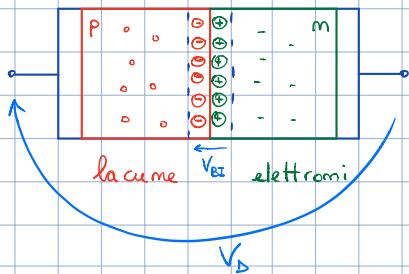


Il diodo



Quando un elettrone entra in contatto con una lacuna si crea una ZONA SVUOTATA.

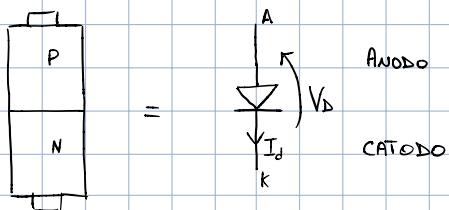
V_D può ostacolare o aumentare la zona svuotata a seconda del suo valore, maggiore o minore del potenziale di built-in.

$$\text{Se } V_D > V_{BI} \rightarrow I \neq 0$$

POLARIZZAZIONE DIRETTA

$$V_D < V_{BI} \rightarrow I = 0$$

POLARIZZAZIONE INVERSA



la corrente passa da anodo verso catodo

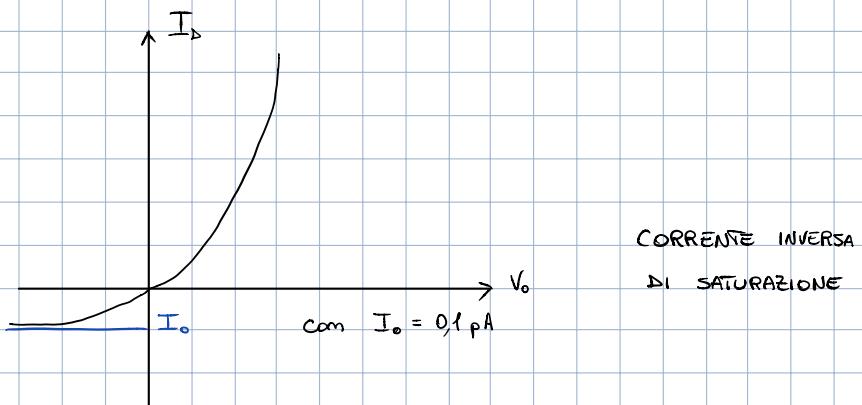
$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{V_D}{V_{TH}}} - 1 \right)$$

è l'espressione analitica della corrente nel diodo

$$\text{com } V_{TH} = \frac{kT}{q}$$

K di Boltzmann
temperatura °K
 $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ C}$

della tensione termica (a t ambiente vale 25 mV)



[^] fornisce un po' sc�modo → si semplifica per uscirlo nei circuiti

1) Linearizzare l'esponenziale, rendendo il legame $V_D - I_D$ lineare

Per $V_D < 0 \rightarrow I_D = 0$



Se ho I fissata dall'esterno $\rightarrow V_f$ dipende di $-2 \text{ mV per grado } ^\circ\text{C}$

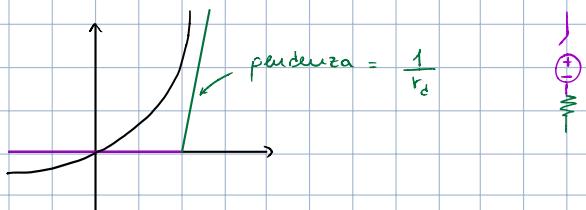
Limiti di questo modello:

- Potenza dissipata

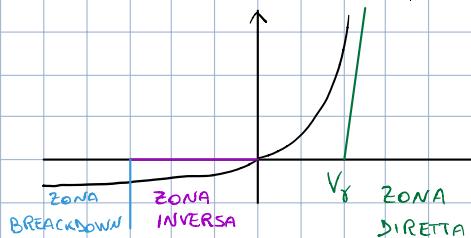
$$P = V_d(t) \cdot I_d(t)$$

se OFF $\rightarrow P=0$ poiché $I_d=0$
 se ON $\rightarrow V_d = V_f + I$ finita \Rightarrow non si limita quindi potrebbe portare una corrente infinita

Nel caso in cui siamo in alte correnti occorre migliorare il modello:



- Polarizzazione inversa: idealmente $I=0$ ma nella realtà se $V_d < 0$ il campo elettrico è troppo forte e quindi rompe i legami, la carica si muove e scorre corrente nel verso opposto



Una tipologia di diodi, i "Zener", non si danneggiano in breakdown

Il diodo Zener

Ha il vantaggio che, mentre per i diodi classici la V_f è fissa, per lo ZENER è un dato molto più flessibile. In DIRETTA si comporta come un diodo normale, cambia il comportamento solo in breakdown e per questo può entrare in conduzione anche in polarizzazione INVERSA.
 In inversa può essere modellizzato da un generatore di V_z in serie ad una R , tra la zona di polarizzazione inversa e diretta è un CA e in diretta è un generatore di tensione pari alla tensione di polarizzazione diretta.

