

$$i = \frac{q s D_m}{L_m} \frac{m_i^2}{N_A} (e^{\frac{V}{V_T}} - 1)$$

costante che proporzionalmente cambia

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

I_0 dipende da r, D_m, N_A, m_i^2, s

Corrente di diffusione dipende dalla distribuzione delle cariche all'interno del semiconduttore.

Problema (ne ho 2 estrinseci, N e P)

J_{diff} ; se posso densità di carica per unità di lunghezza all'interno di una p-n junction PV. IPOTESI

densità carica (carica) per unità di lunghezza

sforzo elettrico per portare la mia corrente, solo $MOLTI DI PIU'$ rispetto a N_A

es. Ho 2 tipi di giunzione

$$\left. \begin{array}{l} N_D = 10^{12} / \text{cm}^3 \\ N_D = 10^{14} / \text{cm}^3 \end{array} \right| \left. \begin{array}{l} N_A = 10^{14} / \text{cm}^3 \\ N_A = 10^{17} / \text{cm}^3 \end{array} \right.$$

$N_D \gg N_A$ cariche per portatori = elettroni

corrente sarà data principalmente dagli elettroni

Come sono connesse le due?

Se non applico tensione non fluisce corrente.

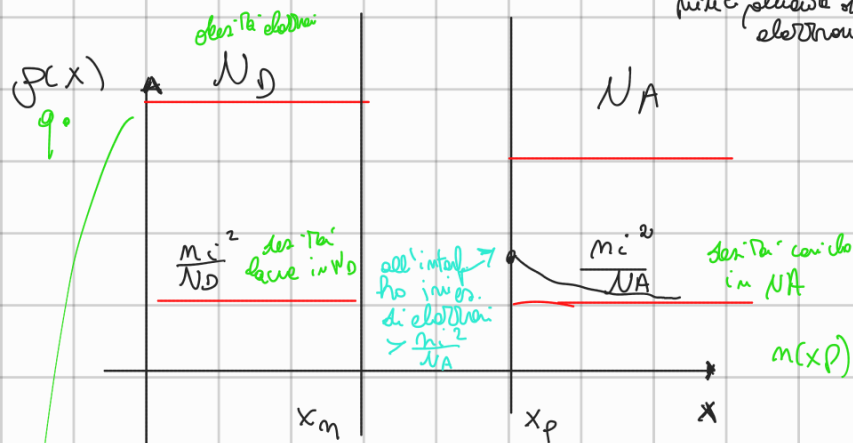
ma se ci metta un generatore, ho una diff di potenziale agli estremi del diodo.

Quindi ho una INIEZIONE di ELETTRONI, sono più di

$$m(x_p) = m(x_0) e^{-\frac{V_D}{V_T}}$$

in P $\rightarrow \frac{m_i^2}{N_A}$, e, nello spazio, ne

genererà una corrente di diffusione



Zona N
in N, anche drogato, la densità di elettroni è N_D

Densità di corrente di diffusione all'interf. di N

varies. # portatori

$$J = \frac{dm}{dx} D_m q$$

variazione numero portatori rispetto ad x
costante diff • corrente

Barriera

Se non ci fosse iniezione portatori, no variazione densità = 0, $J_{diff} = 0$

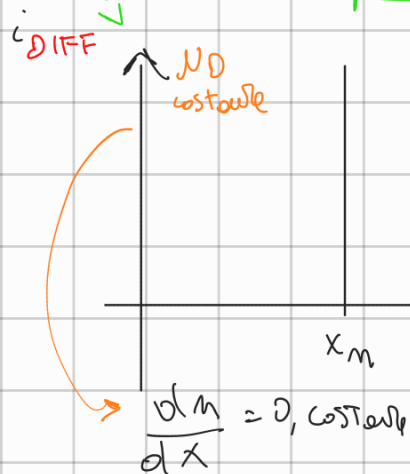
MA UNA INIEZIONE DI CARICA $\Rightarrow$ HO UN GRADIENTE

se non ci fosse iniezione, corrente di diffusione sarebbe

0. La conc di diff va a 0 nel tempo; ma per un istante c'è. Ma c'è anche corr di deriva

• qualcosa circola nel mio stilo

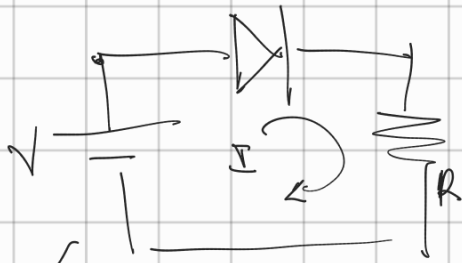
• equivale che c'è un q dentro un loop elettrico, ho



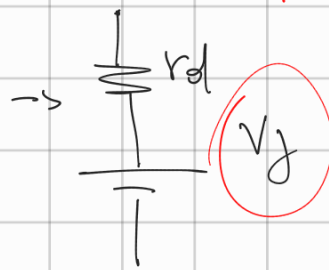
$$\frac{dm}{dx} = 0, \text{ costante}$$

Sia corrente di Diff che di Deriva

- Ratio sulle i di diffusione
Se risolvo circuito

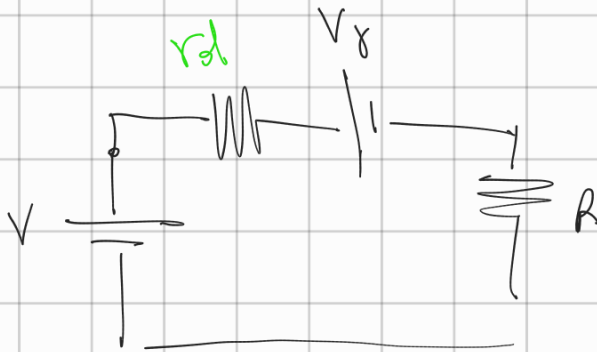


Modello diodo per piccoli segnali in conduzione



potenziale built-in
una volta superato V_γ , inizia ad avere una corrente

- il potenziale applicato ai capi del diodo che vedono gli elettroni è $V - V_\gamma$



