia potenziale $U = Q \cdot V$ [$C \cdot V = \text{Joule o eV}$]

1 elettron Volt = $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

energia che occorre per spostare una carica elementare tra 2 punti tra i quali c'è una differenza di potenziale di 1 volt



- per $\omega = 0$ Impedenza = corto circuito
- per $\omega = \infty$ Impedenza = circuito aperto

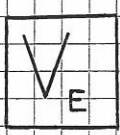
IMPEDENZA VISTA : disattivo generatori indipendenti dentro la rete, metti un generatore di prova U_p e ne calcolo la corrente I_p

$Z_V = \frac{U_p}{I_p}$ → equivale alla resistenza di Thevenin R_{TH}

NOMENCLATURA



V tensioni I correnti



- lettera grande minuscola se varia nel tempo
- lettera grande maiuscola: valore di picco, efficace, medio, fasce
- lettera piccola minuscola: variabile nel tempo
- lettera piccola maiuscola: quantità totale o media

es. $U_e(t) = U_{eq} + U_{em} \sin(\omega t) = U_{eq} + U_e(t)$

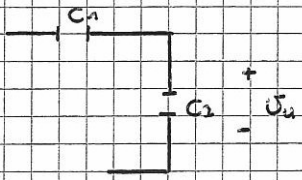
verso convenzionale delle correnti = entrante nel dispositivo

Carica e scarica di un condensatore

a partire da un valore iniziale la tensione tende a un nuovo valore a regime → valore iniziale = ramo aperto

$U_c(t) = \underbrace{U_c(\infty)}_{\text{valore con c aperto}} + (U_c(t_{in}) - U_c(\infty)) e^{-\frac{t-t_{in}}{RC}}$ → in $t=t_{in}$ $\exp=1$
 $RC = \text{costante di tempo}$

Partitore Capacitivo

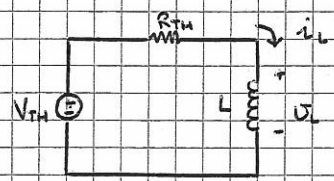


$U_u = \frac{1}{\frac{1}{C_1 S} + \frac{1}{C_2 S}} U_{in} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} U_{in}$

inerzia dell' induttore: tende a mantenere costante la corrente che lo attraversa

$E_m = \frac{1}{2} L i_L^2$

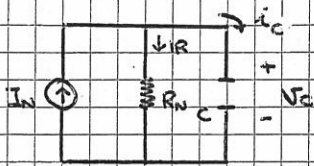
non varia istantaneamente



$U_L = L \frac{di_L}{dt}$
 $i_L = \frac{U_{TH} - U_L}{R_{TH}}$

A un aumento della corrente i_L , aumenta V_L che tende a far diminuire i_L mantenendola pressoché costante

Inerzia di un capacitore: mantiene V costante



$$i_C = C \frac{dV_C}{dt}$$

$$V_C = R_N i_C = R_N (I_N - i_C)$$

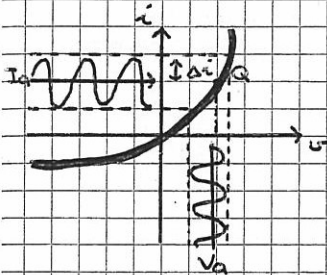
Se V_C aumenta, $i_C > 0$, quindi V_C diminuisce

$$E_C = \frac{1}{2} C V_C^2$$

Energia non può variare istantaneamente

Punto di lavoro → ottenuto studiando il circuito in continua

Voglio far lavorare i dispositivi intorno a un certo punto e devo sfruttare la caratteristica del dispositivo



Voglio lavorare intorno a Q = punto di lavoro/zipcos

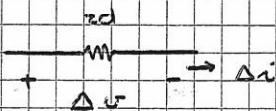
- studio il circuito e trovo il punto di lavoro i_Q cercando che ha caratteristica non lineare
- lineizzo il dispositivo e quindi il circuito mi sto muovendo intorno al punto Q per tensione e corrente → sviluppo di Taylor fino al 1° ordine = approssimo alla tangente

$$i = i(v) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} \left. \frac{d^n i(v)}{dv^n} \right|_{v=V_Q} \cdot (v - V_Q)^n \approx \underbrace{i(V_Q)}_{I_Q} + \left. \frac{di}{dv} \right|_{v=V_Q} \cdot (v - V_Q)$$

$$\underbrace{i - I_Q}_{\Delta i} \approx \left. \frac{di}{dv} \right|_{v=V_Q} \cdot \underbrace{(v - V_Q)}_{\Delta v} \quad \Delta i = g_d \Delta v = \frac{1}{z_d} \Delta v$$

$$g_d = \frac{1}{z_d}$$

Quindi il dispositivo con correnti = variazioni di I intorno al punto di lavoro e tensioni = variazioni di V intorno al punto di lavoro e schematizzabile con



Tensione deve essere sufficientemente più piccola della tensione massima (es. 1/10)



- conduttori $\rho < 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$
- isolanti $\rho > 10^2 \Omega \cdot \text{cm}$ (GAP grande)
- semiconduttori $10^{-2} \Omega \cdot \text{cm} < \rho < 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ (GAP piccolo)

Sopra il GAP ci sono bande di conduzione, sotto bande di valenza, quando un elettrone passa a una banda alta di conduzione, lascia un vuoto detto "lacuna" che equivale a una particella con carica positiva, gli elettroni a sx vanno verso dx ad occupare lo spazio vuoto = come se una carica positiva si spostasse da dx a sx, i salti degli elettroni verso il basso generano ricombinazione