ESEMPIO Calcolo I_d



METODO: ANALITICO

GRAFICO

APPROXIMAZIONE

METODO ANALITICO

$$\begin{aligned} \text{KVL: } & \left\{ \begin{array}{l} V_{IN} - R I_d - V_d = 0 \\ I_d = I_0 \left(e^{\frac{V_d}{V_{TH}}} - 1 \right) \end{array} \right. \end{aligned}$$

$$\begin{cases} V_d = V_{IN} - R I_d \\ I_d = I_0 \left(e^{\frac{V_d}{V_{TH}}} - 1 \right) \end{cases}$$

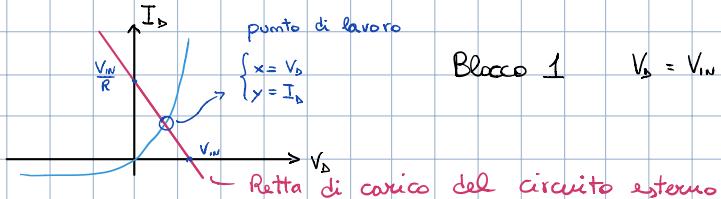
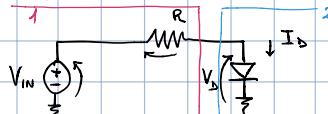
equazione in $V_d \Rightarrow$ trova V_d , calcola I_d

$$V_d = V_{IN} - R \cdot I_0 \left(e^{\frac{V_d}{V_{TH}}} - 1 \right)$$

equazione trascendente

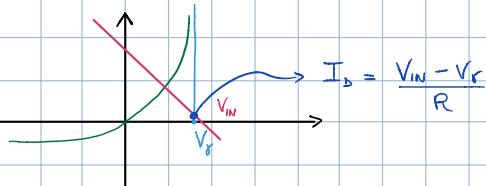
Sfrutta l'analisi modello ma essendo equazioni non lineari la sua risoluzione non è banale!

METODO GRAFICO



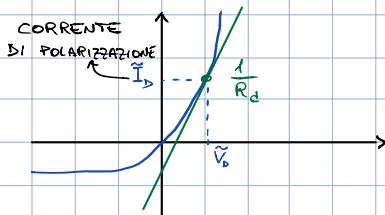
$$\text{Blocco 1} \quad V_d = V_{IN} - R I_d \Rightarrow I_d = \frac{V_{IN} - V_d}{R}$$

METODO CON APPROSSIMAZIONE



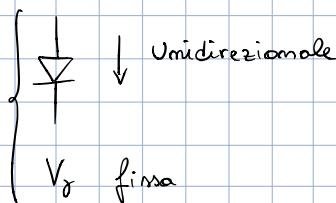
- Per una tensione $V_D < 0,7V$ il diodo è spento (OFF)
- In caso contrario è equivalente a un generatore ind. di tensione a 0,7V

Se voglio considerare anche la resistenza del diodo...

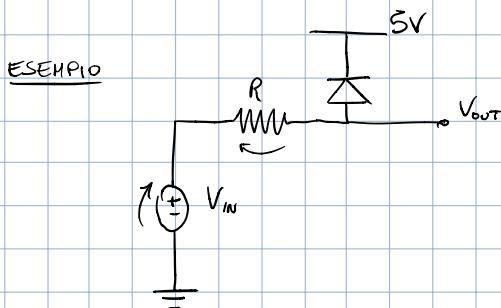


$$R_d = f(V_D) = \left(\frac{\partial I_D}{\partial V_D} \right)^{-1}$$

quindi $R_d = \left(\frac{\partial I_0 (e^{\frac{V_D}{V_{TH}}} - 1)}{\partial V_D} \right)^{-1} = \left[\frac{1}{V_{TH}} (e^{\frac{V_D}{V_{TH}}} - 1) I_D \right]^{-1} = \frac{V_{TH}}{I_D}$



⇒ Com queste condizioni risulta comodo usare il diodo in circuiti di TAGLIO e VINCOLO

