NUMERO: 1196 DATA: 24/10/2014

A P P U N T I

STUDENTE: Mitrotta

MATERIA: Elettronica + Eserc.

Prof. Reyneri

Rapporto elettronica-elettrotecnica: sono in gioco le stesse componenti, e quindi si usano gli stessi metodi di analisi. Nell'elettrotecnica ciò che conta è la potenza da usare, nell'elettronica è il segnale da trasmettere.

L'informazione è intesa come qualunque parametro fisico che varia nel tempo. Una grandezza costante non trasmette informazione.

Elettrotecnica → tensione e corrente per trasportare potenza quindi energia

Elettronica → tensione e corrente per trasportare, modificare ed elaborare un'informazione.

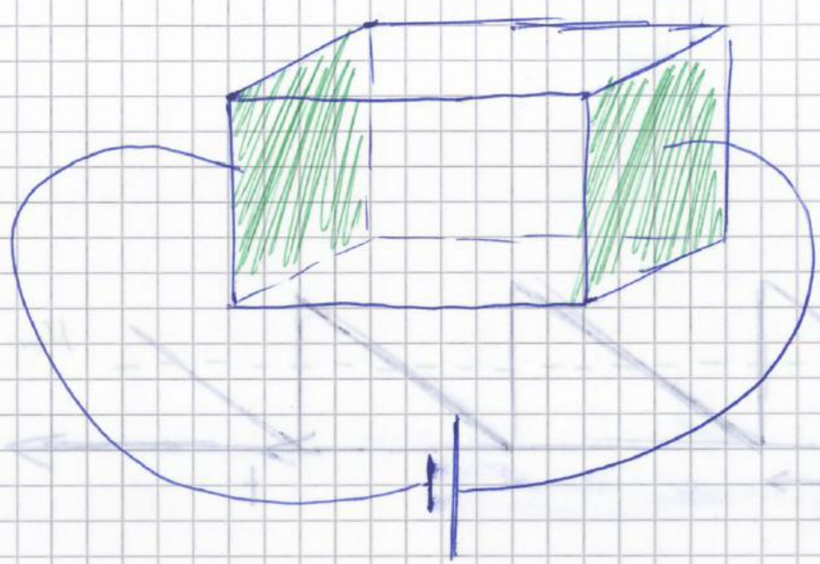
La grossa differenza fra le due è la presenza nell'elettronica di alcune componenti in più: delle componenti non lineari. La base fisica sono i semiconduttori.

Semiconduttore

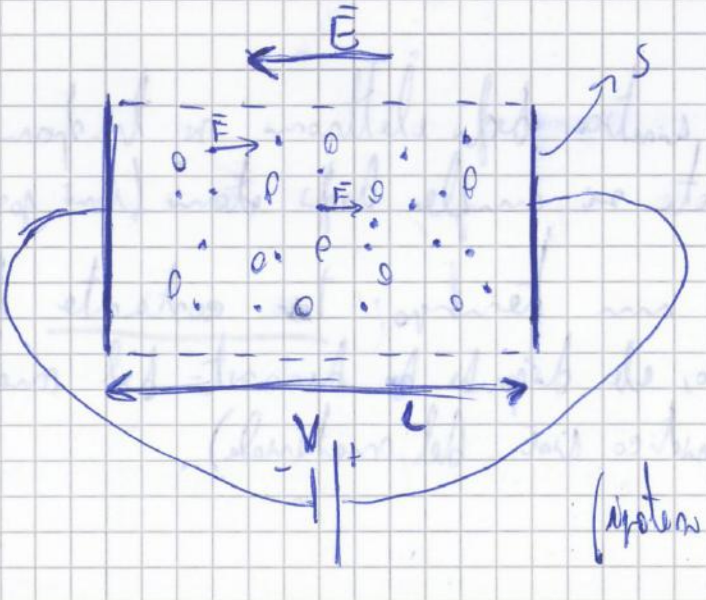
La distribuzione dell'energia elettrica è sempre in corrente alternata, l'utilizzo di questa in elettronica è invece in corrente continua. Dunque il primo problema è la trasformazione della corrente da alternata a continua.

Per poter parlare di semiconduttori abbiamo introdurre la fisica dello stato solido.

Prendiamo un parallelepipedo di conduttore e applichiamo ai suoi terminali una differenza di potenziale:



Dato che ho un conduttore solido, al suo interno avrò atomi fissi ed elettroni liberi. Complessivamente la carica totale è neutra (nell'ipotesi che lo fosse il conduttore all'inizio).



Gli elettroni sono soggetti ad una forza $\bar{F}$ tale che

$$|F| = q|\bar{E}|$$

(ipotesi mat. uniforme, sez. cost., ecc.

Posso quindi approssimare il moto complessivo ad un moto a velocità costante con $v = v_m$

$$v_m = \underbrace{\frac{1}{2} a \cdot t_r}_{v_{max}/2} = \frac{1}{2} \frac{q}{m} \cdot t_r |E|$$

Assumiamo adesso che tutti gli elettroni si muovano alla medesima velocità. Devo capire quanta carica sto trattando.

⇓

voglio conoscere la corrente nel conduttore

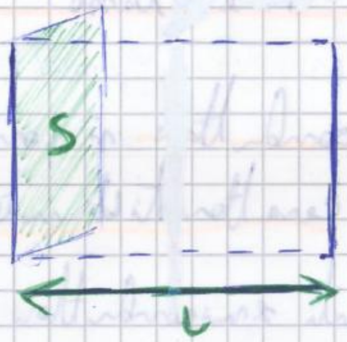
$$Q = n \cdot \underbrace{L \cdot S}_{Vol} \cdot q$$

→ carica dell'elettrone

↳ numero di elettroni liberi per unità di volume

Il tempo massimo che gli elettroni possono impiegare per attraversare tutto il conduttore si presenta nelle condizioni che questi partano dalla superficie S, ovvero:

$$T = L / v_m$$

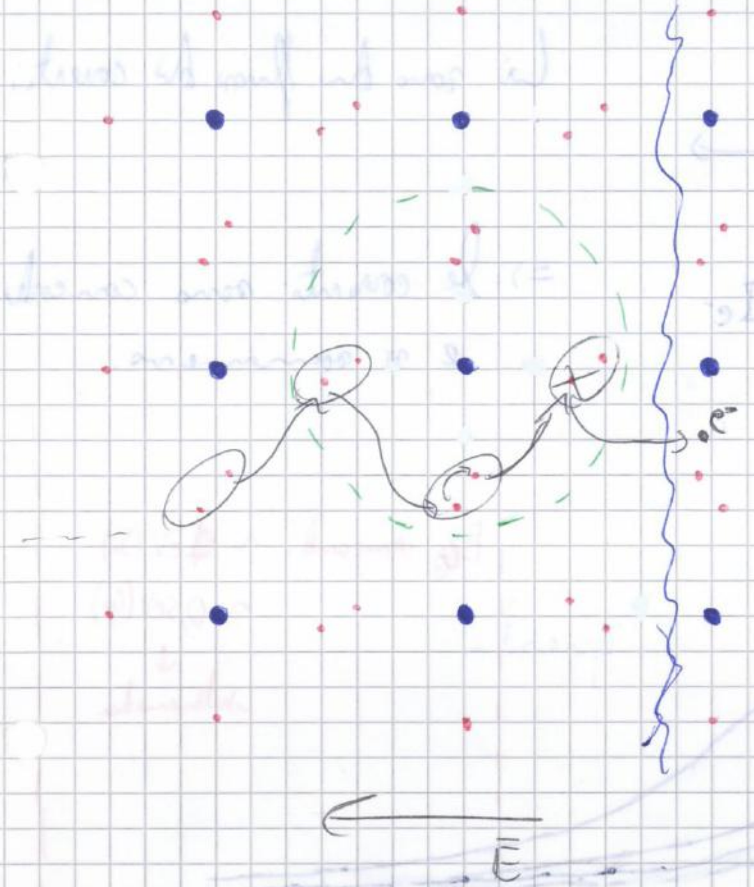


Dunque la corrente I sarà:

$$I = \frac{Q}{T} = \frac{n \cancel{L} S q v_m}{\cancel{L}} = nq \frac{1}{2} \frac{q}{m} t_r S |E|$$

Il potenziale:

$$V = |E| L$$



Attorno a ogni protone ci sono in tutto 8 elettroni combinati così la configurazione più stabile (in questo caso legame covalente, molto forte)
Ipotizziamo che un elettrone abbia sufficiente energia per sfuggire dal legame (ad esempio per una rottura del materiale): esso diventa libero (nella parte di materiale rimossa) e così facendo lascia uno spazio vuoto.

Adesso immaginiamo di applicare un campo elettrico nella direzione in figura. Tutti gli elettroni risentono di una forza, che è poco efficace, vista la resistenza del legame. In ogni caso ci sono dei microspostamenti di carica dati da far muovere lo spazio vuoto nella direzione del campo elettrico. L'effetto è quello di una carica positiva che si muove in direzione opposta a quella degli elettroni con velocità circa uguale (in realtà il tempo di vita di questa carica è leggermente minore). Questa carica positiva è detta lacuna (

Così è alta la temperatura, più l'esponenziale aumenta.

Per conoscere la probabilità che un elettrone si stacchi dal legame devo fare l'integrale:

$$p(E > E_G) = K \int_{E_G}^{\infty} e^{-\frac{E}{kT}} \, dE = -K kT e^{-\frac{E}{kT}} \Big|_{E_G}^{\infty} =$$

$$= 0 + KkT e^{-\frac{E_G}{kT}}$$

Il numero di elettroni liberi per unità di volume con $E > E_G$ è:

$$n = N \cdot p(E > E_G) = N \cdot K \cdot kT \cdot e^{-\frac{E_G}{kT}}$$

$\Rightarrow$ elettroni lib. nell'unità di volume · probabilità che possano staccarsi

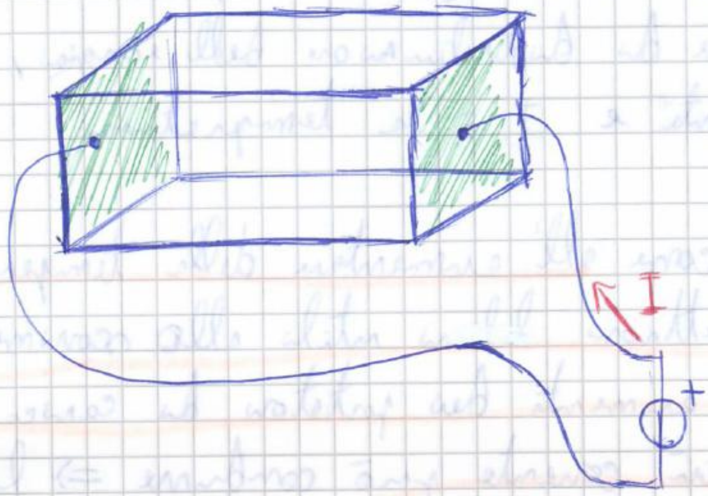
Dunque se prendo un materiale semiconduttore e applico una differenza di potenziale, la corrente aumenta moltissimo con la temperatura:

$$R(T) \longrightarrow \frac{dR}{dT} < 0 \Rightarrow \text{NTC: negative temperature coefficient}$$

Il primo componente semiconduttore è il sensore di temperatura (dispositivo che misura T in funzione di R).

Vediamo ora un'altra applicazione dei semiconduttori.

APPENDICE NTC / PTC



Prendo un semiconduttore intrinseco con i due estremi metallizzati e vi collego due fili. A questo punto applico una differenza di potenziale in modo da far scorrere una corrente I.

$$I = \frac{V}{R}$$

Dove R dipende da vari fattori:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

con $\rho = \frac{2m}{nq^2 t_r}$

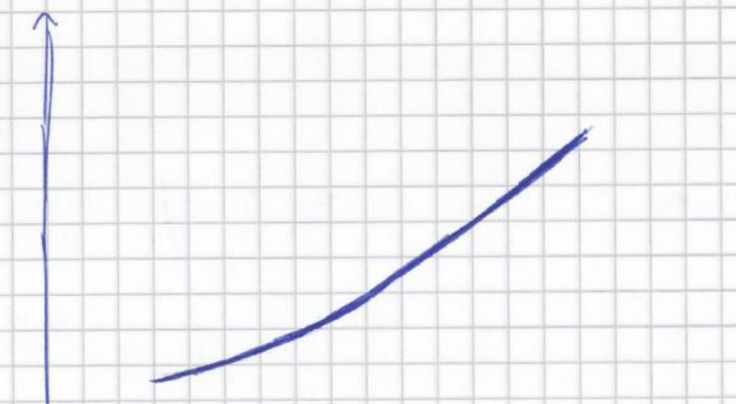
Dunque la resistenza è inversamente proporzionale al numero di elettroni liberi nel materiale. Ma solo gli elettroni liberi con energia sufficiente a staccarsi dal legame covalente sono utili allo scorrimento della corrente. Questi abbiamo visto essere:

$$n = NkbT \cdot e^{-\frac{E_G}{kT}}$$

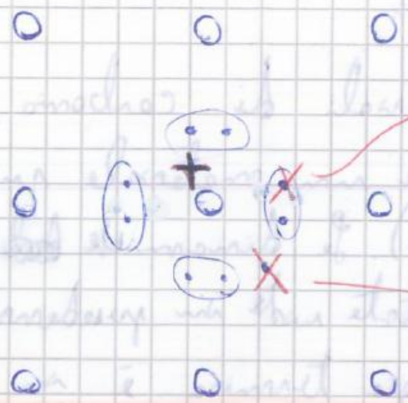
dispositivo si chiama Negative Temperature Coefficient. Conoscendo la relazione $R = f(T)$, possiamo utilizzare la resistenza come sensore per misurare la temperatura.

In realtà, essendo la relazione tra R e T non lineare per grandi intervalli di temperatura, questo dispositivo non si usa per misurare la temperatura. Questo utilizzo viene applicato solo per piccole variazioni di temperatura e selezionando il giusto tipo di semiconduttore; infatti in queste condizioni la relazione fra R e T può essere approssimata con buona precisione come lineare. L'NTC viene piuttosto usato per segnalare se si è al di sopra o al di sotto di un valore soglia.