$$I = \frac{V - V_\gamma}{r_d + R}$$

I è costante
 r_d diffusivo

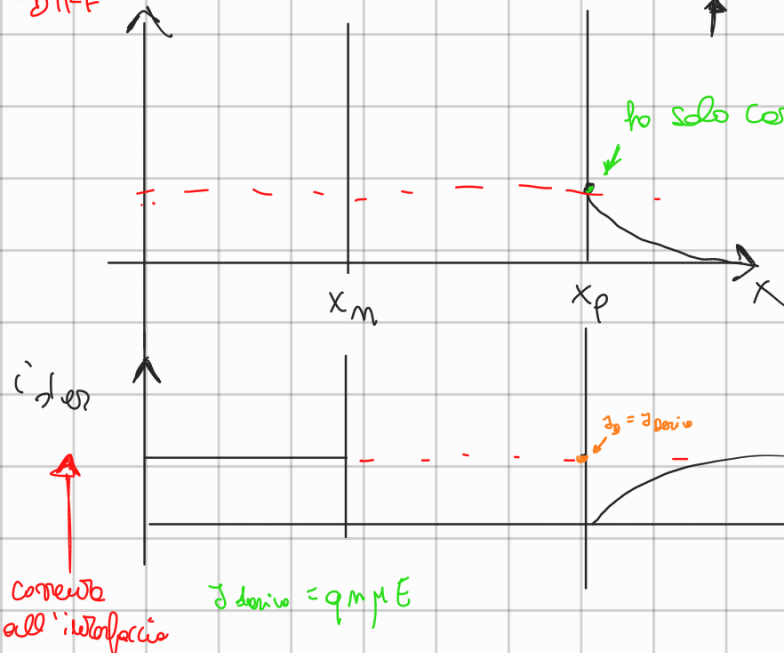
- I è costante... la corrente di deriva compensa le zone dove non c'è la corrente di DIFFUSIONE, esistono insieme ma la loro somma deve fare I

i_{DIFF}

$I_{deriva} = q \cdot n \cdot \mu \cdot E$

μ dipende da materiali, costante
 q costante, n costante, V_{eff} costante

ho solo corrente di diff. I dovrà essere prop. con E e diff. all'interfaccia



- C'è sempre corrente di diff che si somma a quella di deriva

allora solo in x_p è vero che

$$J_D = J_{diff} + J_{der} = 0 \text{ in } x_p$$

SOLO

LIMITI della Caratteristica del DIODO IDEALE

$J_{TOTALE DIODO}$

Da dove solo fuori V_g LIMITI CAR. diodo IDEALE $\frac{E_g}{2kT} = E_c - E_v = 1,12 eV$

• $m_i = \frac{10}{2}$
elettroni liberi
in una giunzione
sono $\frac{1}{2}$ dell'energia
di atomi vicini

Si indifferisce
a temp.
all'età

che deriva da

$$m_i \propto e$$

E_g = band Gap, energia di attivazione

$$I_D = I_0 e^{\frac{V_D}{V_T}} (-1) \Rightarrow V_D > 4 V_T \quad e^{\frac{V_D}{V_T}} \gg 1$$

$$I_D \approx I_{S0} \left[e^{-\frac{E_g}{kT}} + \frac{V_D}{V_T} \right]$$

in I_0 c'è m_i^2

ricordarsi che in I_0 c'era m_i^2

$$\Rightarrow I_D \approx I_{S0} e^{\left[\frac{-E_g}{kT} + \frac{V_D}{V_T} \right]} = I_{S0} e^{\frac{1}{kT} [V_D q - E_g]}$$

$$V > \frac{V_D q - E_g}{q}$$

vale
applico

• Tensione diodo deve essere
tale che se $V_D q - E_g$ è
maggiore rispetto al valore

dipendentemente da
questo valore
ho conduttività oppure
NO.

1,12 eV

$$\Rightarrow V_D > \frac{E_g}{q}$$

$$1,16 \cdot 10^{-19} C$$

$$\Rightarrow V_D \geq 0,66 V$$

→ se $V_D q - E_g$ è
piccolo rispetto a kT
exp non conta, I_D non
conta, è un isolante

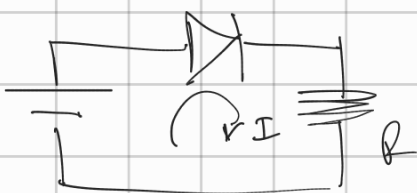
Se $V_D q - E_g$ grande...
conduttività signif.
modo CONDUCE

⇒ affinché I_D sia apprezzabile, devo applicare al diodo una
tensione maggiore di questo rapporto. *che dipende dal materiale*

La tensione di soglia dipende dal materiale,
es. arseniuro di gallio, band Gap $< 1,12 eV$, e $0,2 eV$

Perché usarlo?

tensione soglia più bassa



$$V_{f1} = 0,6$$

$$V_{f2} = 0,2$$

Ho R fisso, dimensiono
una certa I , FISSA

⇒ • soglia più bassa, lo porto in condutt. prima, ho bisogno di
una tensione di pilotaggio più piccola.

