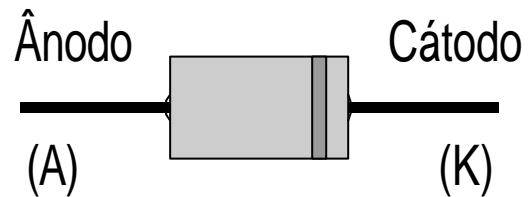


# O díodo

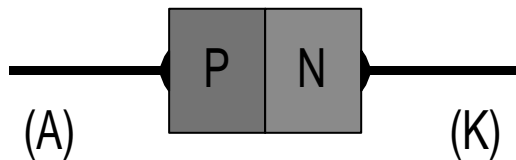


- Dispositivo de dois terminais
- Componente elementar não-linear utilizado em circuitos muito variados
- **Aplicações:** conversores de potência AC/DC – rectificadores, processamento de sinais, circuitos digitais, etc..
- **Tipos:** díodos de “galena” ( primitivos receptores de rádio); díodos de vácuo (válvulas de vácuo); díodos de junção (materiais semicondutores: silício, germânio, etc..)

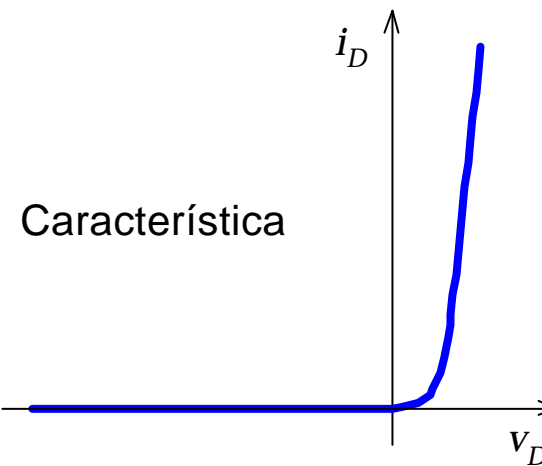
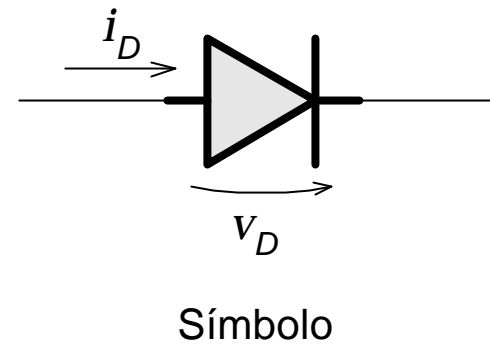
# O díodo



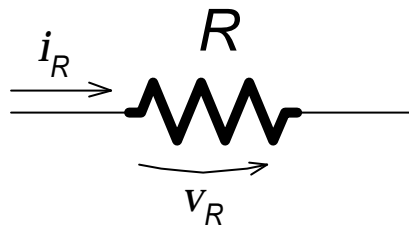
Díodo de utilização corrente



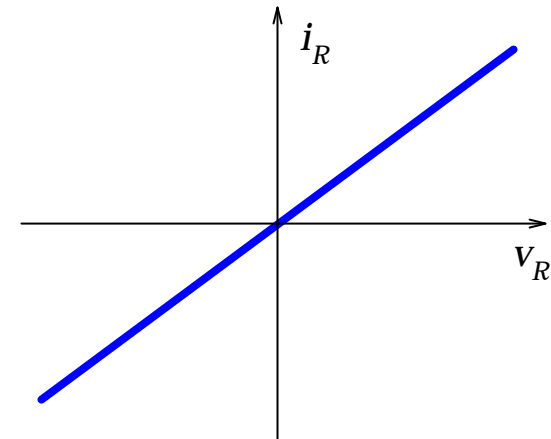
Junção *pn*



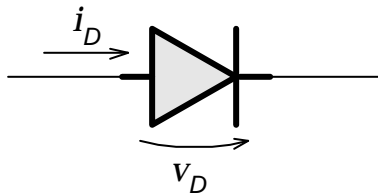
## Resistência – dispositivo linear



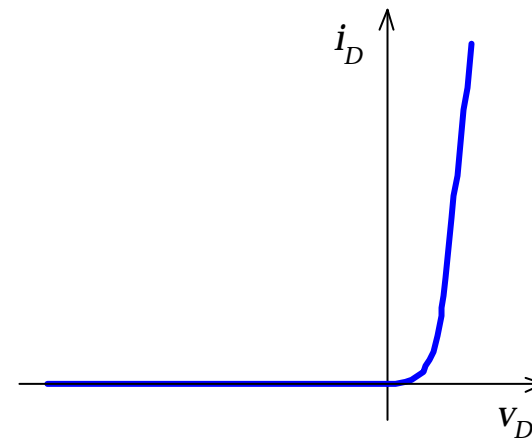
$$i_R = \frac{V_R}{R}$$



## Díodo – dispositivo não linear

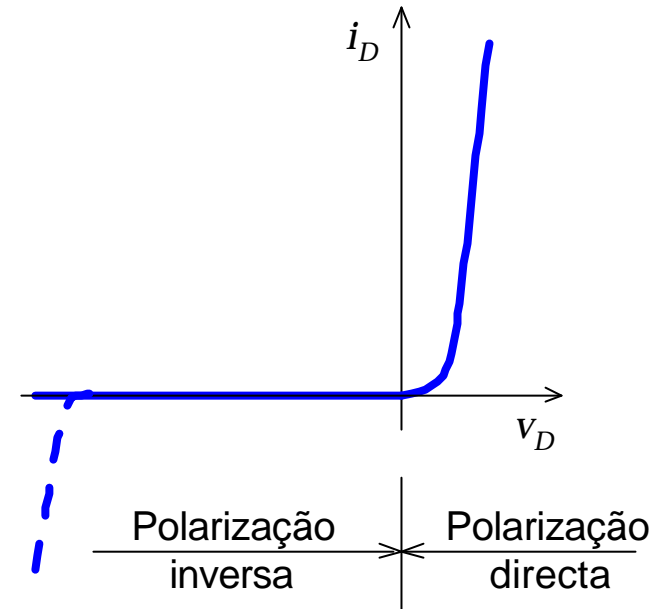


$$i_D = I_S \cdot (e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1)$$



## Característica do díodo

- relação entre a corrente e a tensão no díodo,  $i_D(v_D)$
- se  $v_D > 0$  – díodo polarizado directamente
- se  $v_D < 0$  – díodo polarizado inversamente
- $I_s$  – corrente de saturação inversa ( $10^{-9}$  @  $10^{-15}$ )
- $V_T$  – tensão térmica
- $K$  – constante de Boltzmann ( $1,38 \cdot 10^{-23}$  J/°K)
- $T$  – temperatura absoluta ( $0^\circ\text{C} \approx 273^\circ\text{K}$ )
- $q$  – carga do electrão ( $1,6 \cdot 10^{-19}$  Coulomb)

