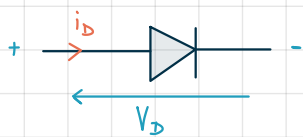
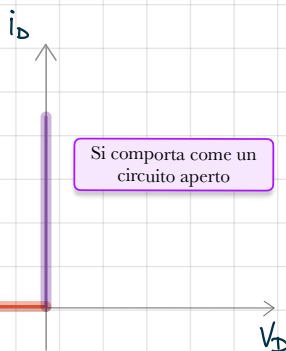


## DIODO IDEALE



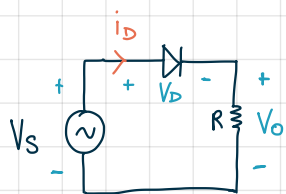
Si comporta come un cortocircuito



Si comporta come un circuito aperto

$$\begin{cases} V_D < 0 \Rightarrow i_D = 0 \\ i_D > 0 \Rightarrow V_D = 0 \end{cases}$$

## HALF WAVE RECTIFIER



$$LKT: V_O = V_S - V_D$$

SEMIONDE POSITIVE

Diodo  $\rightarrow$  C.C.  $\rightarrow V_D = 0$

$$\Rightarrow V_O = V_S$$

SEMIONDE NEGATIVE

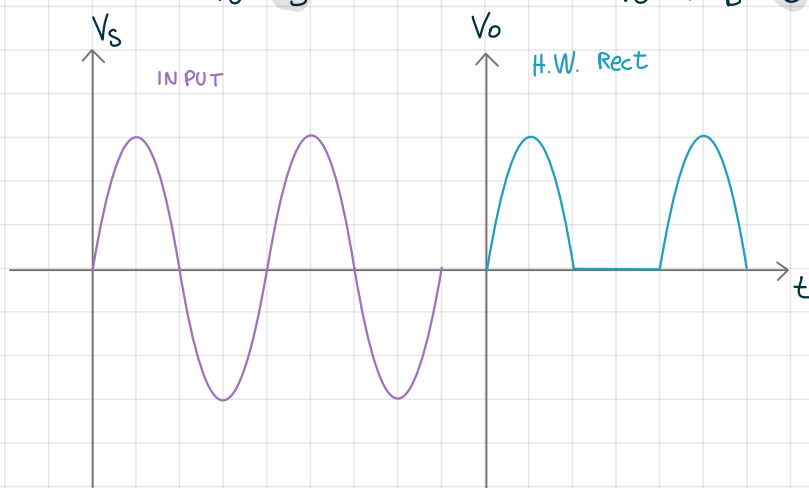
Diodo  $\rightarrow$  C.A.  $\rightarrow i_D = 0$

$$= V_O = R \cdot i_D = 0$$

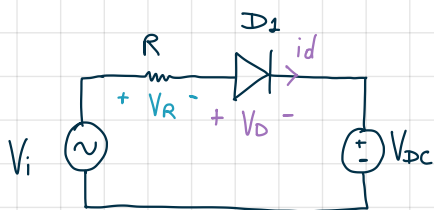
$$V_{media} = \frac{V_{max}}{\pi}$$

dalla media integrale

L'ha of wave rectifier segue  $V_{in}$  quando la semionda è positiva mentre è zero quando la semionda è negativa.



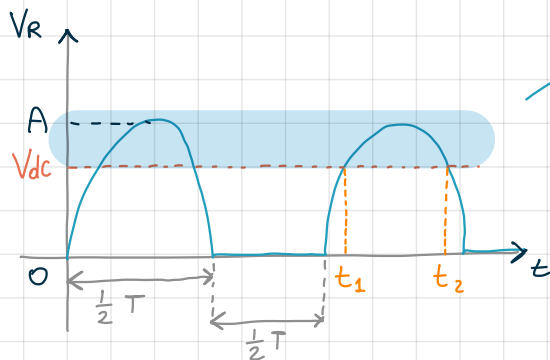
## GIT in serie ad un Diodo



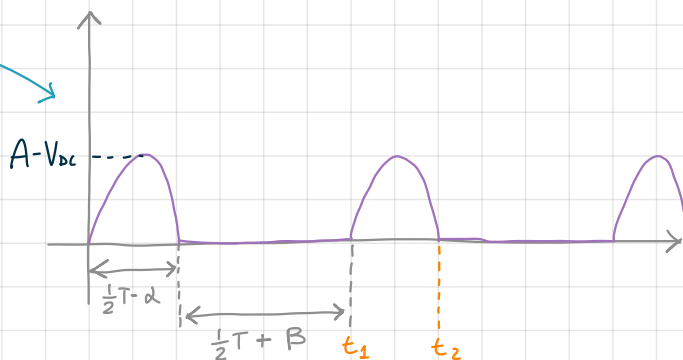
Se  $V_i(t_0) > V_{DC} \Rightarrow i_D$  scorre nel senso del diodo

Se  $V_i(t_0) < V_{DC} \Rightarrow i_D$  scorre nel senso OPPOSTO al diodo quindi il diodo lo blocca.