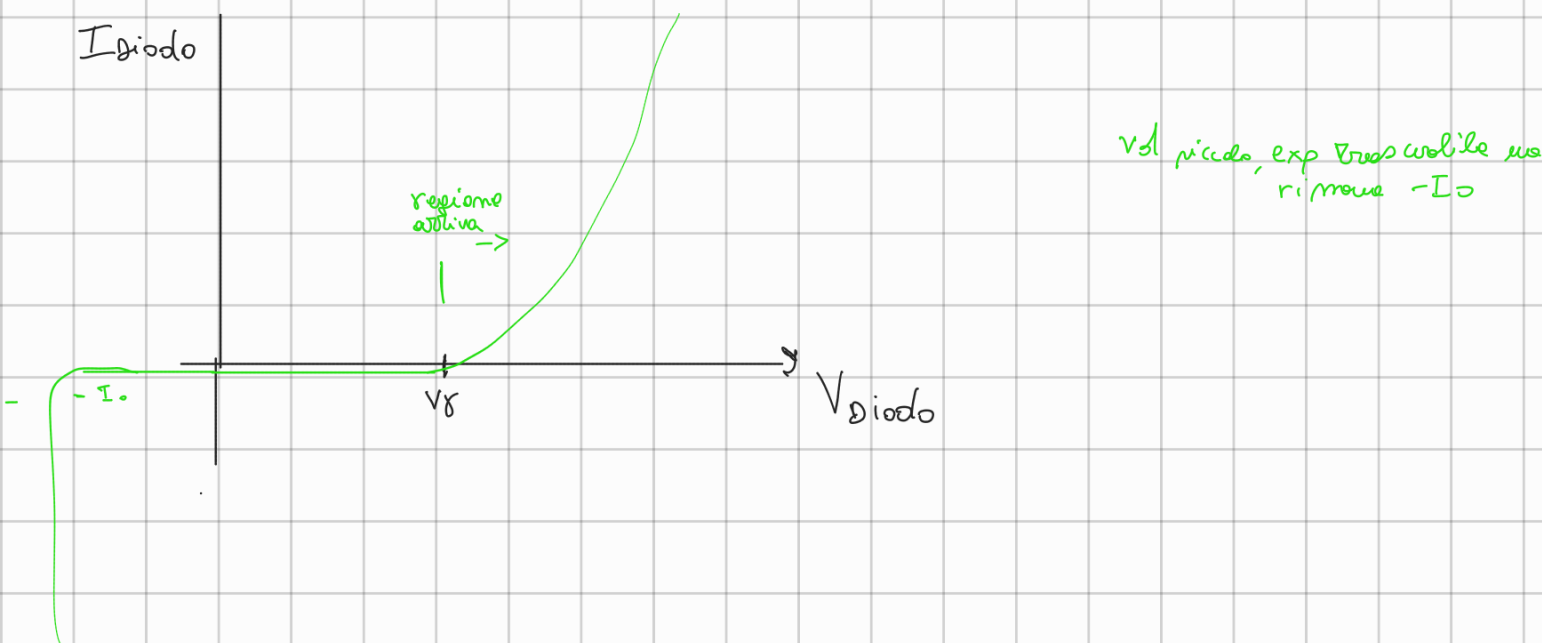
• Se tensione di soglia più bassa, Ho rumore termico

Quanto bianca Tensione che si applica con tutti i dispositivi.

La disordinata. Per lo 0 e l'1 è molto piccola se soglia piccola



Caratteristica del Diodo

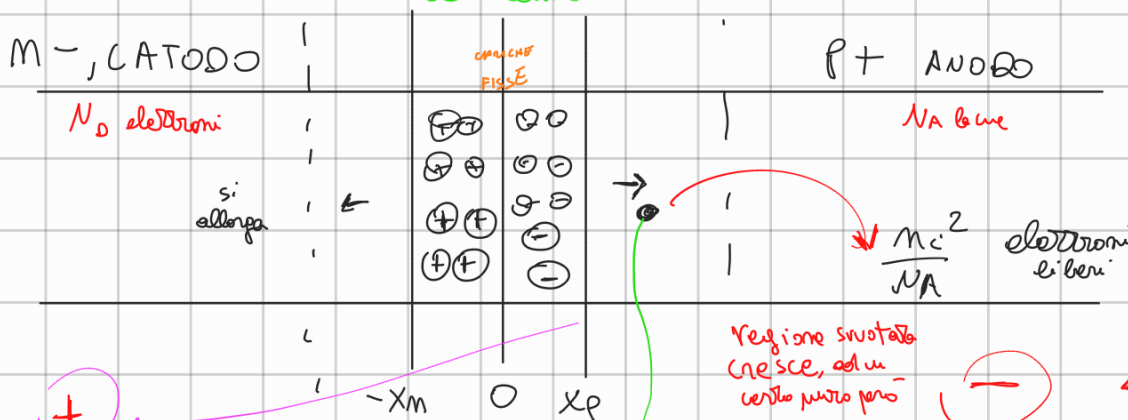


- all'applicazione di un potenziale inverso, $-V_d$, contro polarizziamo il diodo

Arrivati a $-V_d$ grande, inverso

2 effetti: 1 EFFETTO ZENER
2 EFFETTO VALANGA

reg. a riposo con Sema alla Tensione di built-in



Drogando in una Pn, influen-
za popolazione che non si
dissipa

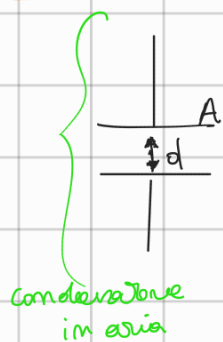
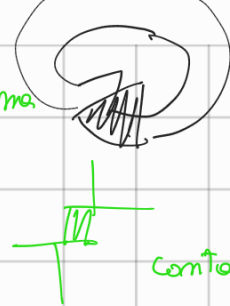
Regione svuotata
cresce, ad un
certo punto però

STO contro polarizzamento
Tensione soglia

W, la regione svuotata si amplia aumentando φ ... ad un certo punto...