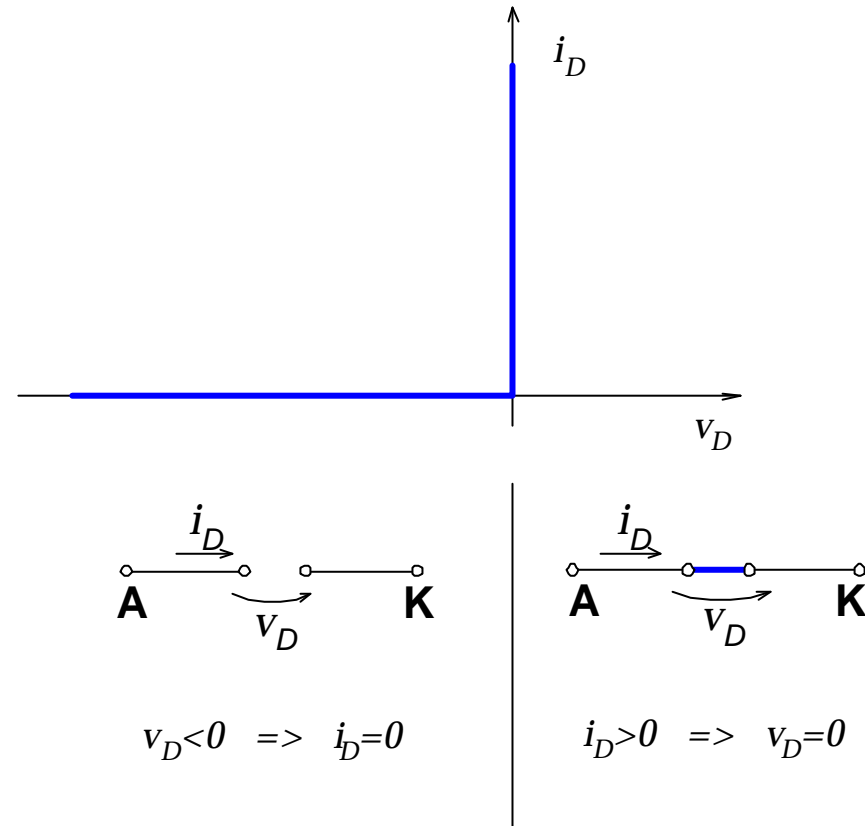


$$i_D = I_s \cdot \left( e^{\frac{v_D}{nV_T}} - 1 \right)$$

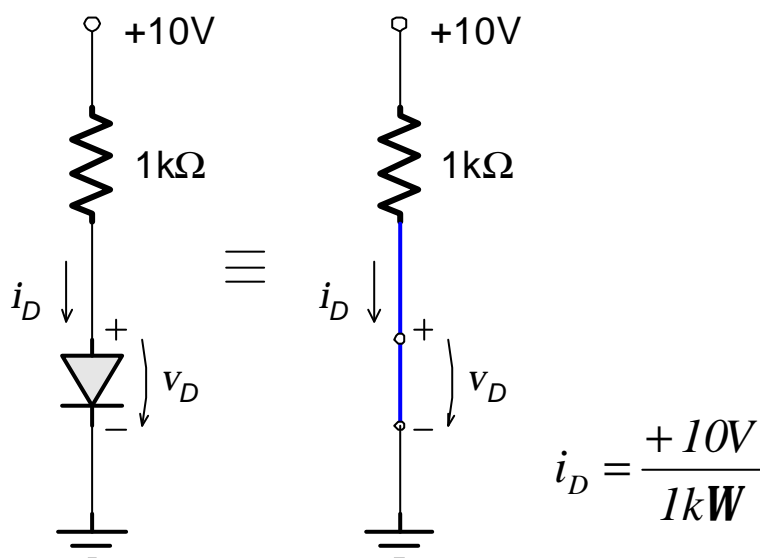
$$V_T = \frac{k \cdot T}{q}$$

# O díodo ideal

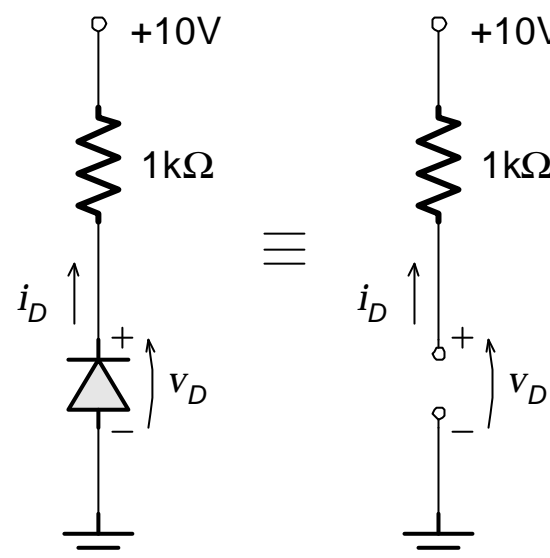
- Se aos terminais do díodo for aplicada uma tensão negativa não flui corrente no díodo; o díodo comporta-se como um **circuito em aberto**
- Se for “injectada” uma corrente positiva no díodo, do ânodo para o cátodo, obtém-se uma queda de tensão nula aos terminais do díodo; o díodo comporta-se como um **curto-circuito**.



## Exemplo de operação dos dois modos de funcionamento do díodo ideal

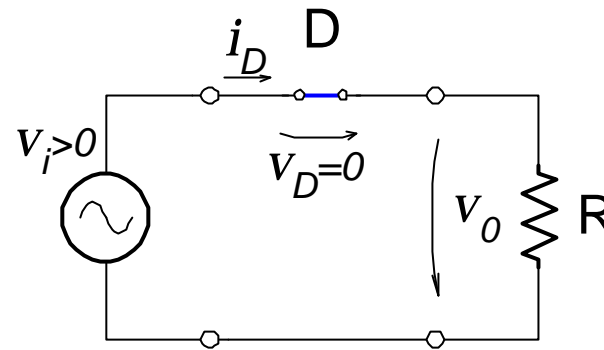
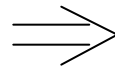
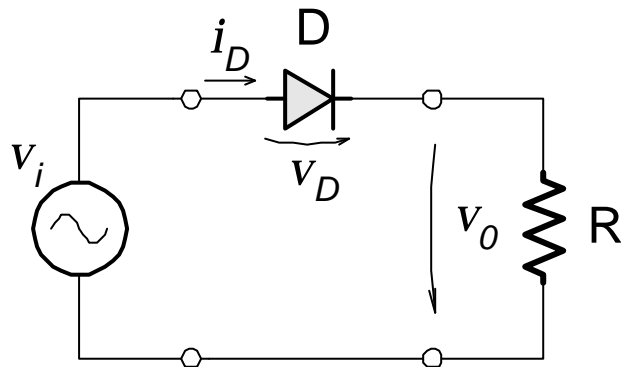


- Díodo polarizado directamente, equivalente a um **curto-circuito**

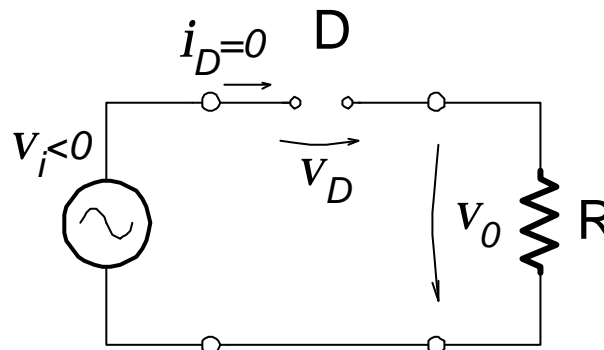


- Díodo polarizado inversamente, equivalente a um **circuito em aberto**.

## O rectificador de meia-onda

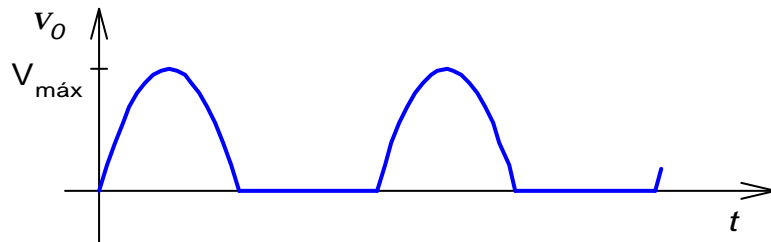
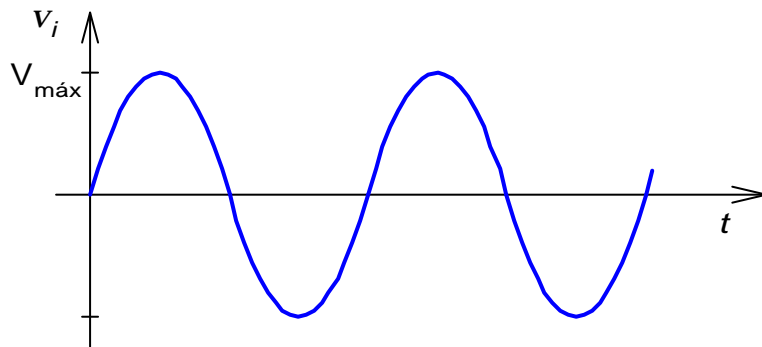
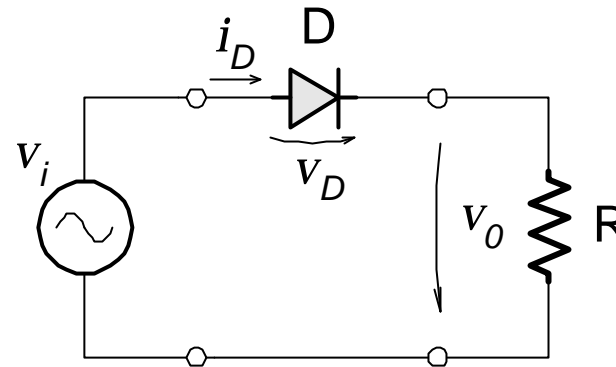


$$\begin{aligned}v_i > 0, D'ON' \\ i_D > 0 &\Rightarrow v_D = 0 \\ v_o &= v_i \\ i_D &= \frac{v_i}{R}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}v_i < 0, D'OFF' \\ v_D < 0 &\Rightarrow i_D = 0 \\ v_o &= R \cdot i_D = 0\end{aligned}$$

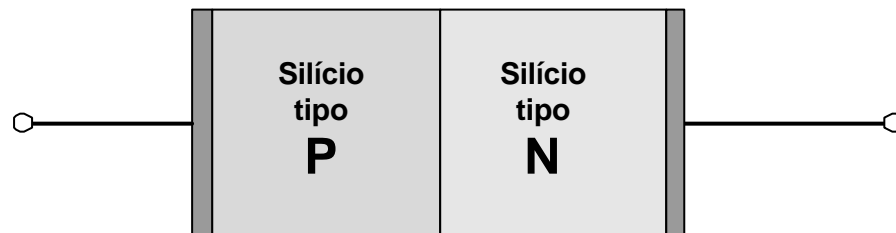
## O rectificador de meia-onda



- Nos meios ciclos positivos o díodo está polarizado directamente, comporta-se como um curto-circuito, e a corrente flui sem restrições no díodo.
- Nos meios ciclos negativos, o díodo está polarizado inversamente, comporta-se como um circuito aberto, e por isso a corrente no díodo é nula.