Esiste poi il PTC (positive temperature coefficient), che ha caratteristica speculare a quella dell'NTC. Esso è realizzato a partire da titanato di bario e altri composti. Sfrutta il particolare alto dielettrico al di sotto del punto di Curie, che cala bruscamente al di sopra di esso, permettendo così l'aumento della resistenza in funzione della temperatura:



(arsenico, fosforo, antimonio). In questo modo il reticolo che ne risulta è:



→ cioè che si svincola per energia termica e lascia dietro di sé una lacuna

→ pronto a slegarsi dall'atomo dato che ha un'energia necessaria per il distacco molto bassa ⇒ per questo si dice atomo donatore, poiché cede molto facilmente un elettrone che lascia dietro di sé uno ione positivo (non una lacuna)

Ne risulta che rispetto alla configurazione ottimale abbiamo un elettrone in più. L'energia necessaria per distaccarsi dall'atomo è molto bassa, e quindi diventa facilmente un elettrone libero. Per questo motivo si chiama donatore l'atomo che ha questo comportamento. Inoltre c'è da specificare che l'elettrone libero non lascia dietro di sé una lacuna (l'ottetto elettronico è ben definito), bensì uno ione positivo. In seguito a ciò negli atomi donatori possono lo stesso verificarsi ulteriori emissioni di elettroni per energia termica, come accadeva nei ~~semiconduttori~~ intrinseci. L'effetto di questi successivi svincolamenti è ovviamente la generazione di lacune accoppiate ai nuovi elettroni liberi. Ma a questo punto si avrà

La tendenza dell'atomo a completare l'ottetto fa sì allo stesso tempo che la lacuna si sposti molto facilmente lasciando dietro di sé una carica negativa, e dunque uno ione fisso negativo, e che sia molto improbabile il distaccamento di un elettrone per energia termica. Per questo motivo l'atomo viene detto accettore. Il risultato complessivo è una scarsissima concentrazione di elettroni liberi (i quali nel caso in cui si liberano a formare sono fortemente soggetti a combinazioni con le lacune) ed una maggiore concentrazione di lacune. Dunque in questo tipo di semiconduttore abbiamo:

$$p_p \simeq N_A$$ → numero atomi accettori

$$p_p n_p = \text{cost.} = n_i p_i$$

In conclusione possiamo riassumere come segue:

- intrinseco → $p_i = n_i$
- tipo n → $n_n = N_D$

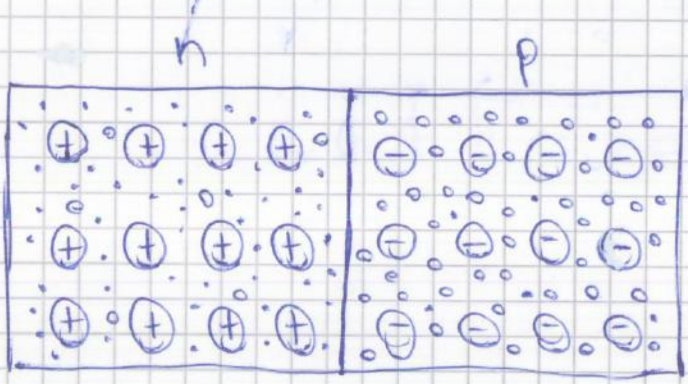
$$p_n = \frac{n_i p_i}{N_D} = \frac{n_i^2}{N_D}$$

- tipo p → $p_p = N_A$

$$n_p = \frac{n_i^2}{N_A}$$

GIUNZIONE p-n

Immaginiamo di prendere una barretta di semiconduttore di tipo n e una di semiconduttore di tipo p. Adesso pensiamo di realizzare un esperimento ideale attraverso cui attacchiamo le due barrette di semiconduttore e facciamo ricostituire perfettamente il reticolo cristallino. Siamo interessati a capire quali sono gli effetti di un accoppiamento n-p (giunzione).

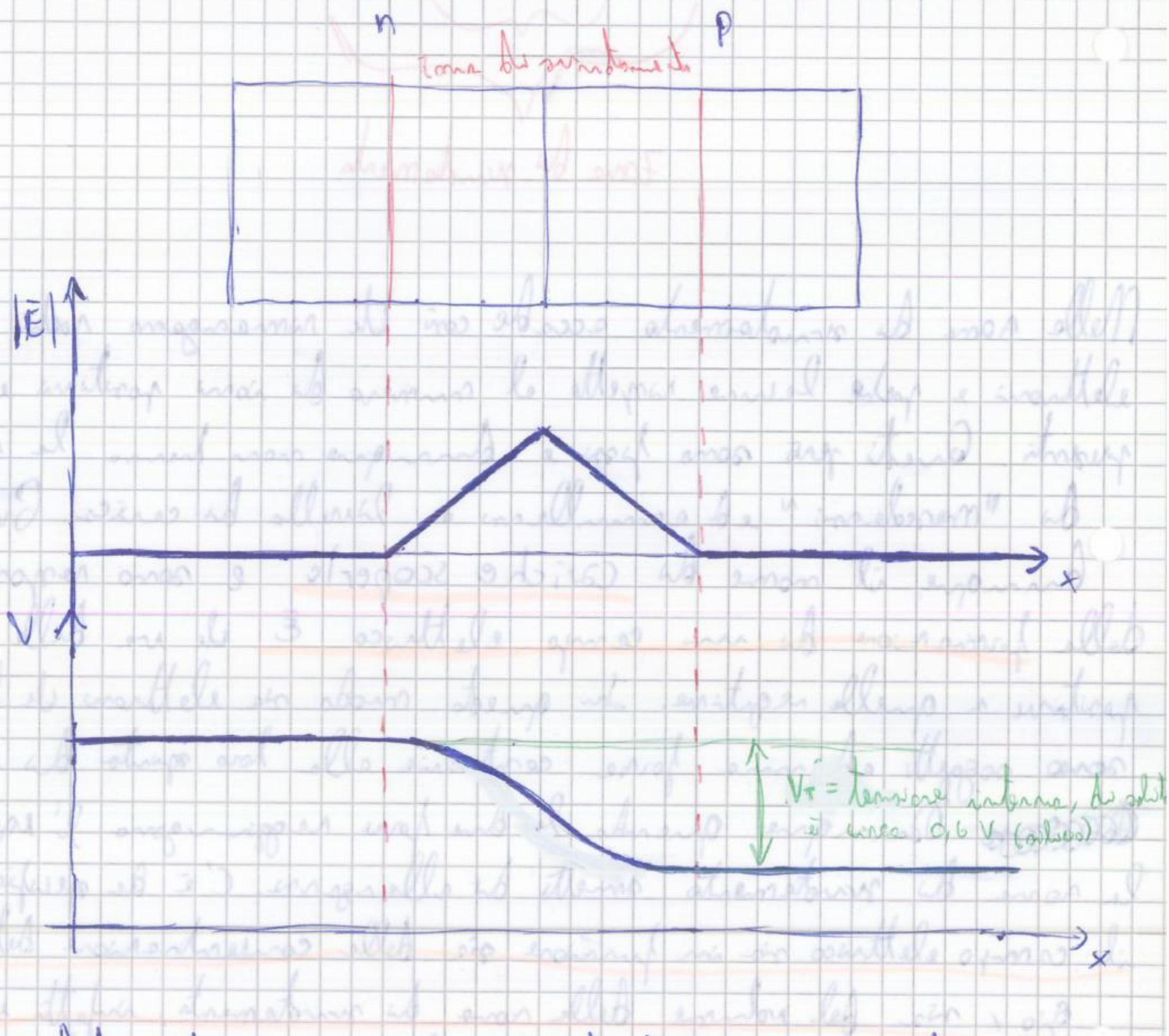


Un istante prima della giunzione avrò un eccesso di elettroni e ioni positivi dalla parte n, ed un eccesso di lacune e ioni negativi dalla parte p (in figura gli ioni sono disposti secondo matrice regolare, in realtà nel mezzo vi sono degli atomi neutri che non sono influenti nel nostro ragionamento). Complessivamente entrambi i semiconduttori sono neutri.

Dopo la giunzione osservo un flusso di elettroni da n verso p ed un flusso di lacune da p verso n, dovuto al gradiente di pressione fra le due zone. Posso infatti associare questo spostamento di elettroni e lacune all'espansione di un gas. Dunque nella regione centrale ho a questo punto un'alta concentrazione sia di elettroni che di lacune. Ma dato che devo sempre avere $pn = n_i p_i = cost.$, l'effetto che ne risulterà sarà quello di una ricombinazione tra elettroni e lacune. La zona in cui avvengono questi processi è detta

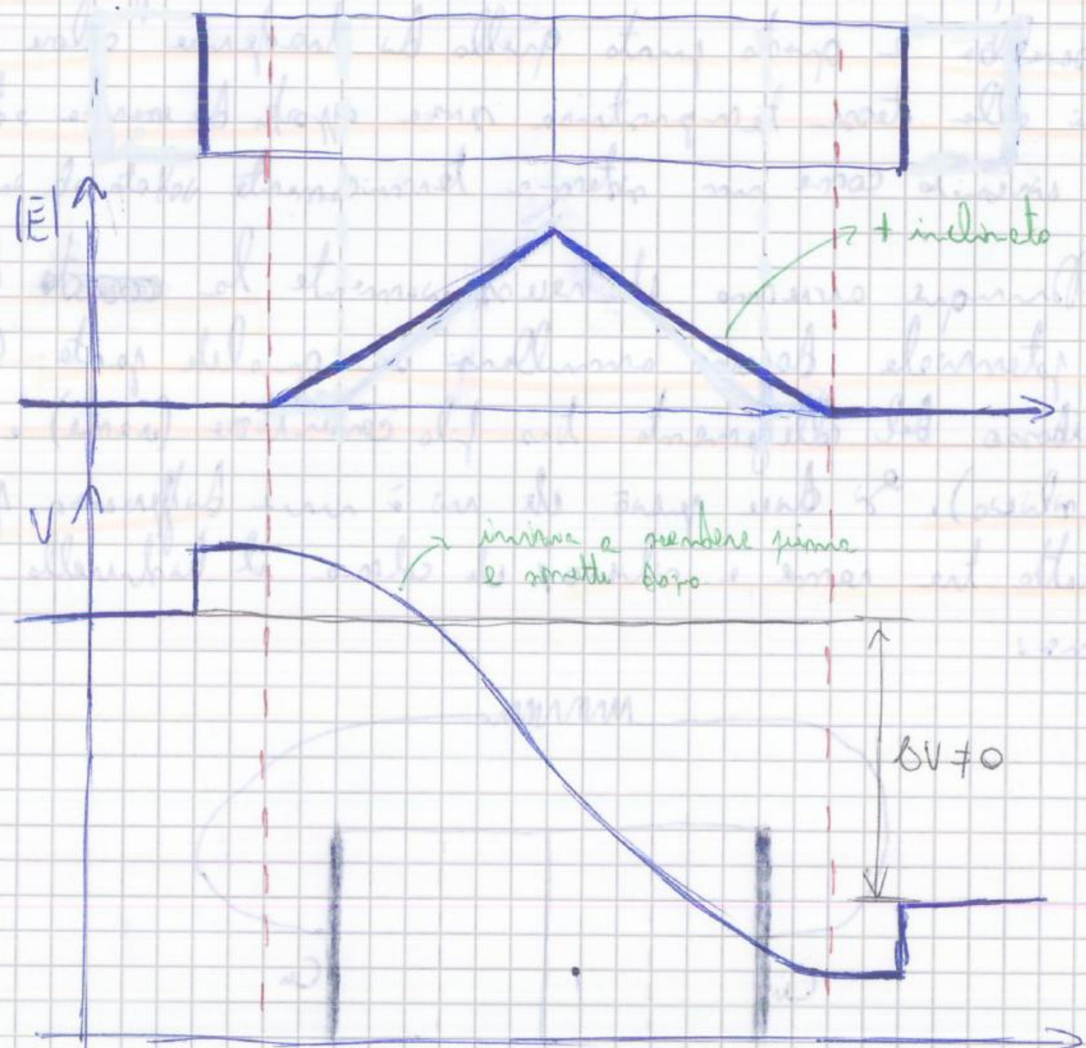
Legge di Van der Waals.

Alla fine del processo si ha una condizione di equilibrio stabile per cui i portatori maggioritari da ricombinare ancora ... si vedono davanti una barriera di potenziale troppo alta per essere superata con il solo contributo termico (indicativamente la barriera di potenziale è di circa 1V). Ciò è ben visibile dai grafici di campo elettrico e potenziale rispetto alla posizione lungo la giunzione.



Salta subito agli occhi un'apparente differenza di potenziale. Ma può effettivamente scorrere corrente?

Adesso immaginiamo di scaldare la giunzione (solo il tratto di contatto tra p e n) con una candela. La spinta di espansione del gas di elettroni e lacune sarà maggiore, e quindi avrò che il campo elettrico di equilibrio si otterrà per una maggiore ampiezza della zona di svuotamento. I grafici di campo elettrico e potenziale ovviamente cambieranno:

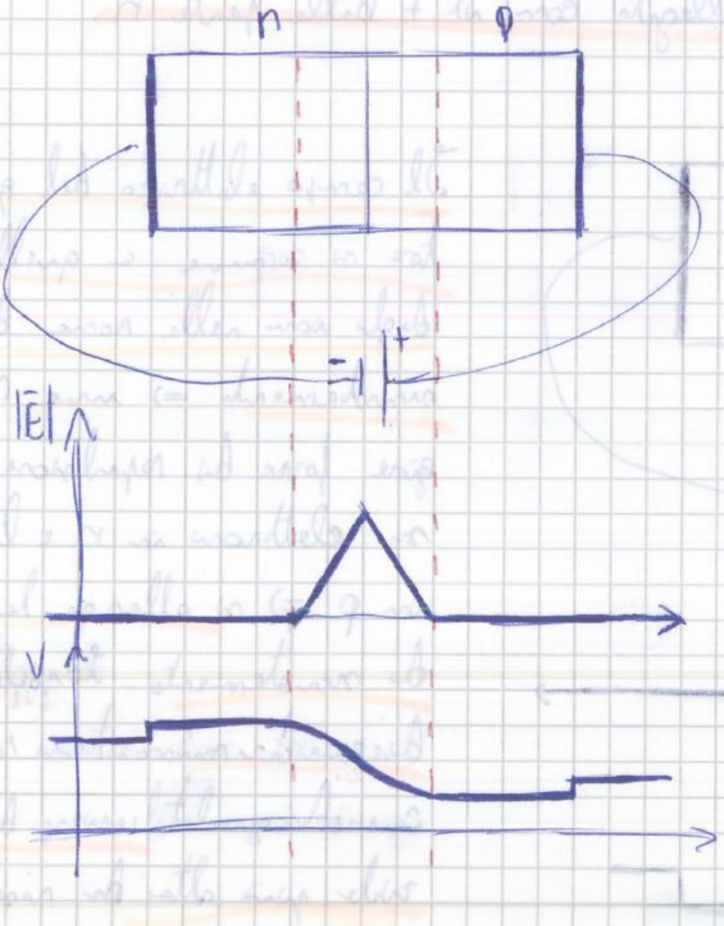


C'è effettivamente una differenza di potenziale ai capi della giunzione p-n, dunque può circolare corrente. Infatti, a livello termodinamico, riscaldare la giunzione significa fornire calore dunque questo posso essere trasformato in energia elettrica.