Se applico una
grande tensione,
e vinco la rigidità
DIELETTRICA del MEZZO

crebbero φ , un elettrone che
o' qui, vede si una barriera ma
vede anche un potenziale MOLTO
ATTRATTIVO



$$C = \epsilon A$$

A è l'area Affacciata

distanza
armature

costante dielettrica
Capacità del
mezzo di opporsi
al passaggio di carica

Armature, cada sotto l'area Affacciata

Conta l'area
AFFACCIATA

Se ho una ddp grande rispetto alla rigidità dielettrica, l'elettrone si vuole
autori, vede un grande
potenziale oltre la grande
barriera

Al cui certo punto, la corrente cresce, questo si rompe.
corrente passa, elettrone passa, incontra atomi fissi con cariche negative fisse,
avviene una ionizzazione a sufficienza da rompere
campo legge che tiene coeso le fissi armature

lo tiene ancorato al reticolo. In questo meccanismo avviene un effetto
VALANGA, tanti elettroni si muovono, ho sfondato il
DISPOSITIVO
un elettrone urtando gli altri fissi, danno all'altro velocità da rompere altri
elettroni accelerati dal potenziale

Diodo Zener, approfitta di questa capacità



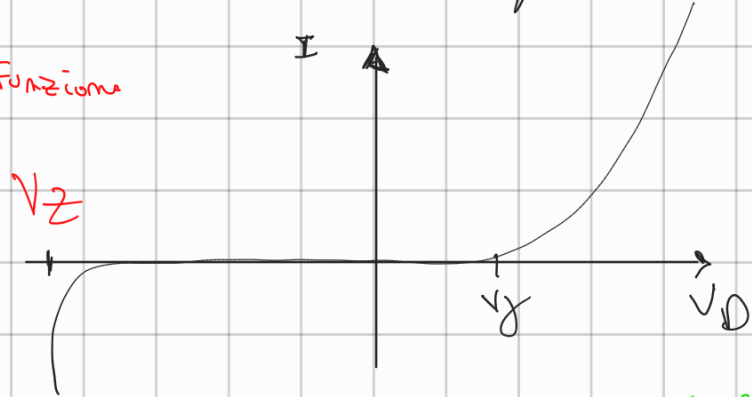
=> diodi e lampi DIODO NORMALE quando polarizzato bene.

=> Se invertito il potenziale, lui ha una certa TENSIONE di ZENER.

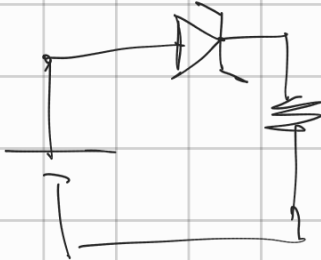
=> Si comporta come un diodo rotto, fa passare corrente ma la tensione
a cui avviene dipende da come l'ho drogato

V_Z la impongo io, dunque è un REGOLATORE DI TENSIONE

Come Funzione



$$V = V_Z + R_L I$$



Esempio

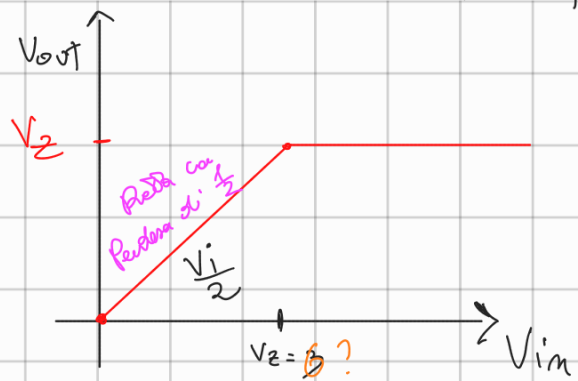
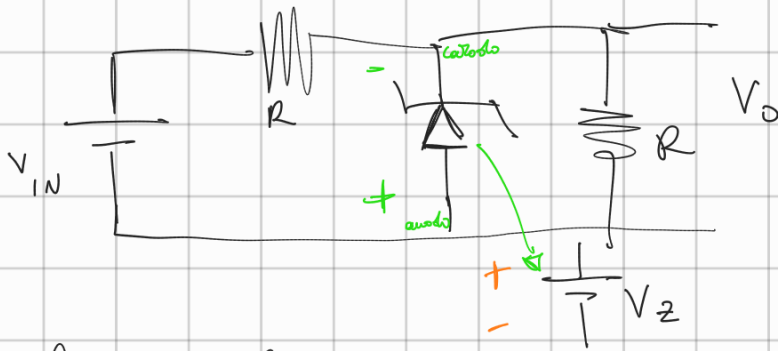
Sono interessato a V_{OUT} in funzione di V_{IN}

$$V_Z = 3V \quad r_d = 0, \quad V_f = 0,6V$$

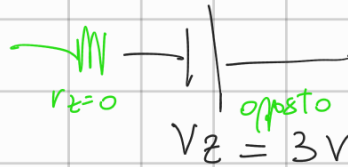
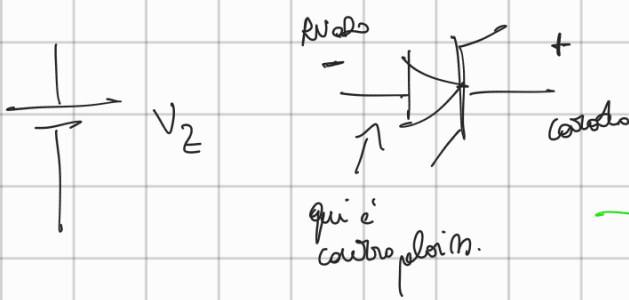
no limiti potenza

$$V_{in} = [0, +5]$$

Es.



affinché lui si comporti da diodo normale, dovrei polarizzare bene,
 $\Rightarrow$ ma è impossibile in questo circuito, si comporta
 sempre come diodo ZENER, mai come un diodo normale.



corrente che scorre
 nel diodo (Zener o non)
 dipende dal carico

- Finché non raggiunge la V_Z , la corrente che scorre nel diodo è 0
 tra zero e 3V lui è un c.a.

