

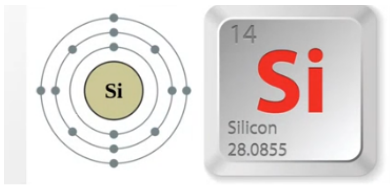
Componenti basati su semiconduttori parte 2

sabato 22 luglio 2023 09:44

Andiamo a discutere le proprietà del Silicio, ovvero il materiale tra i Semi conduttori più usato.

Questo atomo è caratterizzato da 4 elettroni di valenza .

Tra due atomi di silicio, ovvero quando si crea un legame covalente, 1 solo elettrone di valenza viene messo in comune.



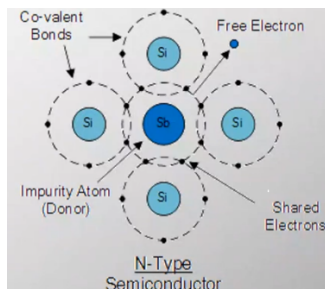
In un cm^3 di silicio ci sono $5 \cdot 10^{22}$ atomi.

Se si ha a che fare con elementi di silicio puri (solo silicio) si parla di materiale con **intrinseco**, con un numero di elettroni liberi che fanno da portatori secondo la legge di concentrazione intrinseca:

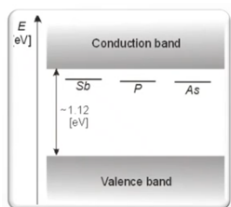
$$n_i = AT^{1.5} e^{-\frac{E_g}{2k_B T}}$$

Vediamo ora come aumentare il numero di portatori, arrivando così ad un materiale estrinseco : **DROGHIAMO 10^{16} leggero , mentre 10^{18} è pesante** : ovvero sostituisco un certo numero di atomi di silicio, con un certo numero di atomi di altro elemento. Due tipi di drogaggi : pentavalente e trivalente , ovvero tipo -n tipo-p (negativo / positivo).

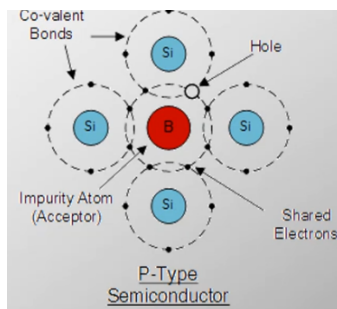
Vediamo il pentavalente (tipo n-> negativo), ovvero sostituisco atomi di silicio con atomi che hanno 5 elettroni di valenza.



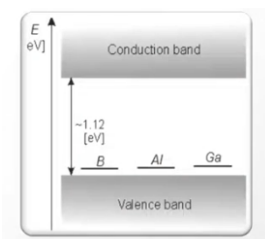
In questo tipo di drogaggio , vi è il famoso elettrone "libero" ovvero un elettrone che si trova direttamente in banda di conduzione. Quindi ottengo un aumento dei portatori. Quindi così facendo , si crea a ridosso della banda di conduzione un ulteriore livello energetico : **livello dei donori**.



Analogamente al drogaggio pentavalente, vediamo il trivalente ovvero legame con elettrone in meno -> LACUNA :

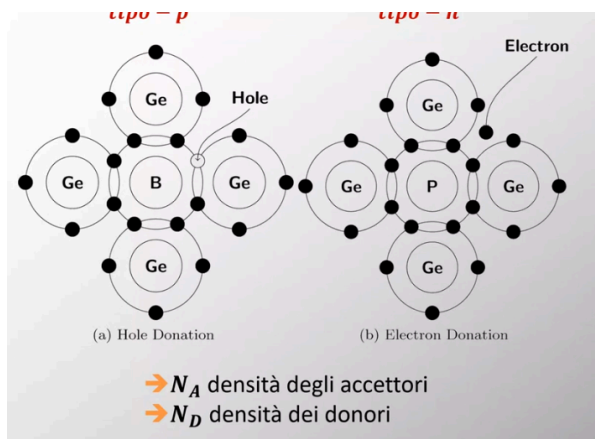


Facendo così invece, si crea un ulteriore livello a ridosso della banda di valenza , e prende il nome di **livello di accettori**.