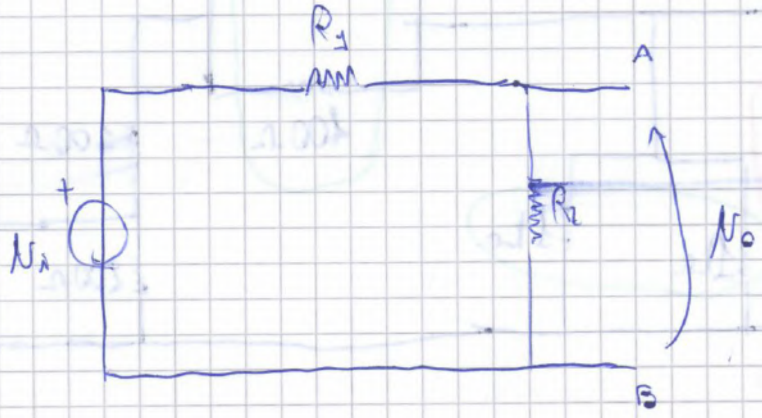
Allo stesso modo, se anziché riscaldare la giunzione avessimo collegato e dunque in pratica essi non generano movimenti di corrente. Al contrario i portatori minoritari di carica sono agevolati alla generazione di un loro flusso attraverso la giunzione che dà vita ad una piccola (la loro concentrazione è scarsa) corrente che prende il nome di corrente inversa di saturazione ed è dell'ordine dei mA. Si noti come questa corrente sia costante ed indipendente dalla tensione esterna che viene applicata (la concentrazione di portatori minoritari di carica non ne è influenzata, poiché essi hanno origine termica).

Polarizzazione diretta

Il generatore di tensione è collegato con il + dalla parte p.



Il campo elettrico del generatore di tensione è discorde rispetto a quello delle cariche sospese ⇒ si riduce la zona di svuotamento ⇒ si abbassa la barriera di potenziale per i portatori maggioritari di carica ⇒ più elettroni e più lacune hanno energia sufficiente per scorrere attraverso la giunzione ⇒ c'è passaggio di una corrente molto forte da p a n detta corrente diretta.



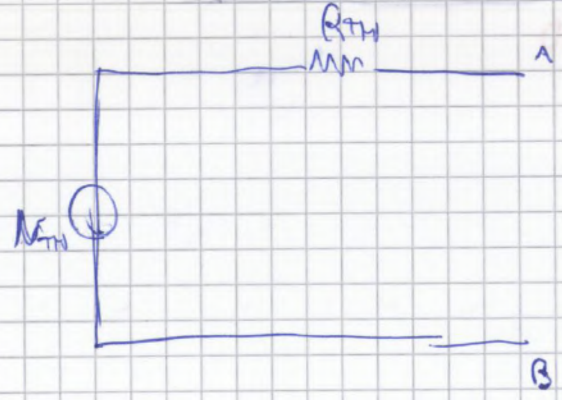
1) V_0?

2) Eq. Thevenin A-B?

$$V_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_i$$

$$V_{TH} = V_0$$

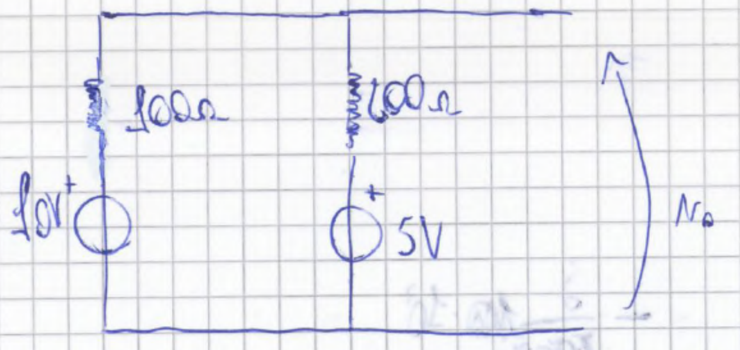
$$R_{TH} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$



$$R_{eq_2} = \frac{600 \cdot 500}{600+500} = 273\ \Omega$$

$$v_o = 2,27\left(\frac{200}{656}\right) = 0,69\ V$$

3)



1) v_o?

2) Eq. Thev?

$$v_o = \frac{\frac{10}{100} + \frac{5}{200}}{\frac{1}{100} + \frac{1}{200}} \cong 8,3\ V$$

$$-\frac{j}{200\pi}10^3+100 \,/\!/\, j2\pi = \frac{\left(-\frac{j}{200\pi}10^3 + 100\right) j2\pi}{-\frac{j}{200\pi}10^3+100+j2\pi} =$$

$$= \frac{10+j200\pi}{\frac{j}{\pi}\left(2\pi^2-5\right)+100}$$

$$-j10 \quad \frac{1\cdot 10^3 \cdot \left(\frac{10+j200\pi}{10+j200}\right)}{}$$

$$(C+R_2) /\!/ L = \frac{(C+R_2)\cdot L}{C+R_2+L}$$

$$\hat{V}_i \cdot \frac{\frac{(C+R_2)L}{C+R_2+L}}{\frac{(C+R_2)\cdot L}{C+R_2+L}+R_1} = \hat{V}_{eq}$$

$$\hat{V}_o = \hat{V}_{eq} \cdot \frac{R_2}{R_2+C} = V_i \cdot \frac{\frac{(C+R_2)\cdot L}{C+R_2+L}}{\frac{(C+R_2)\cdot L}{C+R_2+L}+R_1} \frac{R_2}{R_2+C} =$$

$$= V_i \frac{\cancel{(C+R_2)}L}{\cancel{C+R_2+L}} \frac{\cancel{C+R_2+L}}{(C+R_2)\cdot L+(C+R_2+L)R_1} \frac{R_2}{\cancel{R_2+C}} =$$

$$v_C(t) = (v_0 - v_{C\infty})\, e^{-\frac{t}{\tau}} + v_{C\infty}$$

$v_0 = 3V$

$v_{C\infty} = 10V \cdot \dfrac{100}{100+1000} = 0,91$

$\tau = RC = \dfrac{10^3 \cdot 100}{10^3 + 100} \cdot 10^{-6} = 9,09 \cdot 10^{-5}$

$\Rightarrow v_C(t) = 2,09\, e^{-t/9,09 \cdot 10^{-5}} + 0,91$

2) $1,5 = 2,09\, e^{-t/9,09\cdot 10^{-5}} + 0,91$

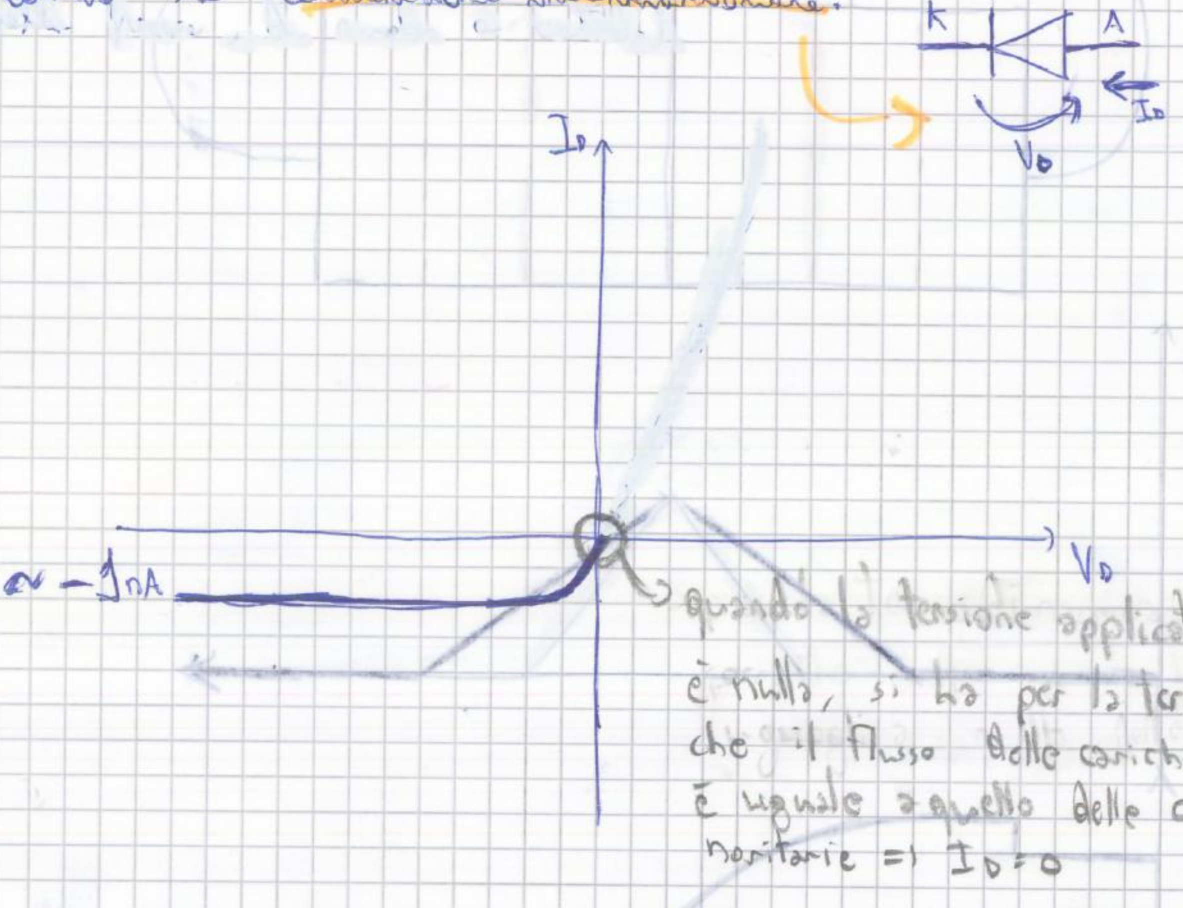
$\Rightarrow 0,59 = 2,09\, e^{-t/9,09\cdot 10^{-5}} \Rightarrow \dfrac{0,59}{2,09} = e^{-t/9,09\cdot 10^{-5}} =$

$= e^{t}\left(e^{-\frac{1}{9,09\cdot 10^{-5}}}\right) \Rightarrow \dfrac{0,59}{2,09}\, e^{1/9,09\cdot 10^{-5}} = e^{t}$

$\Rightarrow t = \ln \dfrac{0,59}{2,09}\, e^{1/9,09\cdot 10^{-5}}$

$\Rightarrow \; v_o(t) = v_o'(t) + v_o''(t)$

zione, che determina quindi una corrente di lacune ed una di elettroni, entrambe nello stesso verso. Dunque in questa situazione diciamo che il diodo è polarizzato inversamente e che in esso scorre una corrente di saturazione inversa. Proviamo allora a fare il grafico tensione V_D - corrente I_D secondo la convenzione internazionale:

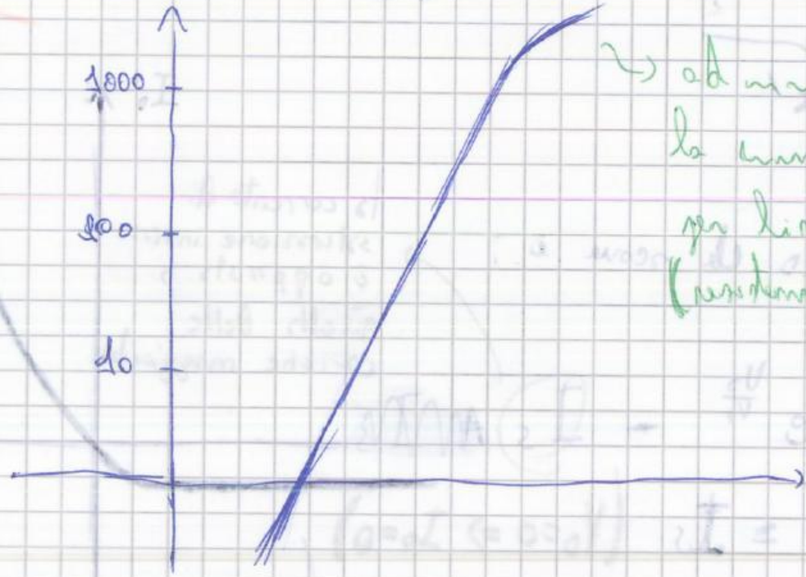


Se invertissimo la tensione applicata, ovvero ponendola positiva dalla parte dell'anodo otterremmo un abbassamento della barriera di potenziale. Ciò comporterebbe che sempre più cariche maggioritarie abbiano energia sufficiente per superare la barriera, andando così a generare delle correnti positive [illegible] rispetto alle correnti delle cariche minoritarie.

Seguendo la distribuzione di Stefan-Boltzmann si ha:

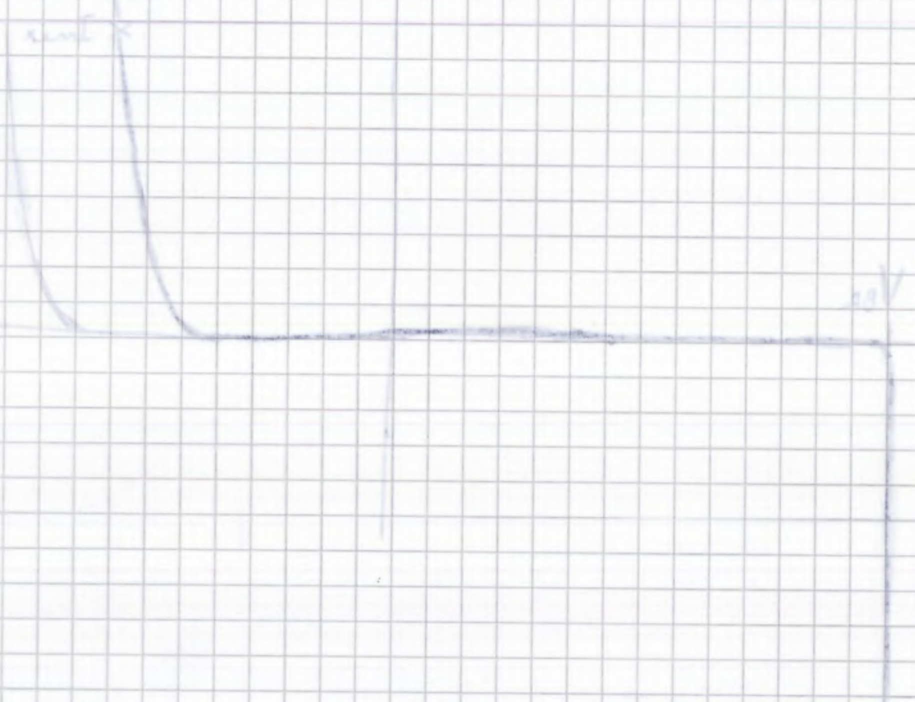
Questo è in linea di massima l'andamento analitico. Per capire dove vada a finire il grafico al crescere di V_D, ridisegniamolo in scala di 10^6 A:

In questa scala la corrente è pressoché nulla fino ad una tensione di 0,4 o 0,5 V e dopodiché cresce molto rapidamente. In scala logaritmica si ha:



→ ad un certo punto la curva si abbassa per limiti dello strumento (resistenza interna)

Per limiti dello strumento abbiamo che andando a tensioni sempre più basse (negative ma grandi in modulo), ed in re esterno, oppure avvicinando lo zero (all'infinito).



© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 43 di 248

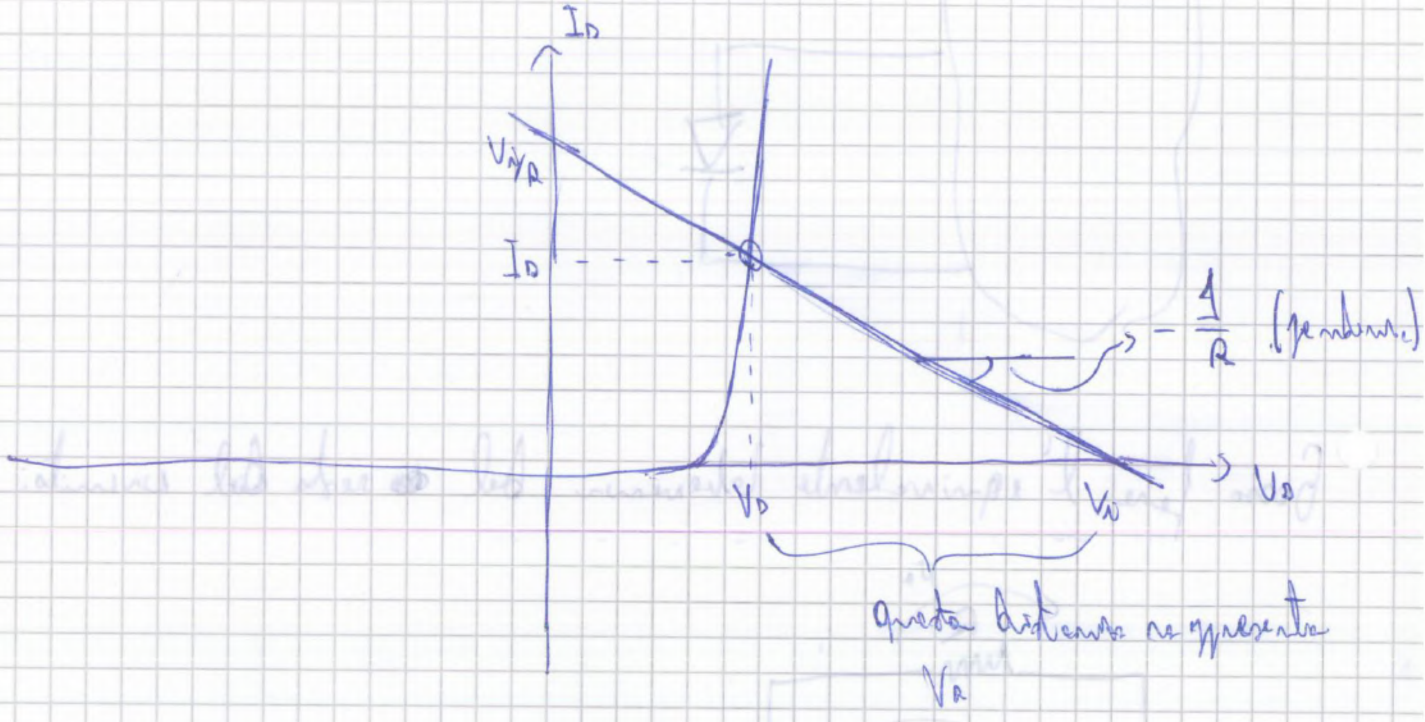
Uso l'equazione caratteristica del diodo:

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{\eta V_T}} - 1\right)$$

Abbiamo dunque il sistema:

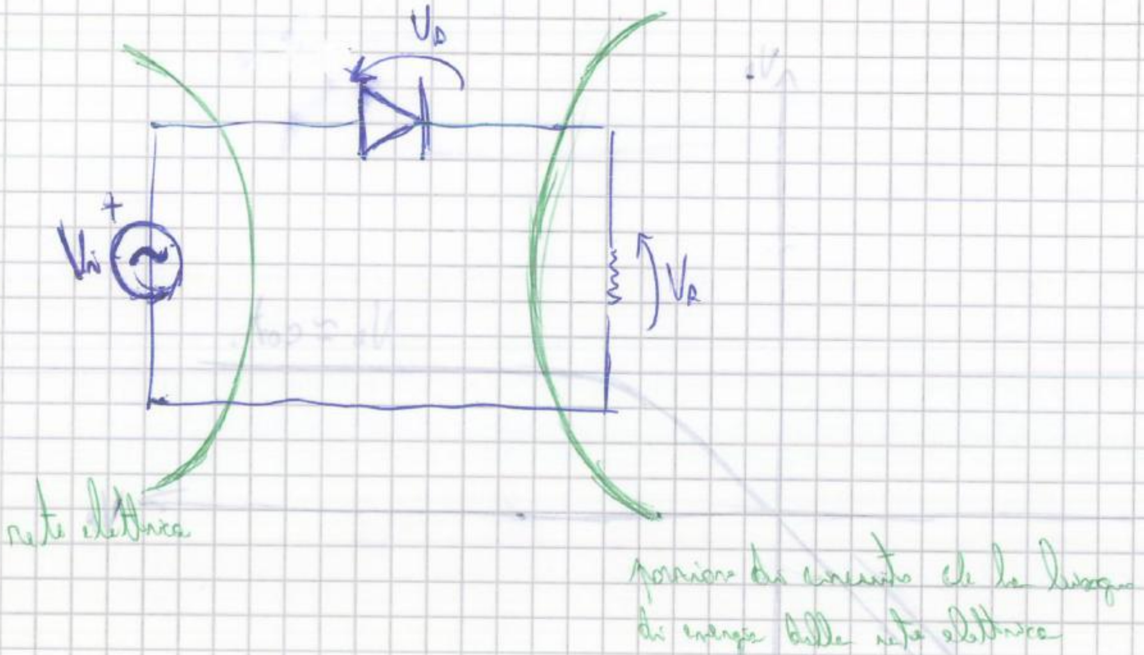
$$\begin{cases} V_D = V_i - R I_D \\ I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{\eta V_T}} - 1\right) \end{cases}$$

Utilizziamo il metodo grafico:

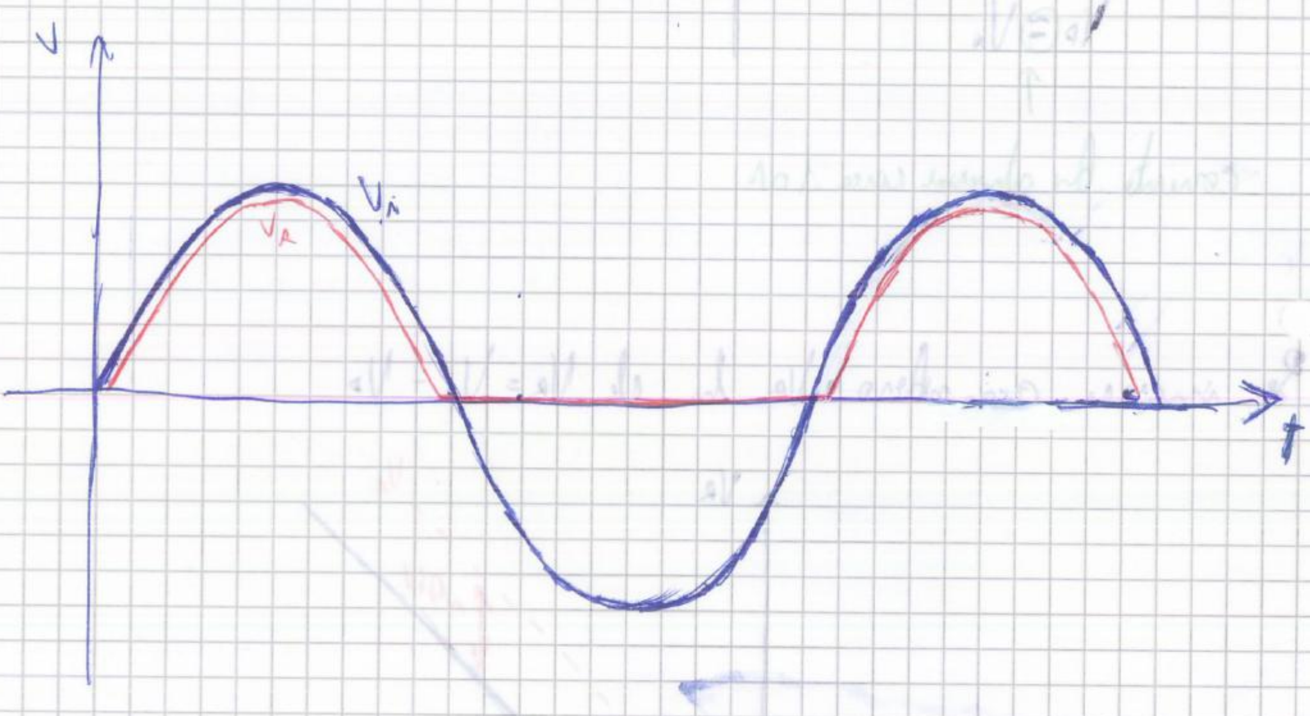


Se cambia V_i abbiamo delle rette parallele. Ci accorgiamo che V_D muta molto poco rispetto a I_D. Per $V_i = 0 \Rightarrow V_D = 0$, mentre per V_i negativa $V_D = V_i \Rightarrow V_R = 0$

Ipotizziamo di avere ora questo circuito:



Comparando nel grafico V_i e V_R si ha:



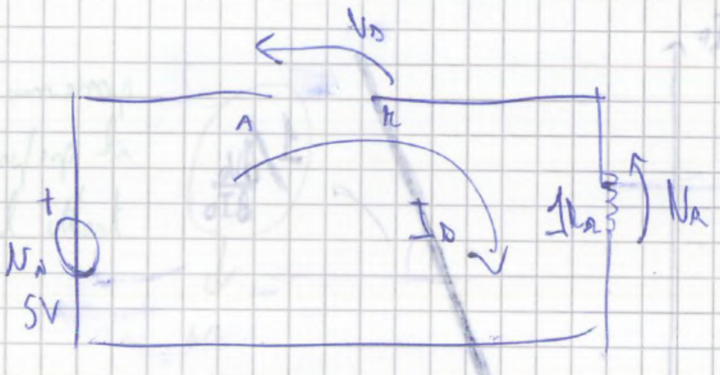
Questo è il primo passo per andare da corrente alternata a corrente continua, infatti abbiamo eliminato le onde negative. Se avessimo voluto eliminare le onde positive avremmo invertito il diodo.

sono a migliaia di volt).

$V_D < V_\gamma' \rightarrow$ interdizione

$V_D > V_\gamma' \rightarrow$ conduzione

Dunque torniamo al circuito e supponiamo che sia interdetto (poniamo dei valori a caso):

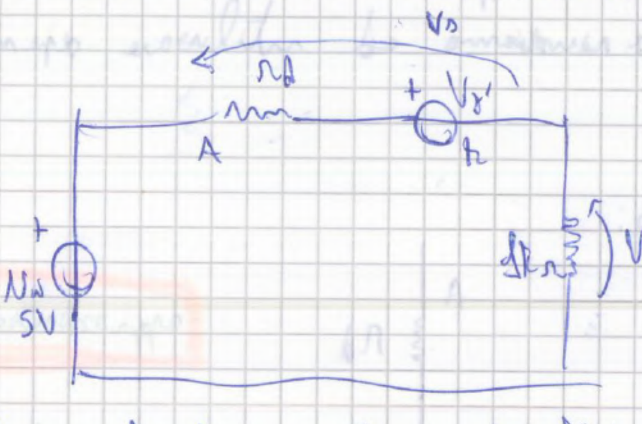


$I_D = 0$; $V_R = 0$

$V_D = V_i - 0 = 5V$

V_D è $\leq 0,6V$! NO!

Allora se non è valido un modello, deve essere l'altro:



Mi devo chiedere: $I_D = \frac{V_i - V_\gamma'}{R + r_d} > 0$? SI ($V_i > V_\gamma'$)

Come calcolo r_d?

$$r_d = \frac{1}{\frac{\partial I_D}{\partial V_D}}$$

$$\frac{\partial I_D}{\partial V_D} = \frac{\partial}{\partial V_D}\left(I_S\left(e^{\frac{V_D}{\eta V_T}} - \cancel{1}\right)\right) =$$

↳ I_S è molto piccola $\Rightarrow I_D \simeq I_S e^{\frac{V_D}{\eta V_T}}$

$$= I_S \frac{1}{\eta V_T} e^{\frac{V_D}{\eta V_T}} = \frac{I_D}{\eta V_T}$$

Si ha dunque la corrente massima per $V_A = 10V$

$$I_{D\,max} = \frac{10V - 0{,}6V}{1k\Omega + \cancel{r_d}} = 9{,}4\,mA$$

↓ trascuro

$$\Rightarrow r_d = \frac{1}{\frac{\partial I_D}{\partial V_D}} = \frac{\eta V_T}{I_D} = \frac{1 \cdot 25{,}9\,mV}{4{,}7\,mA}$$

↳ uso $I_{max}/2$ (approssimazione)

