

# APPLICAZIONI INDUSTRIALI ELETTRICHE ED ELETTRONICA

Ollari Ischimji Dmitri

Marzo 2022

## Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>3</b>
1.1	Legge di Moore	3
1.2	Trasduttore	3
1.3	Segnale	3
1.3.1	I segnali elettrici	3
1.4	Circuiti digitali	3
1.5	Digitale vs Analogico	3
1.6	Analogico vs Digitale	3
1.6.1	ADC	4
1.6.2	DAC	4
<b>2</b>	<b>Semiconduttori</b>	<b>5</b>
2.1	Classificazione dei materiali	5
2.1.1	Caratteristiche dei semiconduttori	5
2.1.2	Silicio: legame covalente	5
2.2	Drogaggio di un semiconduttore	5
2.2.1	Silicio di tipo n	5
2.2.2	Silicio di tipo p	5
2.3	Corrente di "drift"	6
2.3.1	Drift: metalli vs semiconduttori	6
2.4	Diffusione	7
2.4.1	Diffusione: elettroni	7
2.4.2	Diffusione: lacune	7
2.5	Legge del trasporto "drift-diffusione"	7
<b>3</b>	<b>Diodo a giunzione</b>	<b>8</b>
3.1	Giunzione p-n	8
3.1.1	Formazione della giunzione	8
3.1.2	Regione svuotata: potenziale V	8
3.2	Diodo polarizzato in diretta ( $V_D > 0$ )	8
3.2.1	Caratteristiche $I_D(V_D)$ in diretta	8
3.3	Diodo polarizzato in inversa e breakdown ( $V_D < 0$ )	9
3.3.1	Breakdown a valanga	9
3.4	Applicazione del diodo	9
3.4.1	Raddrizzatore	9
3.4.2	Rilevatori di picco	10
3.5	Capacità del diodo e modello circuitale	10

## Elenco delle figure

1	Livelli input output	3
2	Corrente di drift	6
3	Corrente	6
4	Rappresentazioni regione svuotata e zona neutra	8
5	Tensione built-in	8
6	Diodo polarizzato direttamente	8

7	comportamento reale del diodo . . . . .	9
8	radrizzatore . . . . .	9
9	rilevatore di picco . . . . .	10

## Elenco delle tabelle

# 1 Introduzione

L'elettronica è la scienza e la tecnica inerente alla propagazione ed emissione degli elettroni nel vuoto o nella materia.

## 1.1 Legge di Moore

Il numero di transistori integrati nei chip raddoppia ogni due anni.

## 1.2 Trasduttore

- sensore: produce un segnale elettrico per una certa grandezza fisica
- attuatore: produce una certa grandezza fisica per un segnale elettrico

## 1.3 Segnale

Funzione del tempo che rappresenta la variazione di una grandezza fisica.

### 1.3.1 I segnali elettrici

Possono essere analogici (livelli continui nel tempo) o digitali (livelli discreti).

## 1.4 Circuiti digitali

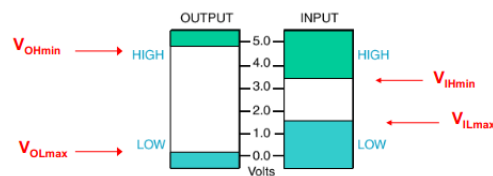


Figura 1: Livelli input output

- $V_{OHmin}$  è la minima tensione in output corrispondente ad un 1 logico
- $V_{OLmax}$  è la massima tensione in output corrispondente ad un 0 logico
- $V_{IHmin}$  è la minima tensione per avere un 1 logico
- $V_{ILmax}$  è la massima tensione per avere un 0 logico
- I margini di rumore sono  $V_{OHmin} - V_{IHmin}$
- I margini di rumore sono  $V_{ILmax} - V_{OLmax}$

## 1.5 Digitale vs Analogico

- elevata potenzialità di calcolo ed elaborazioni del segnale
- maggior robustezza a disturbi e rumore
- minor sensibilità alle variazioni di temperatura ed alle tolleranze dei parametri del dispositivo

## 1.6 Analogico vs Digitale

- in natura le grandezze sono continue (segnali analogici)
- sensori: grandezza fisica -> ingresso analogico
- attuatori: segnale -> uscita analogica
- si usano circuiti di conversione A/D e D/A

### **1.6.1 ADC**

Converte un input analogico ad un output digitale, si fa una approssimazione dell'input con il campionamento.

### **1.6.2 DAC**

Converte digitale verso analogico.