Riassumendo :

tipo - n **tipo - p**



Ed usando la legge di azione di massa :

$$np = n_i^2$$

Torniamo ora alle correnti : in particolare alle densità :

- Deriva

$$J = nq\vec{v}_d$$

$$J = J_n|_{drift} + J_p|_{drift} = nq_n\vec{v}_n + pq_p\vec{v}_p = nq\vec{v}_n + pq\vec{v}_p$$

$$\mu_n = \vec{v}_n / \vec{E} \quad \mu_p = \vec{v}_p / \vec{E}$$

$$J = J_n|_{drift} + J_p|_{drift} = (nq\mu_n + pq\mu_p)\vec{E}$$

- Diffusione
 - Corrente derivata dalla propagazione delle cariche lungo il percorso!!
 - Flusso = variazione concentrazione delle cariche lungo una curva.
 - La tensione termica vale 25 mV

$$\Phi_n = -D_n \frac{dn(x)}{dx}$$

$$\Phi_p = -D_p \frac{dp(x)}{dx}$$

coefficienti di diffusione relazioni di Einstein-Smoluchowski tensione termica

$$D_n = \frac{L_n^2}{\tau_n} \left[\frac{cm^2}{sec} \right]$$

$$D_p = \frac{L_p^2}{\tau_p} \left[\frac{cm^2}{sec} \right]$$

$$D_n = \mu_n \frac{k_B T}{q}$$

$$D_p = \mu_p \frac{k_B T}{q}$$

$$V_T = \frac{k_B T}{q}$$

- Riassumendo quindi :

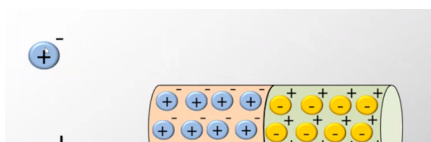
$$J_n|_{diffusion} = -q\Phi_n = -q \left(-D_n \frac{dn(x)}{dx} \right) = qD_n \frac{dn(x)}{dx} \left[\frac{A}{m^2} \right]$$

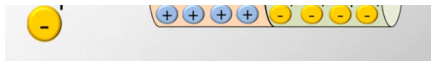
$$J_p|_{diffusion} = -qD_p \frac{dp(x)}{dx} \left[\frac{A}{m^2} \right]$$

TOTALE

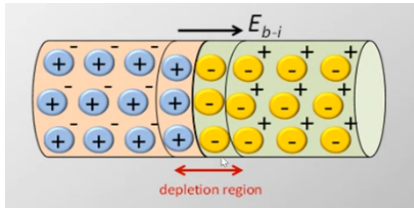
$$J = J_n|_{drift} + J_n|_{diffusion} + J_p|_{drift} + J_p|_{diffusion}$$

Parliamo ora di **giunzioni**: ovvero di zone di collegamento nei semiconduttori, tra una zona drogata tipo p ed una zona drogata tipo n.
In questo caso si parla di giunzione n-p:





Da notare che gli elementi fuori sono liberi, mentre quelli dentro sono fissi! Mentre per quanto riguarda attrazione Coulombiana perde contro la diffusione. Quindi si parla di ricombinazione di cariche.