$\Rightarrow$  Normalmente avremmo:

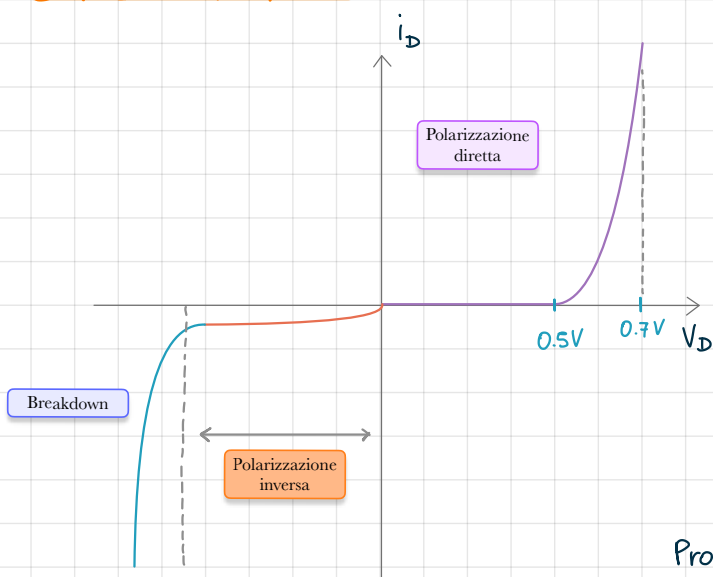


$\Rightarrow$  Con il GIT in serie abbiamo



Il GIT è come se **tagliasse** il segnale da un'ampiezza in poi; infatti solo la parte di segnale superiore al valore del GIT passerà attraverso il diodo.

# DIODO REALE



## RELAZIONE CARATTERISTICA

- 1 - circuiti integrati
- 2 - circuiti discreti

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

Tensione Diodo

TENSIONE TERMICA

$$V_T = K \cdot \frac{T}{q}$$

Temperature  
Carica elettrone

Boltzmann

CORRENTE DI SATURAZIONE

Proporzionale all'AREA del diodo  
Se  $A_d$  raddoppia  $\Rightarrow I_S$  raddoppia

Proporzionale alla TEMPERATURA  
Se  $T = 5T \Rightarrow I_S = 2 I_S$

## Considerazioni

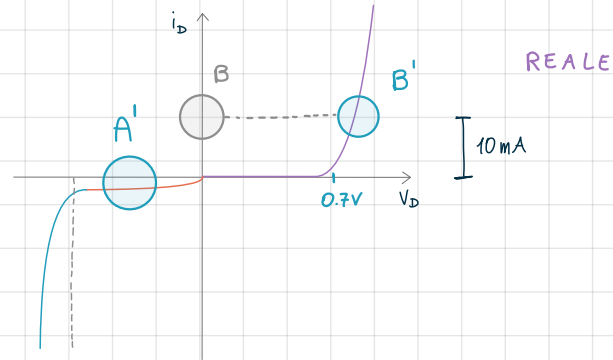
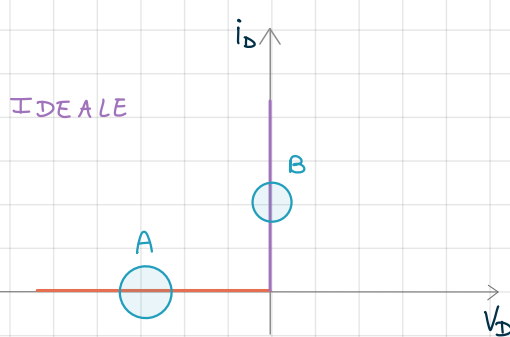
- Cosa succede quando la corrente sul diodo  $i_D \gg I_S$ ?

$$i_D = I_S \left( e^{\frac{V_D}{n V_T}} - 1 \right) \text{ se } i_D \gg I_S \Rightarrow e^{\frac{V_D}{n V_T}} \gg I_S \Rightarrow "1" \text{ e' trascurabile}$$

$\Rightarrow i_D(V_D) = I_S e^{\frac{V_D}{n V_T}}$  Andamento esponenziale  $\Rightarrow$  Per piccole variazioni di  $V_D$  si hanno grandi valori di  $i_D$

- $V_D \ll 0 \Rightarrow e^{\frac{V_D}{n V_T}} \rightarrow 0 \Rightarrow i_D = I_S (-1) = -I_S$  siccome  $I_S \triangleq 10^{-14} \Rightarrow$  C.A.

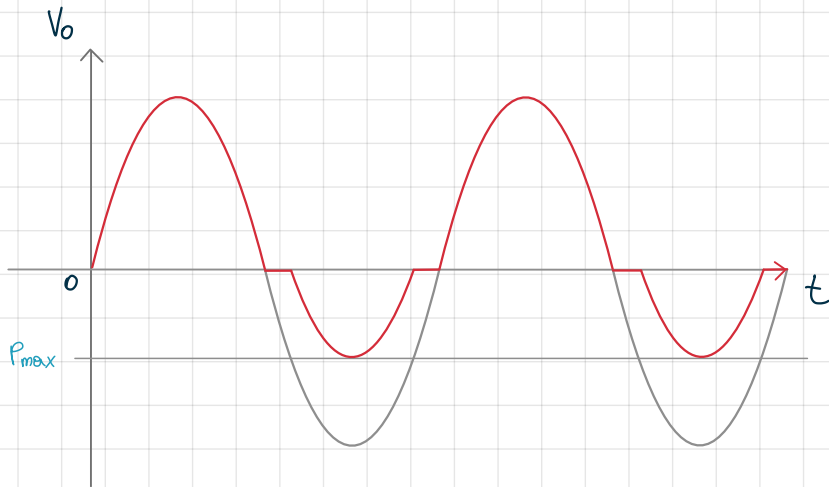
## APPROSSIMARE I DIODI



L'errore che facciamo approssimando il diodo reale a quello ideale ha senso **solo se facciamo un errore <1%**.