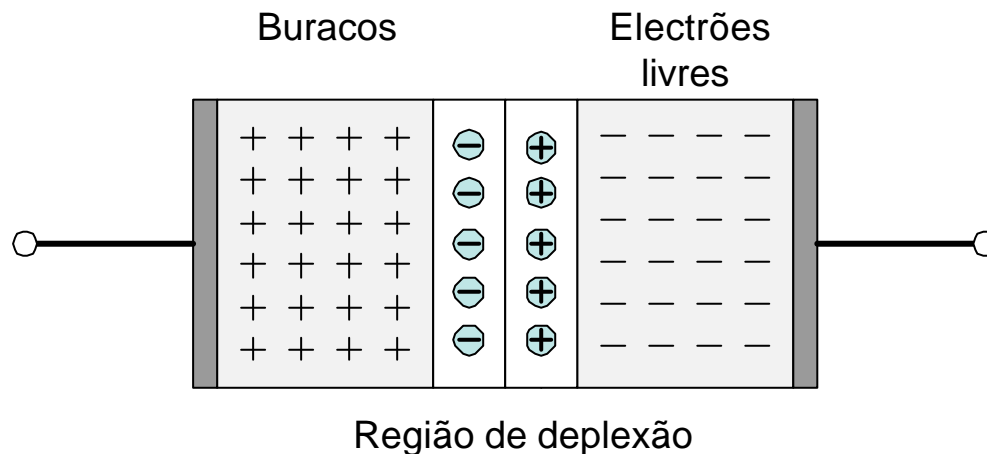
## Estrutura física do díodo de silício



O díodo de junção  $pn$  consiste na junção de dois materiais, um semicondutor tipo  $p$  em contacto com um semicondutor tipo  $n$

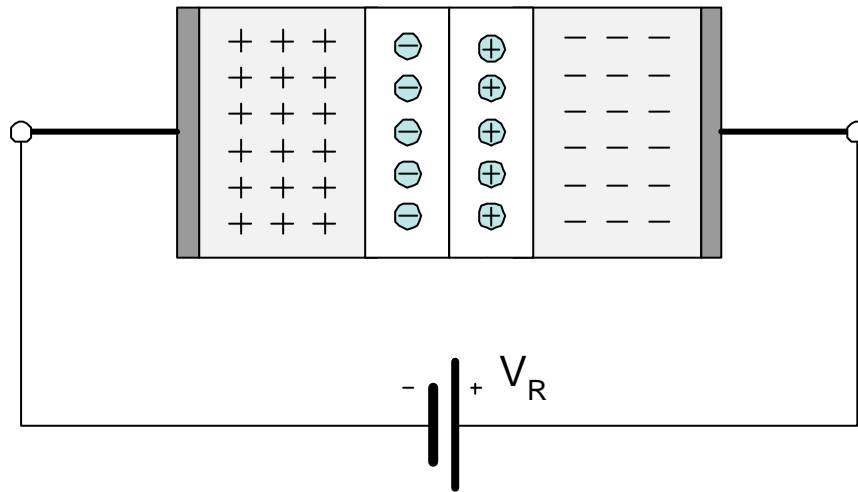
Os semicondutores tipo  $p$  e  $n$  consistem num substrato (silício puro, p.ex.) ao qual foram adicionadas impurezas tipo  $p$  (elementos com três electrões na última órbita) ou tipo  $n$  (elementos com cinco electrões na última órbita)

## Junção $pn$ não polarizada



- Junção  $pn$  sem qualquer tensão aplicada
- Formação de uma zona na junção dos materiais  $p$  e  $n$ , designada por *região de deplexão* ou *região de carga espacial*
- Formação de uma *barreira potencial*
- Correntes de difusão de buracos da região  $p$  para a região  $n$  e de electrões da região  $n$  para a região  $p$

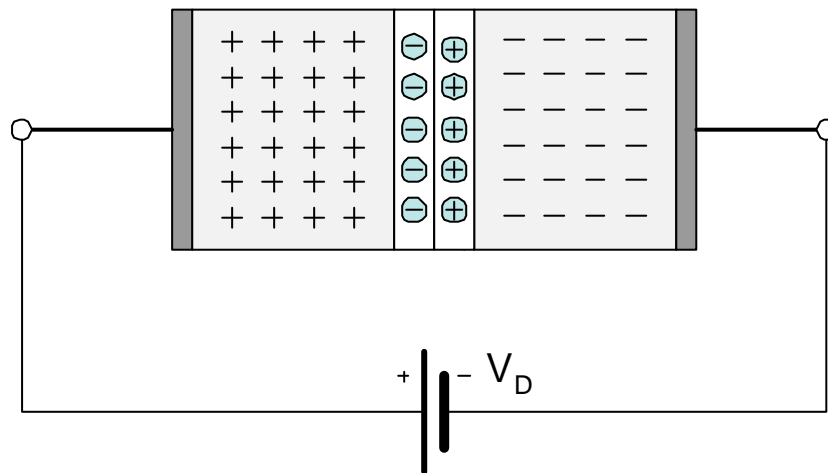
## Junção *pn* polarizada inversamente



A tensão inversa aplicada ( $V_R$ ) vai reforçar o campo eléctrico na *zona de carga espacial*, a largura desta vai aumentar e constitui-se como uma barreira forte à passagem de corrente.

As correntes de difusão são nulas

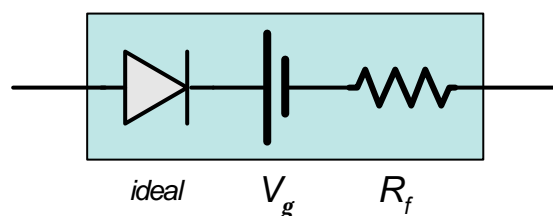
## Junção *pn* polarizada directamente



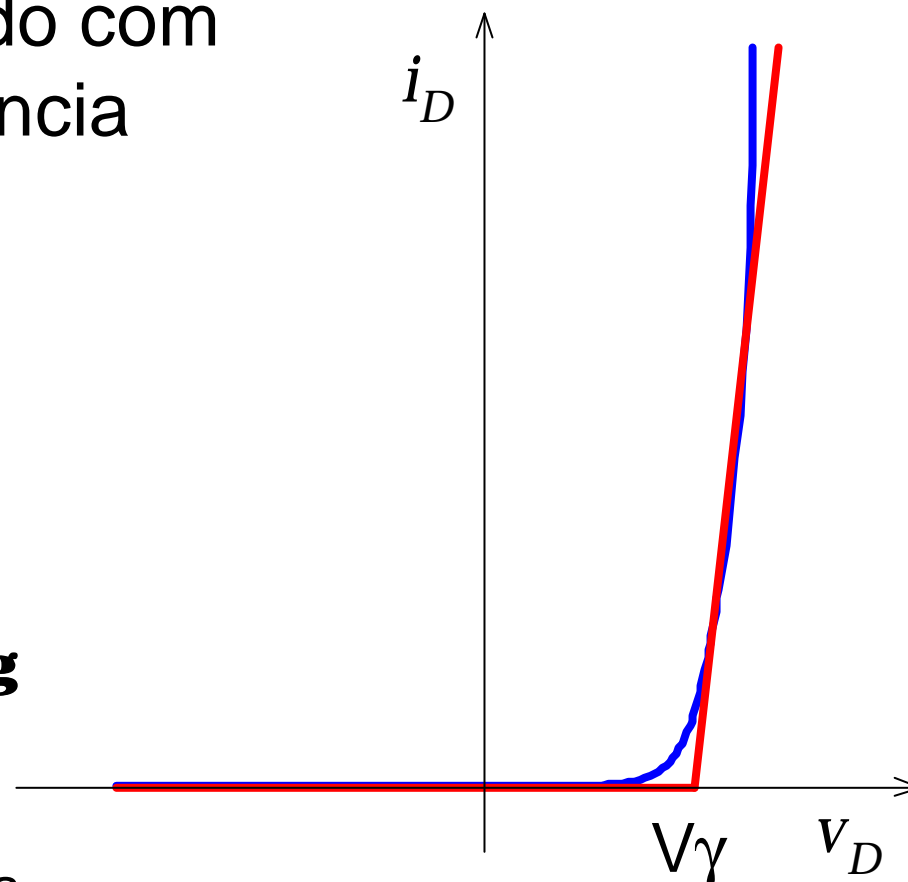
A tensão directa aplicada ( $V_D$ ) vai reduzir, ou mesmo eliminar, o campo eléctrico na *zona de carga espacial*, a largura desta vai diminuir e a barreira de potencial desaparece facilitando a passagem de corrente.