Ma in seguito a ricombinazione degli elementi vicini, si arriva ad un certo punto, che le cariche non si ricombinano più, formando una zona svuotata, portando alla creazione di un campo elettrico uniforme ($E_{built-in}$ che vale 0.6/0.7V) tra le cariche positive e quelle negative. Quindi andiamo a vedere le correnti:

$$J_n = J_n|_{drift} + J_n|_{diffusion} = nq\mu_n E + qD_n \frac{dn(x)}{dx}$$

$$J_p = J_p|_{drift} + J_p|_{diffusion} = p q \mu_p E - q D_p \frac{dp(x)}{dx}$$

$$J_n = J_n|_{drift} + J_n|_{diffusion} = -nq\mu_n \frac{dV}{dx} + qD_n \frac{dn(x)}{dx}$$

$$J_p = J_p|_{drift} + J_p|_{diffusion} = -p q \mu_p \frac{dV}{dx} - q D_p \frac{dp(x)}{dx}$$

equilibrio dinamico

- $J_n = 0$
- $J_p = 0$

$$n\mu_n \frac{dV}{dx} = D_n \frac{dn(x)}{dx}$$

$$p\mu_p \frac{dV}{dx} = -D_p \frac{dp(x)}{dx}$$

$$D_p = \mu_p kT/q$$

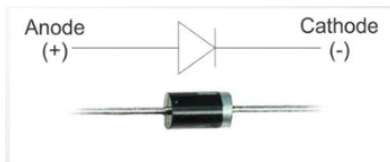
$$V_T = kT/q$$

$$\frac{dV}{dx} = -\frac{1}{p} \frac{D_p}{\mu_p} \frac{dp(x)}{dx} = -\frac{1}{p} \frac{kT}{q} \frac{dp(x)}{dx} = -\frac{1}{p} V_T \frac{dp(x)}{dx}$$

$$V_{bi} = \int_{-V_0}^0 dV = -V_T \int_{p_n}^{N_A} \frac{dp(x)}{p}$$

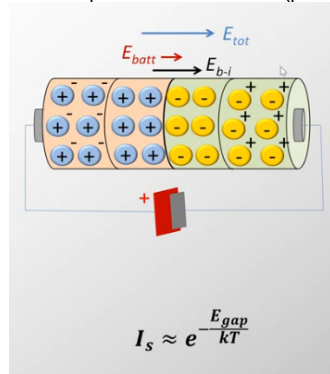
$$V_{bi} = V_T \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right)$$

Se prendiamo questa giunzione p-n e la incapsuliamo tra 2 terminali si parla di **diodo**:

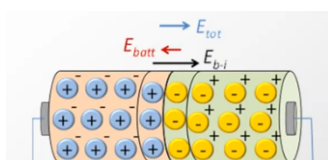


Se a questo diodo lo polarizziamo ovvero gli forniamo energia elettrica con una batteria, si hanno 2 possibili polarizzazioni:

- Inversa
 - In questo caso la batteria viene collegata al catodo e non ho corrente dovuta a portatori di maggioranza, ma ho corrente dovuta a portatori di minoranza (presenti internamente alla giunzione), la quale è assolutamente trascurabile

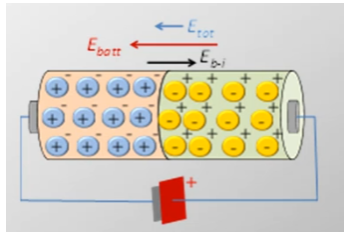


- diretta
 - Se la batteria è polarizzata come la giunzione (+ su + e - su -)
 - $|\vec{E}_{batt}| < |\vec{E}_{bi}|$



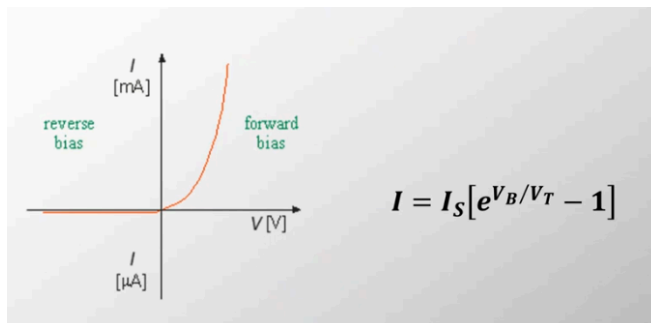


- Non ho corrente
- $|\vec{E}_{batt}| = |\vec{E}_{bi}|$ \longleftrightarrow $V_Y = 0.6 - 0.7V$
- Comincia a scorrere corrente
- $|\vec{E}_{batt}| > |\vec{E}_{bi}|$