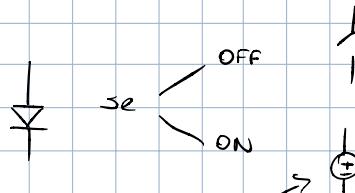


$$R = 10 \text{ k}\Omega$$

$$V_D = 0,7 \text{ V}$$

$$V_{IN} = 10 \text{ V} \cdot \sin(2\pi f t) \rightarrow f = 1 \text{ kHz}$$

APPROSSIMO:

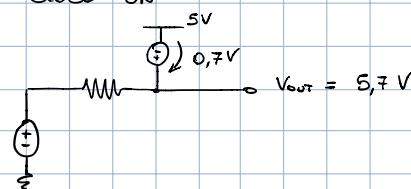


È difficile capire in che condizione è il diodo, quindi come nel MOSFET, faccio un'ipotesi

Condizione $V_D = V_D = 0,7 \text{ V}$, $I_D > 0$

Nel momento in cui sono al "limite" si chiama BORDO DELLA CONDUZIONE

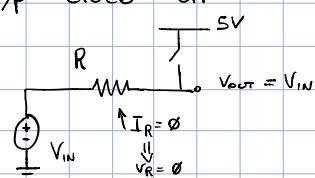
Hyp: diodo ON

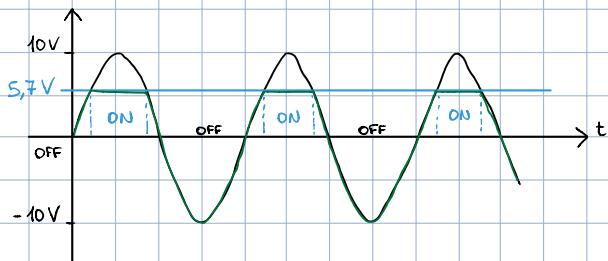


Per $V_{OUT} < 5,7 \text{ V} \Rightarrow$ caso OFF

Per $V_{OUT} \geq 5,7 \text{ V} \Rightarrow$ caso ON

Hyp: diodo OFF

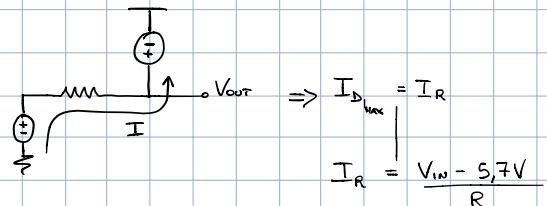




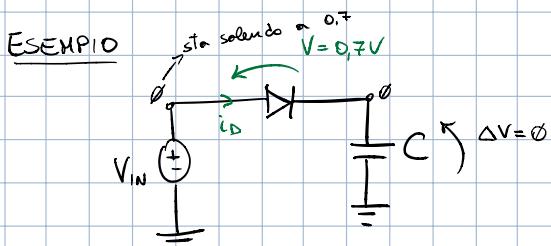
V_{out} segue V_{in} se mom supera $5,7V$, altrimenti si stabilizza su $5,7V$.

Se voglio limitare la V_{out} a $5V$ anziché $5,7V$ devo considerare la

$$\begin{aligned} P_{dissipata, \text{MAX}} &= \text{se OFF} \Rightarrow P_{D_{\text{max}}} = \emptyset \\ &= V_f \cdot I_D = 0,7 \cdot I_{D_{\text{max}}} \\ &= 0,7V \cdot \frac{(10V - 5,7V)}{10k\Omega} \approx 3mW \end{aligned}$$

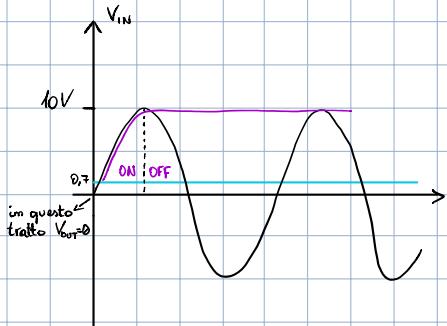


Penso posizionare il diodo in 2 modi:



DATI: $C = 1 \mu F$ inizialmente scarica
 $V_{in} = 10V \sin(2\pi f t)$ $f = 10^6 Hz$
 $V_{out}(t) ?$

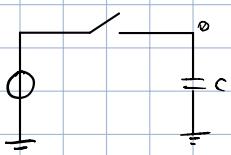
Quando $V_{in} = 0,7V$ siamo a bordo di conduzione e il diodo si accende



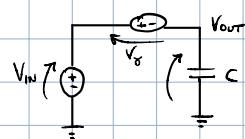
V_{out} è distante $0,7$ da curva di V_{in} . Quando raggiunge il $10V$ muovimento, si accende per un attimo.