## 2 Semiconduttori

### 2.1 Classificazione dei materiali

Resistività  $\rho$ :

- $\rho < 10^{-1} \Omega \cdot cm$  è un conduttore
- $10^{-1} \Omega \cdot cm < \rho < 10^5 \Omega \cdot cm$  è un semiconduttore
- $10^5 \Omega \cdot cm < \rho$  è un isolante

#### 2.1.1 Caratteristiche dei semiconduttori

- resistività intermedia tra isolanti e conduttori
- possibilità di variare  $\rho$  mediante il drogaggio
- due portatori di carica liberi: elettrone(-) e lacuna(+)
- disponibili sia come cristalli che come composti

#### 2.1.2 Silicio: legame covalente

4 elettroni poco legati(di valenza)

- non sono legati strettamente al nucleo
- risentono dell'interazione degli altri atomi
- formano un doppio legame covalente con gli altri atomi

### 2.2 Drogaggio di un semiconduttore

Il drogaggio è l'aggiunta di atomi diversi, esistono 2 tipi di drogaggio:

- drogaggio di tipo n: aggiunta di elementi del quinto gruppo(As,P,Sb)
- drogaggio di tipo p: aggiunta di elementi del terzo gruppo(B)

#### 2.2.1 Silicio di tipo n

Vengono aggiunti al silicio elementi del quinto gruppo, il quinto elettrone di valenza si lega debolmente al nucleo e non è impiegato in legami covalenti. L'elettrone può facilmente liberarsi dal nucleo per effetto dell'energia termica.

Il quinto elettrone può muoversi nel cristallo.

#### 2.2.2 Silicio di tipo p

Essendo il drogaggio effettuato con un elemento del terzo gruppo, manca un elettrone nel legame covalente(**lacuna**).

È facile catturare un elettrone per questa configurazione.

La cattura di un elettrone da parte di questa configurazione, crea una lacuna in una molecola vicina, viene creata una reazione a catena dove questa lacuna si "sposta" all'interno degli atomi adiacenti.

Si parla di "moto di lacune" anche se sono comunque gli elettroni a muoversi.

## 2.3 Corrente di "drift"

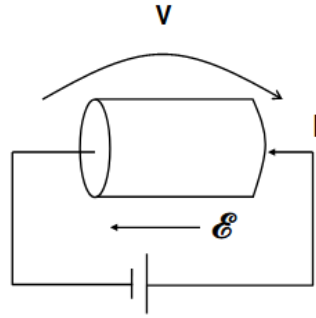


Figura 2: Corrente di drift

Forza di trascinamento sull'elettrone

$$F = -q\epsilon$$

Forza di trascinamento sulla lacuna

$$F = q\epsilon$$

Per campi elettrici moderati esiste una relazione lineare fra intensità del campo  $\epsilon$  e **velocità del portatore di carica**.

Materiali ad alta mobilità( $\mu$ ) hanno una velocità media dei portatori molto alta.

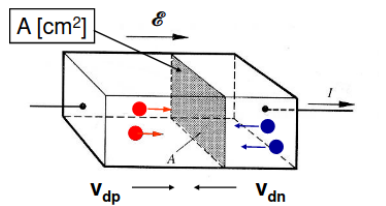


Figura 3: Corrente

Dove le forse sono:

•

$$I_n = -qn(-V_{dn})A = qnV_{dn}A$$

•

$$I_p = qpV_{dp}A$$

La  $A$  sta per la superficie attraversata perchè la corrente è il numero di lacune che attraversano la superficie in un tempo.

La densità si ottiene dividendo per l'Area.

La  $J$  rappresenta la densità di corrente:

$$J = J_p + J_n = q(p\mu_p + n\mu_n) \cdot \epsilon$$

Da cui si ottiene la legge di **ohm locale**:

$$J = \sigma \cdot \epsilon$$

Dove la  $\sigma$  rappresenta la conducibilità:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = q(p\mu_p + n\mu_n) \quad (1)$$

dove  $\rho$  rappresenta la resistività.

### 2.3.1 Drift: metalli vs semiconduttori

Nei metalli e nei semiconduttori, il drift è simile, tranne per il fatto che nei metalli non vi sono lacune come portatori di carica. E ovviamente che la conducibilità di un metallo è molto maggiore di quella di un semiconduttore.

## 2.4 Diffusione

Meccanismo di trasporto rilevante solo nei semiconduttori, simile alla diffusione dei gas causata da una differenza di concentrazione dei portatori.

### 2.4.1 Diffusione: elettroni

$$J_n = -(-q)D_n \frac{dn}{dx} = qD_n \frac{dn}{dx} \quad (2)$$

essendo l'elettrone negativo si prende la carica  $q$  con carica negativa, il segno meno iniziale rappresenta il flusso verso la zona a minor intensità.