Guardando i grafici, l'area B differisce dall'area B' di 0.7V per una corrente che va da 0.1mA a 10mA. Di conseguenza dobbiamo avere tensioni dell'ordine delle **centinaia di volt** per poter fare l'approssimazione.

## Regione di Breakdown

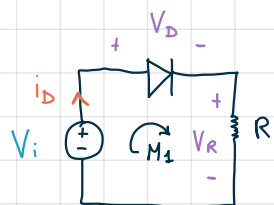


Quando siamo nella regione di breakdown, e quindi superiamo i limiti di voltaggio (in direzione opposta al diodo), il diodo non riesce più a bloccare la corrente e la lascia passare.

Osserveremo un grafico simile a quello visto nel caso in cui avevamo un GIT in serie, che tagliava il segnale in ampiezza, ma “al contrario”:

# RISOLVER CIRCUITI CON DIODI

## METODO GRAFICO

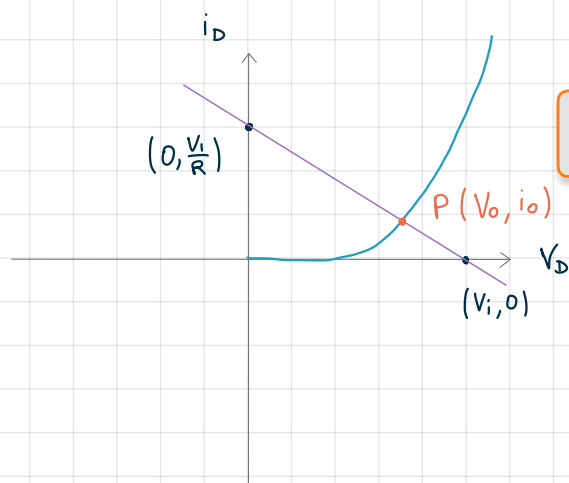


$$\text{LKT}_{M_1}: V_i = V_D + V_R \Rightarrow V_i = V_D + R \cdot i_D$$

Rel car diodo

$$\begin{cases} V_D < 0 \Rightarrow i_D = 0 \\ i_D < 0 \Rightarrow V_D = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} i_D = 0 \Rightarrow V_D = V_i \\ V_D = 0 \Rightarrow V_i = R \cdot i_D \Rightarrow i_D = \frac{V_i}{R} \end{cases}$$

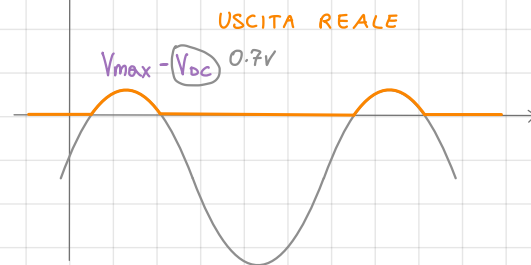
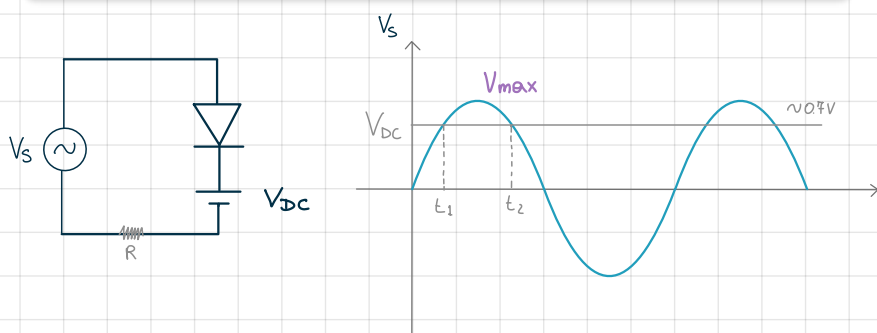
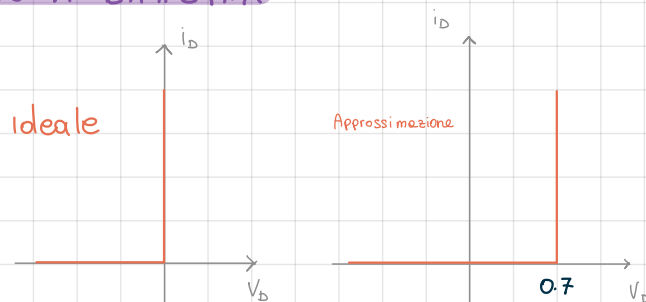
Due punti



Voltaggio e corrente operativi per il diodo

## APPROSSIMAZIONE DEI DIODI: MODELLO A BATERIA

Abbiamo visto come se poniamo in serie un GIT questo "contrast" il passaggio di corrente attraverso il diodo: infatti la corrente passerà attraverso il diodo solo se la tensione in entrata è maggiore rispetto a quella del GIT. Possiamo usare questa costruzione a nostro vantaggio per modellare il diodo reale con un diodo ideale.