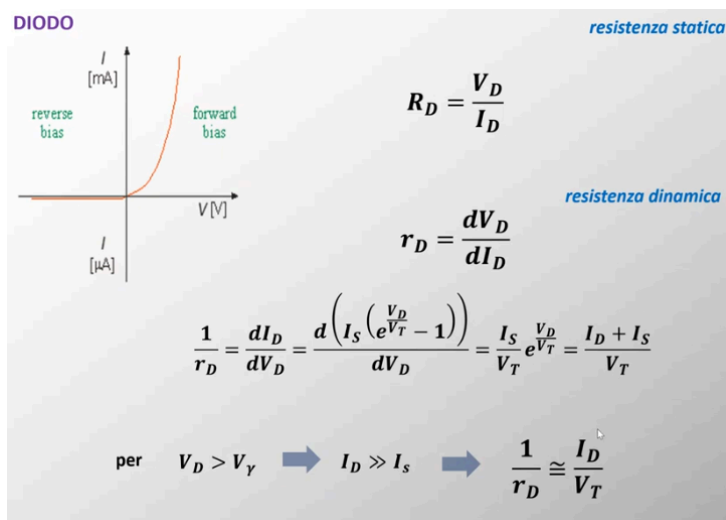


- Ho corrente di deriva e diffusione.

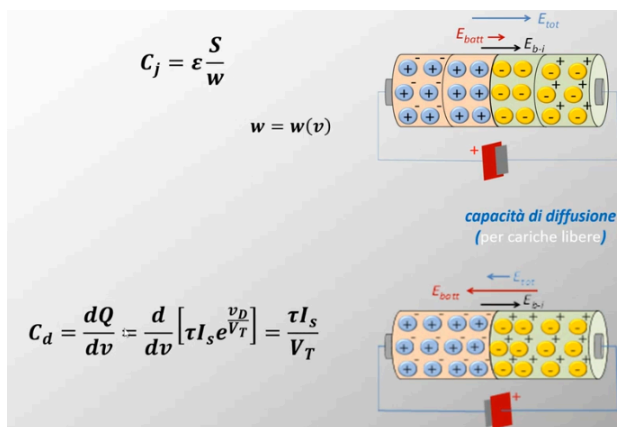
Quindi la curva caratteristica del diodo è (Equazione Shockley) :



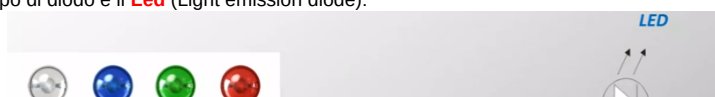
Quindi è un circuito aperto fino a 0.7 V, oltre invece si comporta come circuito chiuso. Andiamo a vedere le resistenze del diodo :




Per quanto riguarda la capacità : il diodo si comporta da pseudo condensatore



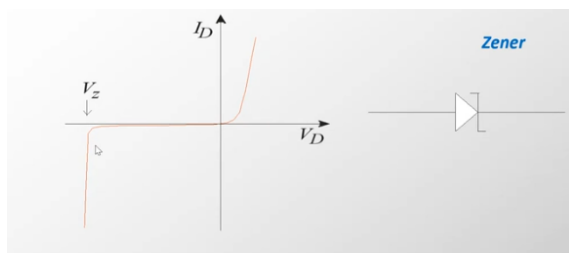
Un tipo di diodo è il **Red** (Light emission diode):