### 2.4.2 Diffusione: lacune

$$J_p = -qD_p \frac{dp}{dx} \quad (3)$$

## 2.5 Legge del trasporto "drift-diffusione"

I due meccanismi di trasporto per le due cariche sono: elettrone:

$$J_n = qn\mu_n E + qD_n \frac{dn}{dx} \quad (4)$$

lacuna:

$$J_p = qp\mu_p E - qD_p \frac{dp}{dx} \quad (5)$$

Il **DRIFT** tipicamente è dominante per i **maggioritari**:  $J_{n-drift} \propto nE$ .

La **DIFFUSIONE** tipicamente è dominante per i **minoritari**:  $J_{n-diff} \propto \frac{dn}{dx}$ .

### 3 Diodo a giunzione

#### 3.1 Giunzione p-n

Si ottiene al contatto tra due regioni di un semiconduttore, uno drogato con p e uno con n.

##### 3.1.1 FOrmazione della giunzione

Il diodo è formato da due parti, anodo(A) semiconduttore drogato del tipo P e catodo(K) semiconduttore del tipo N.

Nel diodo si instaura un campo elettrico  $\sigma$  che ostacola il fluire delle cariche(rende la corrente nulla).

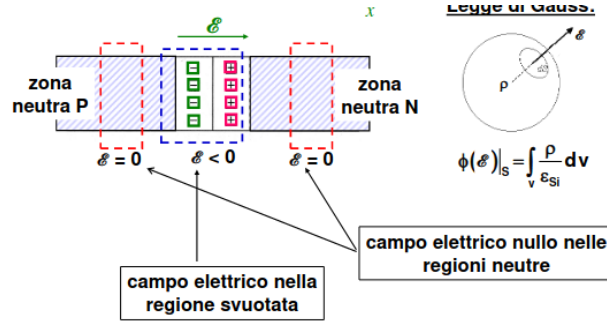


Figura 4: Rappresentazioni regione svuotata e zona neutra

##### 3.1.2 Regione svuotata: potenziale V

$$\epsilon = -\frac{dV}{dx} \quad (6)$$

Si crea una caduta di potenziale agli estremi della regione svuotata. Se si prende come 0 l'anodo(P) si ottiene un risultato positivo di tensione  $V = V_{bi}$  (potenziale di built-in).

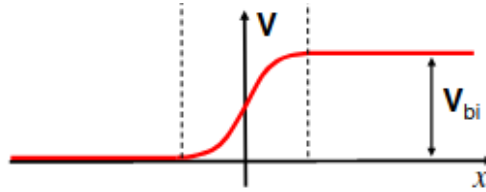


Figura 5: Tensione built-in

#### 3.2 Diodo polarizzato in diretta ( $V_D > 0$ )

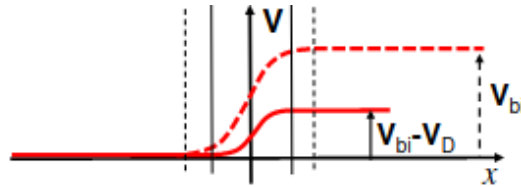


Figura 6: Diodo polarizzato direttamente

Si abbassa la barriera che impediva il fluire della corrente.

##### 3.2.1 Caratteristiche $I_D(V_D)$ in diretta

$$I_D = I_S(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1) \cong I_S e^{\frac{V_D}{V_T}} \quad (7)$$

Dove la tensione del diodo della tensione termica ( $V_D \gg V_T$ ).

Tensione termica:

$$V_T = \frac{kT}{q}$$



La tensione termica con temperatura  $300K$  è  $25,6mV$ .  
 La  $I_S$  è la corrente inversa di saturazione.  
 La tensione del diodo si approssima a circa  $V_D \cong 0,7V$

### 3.3 Diodo polarizzato in inversa e breakdown ( $V_D < 0$ )

Essendo una tensione negativa, la "barriera" che inpediva il fluire della corrente viene aumentata.

#### 3.3.1 Breakdown a valanga

Il diodo in polarizzazione inversa, regge la tensione fin al punto di breakdown senza far passare la corrente, dopodichè cede, distruggendosi.