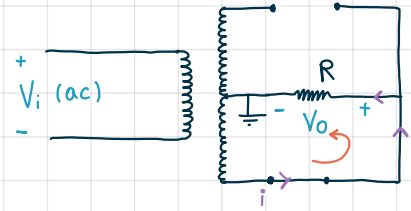
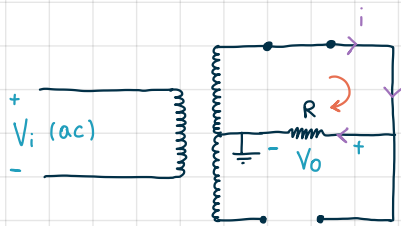
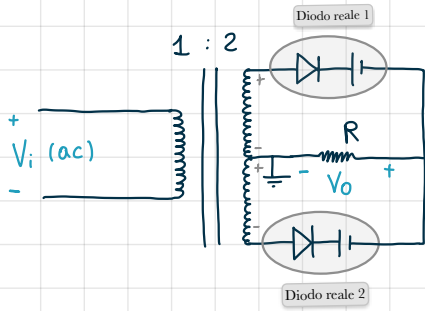
ERRORE:  $\pm 0.1V$  in  $0.1mA - 10mA$

# FULL WAVE RECTIFIER

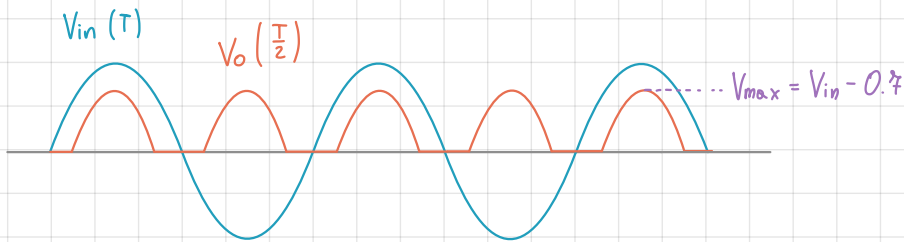
## A PRESA CENTRALE

Semionda positiva

Semionda negativa



da corrente su R scorre sempre nello stesso verso!



$$V_o \text{ ha } T = \frac{T}{2} \Rightarrow f' = 2f \Rightarrow V_{media} = \frac{2V_{in}}{\pi} (\text{ideale}) = \frac{2(V_{in} - 0.7)}{\pi} (\text{Reale})$$

## Valori massimi

### CORRENTE $\Rightarrow$ CONDUZIONE

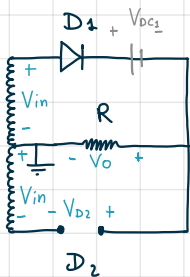
$$i_R = \frac{V_o}{R} \text{ ma } LKT_{M1}: V_o' = V_{D1} - V_{DC} \Rightarrow i_{Rmax} = \frac{V_{max} - 0.7}{R}$$

$$LKT_{M2}: V_o'' = V_{D2} - V_{DC}$$

### TENSIONE $\Rightarrow$ Polarizzazione inversa

### PEAK INVERSE VOLTAGE

E' il voltaggio massimo che compare sul diodo in polarizzazione inversa



$$M_2: V_{D2} = V_o + V_{in} \text{ ma } M_1: V_{in} = V_o \Rightarrow V_{D2} = 2V_{in}$$

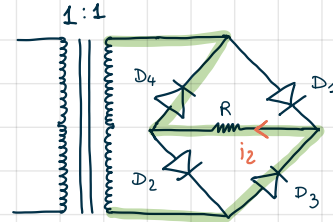
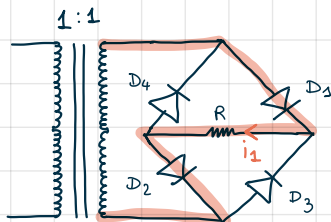
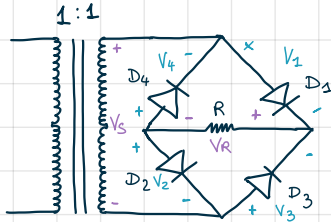
IDEALMENTE

$$\text{Caso reale: } V_{in} = V_{DC1} + V_o \Rightarrow V_o = V_{in} - V_{DC1} \Rightarrow V_{D2} = 2V_{in} - V_{DC1}$$

CASO REALE

0.7V

# FULL BRIDGE RECTIFIER



La corrente su R2 scorre sempre nello stesso verso

Semiciclo Positivo (1)

$$V_S - V_{D2} - V_R - V_{D1} = 0 \Rightarrow V_0' = V_R' = V_S - V_{D2} - V_{D1} = V_S - 0.7 - 0.7 = V_S - 1.4V$$

Semiciclo Negativo (2)

$$V_S - V_{D4} - V_R - V_{D3} = 0 \Rightarrow V_0'' = V_R'' = V_S - V_{D3} - V_{D4} = V_S - 1.4V$$

Valori massimi

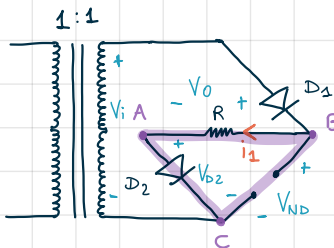
CORRENTE  $\Rightarrow$  CONDUZIONE

$$i_R = \frac{V_R}{R} \text{ ma LKT: } V_S - V_{D1} - V_R - V_{D2} = 0 \Rightarrow V_R = V_S - V_{D1} - V_{D2} = V_S - 2V_{DC}$$