As correntes de difusão são importantes

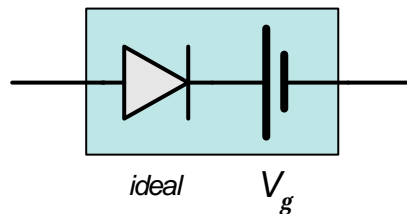
## Modelo do díodo aproximado com fonte de tensão e resistência



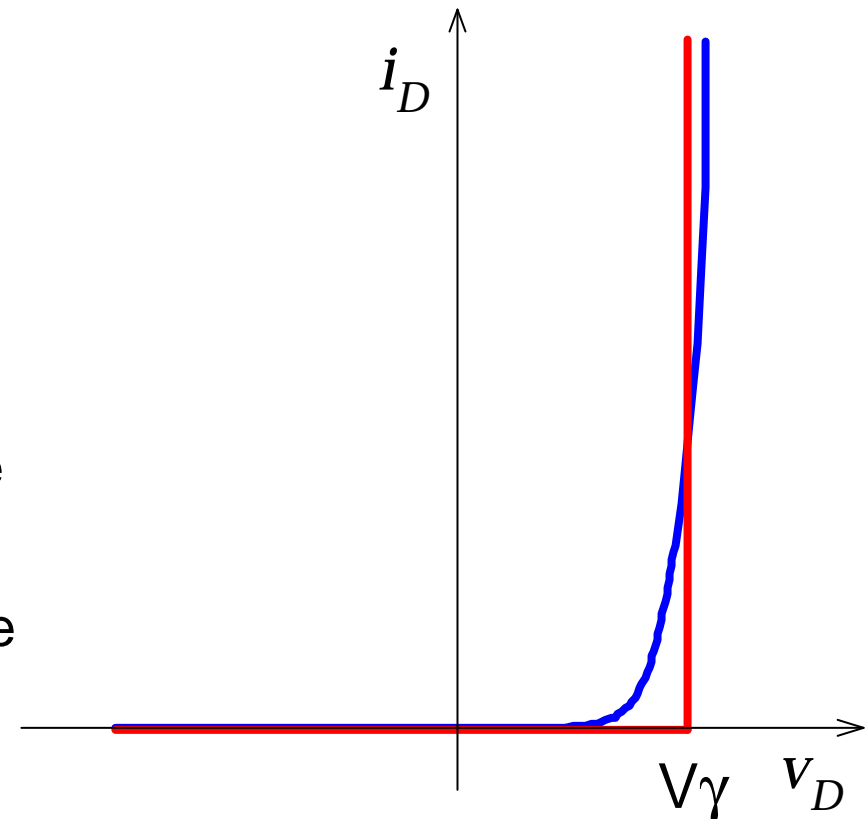
- **Polarização directa** – díodo equivalente a uma fonte de tensão  $V_g$  em série com uma resistência  $R_f$
- **Polarização inversa** – díodo equivalente a uma resistência elevada,  $R_r \gg R_f$



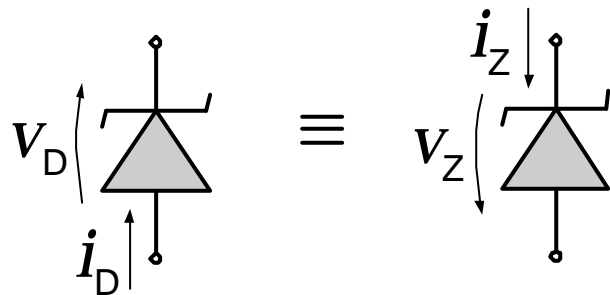
## Modelo do díodo aproximado com fonte de tensão constante



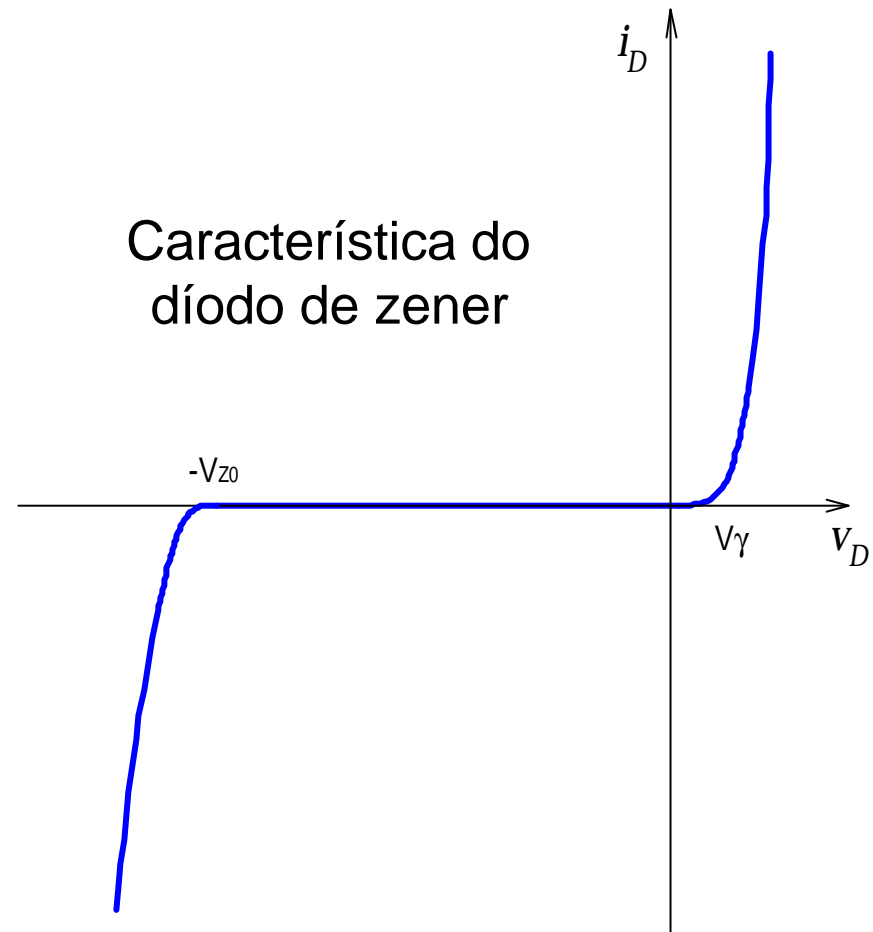
- **Polarização directa** – díodo equivalente a uma fonte de tensão constante  **$V_g$**
- **Polarização inversa** – díodo equivalente a uma resistência elevada,  **$R_r \gg \infty$**



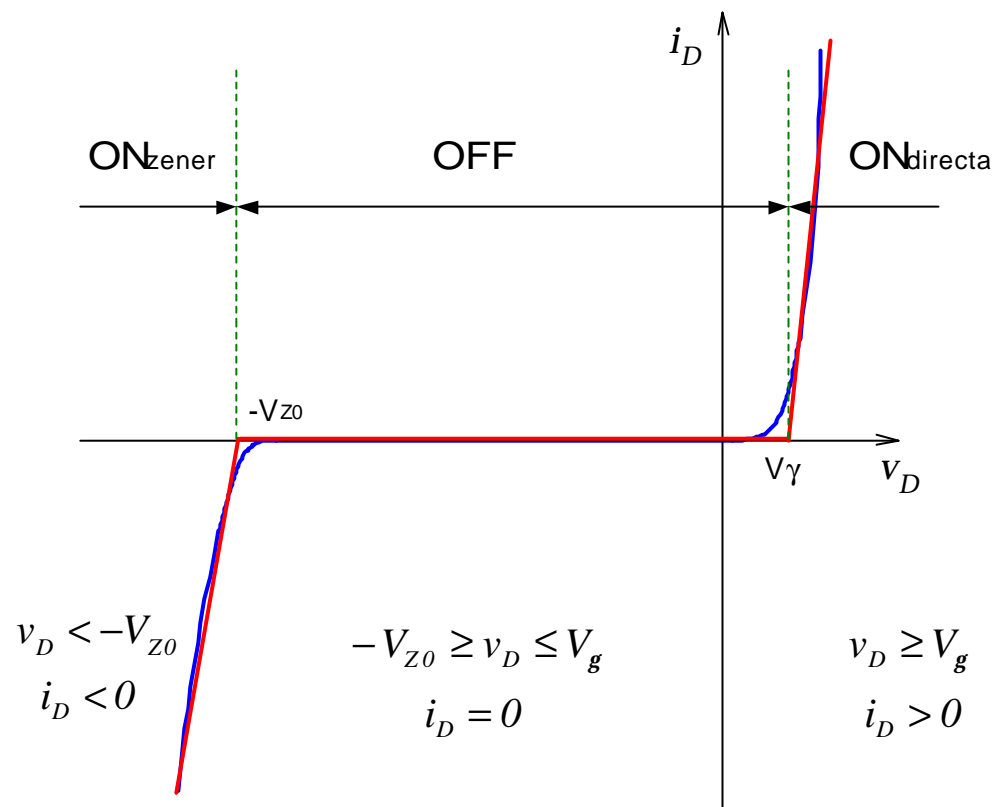
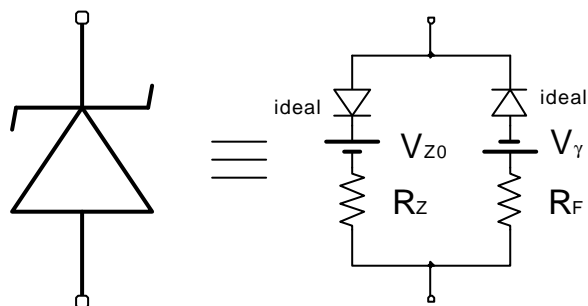
# O díodo de zener