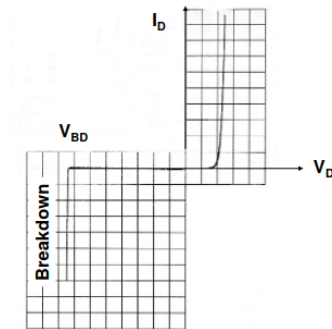


Figura 7: comportamento reale del diodo

### 3.4 Applicazione del diodo

#### 3.4.1 Raddrizzatore

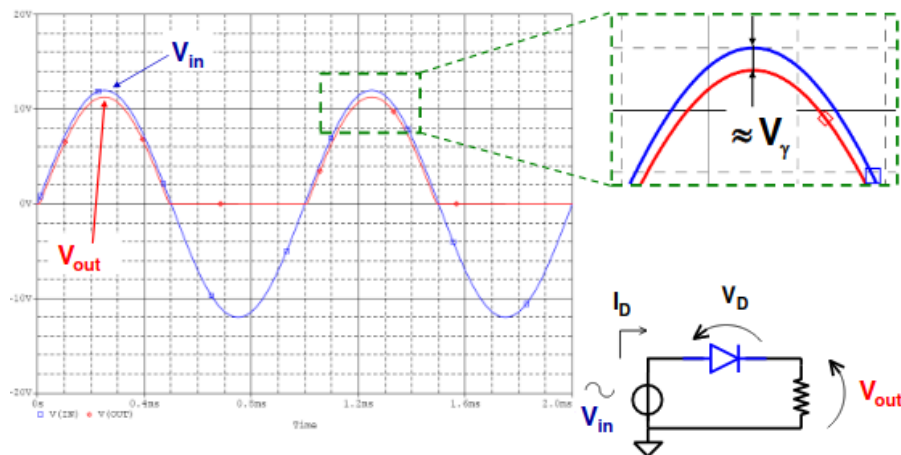


Figura 8: raddrizzatore

Solitamente si utilizzano i diodi zener che hanno una tensione di breakdown enorme se si vogliono usare come raddrizzatori di un segnale alternato.

### 3.4.2 Rilevatori di picco

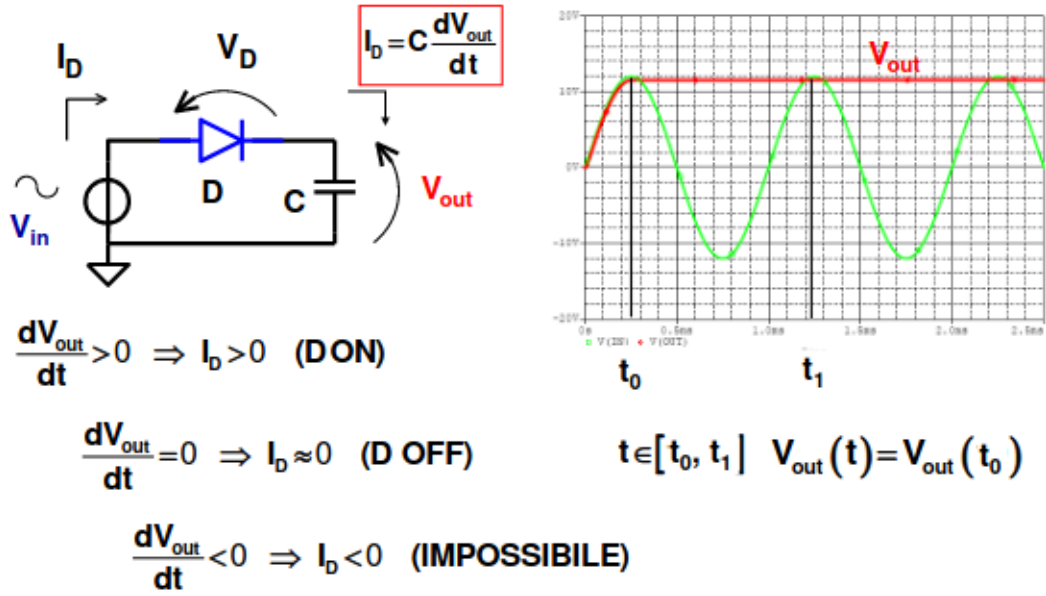


Figura 9: rilevatore di picco

### 3.5 Capacità del diodo e modello circuitale

La capacità per la tensione del diodo(0.7V):

$$Q_J(V_D) = K_j \sqrt{V_{bi} - V_D} \quad (8)$$

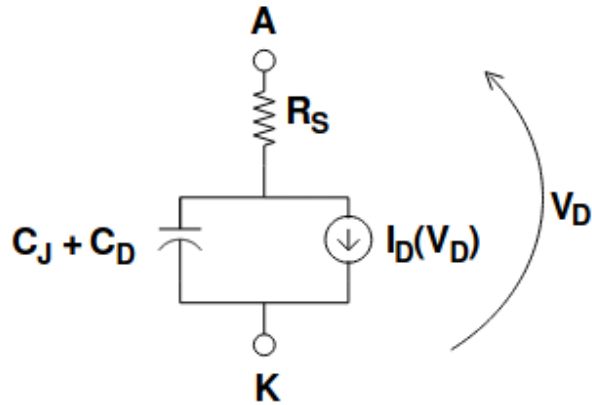


Figura 10: modello del diodo