$$= \frac{V_S - 2V_{DC}}{R} = \frac{V_S - 1.4V}{R} \quad i_{max}$$

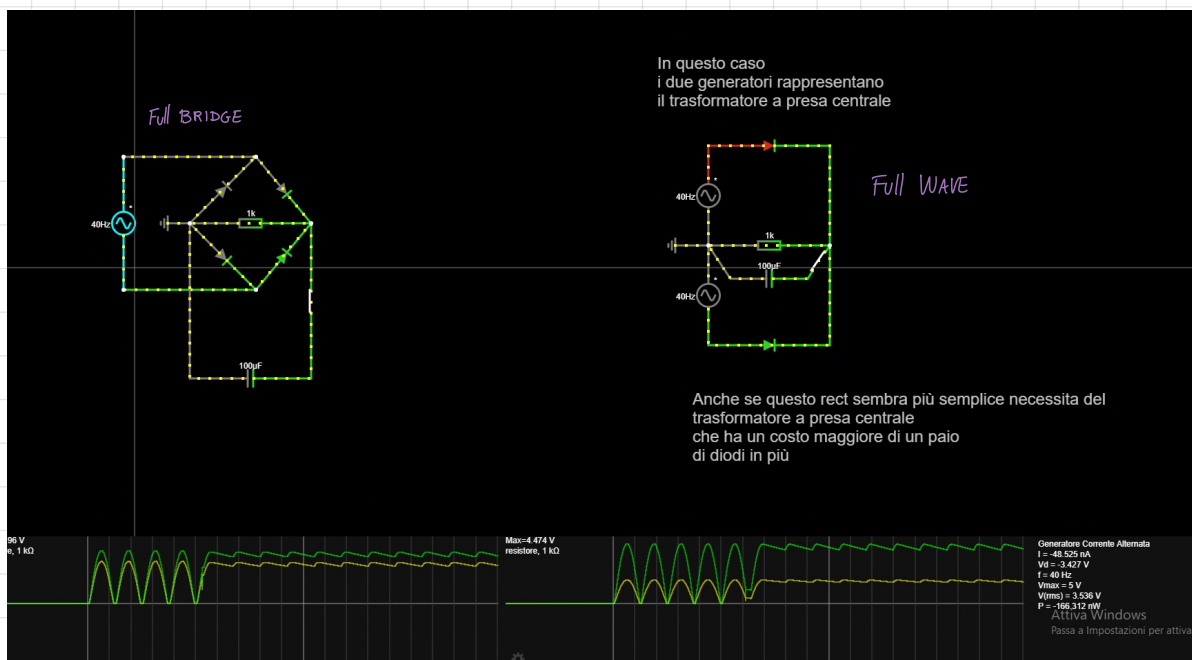
TENSIONE  $\Rightarrow$  Polarizzazione inversa

PEAK INVERSE VOLTAGE



$$LKT_{ABC}: V_{ND} = V_0 + V_{D2} = V_{in} - 2V_{DC} + V_{DC} = V_{in} - V_{DC} = V_{in} - 0.7V$$

$V_{max}$



## FILTRO PEAK RECTIFIER

Questo filtro consiste essenzialmente in un **condensatore in parallelo** alla resistenza di carico, ponendo un condensatore in questa configurazione, quando siamo nella semionda positiva, il diodo fa passare la corrente che **carica** il condensatore; quando siamo nella semionda negativa, oppure quando siamo in una regione di voltaggio al di sotto della soglia del diodo (diodo reale) il condensatore si **scarica** sulla resistenza di carica.

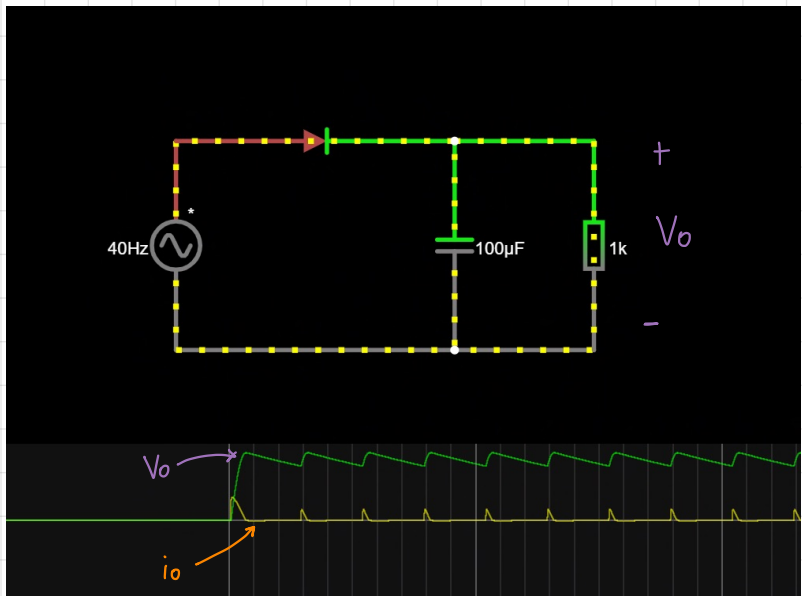
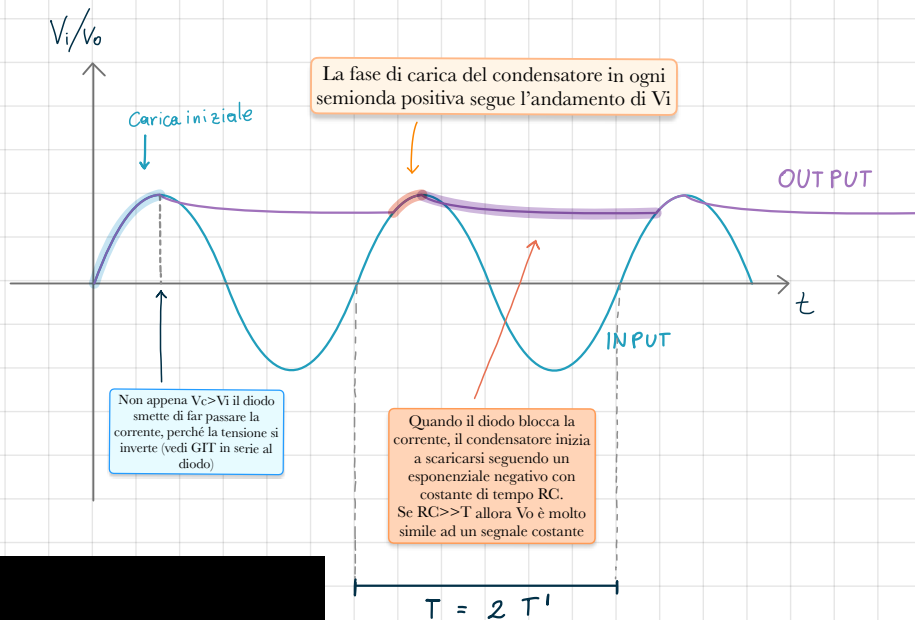
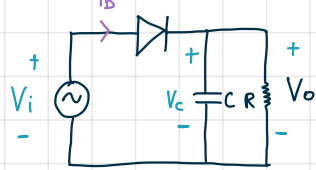
Sia la scarica del condensatore è descritta da esponenziali decrescenti con **costante di tempo**  $\tau = RC$ ; capiamo quindi che il tempo di scarica del condensatore è dettato sia dalla capacità del condensatore stesso sia dal carico collegato ad esso.