Característica do  
díodo de zener

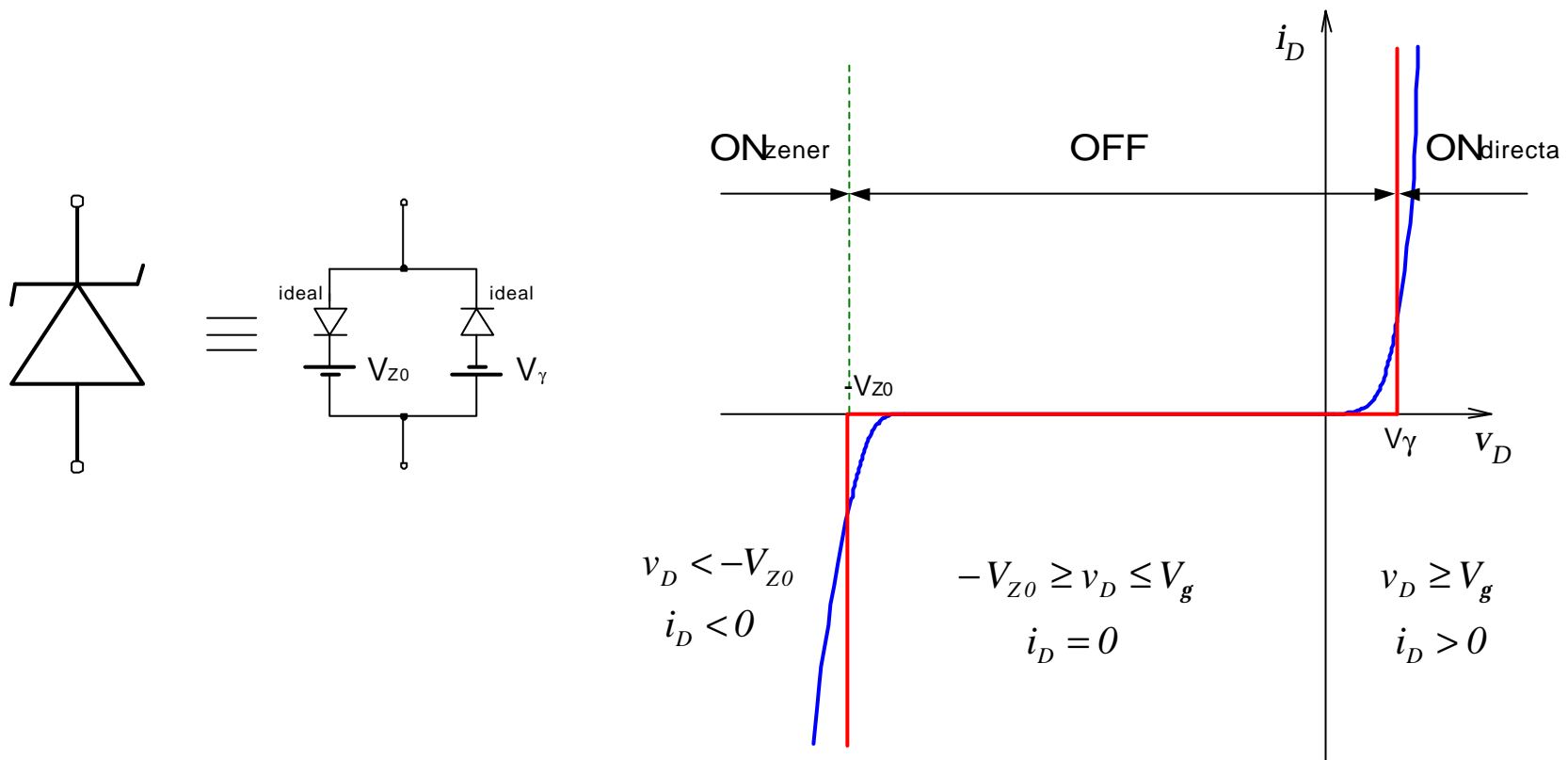


## *Modelo linear do díodo de zener com fonte de tensão constante e resistêcia*

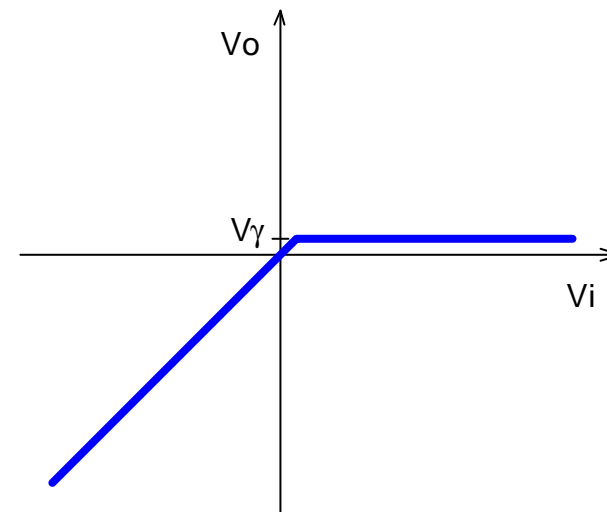
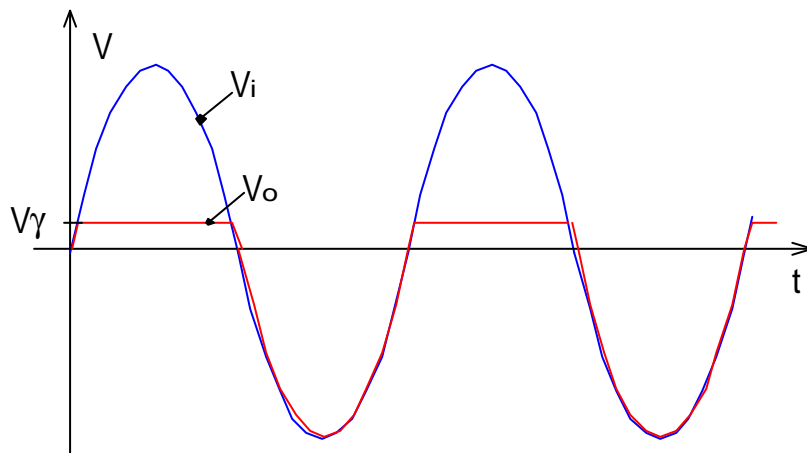
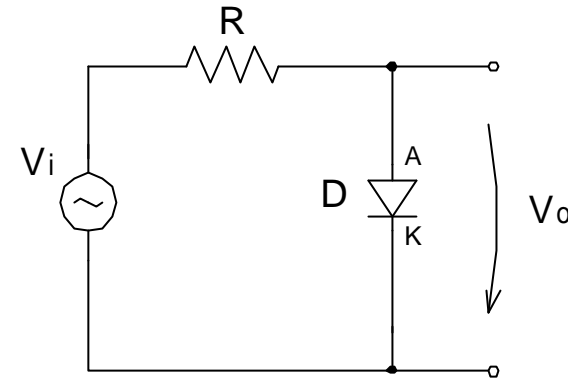




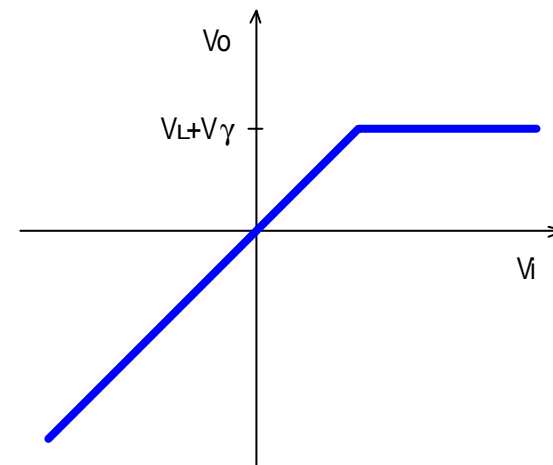
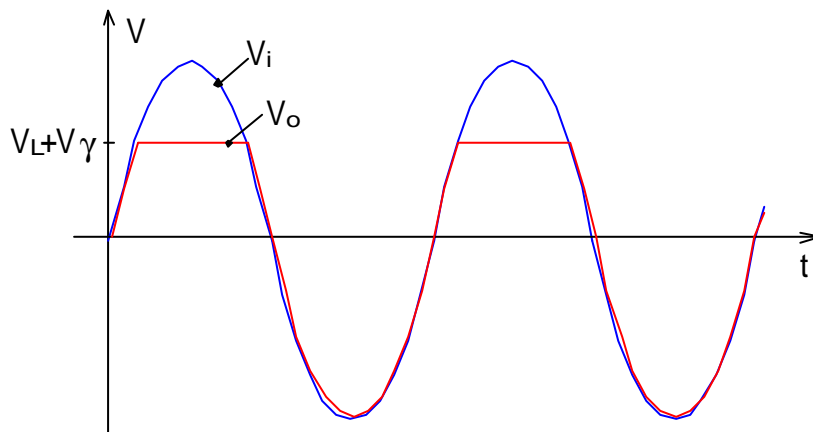
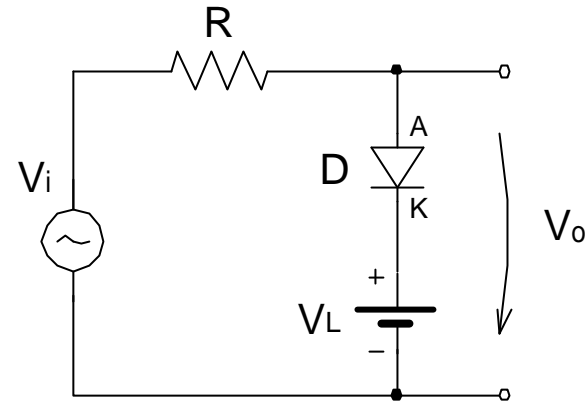
## *Modelo linear do díodo de zener com fonte de tensão constante*