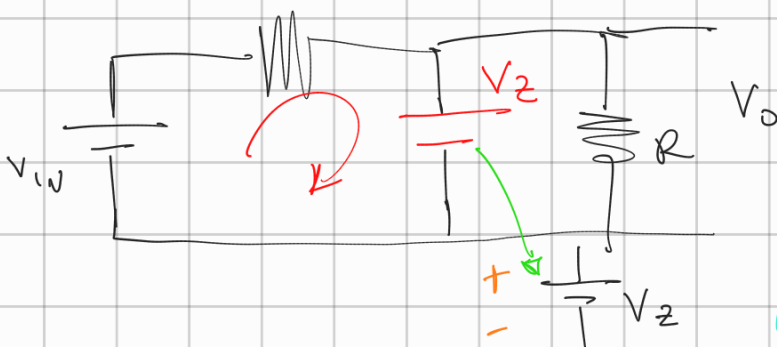
a 3V, lui diventa un generatore di tensione costante V_Z
 che fa passare quanta corrente può dare il carico

- La TENSIONE a MONTE è sicuramente più grande.
 LUI DUNQUE ASSORBE qualsiasi corrente, anche
 se la tensione è più grande

senso della
 corrente dipende
 da chi è più
 grande tra i
 due

entro i limiti di
 potenza

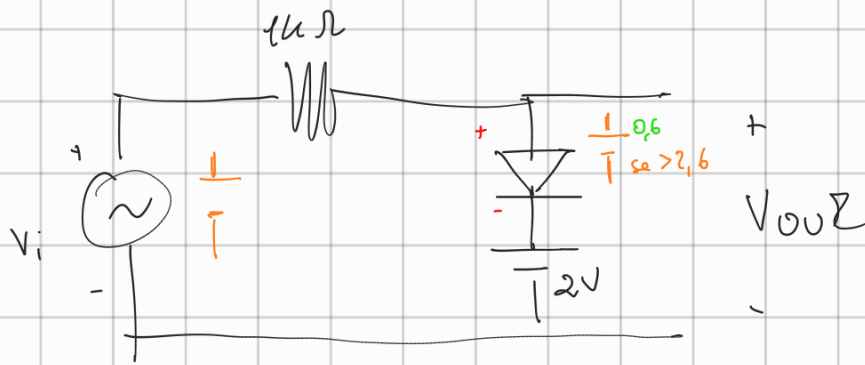
$\Rightarrow$ Tensione FISSATA, in uscita vedo sempre 3V



Modello prevede un + sul catodo e un
 - all'anodo quando è a V_{Zener}

After pausa, esercizi
valutare transististica

Da Lunedì 6, aula 126
Laboratorio



$$V_{IN} = 5 \sin(2\pi f_0 t)$$

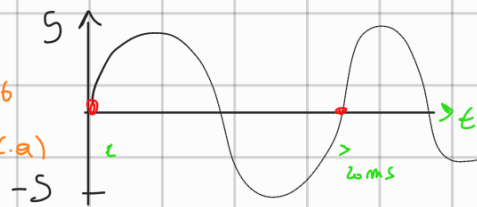
$$f_0 = 50 \text{ Hz}$$

$$r_d = 0 \Omega \quad V_f = 0,6 \text{ V}$$

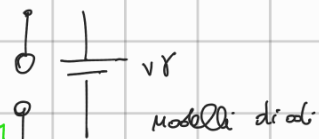
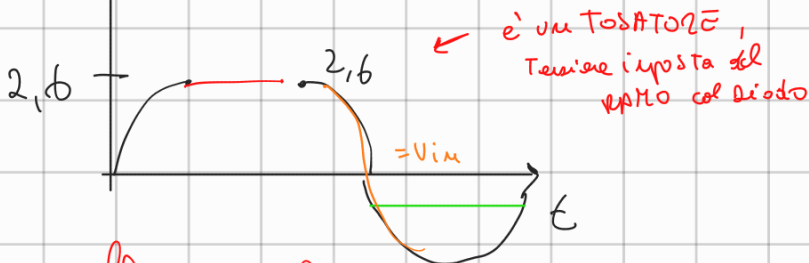
Diode è c.a. se tensione ai capi è $\leq 0,6$.

Tensione all'anodo affinché non sia un c.a. deve essere almeno 2,6, ha al catodo un gen. tensione V_{im} a 2V.

$$T = 20 \text{ ms}$$



$V_{OUT} = V_{im}$ finché non raggiunge +2,6
(non può superare della resist. se Diode è un c.a.)



Modello
 $R_{da} = 0$
e 2,6 V

affinché Diode siano in polarizz. diretta

Quando è un circuito aperto quando la tensione ai suoi capi è minore di 0,6V

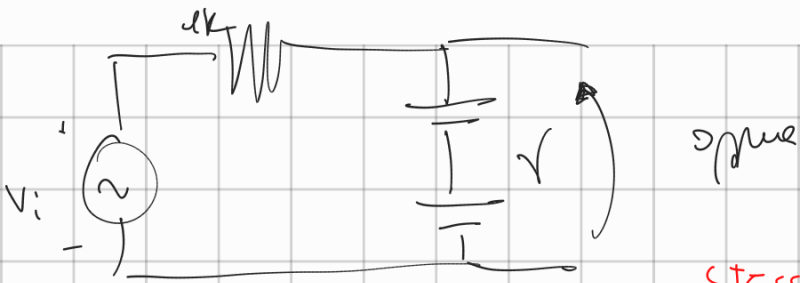
Al catodo ha attaccato un generatore da 2V

la tensione all'anodo deve essere più grande di 0,6 rispetto al catodo

tra 0 e 2,6V, ha il c.a. come per le tensioni negative

Tossare, togli la tensione che il diodo impedisce

$$V_i > 2,6$$

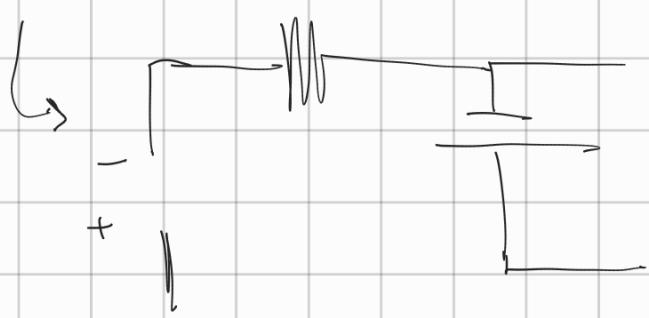


Stesso circuito con $V_{Zener} = 2,6V$



se $V_o < 3V$
 $3V \frac{1}{1} \frac{1}{1}$ se invertito
 quando V_i negativa
 se $V_o > 0,6$