È quindi evidente che la costante RC debba essere **molto maggiore** del periodo della sinusoide in ingresso; in questo modo il condensatore impiega molto tempo a scaricarsi, rendendo il segnale in uscita quanto più costante possibile.

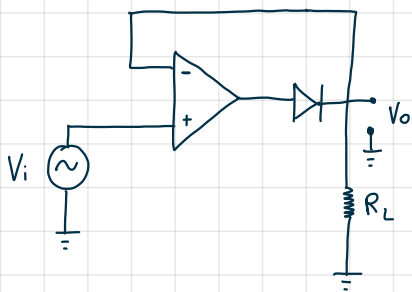
Infatti, se la costante RC fosse troppo piccola, il condensatore si scaricherebbe molto velocemente, andando ad evidenziare la “non costanza” dell’input.

### FILTRO CON HW Rect

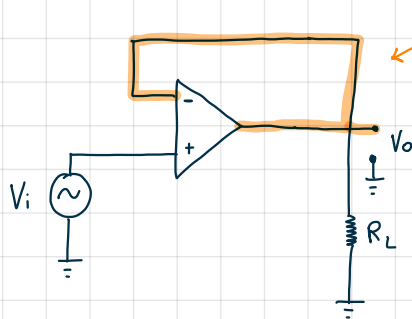
$$T_o T' = \frac{1}{2} T$$



# SUPERDIODO - PRECISION RECTIFIER



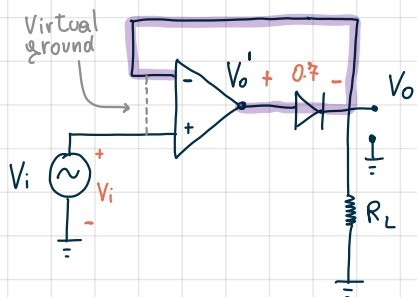
## SEMIONDA POSITIVA



Non è altro che la config. "BUFFER"  $\Rightarrow A = 1$

$$\Rightarrow V_o = V_i$$

INFATTI  $\downarrow$



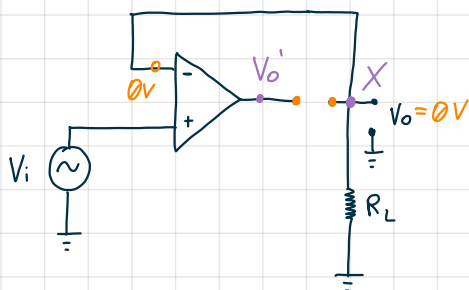
$$V_o = V_o' - 0.7 \Rightarrow V_o' = V_o + 0.7V$$

Dalla teoria degli opamps:  $V_o' = A_{OL} \cdot (V_+ - V_-)$

$$\Rightarrow A_{OL} (V_+ - V_-) = V_o + 0.7V \Rightarrow (V_+ - V_-) = \frac{V_o + 0.7V}{A_{OL}}$$

Ma  $A_{OL} \approx 10^5 \Rightarrow V_+ - V_- = \frac{V_o + 0.7}{\infty} \approx 0 \Rightarrow V_+ = V_- \Rightarrow V_-$  è collegato a  $V_o \Rightarrow V_o = V_{in}$   
 $V_o$  segue l'input

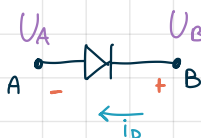
## SEMIONDA NEGATIVA



Se il diodo non conduce, l'opamp opera nella configurazione ad anello aperto  $\Rightarrow A = 10^5 / 10^6 \approx \infty$

Siccome il diodo non conduce in X abbiamo  $V_x = 0$ , e siccome  $V_-$  è collegato a X, anche  $V_- = 0$ .