Considerando r_d il rapporto $\frac{R}{R + r_d}$ cambia:

$$\frac{R}{R + r_d} = \frac{1000\,\Omega}{1005{,}5\,\Omega} = 0{,}995$$ $\Rightarrow$ la retta reale è leggermente più in basso di quella disegnata prima

$$V_{D1} = V_A - V_K = V_o - V_{R1} = V_i - V_{R1} \leq V_{\gamma'}$$

$$V_{D2} = -V_{R2} - V_o = -V_{R2} - V_i \leq V_{\gamma'}$$

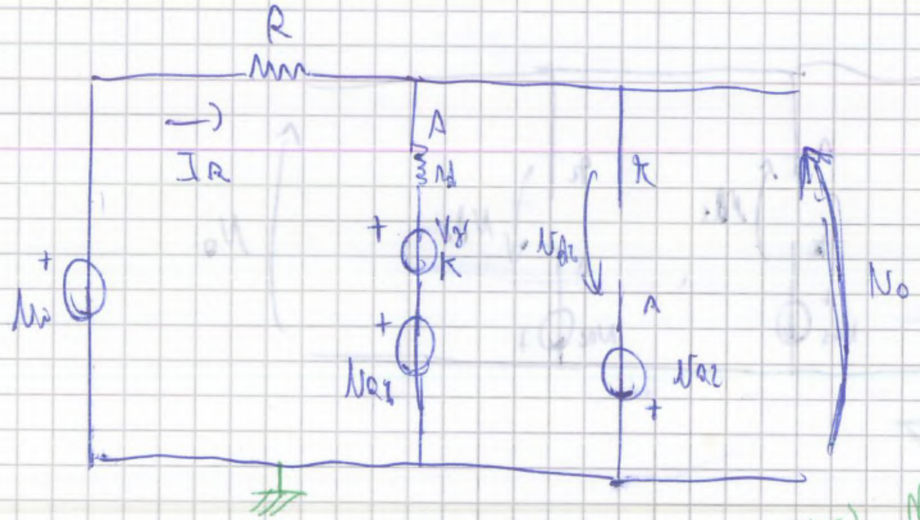
Le due disequazioni sono:

$$\begin{cases} V_i \leq (V_{R1} + V_{\gamma'}) \\ V_i \geq -V_{R2} - V_{\gamma'} = -(V_{R2} + V_{\gamma'}) \end{cases}$$

$$\Rightarrow -(V_{R2} + V_{\gamma'}) \leq V_i \leq (V_{R1} + V_{\gamma'})$$

In quest'intervallo vale $V_o = V_i$ e $I_R = 0$

- D_1 conduzione, D_2 interdizione



Millmann

$$V_o = \frac{V_i \cdot r_d + (V_{R1} + V_{\gamma'})R}{R + r_d} \geq V_{\gamma'}$$

$$I_R = \frac{V_i - (V_{R1} + V_{\gamma'})}{R + r_d} \geq 0 \quad (\text{con } I_D = I_R)$$

$$V_o = \frac{V_i\, r_d - (V_{R2} + V_\gamma')\, R}{R + r_d}$$

$$I_{D2} = -I_R = -\left(\frac{V_i + (V_{R2} + V_\gamma')}{R + r_d} \right) \geq 0$$

l'argomento delle parentesi dev'essere negativo:

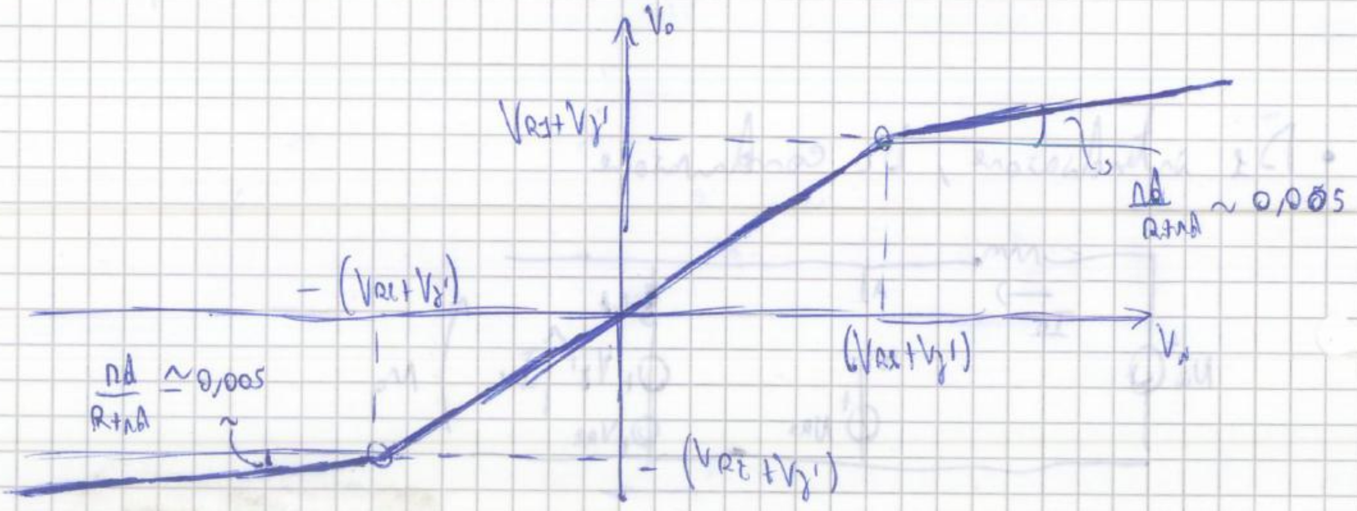
$$V_i + (V_{R2} + V_\gamma') \leq 0 \Rightarrow V_i \leq -(V_{R2} + V_\gamma')$$

$$V_i \leq -(V_{R2} + V_\gamma') \Rightarrow V_o \simeq -(V_{R2} + V_\gamma')$$ con HP di r_d trascurabile

La condizione di D1 interdetto è analoga a quanto visto prima

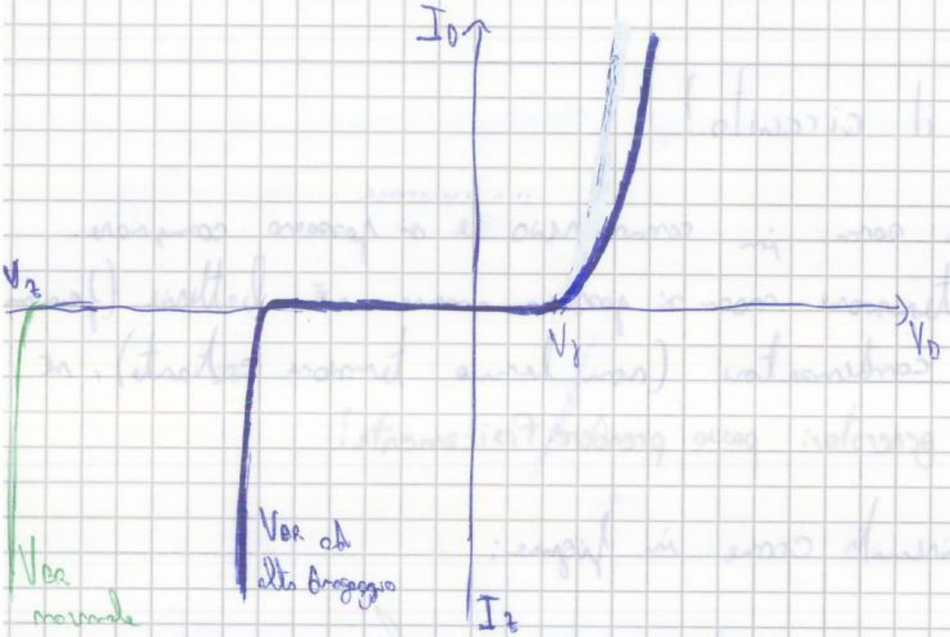
- D1, D2 conduzione

Non manca nessun intervallo di V_i $\Rightarrow$ non c'è nessun valore di V_i che soddisfi D1, D2 in conduzione.



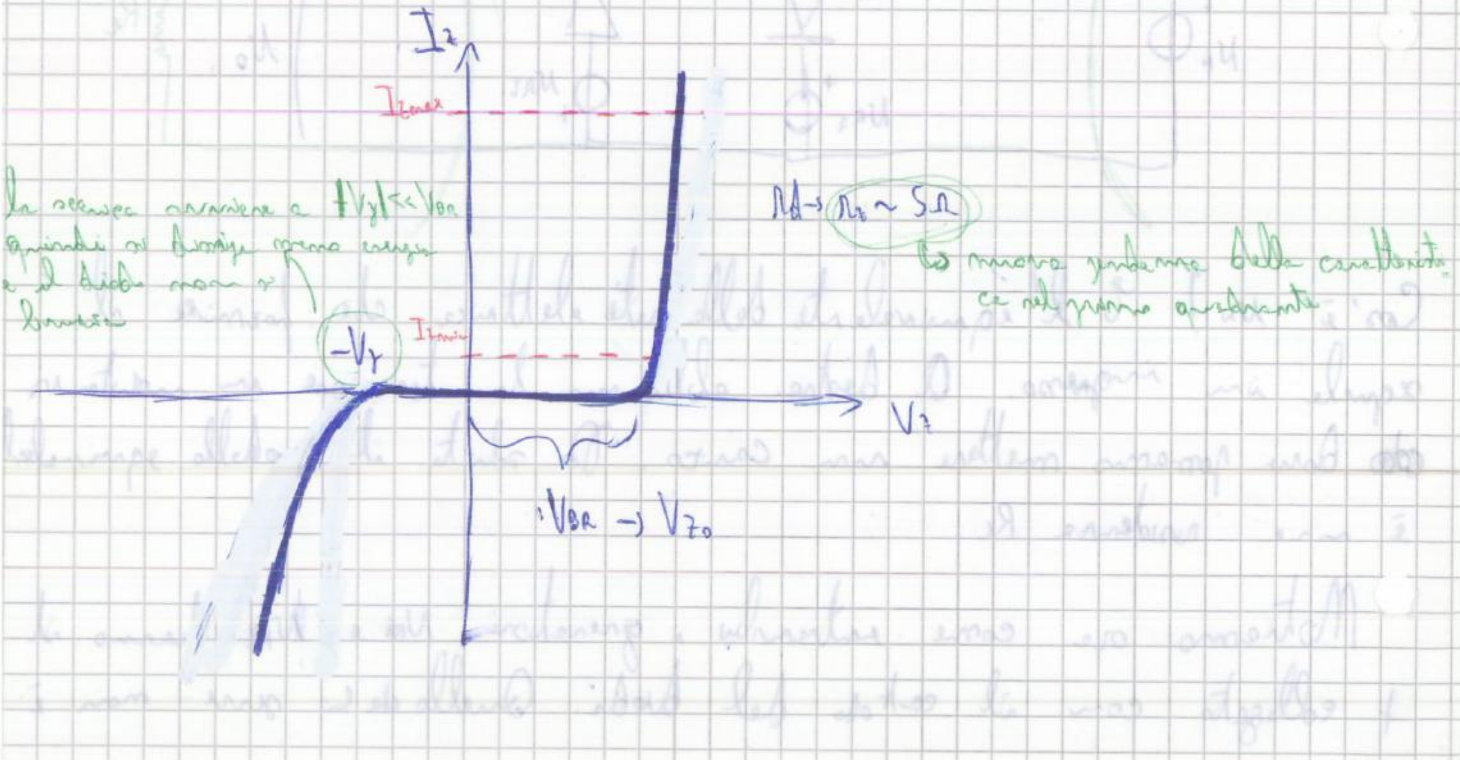
un generatore a cosi, ma un generatore in serie con + collegato a catodo del diodo.

Pensiamo ora di prendere un diodo con alto drogaggio in modo che la V_{BR} sia molto inferiore del solito (la potenza è inferiore e ...)

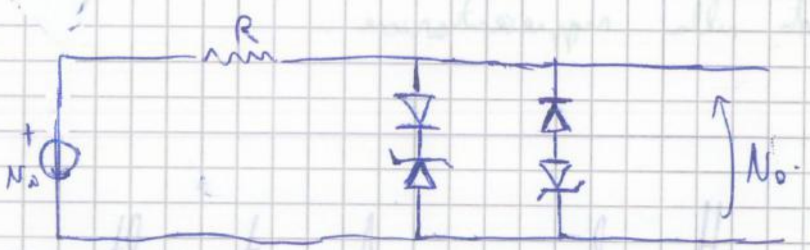


Di conseguenza avremo che anche I_{BR} è più bassa e quindi che si sono in gioco potenze inferiori.

Ridisegnamo il grafico con gli assi al contrario:

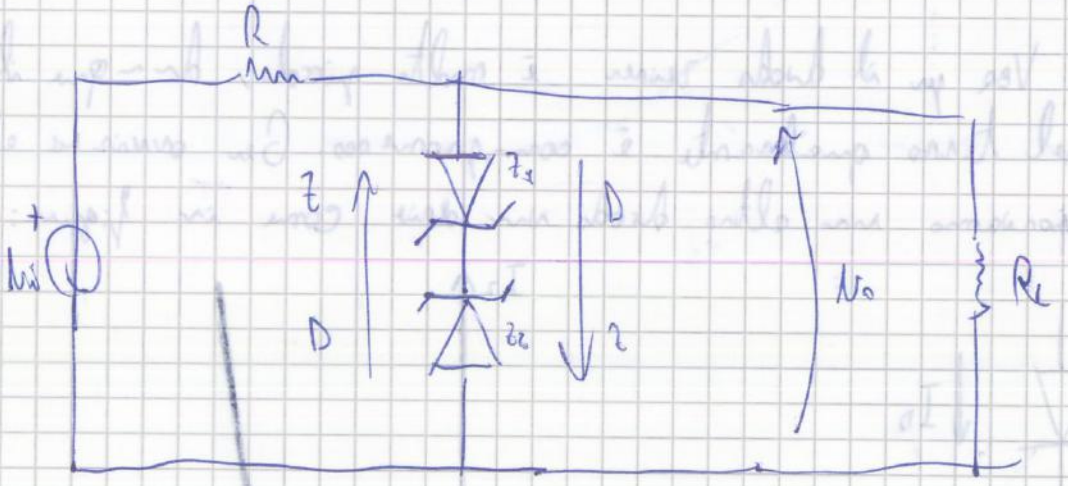


può mai essere negativa. Dunque la corrente in entrata nello zener non potrà esserlo nemmeno, e quindi la parte della sua caratteristica nel terzo quadrante è come se non ci fosse. Dunque la serie dei due diodi realizza un comportamento generatore + diodo e avremo quindi:



Così succede a tolgo un ramo! Il circuito diventa un limitatore singolo anziché doppio.

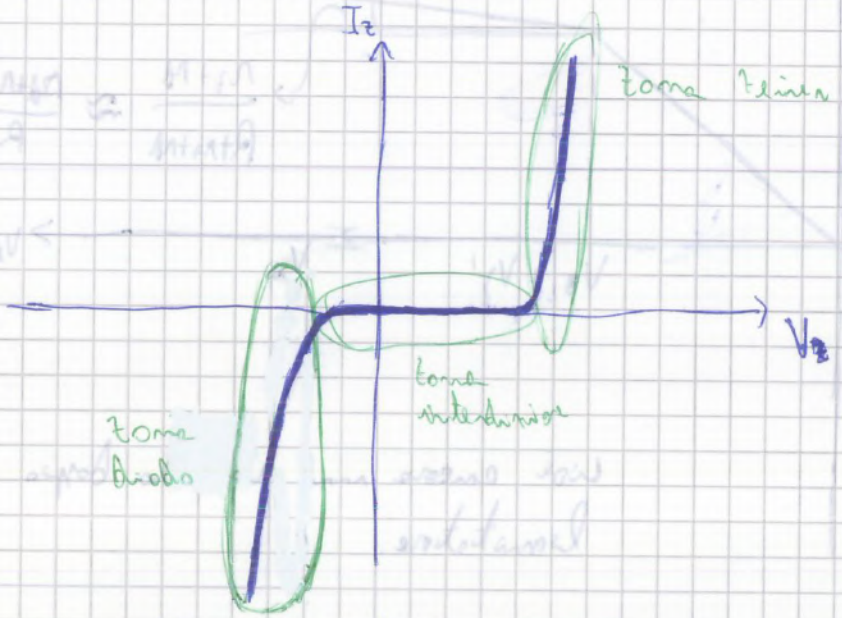
Posso semplificare il circuito? Proviamo a mettere due diodi zener in antiserie:



A seconda del verso della corrente si avrà che alternativamente un diodo zener funzionerà da diodo normale e l'altro da diodo zener.