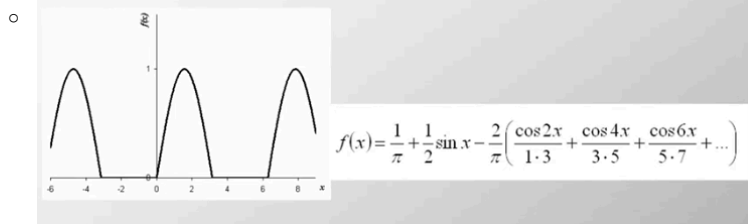
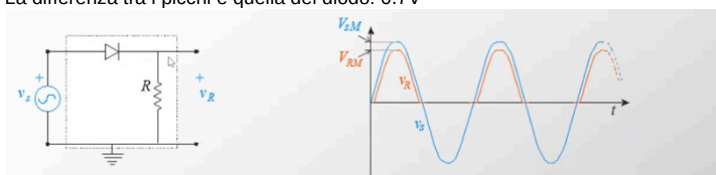
Colore	λ [nm]	E_g [eV]
Rosso	750	1,65
Arancio	600	2,07
Giallo	580	2,14
Verde	490	2,53
Blu	450	2,75
Viola	390	3,17

Un altro tipo di diodo è quello **zener** : ad una certa tensione di soglia (tensione zener V_Z) la corrente cresce vertiginosamente, ma la tensione rimane pressappoco invariata:

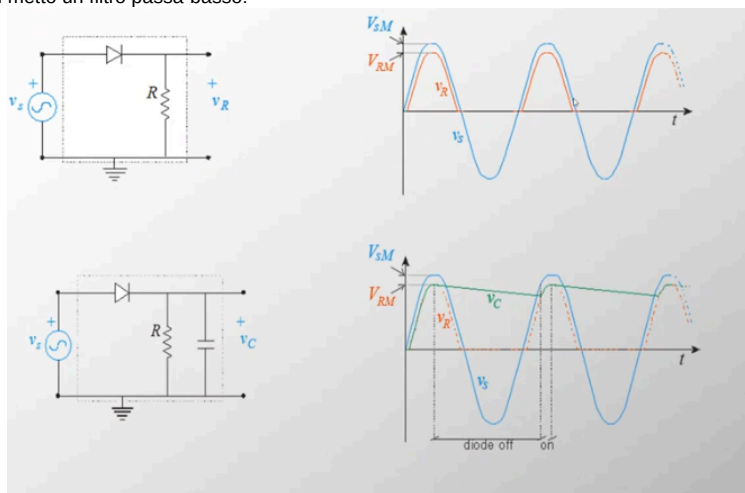


Andiamo a vedere dei circuiti che possiamo fare con i diodi:

- Circuiti raddrizzatori
 - Circuiti che avendo in ingresso un segnale a doppia semi-onda , ne restituiscono in uscita un segnale a singola semi-onda : o solo parte positiva o solo parte negativa
 - Quindi da iso-frequenziale in ingresso a multi-frequenziale in uscita
 - La differenza tra i picchi è quella del diodo: 0.7V

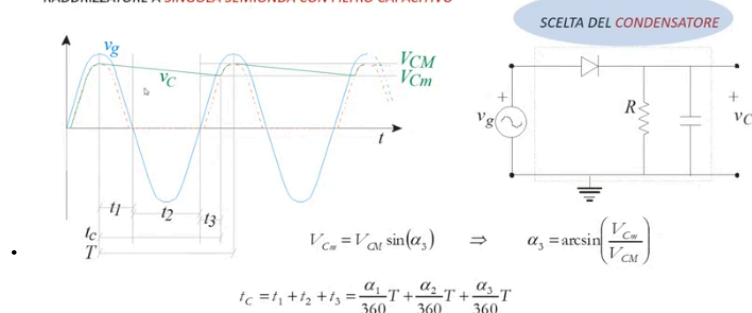


- Se vi metto un filtro passa-basso:



- Come dare i valori ?prima per il condensatore e poi per il diodo

RADDRIZZATORE A SINGOLA SEMIONDA CON FILTRO CAPACITIVO



L'espressione della scarica del condensatore, $v_C = V_{CM} e^{-\frac{t}{RC}}$, specializzata al tempo $t = t_c$ quando sappiamo che $v_C = V_{Cm}$, diventa:

$$V_{Cm} = V_{CM} e^{-\frac{t_C}{RC}} \Rightarrow \ln\left(\frac{V_{Cm}}{V_{CM}}\right) = -\frac{t_C}{RC}$$

quindi

$$C = \frac{t_C}{\ln\left(\frac{V_{CM}}{V_{Cm}}\right) R}$$

$$v_g = V_{gM} \sin(\omega t)$$

$$i_D(t) = i_C(t) \cong C \left[\frac{d}{dt} V_{gM} \sin(\omega t) \right] = \omega C V_{gM} \cos(\omega t)$$

La corrente è massima allo spunto e si verifica per $t = 0^+$:

$$i_D(t = 0^+) = I_{DM} = \omega C V_{gM}$$

I_{DM} può essere anche molto elevata (!)

Ma:

$$I_C = \frac{Q}{T}$$

incipio di conservazione della carica:

carica fornita dal diodo = carica ceduta dal condensatore

$$Q = I_{RM} T = Q = I_{DM} t_D$$

$$I_{DM} = I_{RM} \frac{T}{t_D} = I_{RM} \frac{2\pi}{\omega t_D}$$

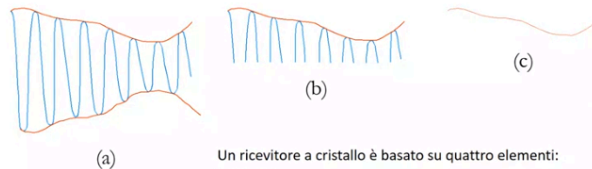
$$\Delta V = V_{CM} - V_{Cm} = V_{CM} - V_{CM} \cos(\omega t_D) \Rightarrow \Delta V \cong V_{CM} \left[1 - \left(1 - \frac{1}{2} (\omega t_D)^2 \right) \right] = \frac{1}{2} V_{CM} (\omega t_D)^2$$

$$\cos(x) \cong 1 - \frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \dots$$

$$\Rightarrow \omega t_D = \sqrt{2 \frac{\Delta V}{V_{CM}}} \Rightarrow I_{DM} = 2\pi I_{RM} \sqrt{\frac{V_{CM}}{2 \Delta V}}$$

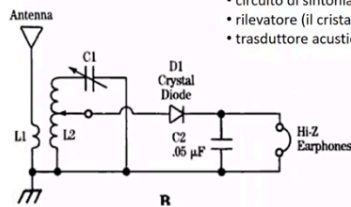
$$\gamma = \frac{\text{valore rms della componente AC in uscita}}{\text{valore DC in uscita}}$$

- Per ripple si intende l'ondulazione residua dovuta al condensatore.
- Vediamo un esempio:

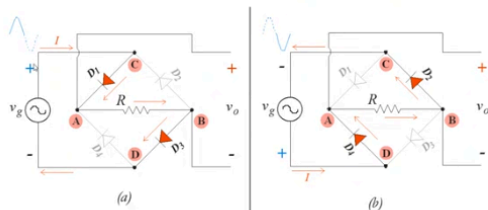
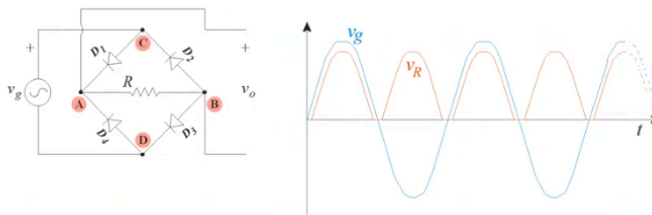


Un ricevitore a cristallo è basato su quattro elementi:

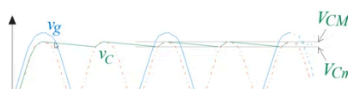
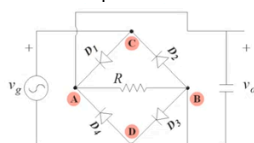
- antenna
- circuito di sintonia (filtro LC)
- rilevatore (il cristallo qui sostituito da un diodo)
- trasduttore acustico (una cuffia)

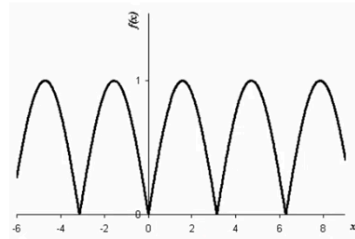
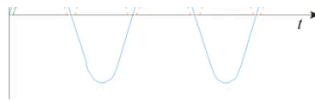


- Lo migliore usando un doppia-semionda: la parte negativa del segnale viene ribaltata su asse positivo



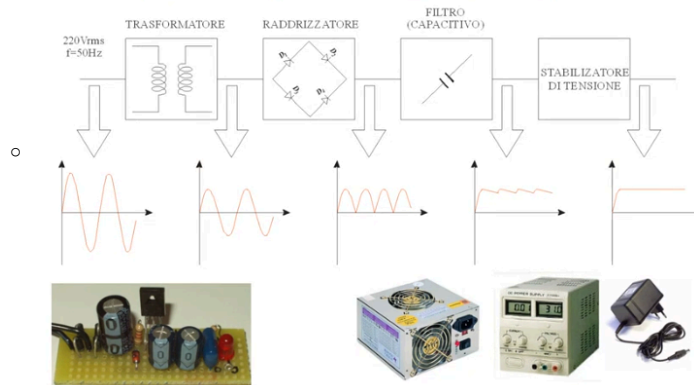
- Gli applico un filtro passa basso:





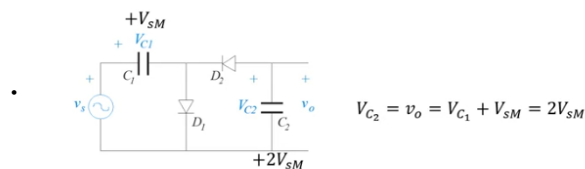
Serie di Fourier:
$$f(x) = \frac{2}{\pi} - \frac{4}{\pi} \left(\frac{\cos 2x}{1 \cdot 3} + \frac{\cos 4x}{3 \cdot 5} + \frac{\cos 6x}{5 \cdot 7} + \frac{\cos 8x}{7 \cdot 9} + \dots \right)$$

- ridurre il valore della tensione di rete al valore necessario
- “raddrizzare” la tensione di rete
- filtrare la tensione “raddrizzata” ottenuta
- eventualmente effettuare una protezione da sovratensioni o cortocircuiti

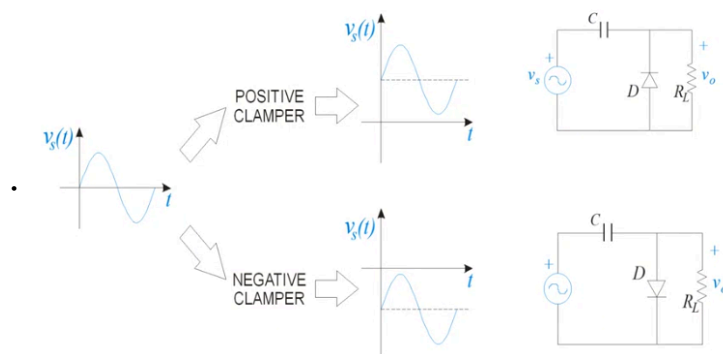


o Moltiplicatore di tensione

- In ingresso una tensione alternata, mentre in uscita ho una tensione costante di valore multiplo della tensione massima. In dettaglio il **raddoppiatore**.



- Agganciato (clamber) : trasla il segnale



- Tagliatore (Clipper): taglia la parte che si trova sotto o sopra una certa soglia di dc