Quando tensione è negativa, in uscita ho 0,6



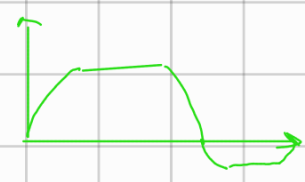
quando non si comporta da zener...
 tensione $V_o > 0,6$, V_{out} è 0,6V

- Se tensione negativa, fino a 0,6 non entra,
- a 0,6

• Zener, 3 comportamenti:

Zener 1) se tra (0 - 0,6V) $\sim >$

2) • Se applico $> 0,6V$ $\sim \frac{1}{1}$
 tensione anodo
 catodo $> 0,6V$



è un C.A.

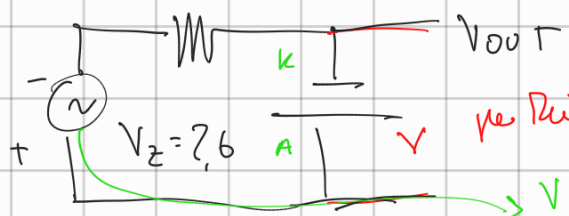
Relazio. Zener, + anodo, - catodo 3)
 Relazio. Zener, + catodo, - Anodo

Se applico $|V| > |V_z|$ $\sim \frac{1}{1}$ V_z
 cioè minore della
 tensione
 di Zener

$$V_i = \pm 26$$

• Quando la tensione è positiva, $V = 0,6$, lo + all'infinito, sto crescendo verso tensione di zener. Arrivo alla V_z , sostituisco $\frac{1}{1}$, $V_{out} = V_{Zener}$
 risuonando, ritorno sotto la V_z , C.A.

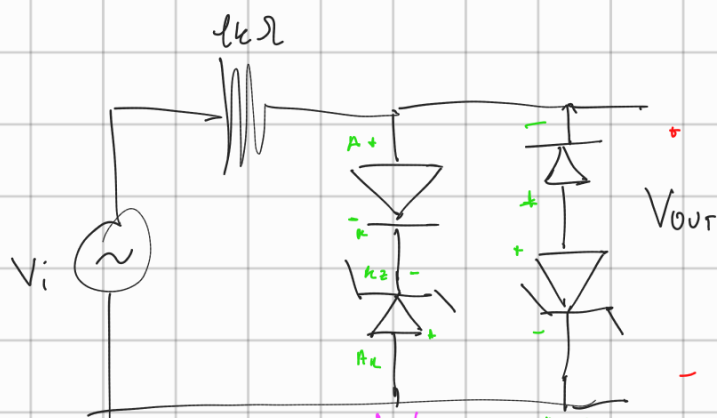
• quando la tensione è negativa, però portare l'osc in catodo se V ai capi sia $> 0,6$, sostituisco $\frac{1}{1}$



per tutto il tempo in cui sono sopra 0,6

V negativa, tensione sul diodo $> 0,6$ $\leftarrow$ rimane così per tutto il tempo in cui sono sopra 0,6

=> uscita vincolata dal diodo, 0,6. Poi quando V_{in} scende, si scende sotto lo 0,6 V di diodo, lui è un circuito aperto



$$V_Z = 3V$$

$$R = 1k\Omega$$

$$V_{in} = 5 \sin(2\pi f_0 t)$$

$$f_0 = 1kHz$$

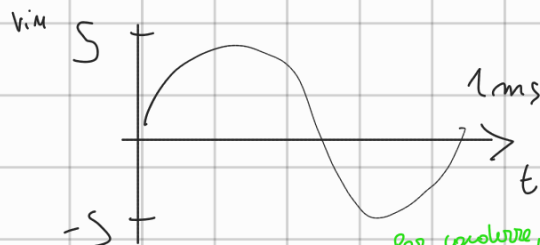
$$\tau = \frac{1}{1000} = 1ms$$

non ci sono sulla rete di uscita negativa

sulla sezione positiva questo ramo non lo avremo.

-> CIRCUITO SIMMETRICO

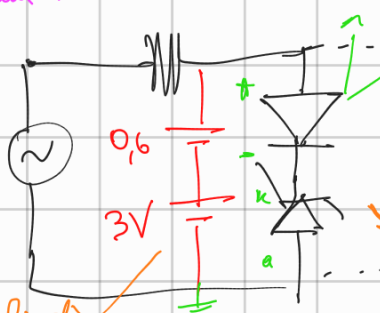
positiva, forza vera per sezione negativa



Sezione negativa, no ramo
 > X, sezione pos.
 no ramo < X

SOFFERIAMO sulla sezione POSITIVA.

Per condurre, primo diodo deve avere tensione maggiore di 0,6 ai capi } -> vero se a tutti e due gli estremi è applicato un generatore
 In entrambi i casi un periodo da 3V di super soglia V_Z .

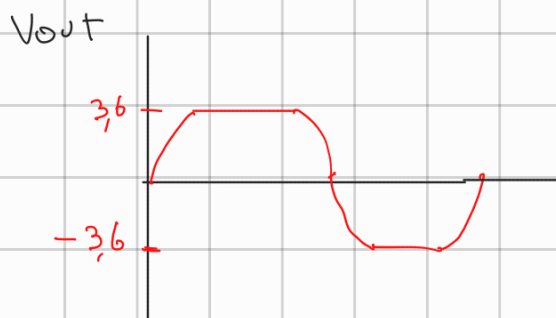
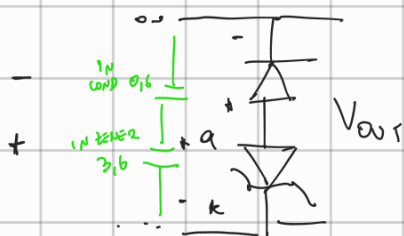