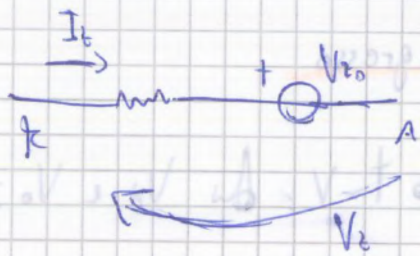
LINEARIZZAZIONE DELLO ZENER

Possiamo dividere e linearizzare la caratteristica dello zener come in figura:

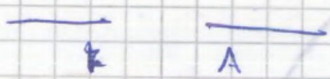


I modelli equivalenti saranno:

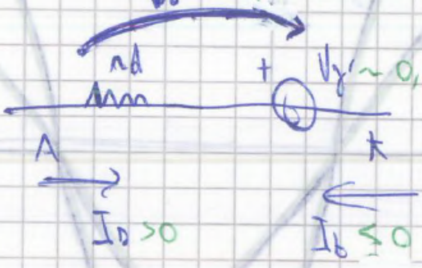
Zona zener →



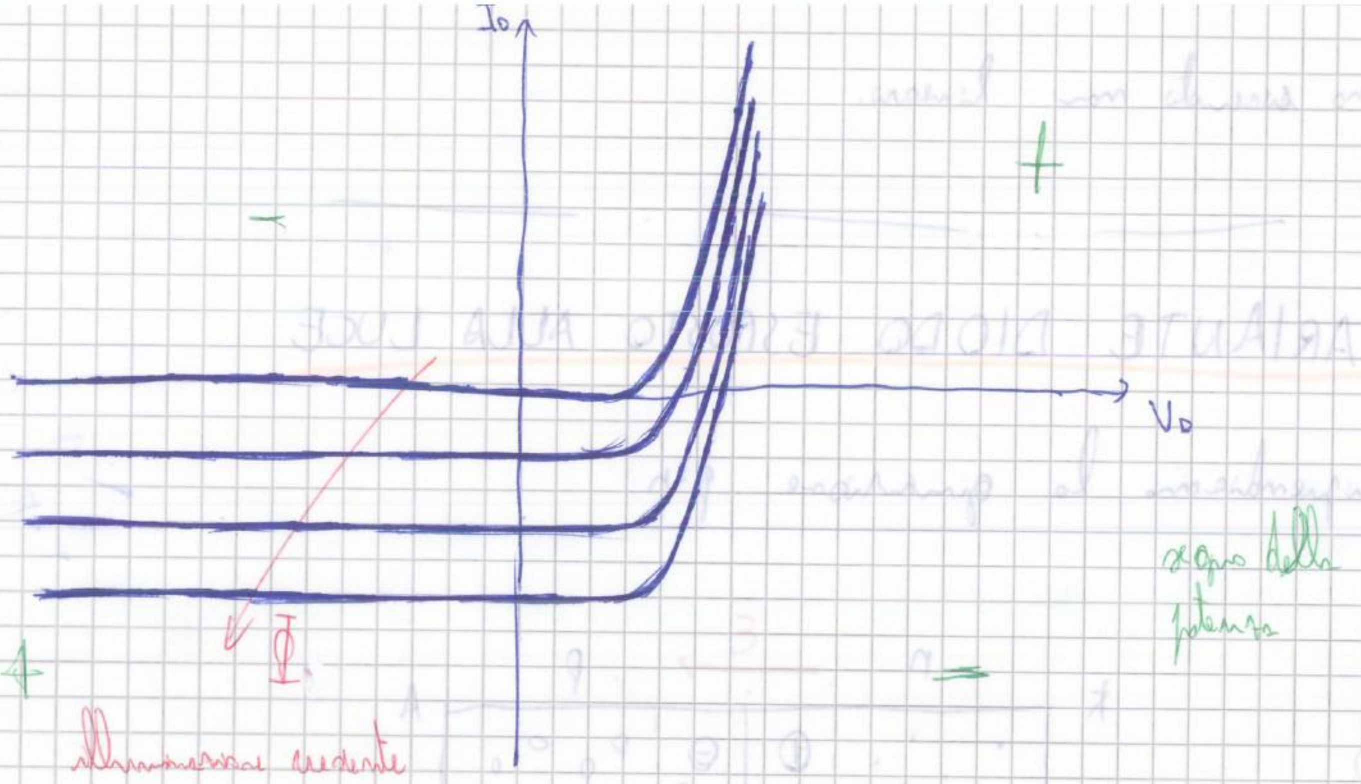
Zona interdizione →



Zona diodo →



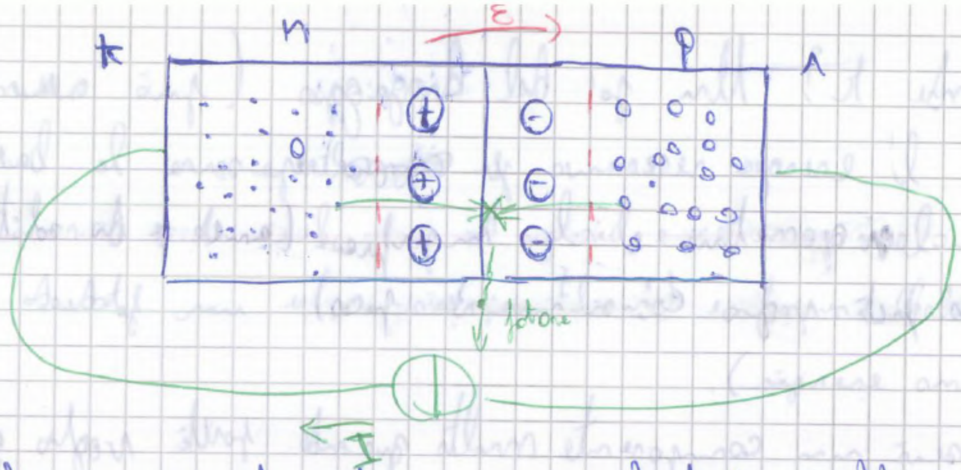
Attenzione: in questi circuiti non possiamo usare i fasori poiché essi



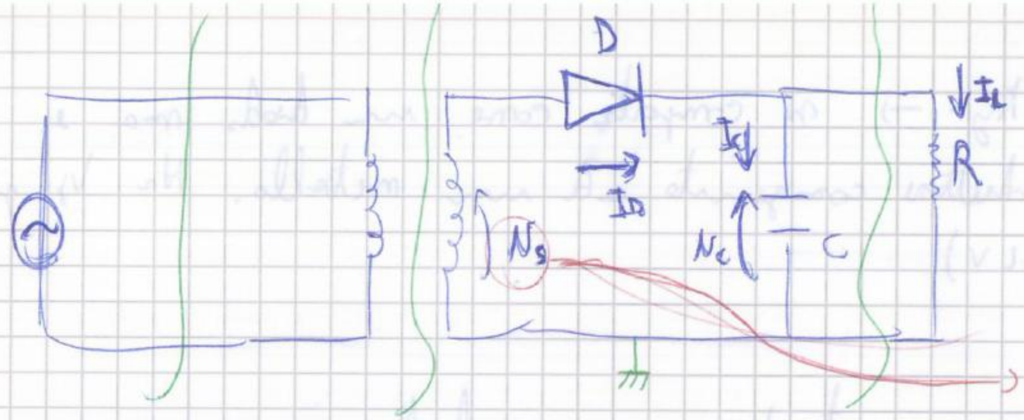
Al diodo può dare fastidio questa variazione della caratteristica a seconda dell' illuminazione ⇒ ricopriamo il diodo con materiale plastico opaco e lo coloro di nero (aumenta la diss. di calore). Se invece mi interessa questo effetto variabile andrò a mettere il diodo in un contenitore trasparente.

Nel quarto quadrante il diodo si comporta come cella solare perché genera potenza (segno negativo). Nel terzo quadrante invece si ha un comportamento da fotodiodo, infatti la corrente è in funzione dell' illuminazione ed è quindi possibile misurare la luce. Il fotodiodo è usato in interdizione e quindi lo devo polarizzare inversamente.

Attraverso la misura di corrente posso ricavare l' illuminazione presente.



Infine, considerando ancora il diodo, abbiamo che fornendo corrente otteniamo l'effetto contrario; ovvero la ricombinazione di lacune ed elettroni nella zona di svuotamento che generano fotoni. Questo è il cosiddetto LED (light emitting diode), che si indica con:



posso modellare questa tensione con una gen. in alternata (stessa frequenza)

Se non ci fosse il condensatore avrei semplicemente l'eliminazione delle onde negative (come già visto). La resistenza è il modello equivalente del nostro carico.

Differenza tra massa e terra. La massa rappresenta la massa metallica attorno al circuito elettronico. Questa massa rappresenta il potenziale di riferimento. La terra rappresenta materialmente la terra vera e propria. La massa può avere potenziale diverso da quello della terra. Per evitare la "scossa", per legge la massa deve essere collegata a terra.

N.B.: questi collegamenti massa-terra non sono possibili da realizzare negli aerei. In quella situazione è la stessa massa che rappresenta la terra.

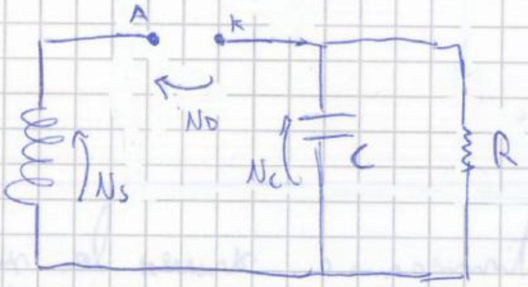
Analizziamo il circuito:

$$KCL: \quad I_D(t) = I_C(t) + I_L(t)$$

La tensione ai capi del carico dev'essere costante $\Rightarrow$ I_L non deve dunque dipendere dal tempo. (Dev'essere in DC) $\Rightarrow$ $I_L(t) \rightarrow I_L$

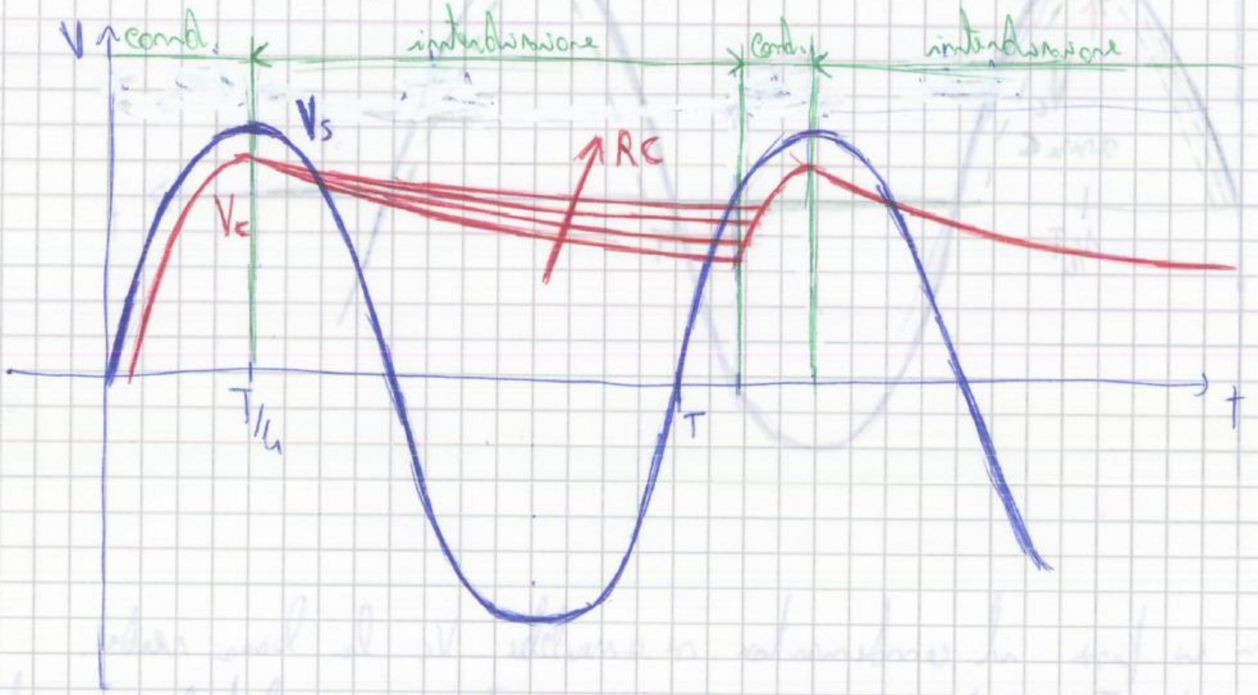
Inoltre I_D può avere solo il verso in figura:

$I_D \geq 0$ diodo o in conduzione o in interdizione prevalente su I_L ⇒ $I_D < 0$ ⇒ il diodo va in interdizione. A questo punto il condensatore continua a scaricarsi con andamento esponenziale del tipo $v_C(t) = Ke^{-\frac{t}{RC}}$, e la v_S non influisce sul carico poiché per l'appunto il diodo è in interdizione.



$$v_D(t) = v_S(t) - v_C(t)$$

Il condensatore si scarica esponenzialmente fino a quando il diodo non rientra in conduzione ($v_S > v_C + V_\gamma$). Inoltre dato che RC è molto grande l'esponenziale decrescente sarà molto "lento" (la lentezza aumenta all'aumentare di RC).



Posso approssimare l'esponenziale decrescente ad una retta per RC >> T. Inoltre maggiore sarà RC, migliore sarà l'approssimazione eseguita.

un valore sempre minore di quello reale.

Consideriamo in interdizione il valore $V_c = cost. \Rightarrow I_L = cost.$

$$I_c = C \cdot \frac{\Delta V_c}{\Delta t}$$

$$I_D = I_c + I_L = 0 \Rightarrow I_c = -I_L$$ interdizione

$$\Rightarrow I_c = C \cdot \frac{\Delta V_c}{\Delta t} = -I_L$$

Dato che I_L è costante posso riscrivere $C \frac{\Delta V_c}{\Delta t}$ come:

$$C \frac{\Delta V_c}{\Delta T} = -\frac{V_c}{R}$$

trascuro il "−" perché mi interessa il valore assoluto della differenza

$$\Rightarrow \Delta V_c = \Delta V = \Delta T \cdot \frac{V_c}{CR}$$

ΔT è il tempo che intercorre tra un'oscillazione e la successiva.