Circuito di raddrizzamento e livellamento senza resistenza di carico

Per $V_{in} < 0,7$



Per $V_{in} \geq 0,7$



NB: non essendoci resistenza

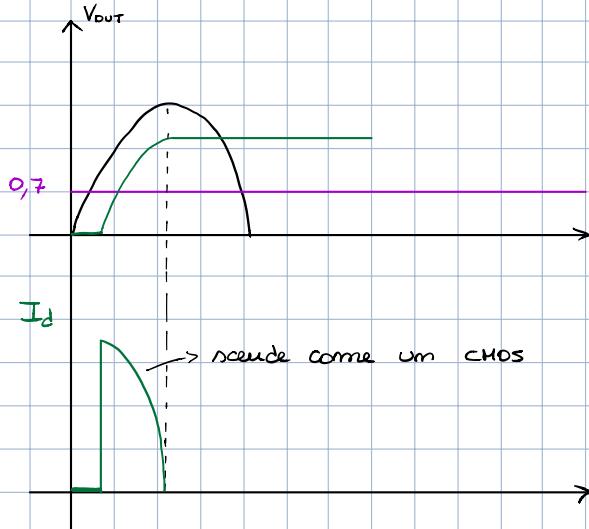
$R_{eq} = \emptyset \Rightarrow t = \emptyset \Rightarrow$ carica istantanea di C

$$V_{out} = V_{in} - V_f = V_{in} - 0,7V$$

Raggiunto il picco im V_{IN} , per far scendere V_C e mantenere il diodo ON \rightarrow bisogna portare via carica in verso opposto \rightarrow cambiare verso della corrente (IMPOSSIBILE!).

Quindi dall'apice in poi il diodo è nuovamente OFF e quindi la V_{OUT} rimane costante. Ogni volta che la V_{IN} torna a 10V, il diodo si accende per un attimo ma senza notevoli variazioni.

Questo circuito è detto **Allungatore di picco** e memorizza nel condensatore l'ingresso massimo, V_{TH} .



$$I_{MAX} = C \frac{dV_C}{dt} \Big|_{MAX} = C \cdot \frac{d}{dt} (10V \cdot \sin(2\pi ft)) \\ = C \cdot 10V \cos(2\pi ft) \\ t_{max} = 1$$

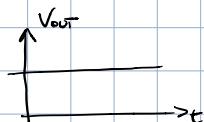
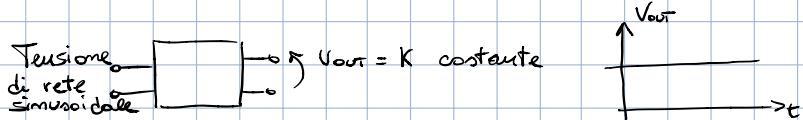
↑ CORRENTE DI SPUNTO

$$P_{MAX} = 0,7V \cdot I_{MAX} = 0,7 \cdot 1\text{mF} \cdot 10V \cdot 2\pi \cdot 1\text{MHz} = 44\text{ mW}$$

L'allungatore di picco serve per realizzare un generatore di tensione stabile (alimentatore).

L'ALIMENTATORE

Il suo scopo è quello di erogare potenza ad un certo carico



La tensione di rete è sinusoidale con ampiezza 220V !! (ma è valore di picco)
RMS

il picco è 310V ($= 220 \cdot \sqrt{2} \text{ V}$) e con frequenza 50 Hz. Un buon alimentatore deve fornire un valore in uscita quanto più stabile e magari anche regolabile.

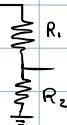
BLOCCHI



RIDUZIONE DELL'AMPIEZZA

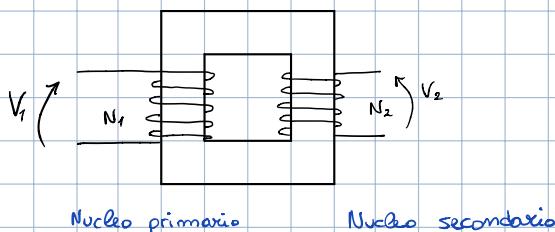
Banalmente: partitore di tensione con tanta potenza dissipata sulle resistenze; la soluzione sarebbe il trasformatore ideale di potenza

310V



TRASFORMATORE

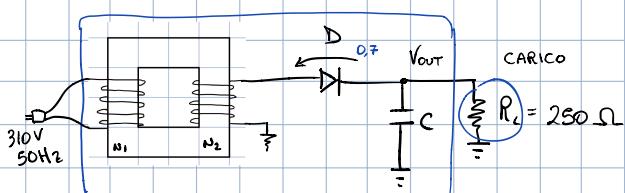
Si basa su leggi di induzione elettromagnetica, non funziona in continua ma in corrente alternata che genera un campo confinato.