Allequilibrio

$$np = n_i^2 = A_0 T^3 e^{-\frac{E_g}{kT}} \quad \text{Legge dell'azione di massa}$$

quantità che dipende da elettroni e lacune, dal materiale

SEMICONDUTTORI

- del IV gruppo: Silicio (numero atomico 14) con 4 elettroni di valenza, si lega agli atomi del reticolo cristallino con struttura tetraedica

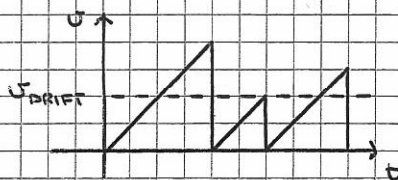
Un elettrone può avere energia sufficiente per rompere uno dei legami covalenti

Nei semiconduttori intrinseci: $n = p = n_i$
 ↳ non molto elevato

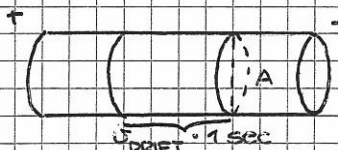
TIP DI CORRENTE NEI SEMICONDUTTORI

■ Corrente di Drift

applica una ddp al materiale = forza elettrica dovuta a un campo elettrico, la particella accelera (velocità aumenta uniformemente) finché non urta con qualcosa, la velocità si azzerà e riparte, ha un andamento con velocità media = DRIFT, proporzionale al campo elettrico per mezzo della mobilità (costante di proporzionalità)



$$v_{DRIFT} = \bar{v} = \mu E$$



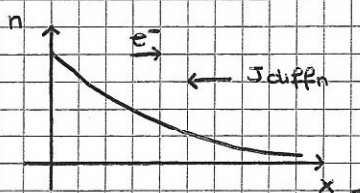
$$I_{DRIFT} = \frac{Q}{1 \text{ sec}} = \frac{v_{DRIFT} \cdot 1 \text{ sec} \cdot A \cdot \rho \cdot q}{1 \text{ sec}}$$

$b \cdot h = \text{Volume}$

Lacune hanno carica q , gli elettroni $-q$

■ Corrente di diffusione

Posizione sulle ascisse e n° elettroni sulle ordinate



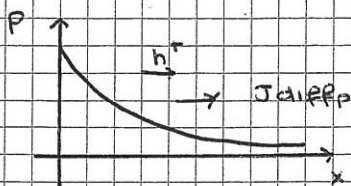
In questo caso gli elettroni tendono a spostarsi da sx verso dx $\rightarrow J_{diff} < 0$

$$J_{diff} = q D_n \frac{dn}{dx}$$

coefficiente di diffusione degli elettroni

$q = \text{modulo carica e}$

Posizione sulle ascisse, n° lacune sulle ordinate



$\frac{dp}{dx} < 0$ perché funzione decrescente

$$J_{diff p} = -q D_p \frac{dp}{dx}$$

densità di diffusione delle lacune

$J_{diff tot} =$ somma delle 2

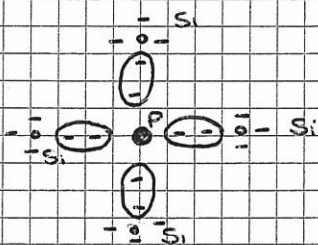


DROGGAGGIO DEL SEMICONDUCTORE

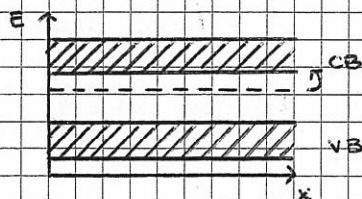
Nella struttura cristallina del silicio sostituisco alcuni atomi di Si (IV) con atomi del III o del V gruppo

Drogaggio di tipo n → li rimpiazza con atomi del V gruppo, mantengo comunque la struttura del Si

es. As, P con 5 e nel livello estremo



Con poca energia si può aumentare di 1 il n° di elettroni mobili



Non si dà luogo a lacune in VB

Droganti donatori

Struttura cristallina

Struttura a bande

In questo caso $n > p$ e all'equilibrio $np = n_i^2$

a $T = 300 K$ (temperatura ambiente)

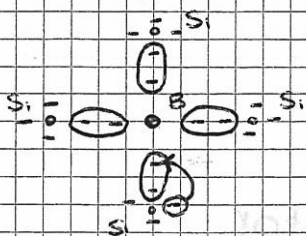
$$n = (N_D)$$

concentrazione e mobilità in CB → donatori = n° atomi di P

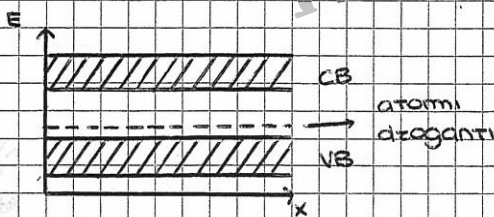
Contributo di e che saltano da VB a CB e' < di quello degli e che derivano dagli stati localizzati

Ci sono più n e meno p rispetto a un semiconduttore intrinseco (tutti Si) = tipo n

Drogaggio di tipo p → li rimpiazza con atomi del III gruppo (Boro)



Con poca energia un e del silicio viene accettato dal Boro = Droganti accettori
Nel silicio si creano lacune



Boro = carica negativa ferma

tipo p poiché concentrazione di lacune > concentrazione e

$p > n$ e all'equilibrio $np = n_i^2$

Ci sono più lacune rispetto a un conduttore di tipo intrinseco