Si ha che $\frac{\Delta T}{RC}$ è molto piccolo (visto l'ipotesi iniziale).

nel caso visto equivale al periodo

Scriviamo:

$$\Delta V = \frac{T}{C} I_L = \frac{1}{fC} \cdot I_L$$

In realtà se al posto di T avessimo $T/2$, $T/3$, $T/4$ la formula cambierebbe. In quanto:

Infatti $V_C = V_{max} - R_{eq} I_L$

Devo però inserire un generatore che mi rappresenti l'ondulazione ΔV!

Se considero la continua ho il generatore V_{max} e la corrente continua I_L. Se invece sono in alternata devo togliere i componenti in continua: mi rimane il generatore ΔV e I_L nulla. In uscita avrò $\Delta V = V_C$. Dunque si ha la sovrapposizione degli effetti tra V_{med} e ΔV, ottenendo così il modello Thevenin equivalente.

$V_{D2} = V_B - V_0 = V_B - V_A + V_{\gamma'} < V_{\gamma'}$

$\Rightarrow$ il diodo 2 è interdetto e per l'ipotesi $V_{D2} = V_{D3}$ lo è anche il diodo 3.

Si deduce che in generale, l'unico diodo che conduce è quello collegato alla massa con un potenziale più alto:

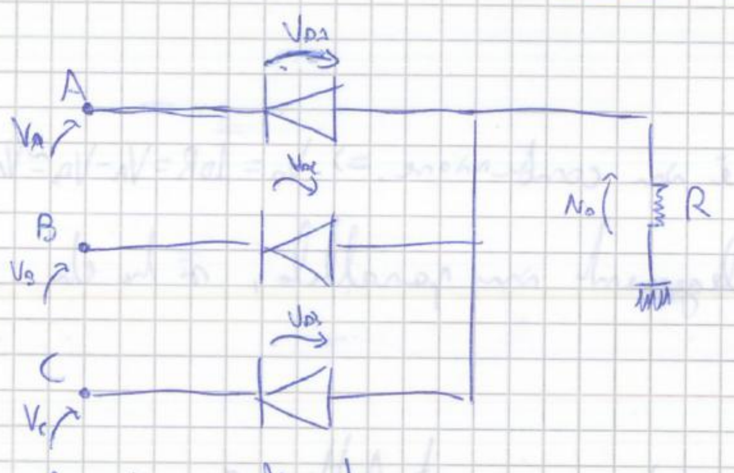
$$V_0 = \max\{V_A - V_{\gamma'}, V_B - V_{\gamma'}, V_C - V_{\gamma'}, 0\}$$

Lo zero è stato aggiunto poiché se accade che:

$$\max\{V_A, V_B, V_C\} - V_{\gamma'} < 0$$

allora tutti e tre i diodi sono interdetti, e la tensione sul carico risulta essere nulla.

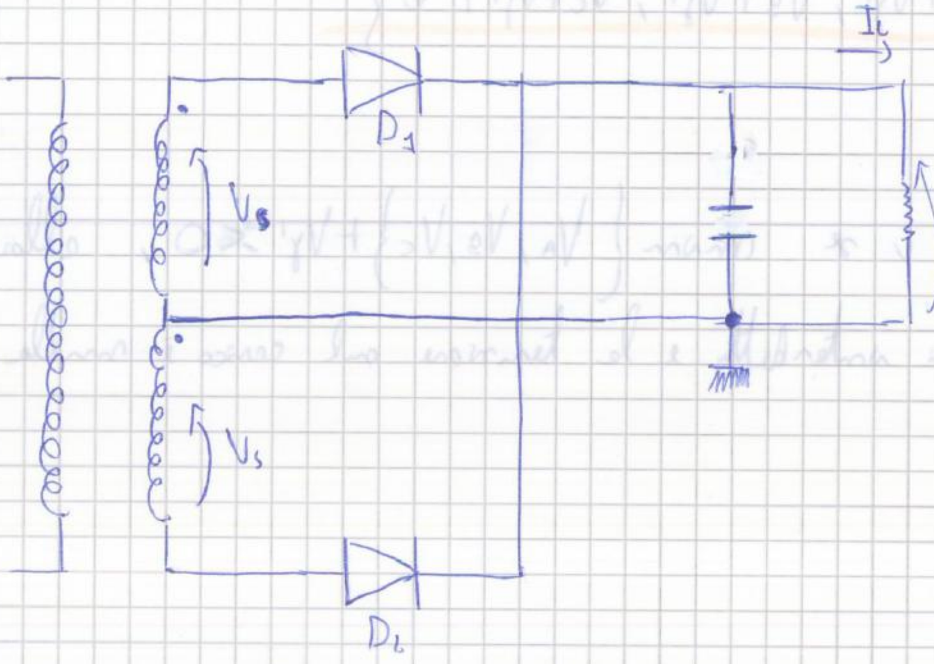
Cosa succederebbe se i tre diodi avessero l'anodo in comune?



Le polarità delle tensioni sui diodi sono opposte rispetto a prima

ALIMENTATORI A PIÙ SEMIONDE

Alimentatore a 2 semionde con trasformatore a presa centrale



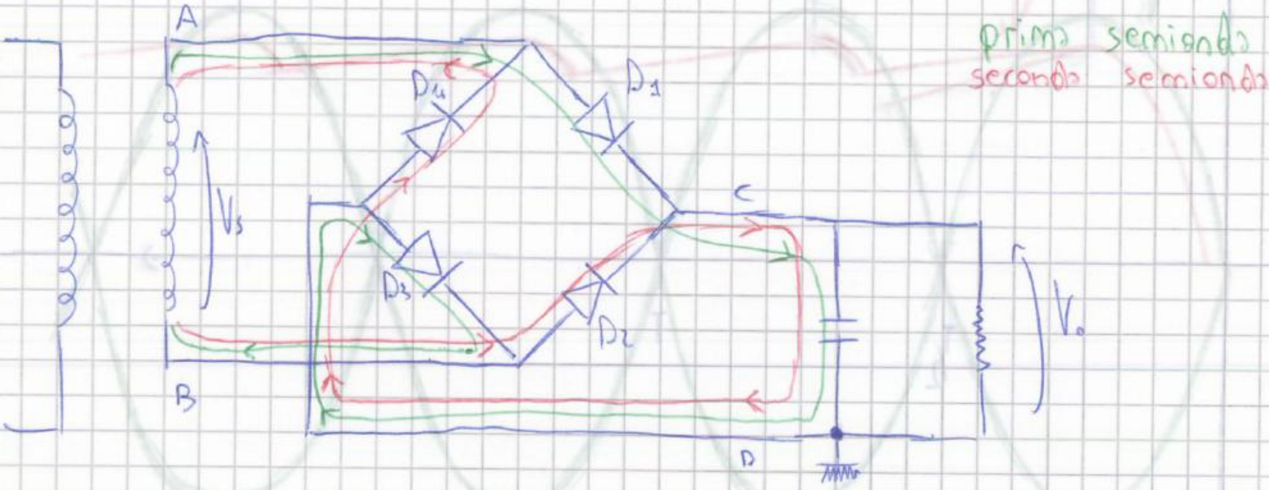
N.B.: i due puntini accanto agli induttori indicano che quei lati hanno la stessa polarità nello stesso istante di tempo

Abbiamo visto in precedenza come in questa situazione conduca un solo diodo alla volta. Ma come è costruito il circuito in figura si ha che c'è sempre un diodo polarizzato direttamente (non è detto però che vi sia sempre un diodo in conduzione). Infatti l'anodo dei due diodi è una volta collegato con il + della tensione applicata e l'altra con il −. Allo stesso tempo ci sarà sempre un diodo polarizzato inversamente, insomma i due diodi si "scambiano" le polarizzazioni. Dunque il diodo D_1 vedrà una tensione $V_s(t)$ e il diodo D_2 una tensione $-V_s(t)$. La tensione ai capi del condensatore sarà quindi:

$$V_C = \max\{V_s(t) - V_{\gamma'}, -V_s(t) - V_{\gamma'}\} = \max\{V_s(t), -V_s(t)\} - V_{\gamma'}$$

Graficando il tutto si ha un andamento del tipo:

Diodi conducenti insieme. Lo schema è il seguente:



Questo tipo di alimentatore si può studiare come segue:

$$V_C = \max\{V_A - V_\gamma', V_B - V_\gamma'\} = \max\{V_A, V_B\} - V_\gamma'$$

$$V_D = \min\{V_A, V_B\} + V_\gamma'$$

$$V_o = V_C - V_D = \max\{V_A, V_B\} - V_\gamma' - \min\{V_A, V_B\} - V_\gamma' =$$

$$= \max\{\cancel{V_A - V_A}, \underbrace{V_A - V_B}_{V_s(t)}, \underbrace{V_B - V_A}_{-V_s(t)}, \cancel{V_B - V_B}\} - 2V_\gamma' =$$

$$= \max\{V_s(t), -V_s(t)\} - 2V_\gamma'$$

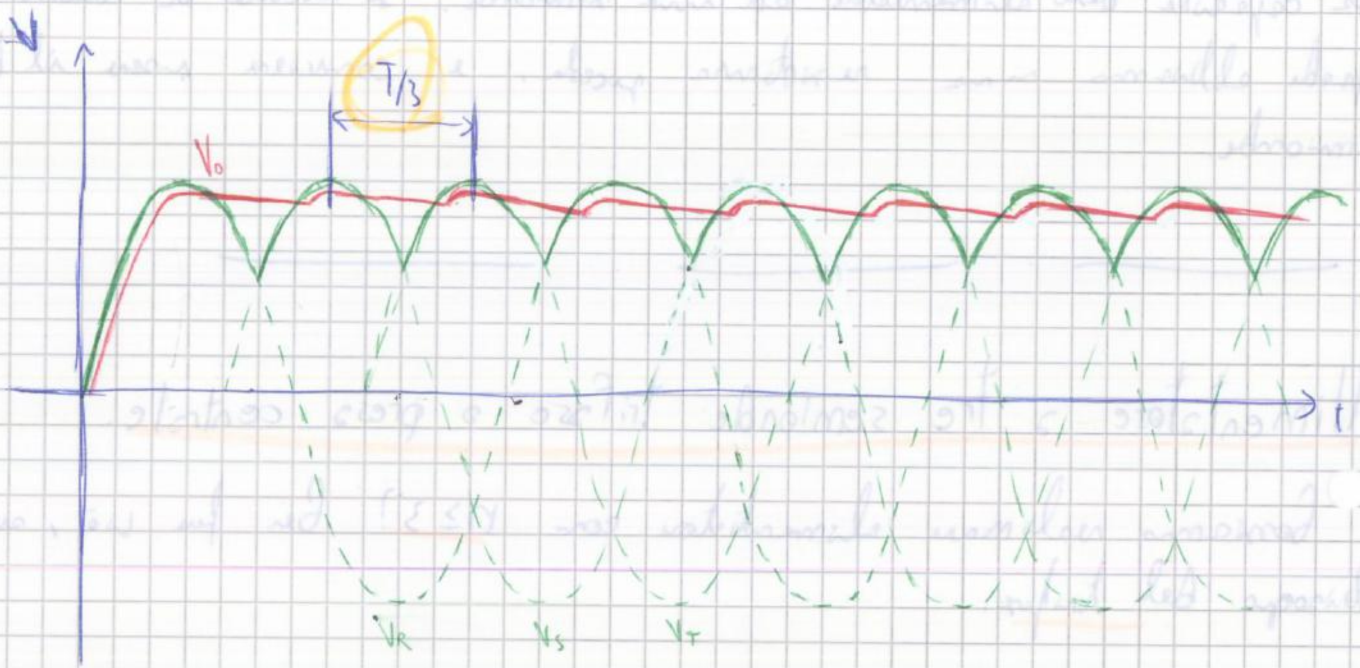
Ovvero una situazione analoga a quella del due semionde a presa centrale. Notiamo una differenza nel fattore $-2V_\gamma'$, ma questo dipende dal fatto che la corrente attraversa contemporaneamente due diodi conducenti insieme. Infatti nel ponte di Graetz si ha:

Se analizziamo T, notiamo come il circuito ci ricordi l'alimentatore a due semionde a presa centrale. L'analisi sarà analoga alle precedenti:

$$V_0 = \max\{V_R, V_S, V_T\} - V_{\gamma'}$$

N.B: in questo alimentatore la struttura dev'essere necessariamente a stella per mantenere il cero neutro.

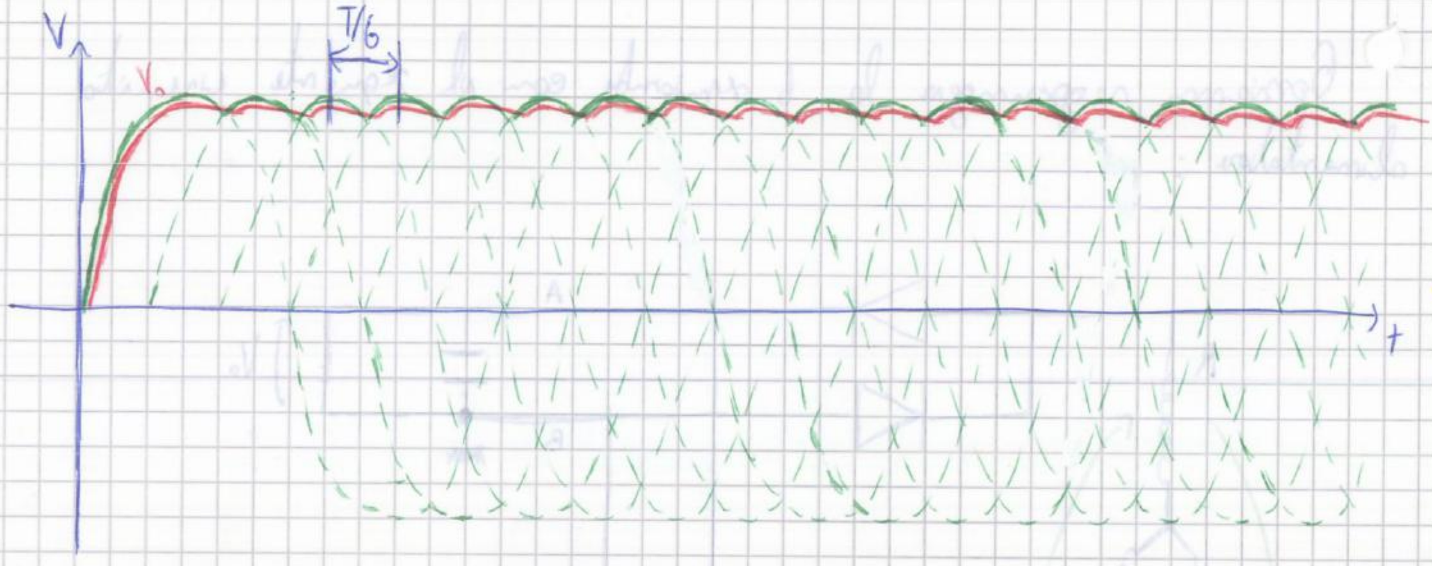
Il grafico risultante sarà:



Risulta dunque che:

$m = 1$; $n = 3$ (3 ondulazioni in ogni periodo)

Ovvero rivediamo la tensione massima fra le tensioni di linea.