Potenza im primario = im secondario

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2}$$

Progettazione con un diodo D: RADDIZZATORE A SINGOLA SEMIONDA



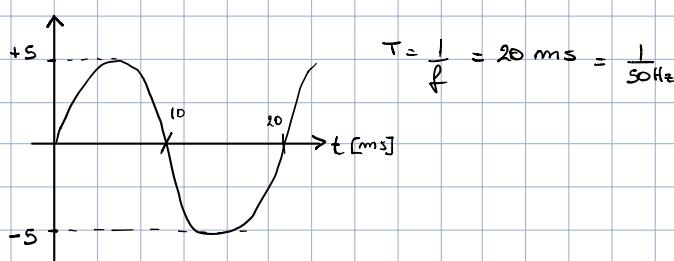
- $V_{out} = 5V$
- $C \rightarrow \text{Ripple} < 100\text{mV}$, R_L fissata

DEF: Ripple Fluttuazione tra carica e scarica del condensatore

Gli unici parametri che possiamo scegliere sono C e il rapporto spire $\frac{N_1}{N_2}$.

Vogliamo 5V im OUT e abbiamo 310V im ingresso \Rightarrow se $\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} \rightarrow \frac{310V}{5V} = \frac{N_1}{N_2} \approx 60$
così il rapporto spire abbassa di un fattore 60 la tensione

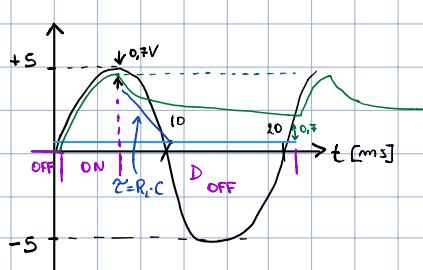
$$\Leftrightarrow V_2 = \pm 5V \sin(2\pi ft)$$



Circuito di raddrizzamento e livellamento con resistenza di carico

Studiamo il circuito in presenza della R_L , l'andamento dell'uscita è:

- ipotesi C scarico (0V)

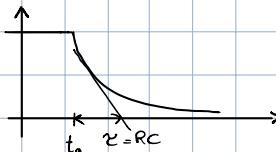
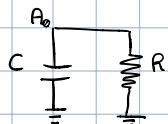


La soglia è a 0,7V, prima il C è scarico.

Raggiunta la soglia si carica istantaneamente il C e il diodo si stacca. Senza il C resterebbe carico; in questo caso si scarica sulla R_L e V_C inizia a scendere fin quando non si troverà, nella semionda positiva, a distanza 0,7V \Rightarrow si riaccende D e si ricarica C. Questo carica e scarica costituisce la fase di RIPPLE.

Facendo lo C grande, e si alza e la fluctuazione carica-scarica (RIPPLE) diminuisce.

Determiniamo l'entità della scarica:



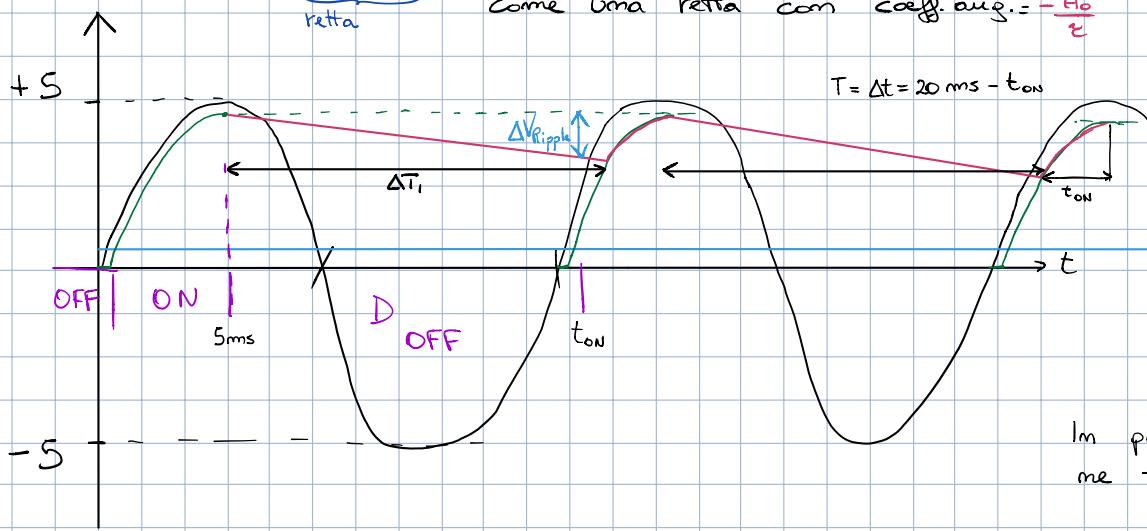
$$V_c(t) = V_0 e^{-t/\tau}$$

In questo caso il transitorio parte a 5ms $\Rightarrow V_c(t) = V_0 e^{-\frac{(t-5ms)}{\tau}}$
 L'> metà seconda

$$\Delta V_{\text{RIPPLE}} \Rightarrow (\textcircled{C} \uparrow) \Rightarrow \tau > T$$

Com'è una τ grande allarga il ripple e posso approssimare l'esponenziale a I-Taylor:

$e^{-x} = (1-x + \dots)$, $A_0 \left(1 - \frac{t}{\tau}\right)$, nei primi istanti possiamo vedere l'esponenziale come una retta con coeff. ang. $= -\frac{A_0}{\tau}$



In prima approssimazione
 poniamo $t_{\text{on}} \approx 0$

$$\Delta V_{\text{Ripple}} = \Delta T \cdot \frac{\partial V}{\partial t} = (T - t_{\text{on}}) \cdot \frac{4,3V}{R_L \cdot C} \approx \frac{T \cdot 4,3}{R_L \cdot C} = 100 \text{ mV}$$

$$C = \frac{4,3V \cdot 20 \text{ ms}}{250 \Omega \cdot 100 \text{ mV}} = 4 \text{ mF}$$

numero irrealistico da realizzare con condensatori classici

Un circuito del genere è poco utile perché non sfrutta la seconda mezza onda (tempi più lunghi)

RADDRIZZATORE A DOPPIA SEMIONDA

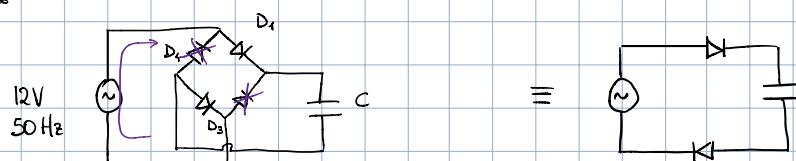


$$R_L = 1 \text{ k}\Omega$$

C \rightarrow 1% Ripple

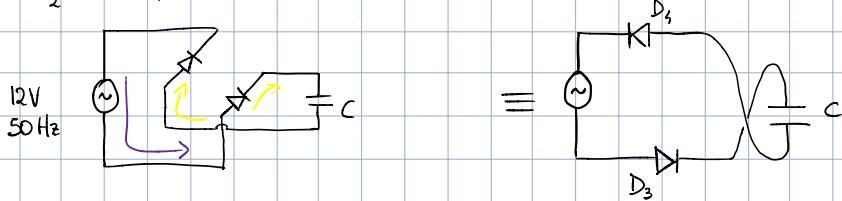
$$\frac{N_1}{N_2} = 26$$

$$V_2 = \frac{310}{26} = 12V$$



Prima semionda: solo D1 e D3 accesi
 $(0 \leq t \leq \frac{T}{2})$

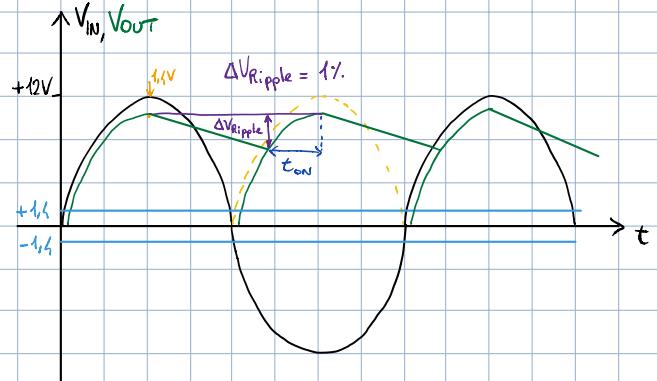
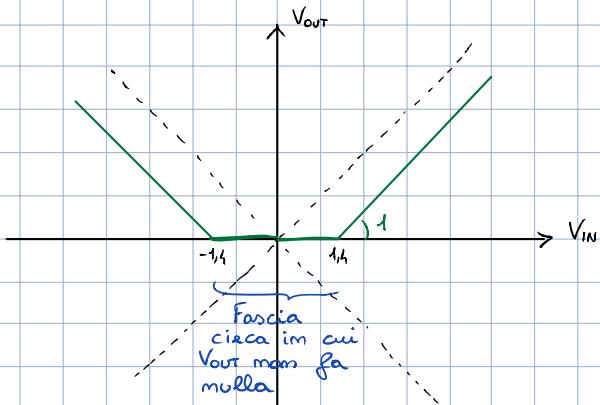
Seconda negativa: voglio preservare il verso della corrente della I fase ($\frac{T}{2} < t < T$)