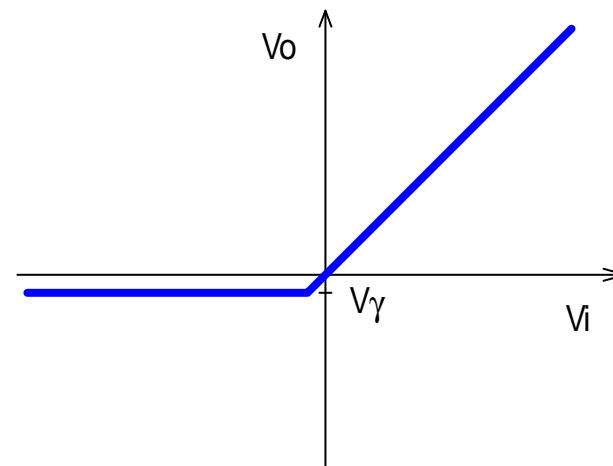
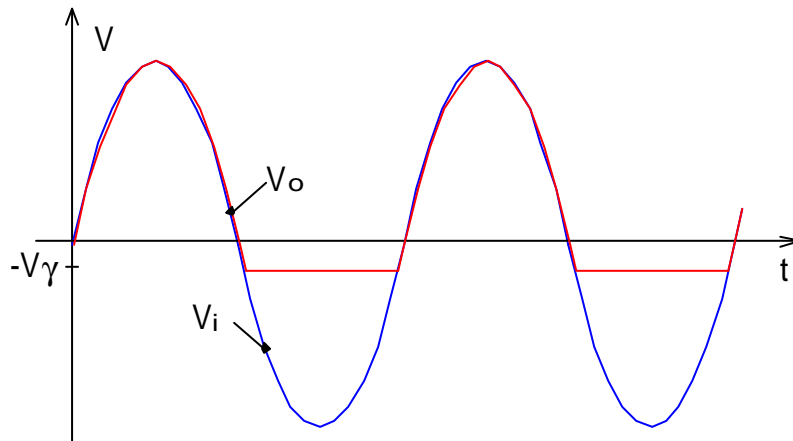
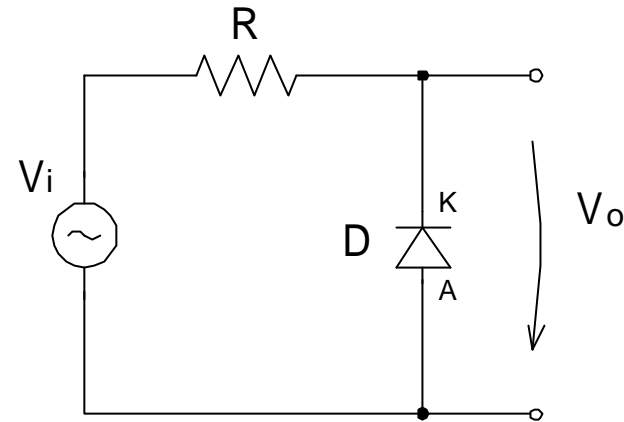
## Circuitos limitadores



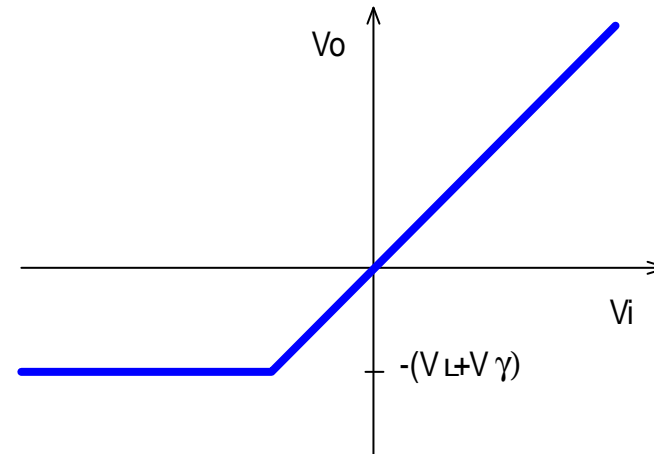
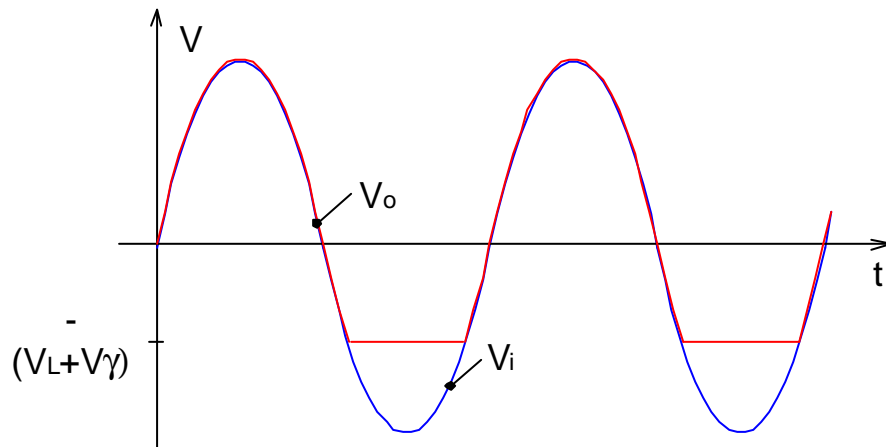
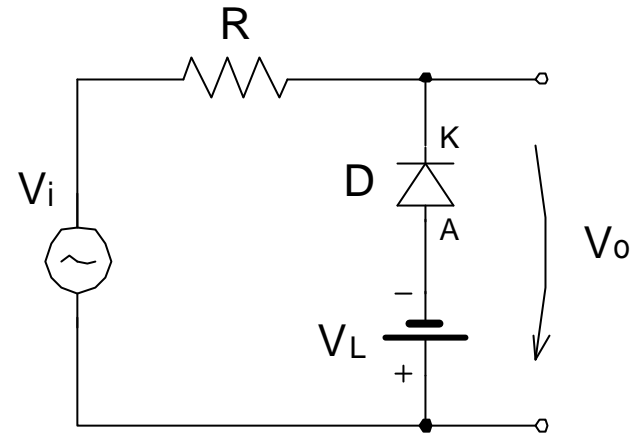
## Circuitos limitadores



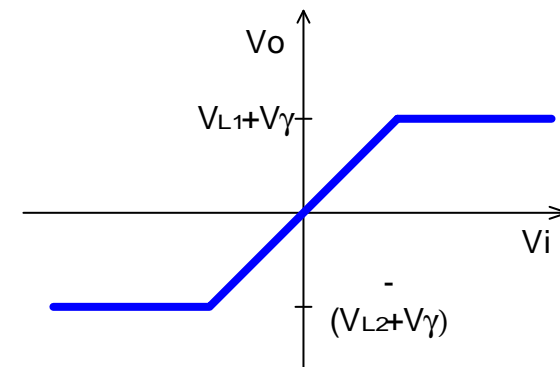
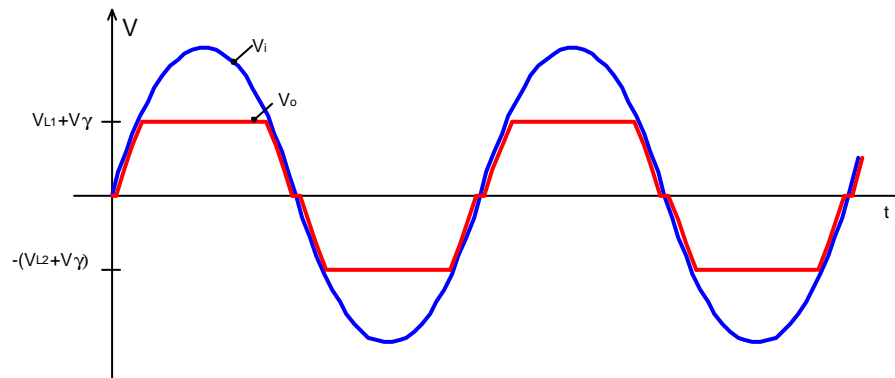
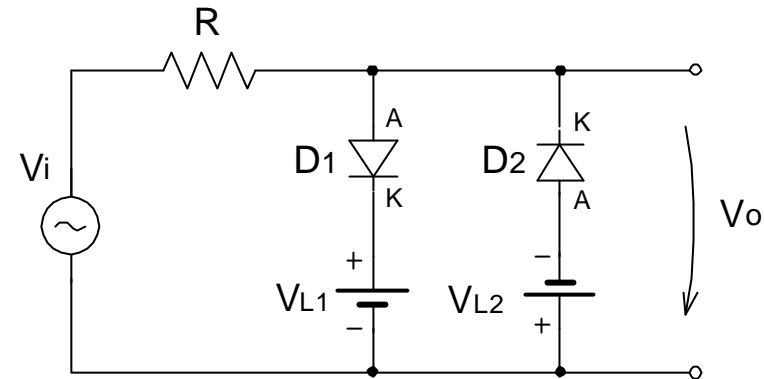
## Circuitos limitadores