Se il diodo non conduce vuol dire che:



$U_B > U_A$  ma nel nostro caso

$$V_x = V_B = 0 \Rightarrow U_A = V_o' < 0$$

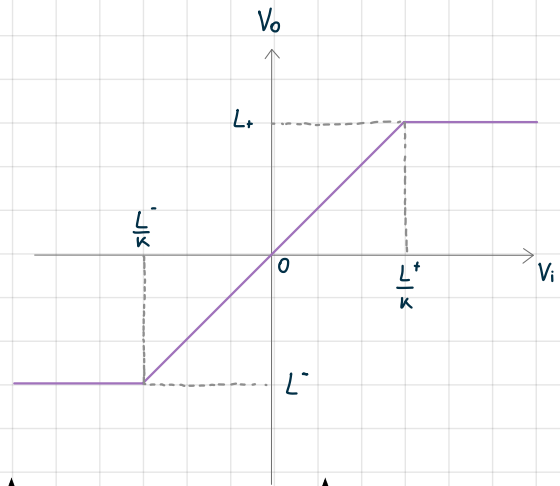
Questo è possibile solo quando l'input non invertente è **negativo**



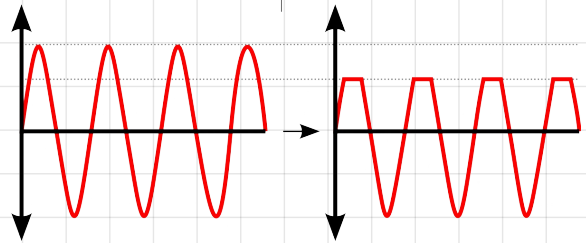
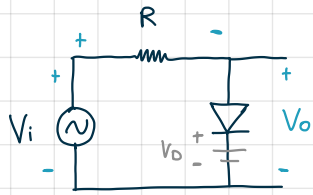
# LIMITATORI - CLIPPER

R.C. Ideale:

$$\begin{cases} V_o = K \cdot V_i & \text{per } V_o \in \left[ \frac{L^-}{K}; \frac{L^+}{K} \right] \\ V_o = L^+ & \text{per } V_o > \frac{L^+}{K} \\ V_o = L^- & \text{per } V_o < \frac{L^-}{K} \end{cases}$$



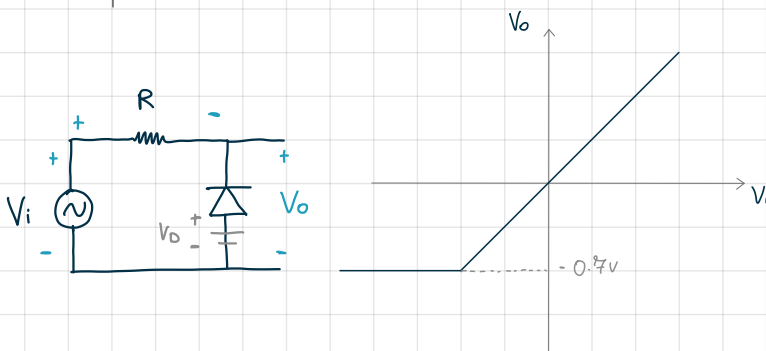
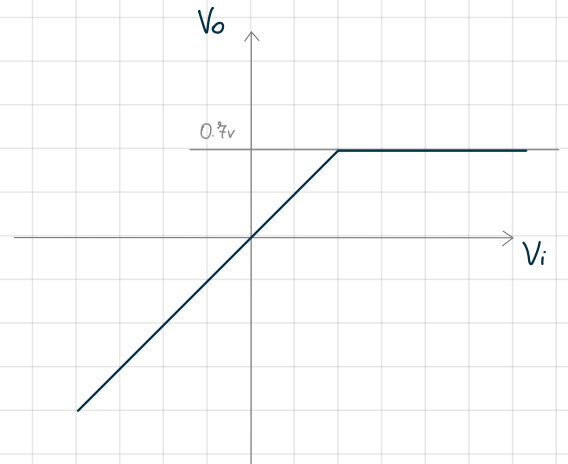
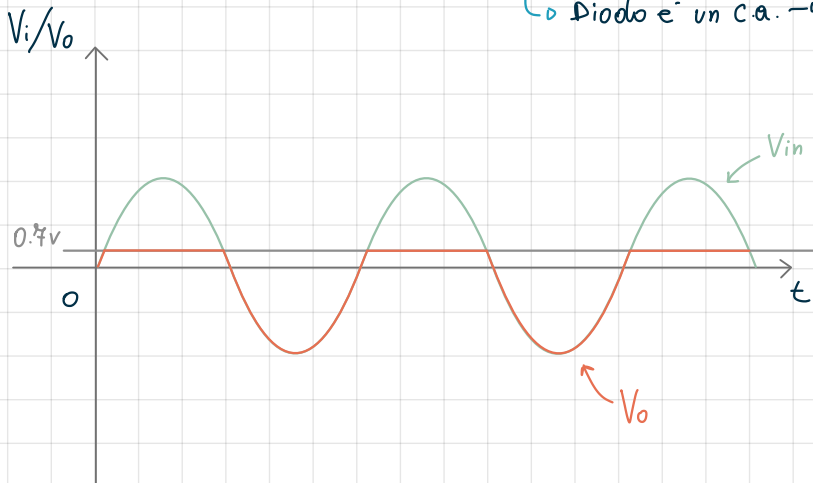
"Half Clipper"