Dal punto di vista energetico è molto più efficiente perché non si buttano via le semionde negative.

DIFETTO: Diodi in serie, perdita di $(0,7 \cdot 2)V$

CARATTERISTICA STATICA



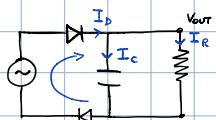
$$\text{Ripple: } \Delta V = \frac{V_p}{2} \cdot \frac{\Delta T}{T} \cdot (12 - 1,4) [V] \quad \text{posso approssimare } \Delta T = \frac{T}{2} \text{ distanza tra picchi, è un caso pessimistico quindi OK!}$$

$$= 1\% V_p \quad (\text{tensione picco})$$

$$C = \frac{T}{2} \cdot \frac{V_p}{R_L \cdot \frac{1}{100} V_p} = \frac{T}{2} \cdot \frac{100}{R_L} = 10 \text{ ms} \cdot \frac{100}{1k\Omega} = \frac{1000 \text{ ms}}{1000 \Omega} = 1 \text{ mF}$$

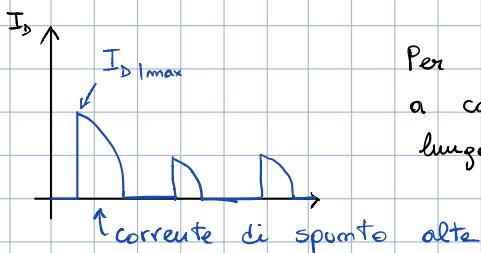
•) Corrente nei diodi

L'aumento della corrente è: 0 da spenti e somma di due contributi da acceso, $I_D = I_c + I_R$

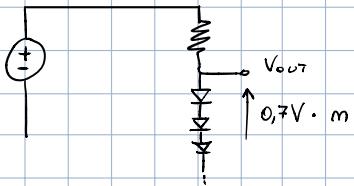


$$I_D = \frac{V_{out}}{R} + C \frac{dV_{out}}{dt} \quad \begin{array}{l} \text{il secondo termine è quello dominante, soprattutto nel} \\ \text{primo ciclo (condensatore scarico)} \end{array}$$

A $t = 0$ ho picco e scarica, poi dopo ho meno corrente del picco (coseno + zero)



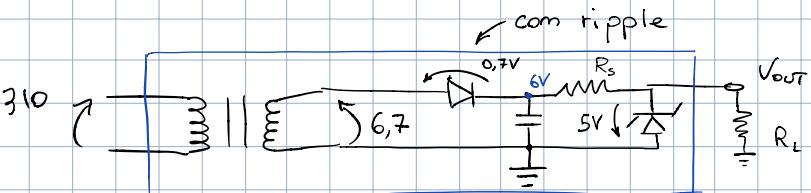
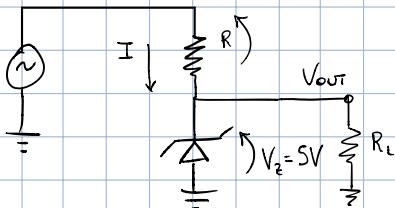
Per un momento solo (accensione) devo dimensionare diodi grossi a causa della C grande che poi presenterà anche un transitorio lungo allo spegnimento (spento, R piccole in parallelo risolvono).



Posso stabilizzare l'uscita impilando tanti diodi che fissano V_{out} a un multiplo di 0,7V.

Lo svantaggio è che dovrò dimensionare il circuito a multipli di 0,7.