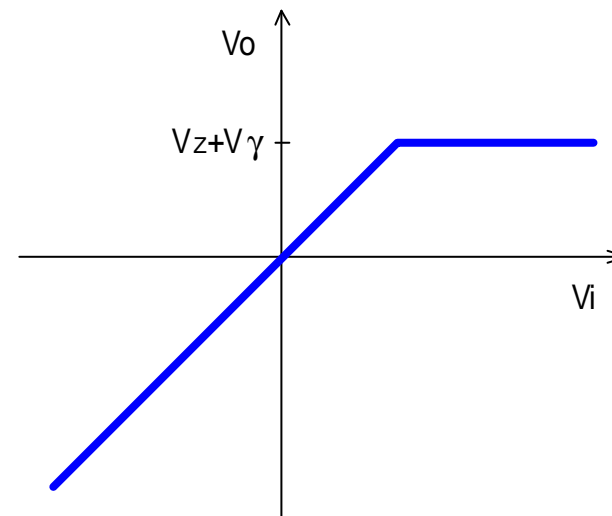
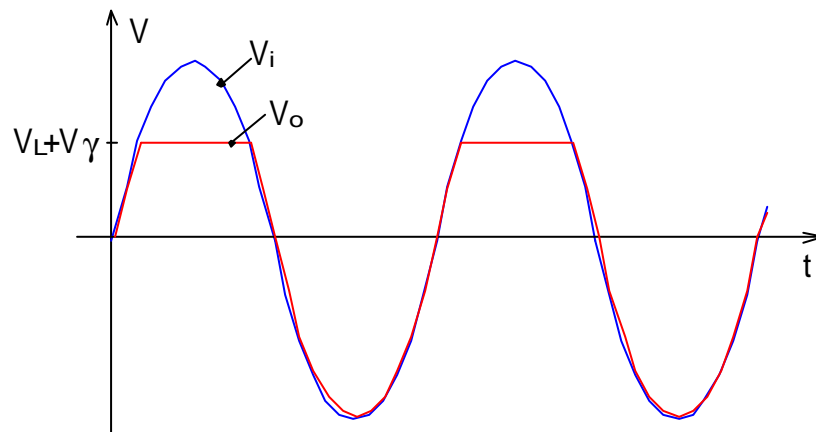
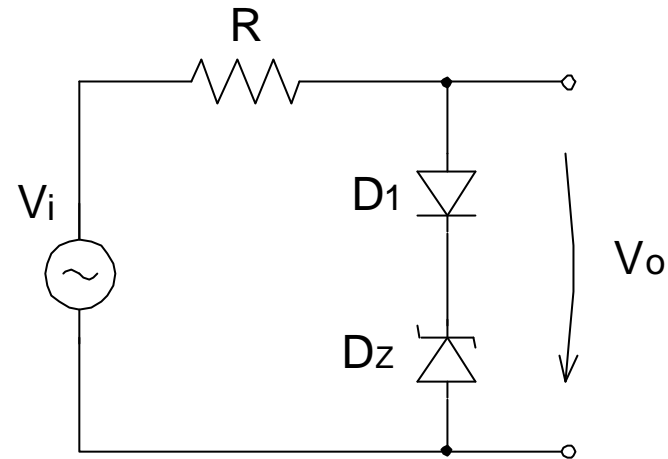
## Circuitos limitadores



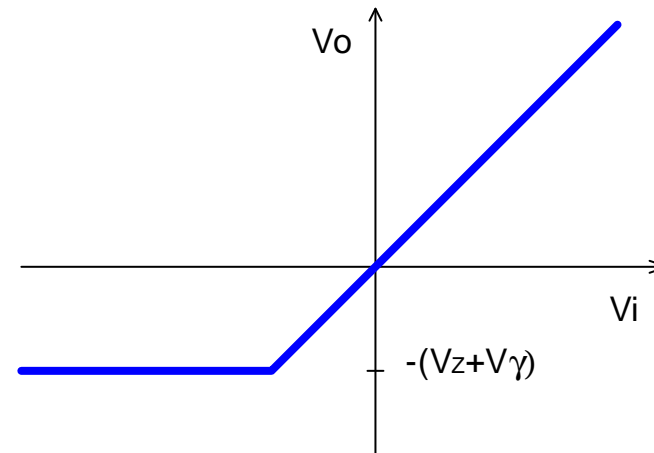
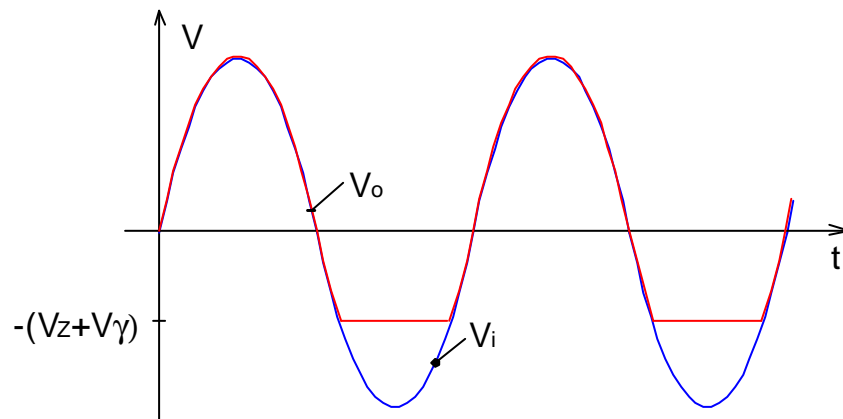
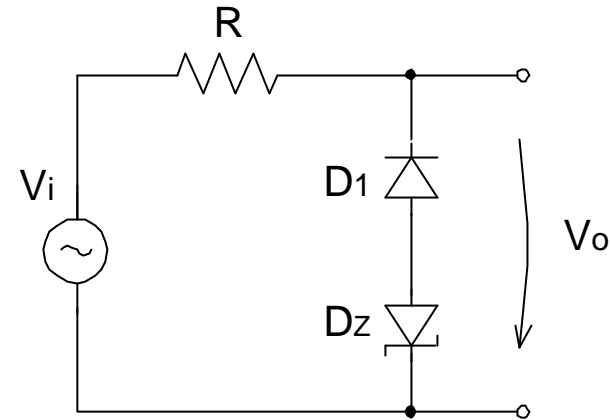
## Circuitos limitadores



## Circuitos limitadores

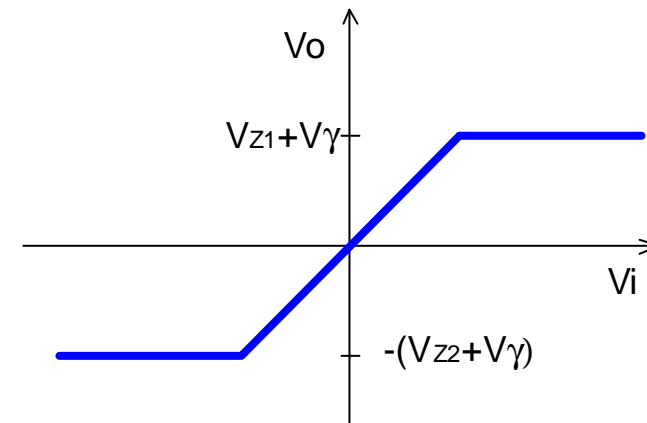
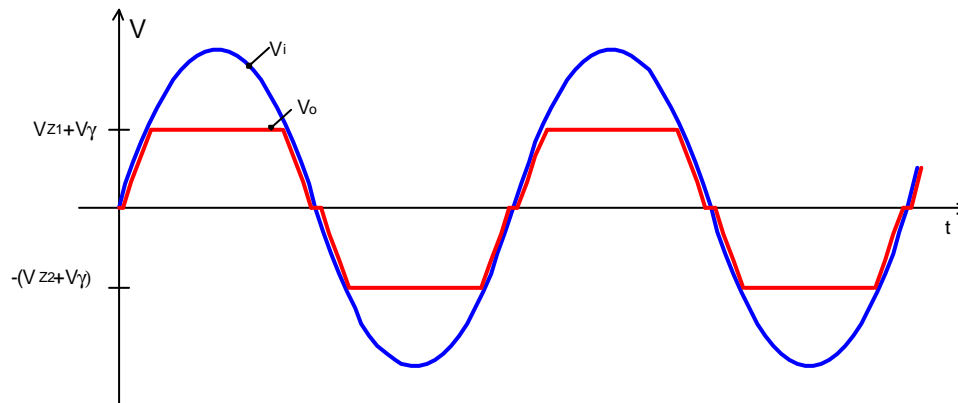
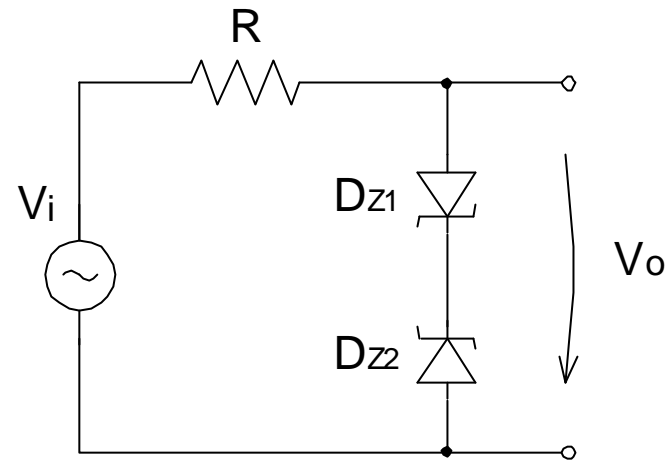