Ne risulta che:

$m = 2$; $n = 6$

Con il ponte trifase è anche possibile non mettere il condensatore poiché l'ondulazione è molto piccola, cioè si ha una tensione quasi continua.

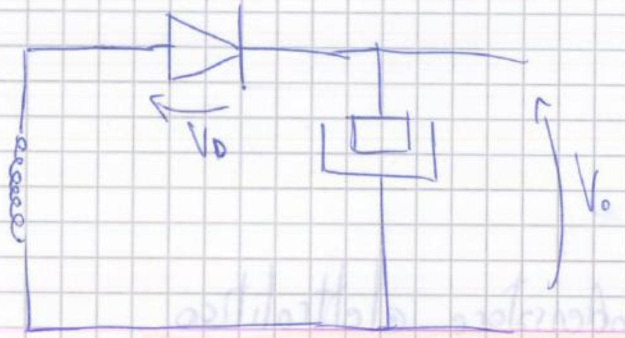
$$V_{min} = V_{max} \cdot \cos(30°) = \frac{\sqrt{3}}{2} V_{max}$$

Di solito, negli alimentatori con trifase, si prende un pezzo di silicio e si fanno 4 o 6 giunzioni che vengono collegate in seguito con 4 o 5 fili.

preso. Quest'accumulo di gas rappresenta un accumulo di energia elettrica. Indicheremo questo componente con:

NB: il condensatore elettrolitico può essere messo solo con la polarità indicata in figura, altrimenti esplode
$\Rightarrow$ non è possibile utilizzarlo in alternata.

Dunque il mio circuito diventerà sarà:



Ho bisogno a questo punto di definire il mio diodo: dovrò trovare i valori di V_{BR} e I_{max}.

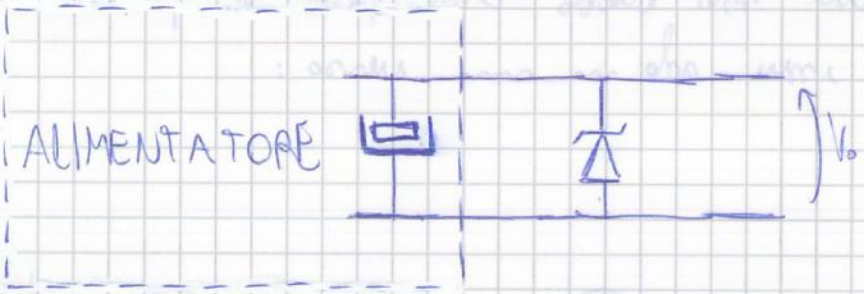
$V_{Dmax} = V_{max} - (-V_{max}) = 2V_{max}$ (in realtà, in generale è $\boxed{V_{Dmax} = \frac{2V_{max}}{n}}$)

Aggiungo poi un trasformatore a valle per avere corrente continua a

AGGIUNTE PER LA CORRENTE CONTINUA

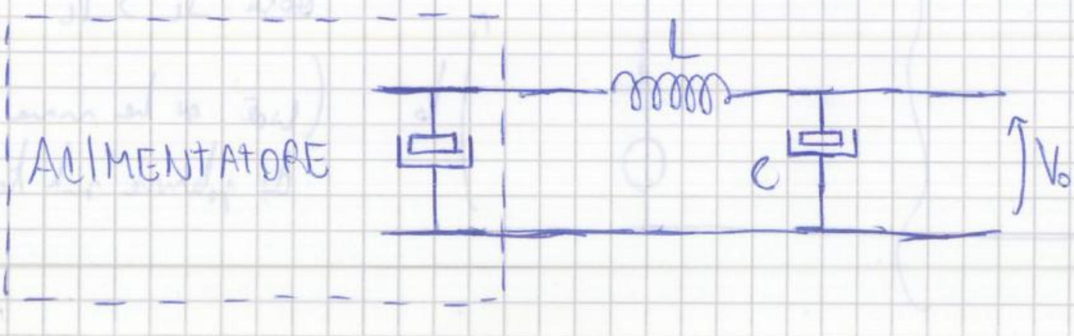
Per migliorare la resa di tensione continua in uscita dell'alimentatore (diminuire cioè l'ondulazione), si possono adottare diverse soluzioni.

In prima istanza si può, come visto nell'esempio precedente, collegare a valle del circuito alimentatore un tosatore, costituito da un diodo zener (ne è necessario solo uno, poiché dato che si utilizzano condensatori elettrolitici è possibile solo un verso di polarità):



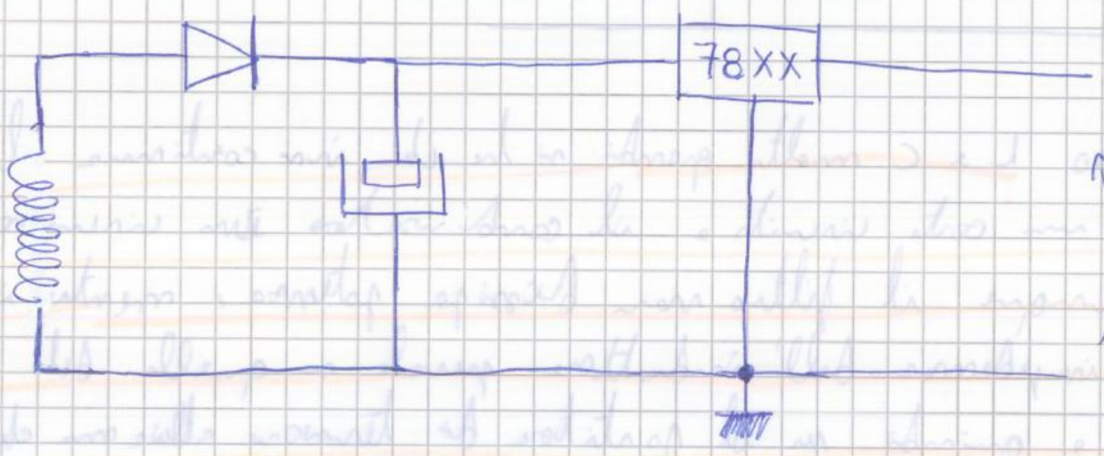
Questa soluzione però non risolve il problema della dipendenza dell'ondulazione residua dalla corrente assorbita dal carico (e quindi dal carico stesso). Inoltre si presenta una fastidiosa perdita di potenza ai capi dello zener.

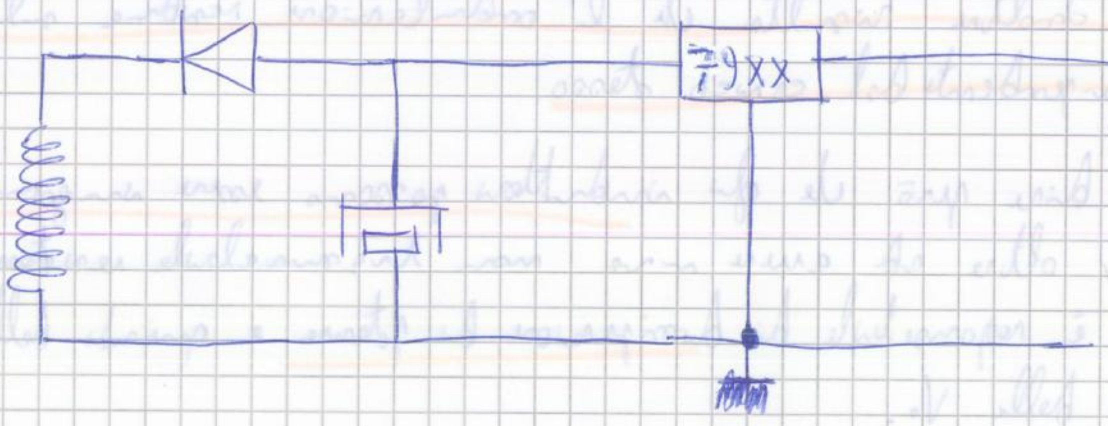
Per ovviare alla prima questione si preferisce perciò collegare a valle del circuito alimentatore un filtro induttivo-capacitivo, talvolta chiamato stabilizzatore di tensione, come rappresentato in figura:



zatori, oltre ad essere più economici e di rapido montaggio, dissipano assorbono molta meno potenza e rendono possibile evitare perdite lungo la linea di connessione della tensione già stabilizzata.

Gli stabilizzatori integrati a tre terminali più noti sono quelli della serie 78XX (per alimentazioni positive) e della serie 79XX (per alimentazioni negative), di cui si riporta lo schema grafico:





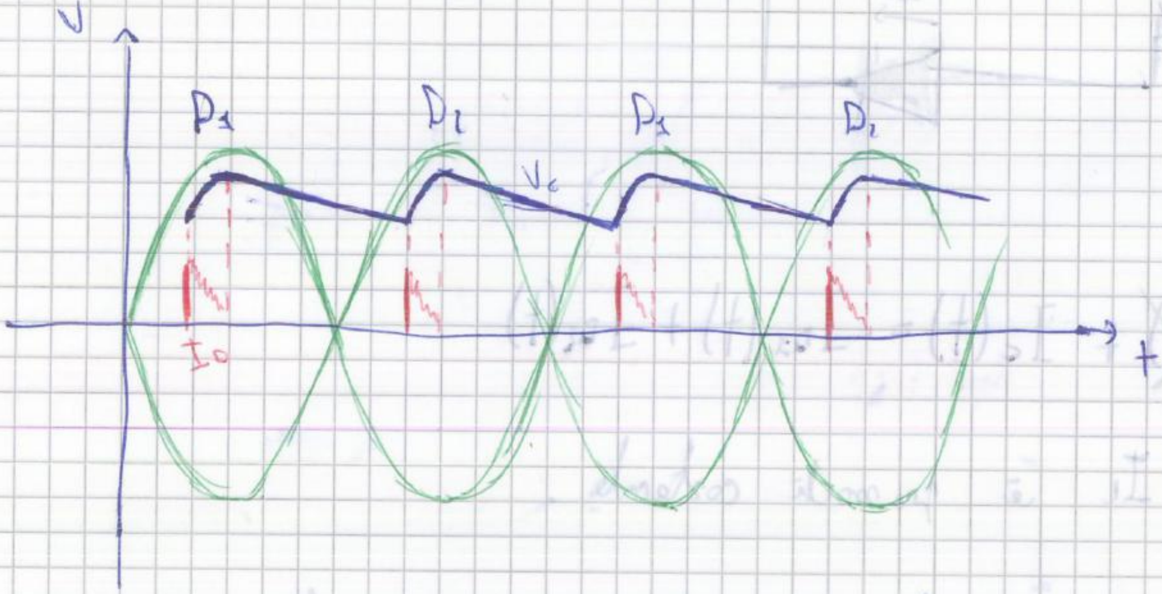
I due diodi hanno una corrente media uguale, però quando uno è in conduzione l'altro è interdetto e viceversa. Sono inoltre due componenti uguali.

In generale vale:

$$\boxed{\overline{I_D} = \frac{I_L}{m'}}$$

Dove m' è il numero di diodi con il catodo in comune.

Adesso ricaviamoci la corrente massima:



Notiamo come ciascun diodo conduca da V_{min} a V_{max}. Quando conduce il primo diodo, la corrente nel secondo è nulla, e viceversa. Inoltre ci aspettiamo un andamento della corrente dipendente da quando il diodo entra in conduzione a quando va in interdizione.

$$Q = I_L \cdot \frac{T}{n} = \frac{I_{max} \cdot T_c}{2}$$

T_c → tempo di conduzione

Inoltre possiamo ricavare l'angolo della rimanzando con:

$$V_{min} = V_{max} \cdot \cos(\theta_c) \Rightarrow \theta_c = \cos^{-1}\left(\frac{V_{min}}{V_{max}}\right)$$

θ_c → angolo di conduzione

$$\theta_c : 2\pi = T_c : T$$

? Da dove lo tira fuori questo angolo

In pratica mettiamo in relazione il tempo di conduzione con l'angolo della rimanzando:

$$I_{max} = I_L \cdot \frac{2T}{nT_c} = \frac{2 I_L}{n} \cdot \frac{2\pi}{\theta_c}$$

$$\Rightarrow \boxed{I_{max} = \frac{I_L}{n} \frac{4\pi}{\cos^{-1}\left(\frac{V_{min}}{V_{max}}\right)}}$$

Da queste relazioni notiamo come per avere un'ondulazione molto piccola, devo avere una corrente massima molto alta.

$$0,909\, V_i - R_{TH} I_D - V_D = 0$$

$$\Rightarrow V_D = - R_{TH} I_D + 0,909\, V_i$$

$$\Rightarrow I_D = \frac{-V_D + 0,909\, V_i}{R_{TH}} \Rightarrow \begin{cases} V_D + R_{TH} I_D = 0,909\, V_i \\ I_D = f(V_D) \end{cases}$$

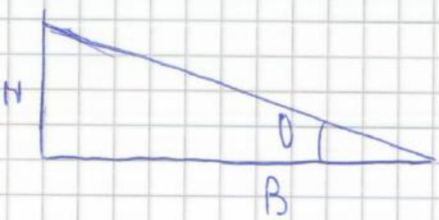
$-\frac{1}{R_{TH}}$ è la pendenza della retta che interseca l'asse I_D in $I_D = \frac{0,909\, V_i}{R_{TH}}$, e l'asse V_D in $V_D = 0,909\, V_i$.

$$-\frac{1}{R_{TH}} = -0,001\ S$$ trascuro il "−"

Ma non posso calcolarmi l'angolo di pendenza con la tg^{-1}, perché non ho un numero adimensionato ma due grandezze! Dunque faccio il rapporto incrementale:

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} = -0,001\ S$$

$$\Rightarrow \Delta I = 0,001\ S \cdot \Delta V$$



$$B = \Delta V \left[\frac{mm}{V}\right] = \Delta V \cdot \frac{8mm}{100mV}$$

$$H = \Delta I \left[\frac{mm}{A}\right] = \frac{8mm}{1mA}$$

$$\frac{H}{B} = \frac{\Delta I}{\Delta V} \frac{\cancel{8mm}}{1mA} \cdot \frac{100mV}{\cancel{8mm}} = 10^{-3}\ S \cdot 100\ \Omega = 10^{-1}$$