generatore che vale 3V se supero $V_Z = 3V$, se V_{in} capi è < 3

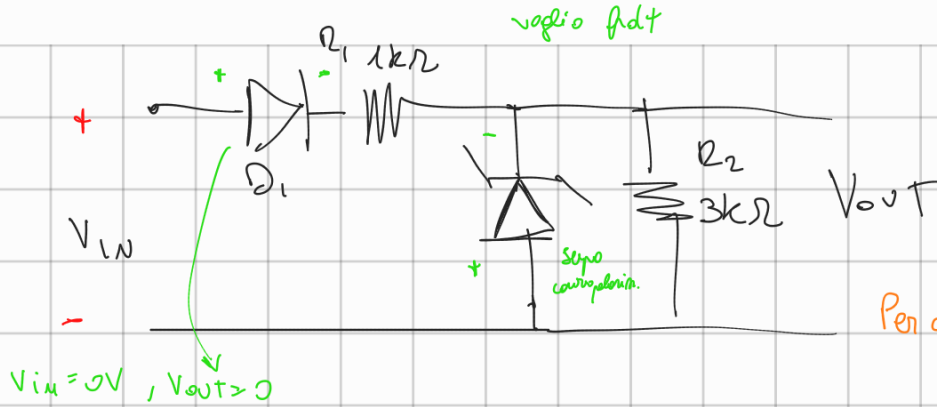
• se scendo sotto 3,6, C.a., $V_{in} = V_{out}$

è un capacitor ai suoi capi non ci sono -3volt

Sezione negativa, vuole girare i generi



TOSATORE



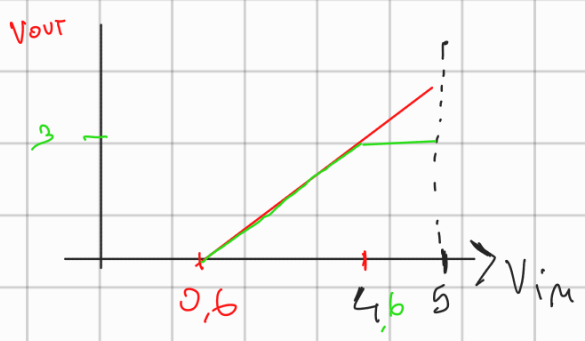
$V_{IN} [0, +5V]$ **OUT!**
 $V_Z = 3V$
 quando rimane a 0?

Per avere uscita, primo diodo in conduzione
 solo poi in il diodo

Per avere V_{OUT} dove far scendere corrente, R_2

Tensione di soglia non conduce, 0,6
 $< 0,6$, no corrente, $V_{IN} = 0^-$

dopo 0,6, Diodo conduce e si
 apre a V_{in}



$$V_{OUT} = \frac{V_{IN} - 0,6 \cdot 3k\Omega}{4k\Omega}$$

$$= V_{IN} - 0,6 = \frac{3}{4}$$



sever entra in
 conduzione quando $V_{R2} \approx 3$

$$(V_{IN} - 0,6) \cdot \frac{3}{4} = 3 \dots$$

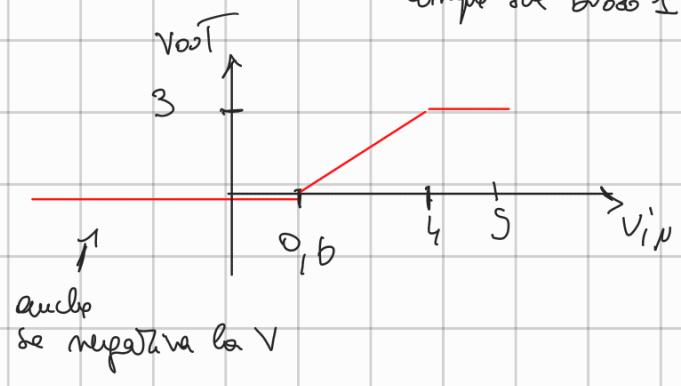
Se non
 trascuro 0,6 $V_{IN} > \frac{4 \cdot 3 + 1,8}{3} = 4,6 \dots$

ma quando $(V_{IN} - 0,6) \cdot 3 = 12$, cioè quando
 se trascuro...

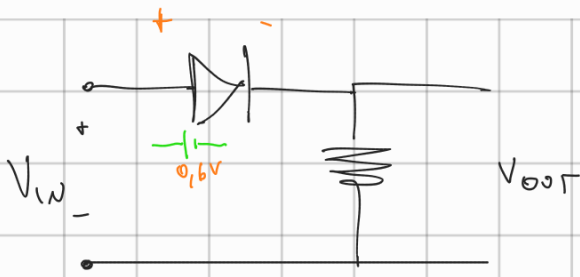
$$\Rightarrow V_{IN} = 4V \text{ volt, ho un generazione di sever}$$

$$V_{IN} \geq 4, V_{OUT} = 3$$

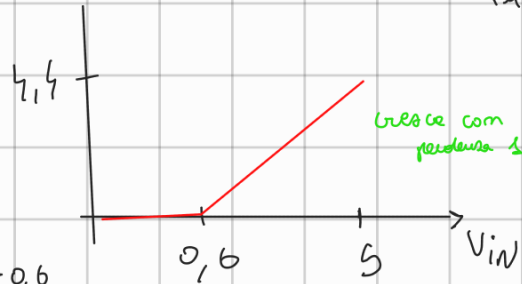
Se $V_{IN} \in [-5, 5]$. Se tensione negativa, Diodo 1 si
 intorcia, D_2 e' un diodo normale, ma ho un C.E.
 lungo sul Diodo 1