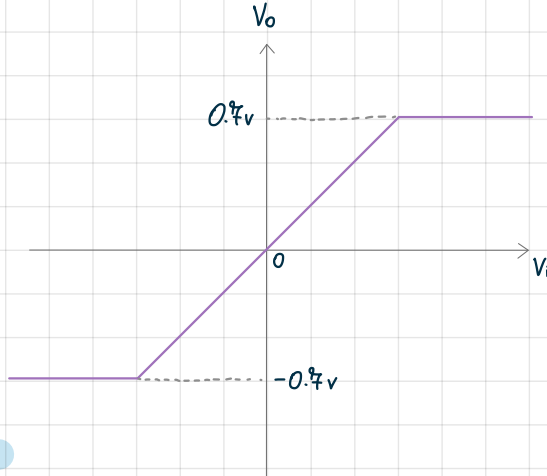
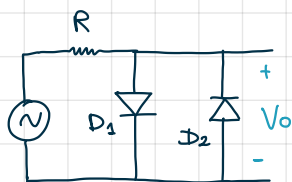
LKT:  $V_i = V_R + V_o$  ma  $V_o = V_D = 0.7v$

$$\begin{cases} \text{Per } V_i > V_D = 0.7v \leadsto V_o = 0 \text{ perche' il diodo diventa un c.c. } \Rightarrow \text{No d.d.p.} \\ \text{Per } V_i < V_D = 0.7v \leadsto V_o = V_i - V_R = V_i \end{cases}$$

↳ Diodo e' un c.a.  $\Rightarrow i_R \approx 0 \Rightarrow V_R \approx 0$



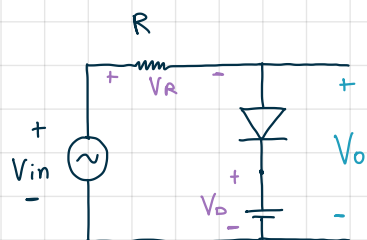
## "Double clipper"



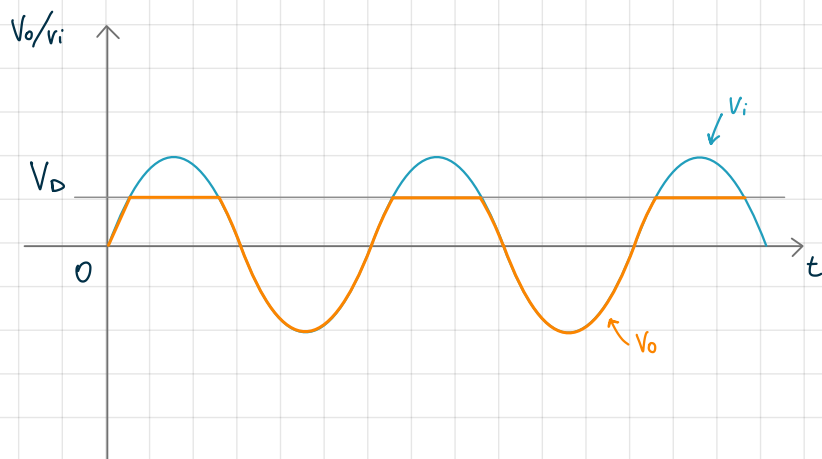
Questo clipper è sì "doppio" ma ha un enorme problema: è limitato ad un output di 0.7v.

Per risolvere questo problema basta mettere in serie al diodo un GIT

## "Half Clipper" con Tensione custom



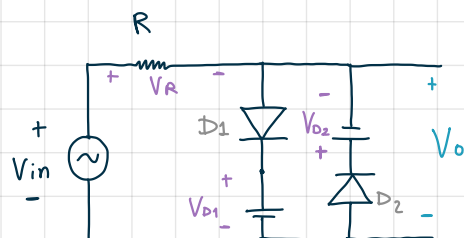
$$\begin{cases} V_{in} < V_D \leadsto \text{Il diodo blocca} \leadsto \text{C.A.} \Rightarrow V_0 = V_{in} - V_R = 0 \quad V_0 = V_i \text{ Variabile} \\ V_{in} > V_D \leadsto \text{C.C.} \leadsto V_0 = V_D \text{ Costante} \end{cases}$$



## "Double Clipper" con Tensione custom

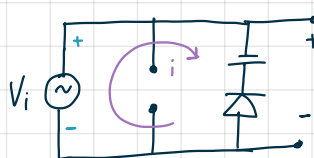
Supponiamo  $V_{D1} = V_{D2}$

orientato al contrario



•  $T_1$ :  $V_{in} < V_{D1} > -V_{D2} \leadsto D_1$  e' C.A. ma anche  $D_2$  e' C.A.

perché

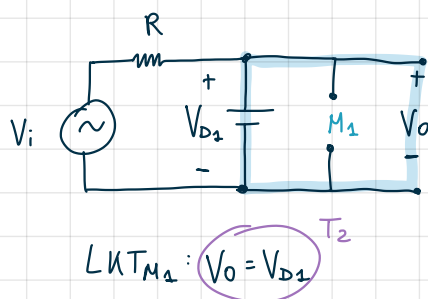


$D_2$  è al contrario quindi il diodo blocca  $\leadsto V_0 = V_i$   $T_1$

•  $T_2$ :  $V_{in} > V_{D1} > -V_{D2} \leadsto$  C.C.  $\rightarrow$  C.A.

•  $T_3$ :  $V_{in} < V_{D1}$ ,  $V_{in} > -V_{D2}$

$\hookrightarrow$  Caso analogo a  $T_1 \Rightarrow V_0 = V_i$   $T_3$



•  $T_4$ :  $V_{in} < V_{D1}$ ,  $V_{in} < -V_{D2}$