## Circuitos limitadores

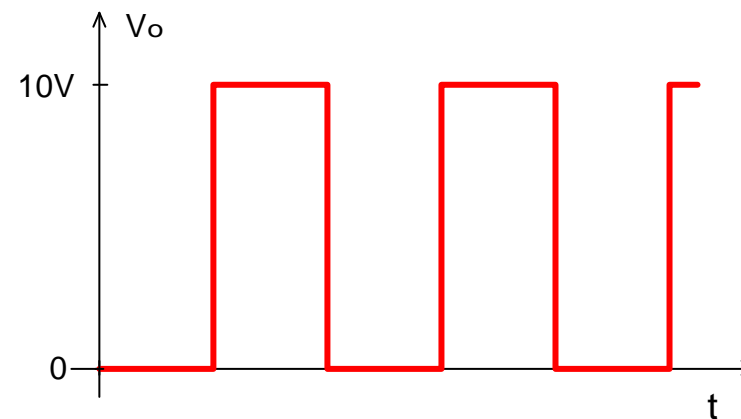
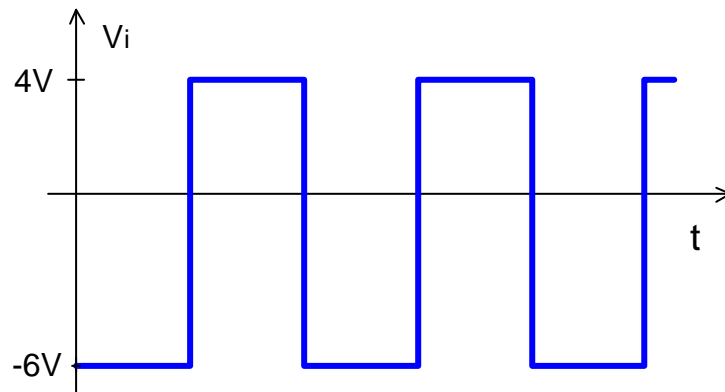
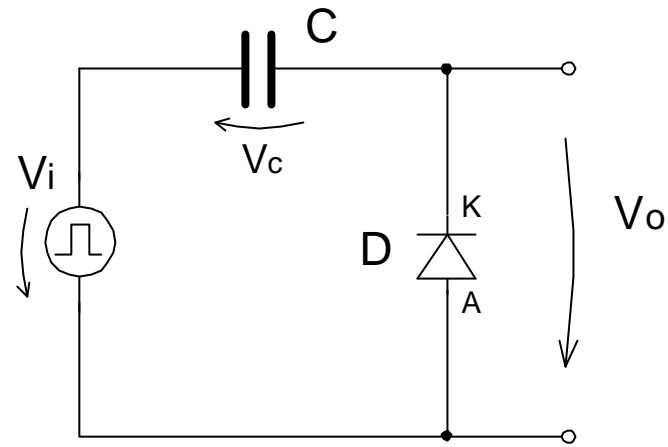




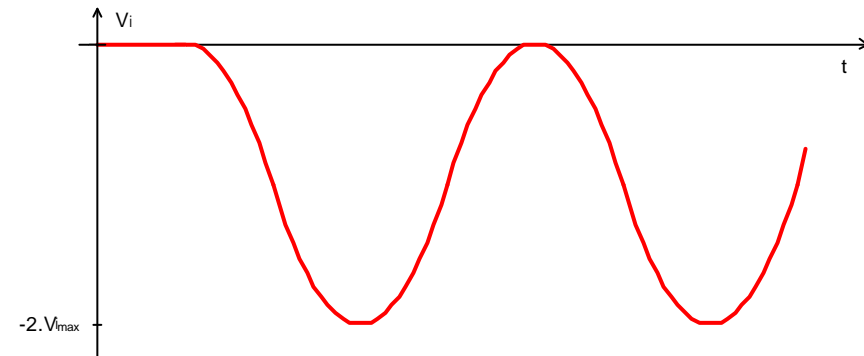
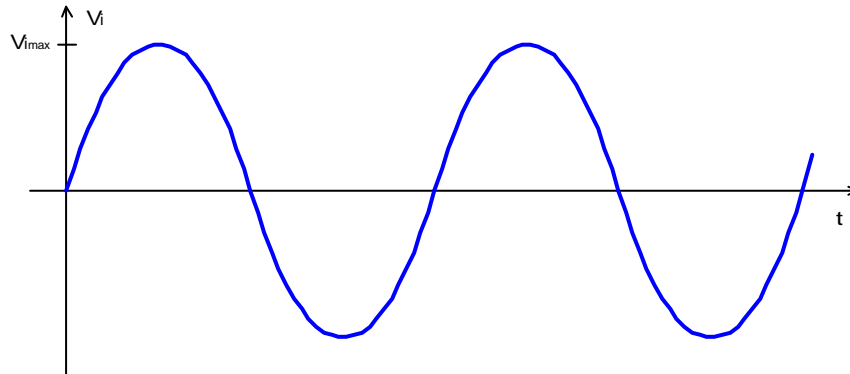
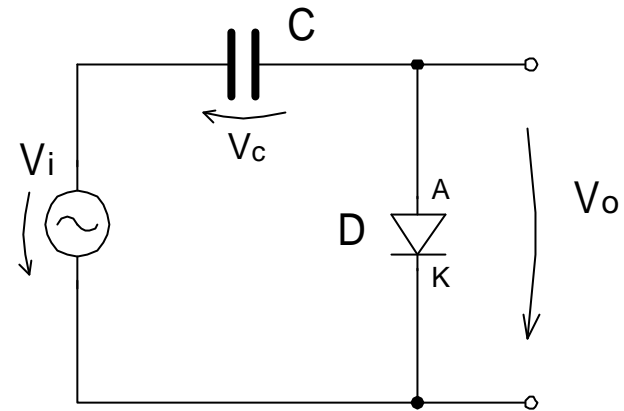
## Circuitos limitadores

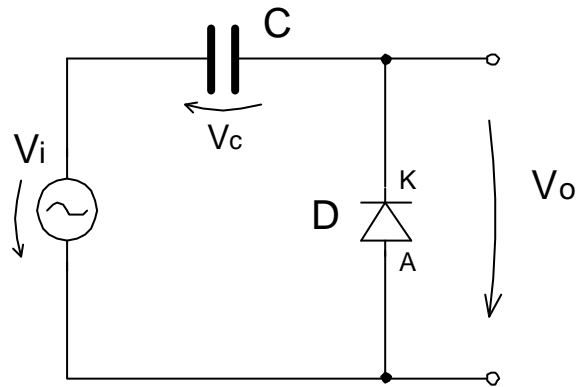


## Circuito fixador

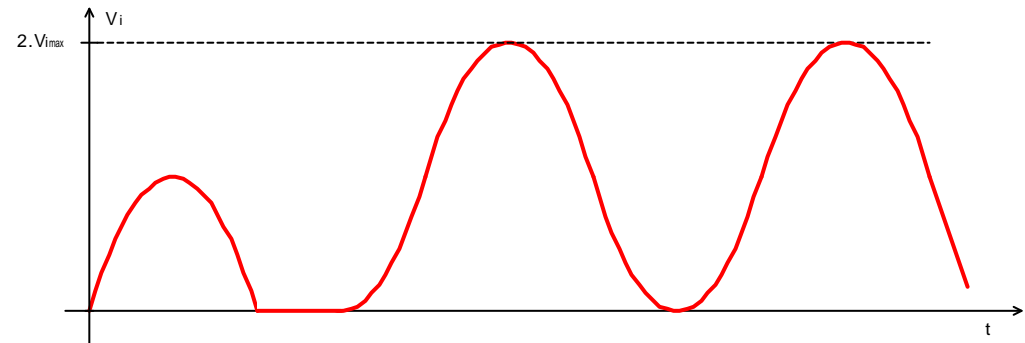
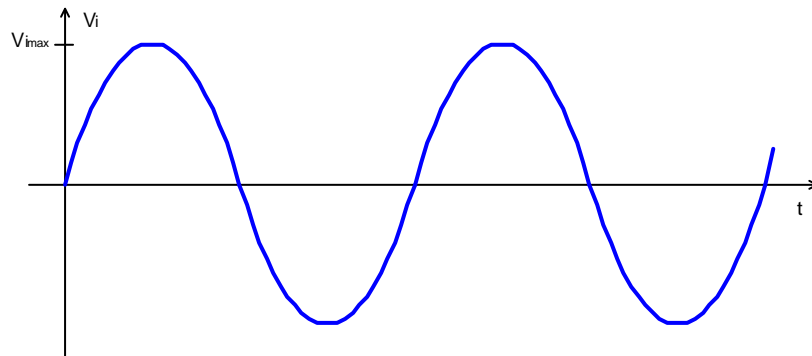


## Circuito fixador





Circuito fixador



## Circuito duplicador de tensão