Altrimenti, col diodo Zener: finora, col suo breakdown, il valore che voglio

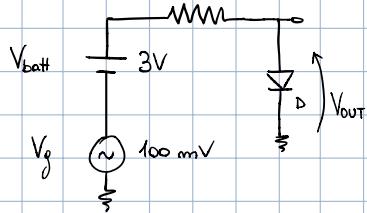


Circuito di raddrizzamento e livellamento con stabilizzatore

R_s è fondamentale per accomodare la DDP tra lo Zener e l'alimentazione. Lo Zener, con i suoi 5V, stabilizza l'uscita. Più R_s è piccola, maggiore è la I_{out} che esce e la I_z : $I_R = I_{out} + I_z$; $I_{out} = 5V/R_s$; devo calcolare la tensione da dare a monte tenendo conto della minima corrente da erogare in uscita dimensionando R_s per avere lo Zener acceso.

Risoluzione di circuiti con diodi

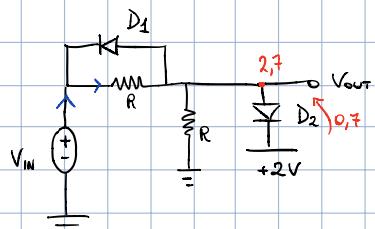
Il principio di sovrapposizione degli effetti non vale coi diodi, perché sono non lineari. Posso linearizzarli e per decidere quale modello linearizzato adottare bisogna avere delle informazioni a priori.



La batteria accende il diodo, il generatore no (per il PSE)

- 1) Prima consideriamo i segnali di polarizzazione (es. batteria) che accendono il diodo
- 2) Poi, a diodo acceso, consideriamo il sottocircuito semplificato senza polarizzazione e valutiamo la variazione di segnale

ESERCIZIO 2 diodi

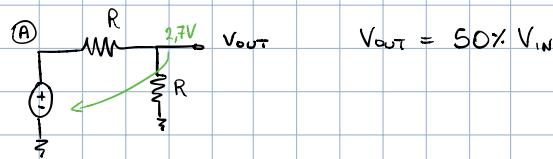


a) Caratteristica statica $V_{out} = f(V_{in})$

b) Plot $V_{out}(t)$, $V_{in} = 10 \sin(2\pi ft)$, $R = 1 \text{ k}\Omega$, $f = 1 \text{ kHz}$

a) $V_{in} > 0 \rightarrow D_1 \text{ off}, D_2 \text{ può essere sia on che off}: \text{quando si accende cadono } 0,7 \text{ V e fissano } 2,7 \text{ V}$

Per V_{in} piccola $\rightarrow D_2 \text{ off}$ e il circuito eq. è:

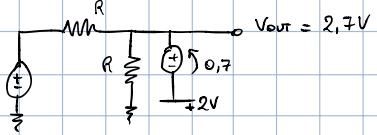


C		B	
-1,1	0	5,1	0
ON	OFF	OFF	ON
D1			
D2	OFF	OFF	ON

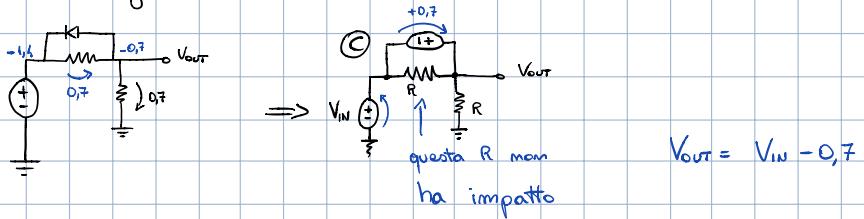
$V_{out} = \frac{1}{2} V_{in}$ $V_{out} = 2,7 \text{ V}$

Per accendere D_2 devo avere $V_{out} = 2,7 \text{ V} = \frac{1}{2} \cdot V_{in} \Rightarrow V_{in} = 5,4 \text{ V}$

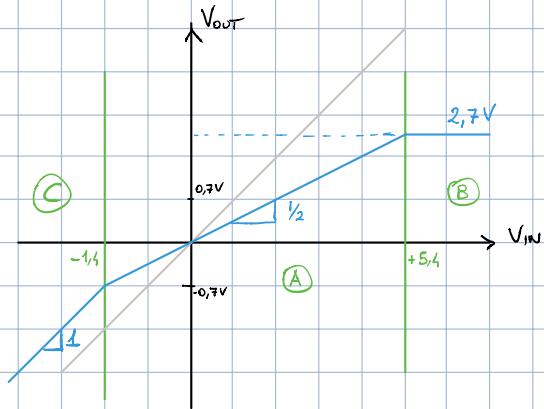
B)



A tensione negativa, D_2 è spento:



b)



Considero l'impresso V_{IN} :