$$\Rightarrow V_{IN} \in [0, 5]$$



Terzo caso
 $V_{in} - 0,6$ resta
 con pedana 1



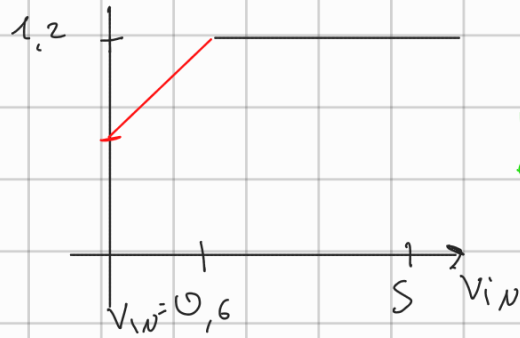
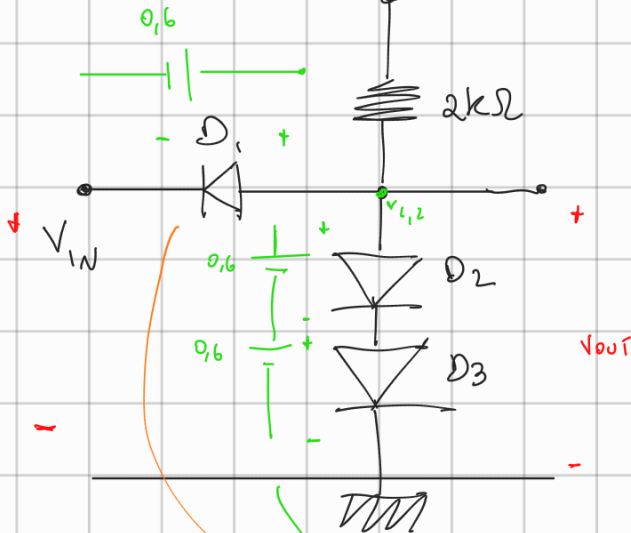
Se $V_{in} < 0,6$, no conduzione

uscita, dopo $V > 0,6$

$$V_{OUT} = V_{IN} - 0,6$$

$V_{in} \in [0, 5] V$

$V_{CC} = 6V$



in uscita
 ho $V_{in} + 0,6$ finché
 $V_{in} = 0,6$, D_1 si interdice
 e sono D_2 e D_3 che
 reggono a 1,2 l'uscita
 e V_{in} non contribuisce
 più sull'uscita

ho bisogno di 1,2V per portare in conduzione questo gruppo
 quale entra in conduzione prima?

$V_{in} < 0,6$, si interdice, si stacca, contributo V_{in} nullo
 ramo dx segue in conduzione

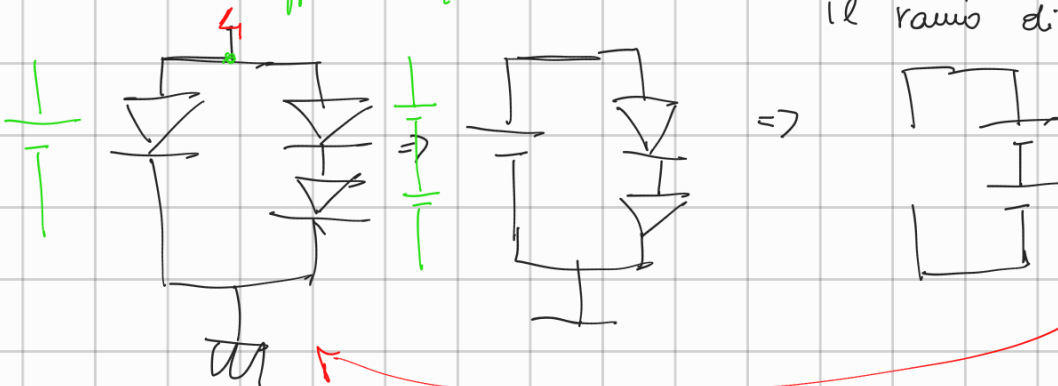
per avere

la prima in condiz. D_1

es. se applico 4V

ENTRA PRIMA IN CONDUZIONE IL RAMO DI SINISTRA
 e l'uscita sarà $V_{in} + 0,6$.

Quando $V_{in} + 0,6 \geq 1,2$, entra in condus.
 il ramo di DESTRA che mi vincolerà
 l'uscita



Se $V_{in} \geq 0,6$, ora
 il modo non è più
 a 4V, ma a 0,6

Quando V_{in} ,

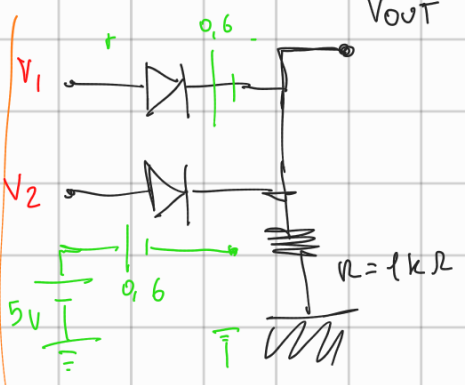
in Elettrotecnica, anche, genererei V in parallelo; dal punto di
 punto vista fisico no, perché volgaro 0,6 quando arrivo a 0,6
 e volgaro 1,2 quando sono a 1,2

V_{in} sufficiente da interdire a SX ma permettere agli altri due di condurre, non è interdico

altro es.

il più, V_{in} non conta più, seguirà
 si 4V la tensione in polarizzazione.

V_{OUT} $V_1 \in [0/5]$ o 0 o 5 volt
 $V_2 \in [0/5]$



Tab. verità -
 $V_1 = 0.5V$
 intendendo
 V_{out} e a norma

V_1	V_2	V_{out}
0	0	0
0	5	4,4
5	0	4,4
5	5	4,4

Porta OR
 con 1 diodo

entrate
 due in conduzione

Del Libro: quando $V_1 = 0$, corrente scorre solo su ramo di ingresso, perché i diodi in serie ne contribuiscono $V = 1,2V$ e il diodo in ingresso porta V_{OUT} a $0,6V$. Quando $V_{in} = 0,6$, tensione in uscita vale $1,2$ perché entrano in conduzione i diodi in serie. Quando $V_{in} > 1,2V$, diodo row in ingresso è OFF, uscita segue a $1,2$