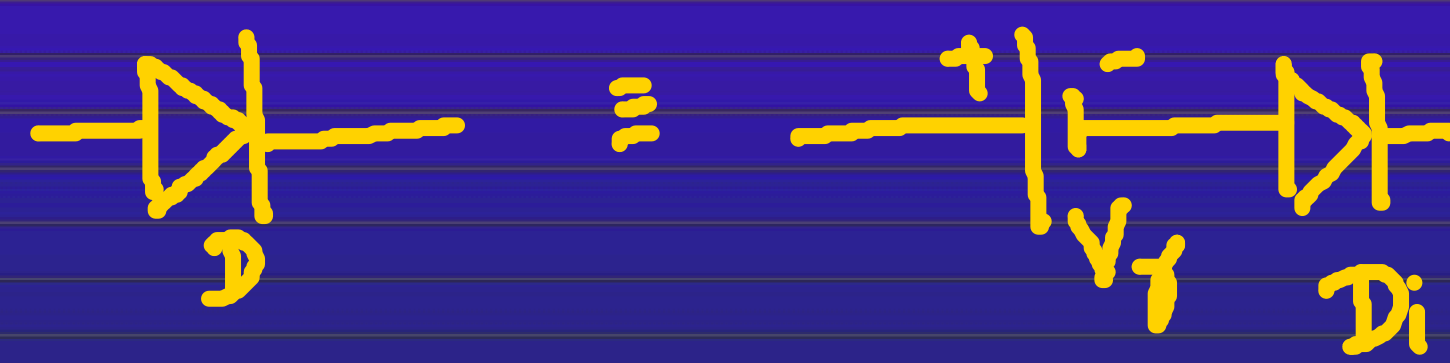
Ex1:

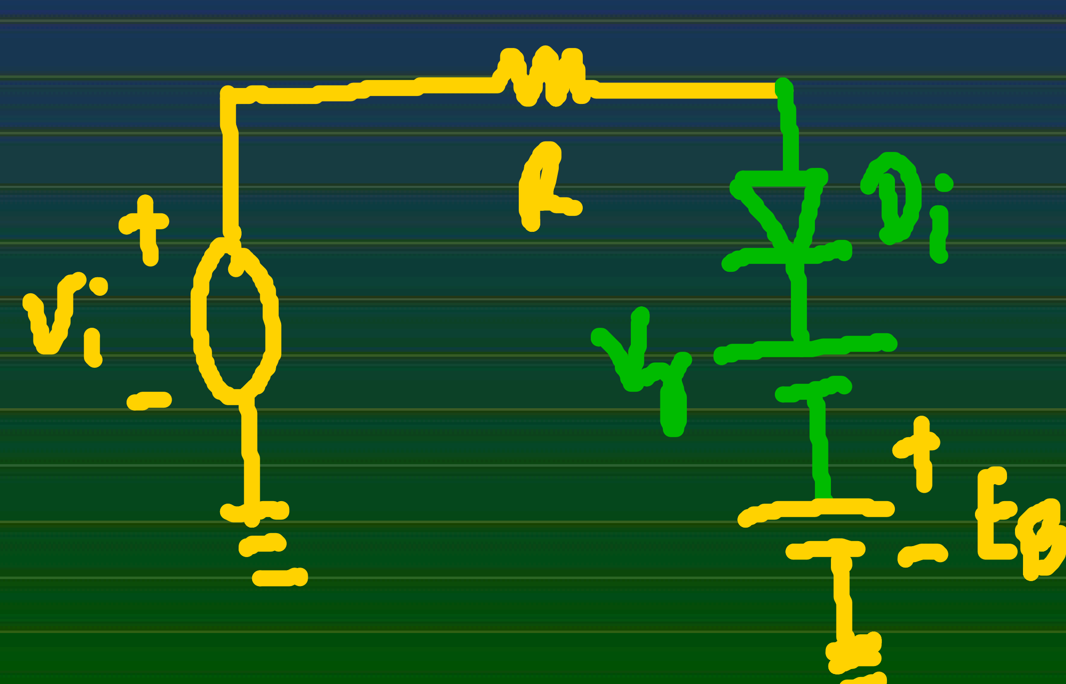
Part. 1:

fig. 1a : La diode est équivalente à :



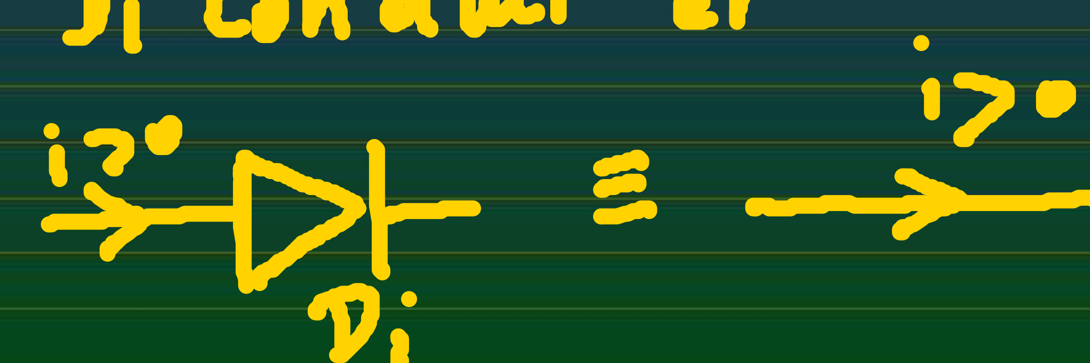
Di diode idéale.

Le circuit de la fig. 1a devient :

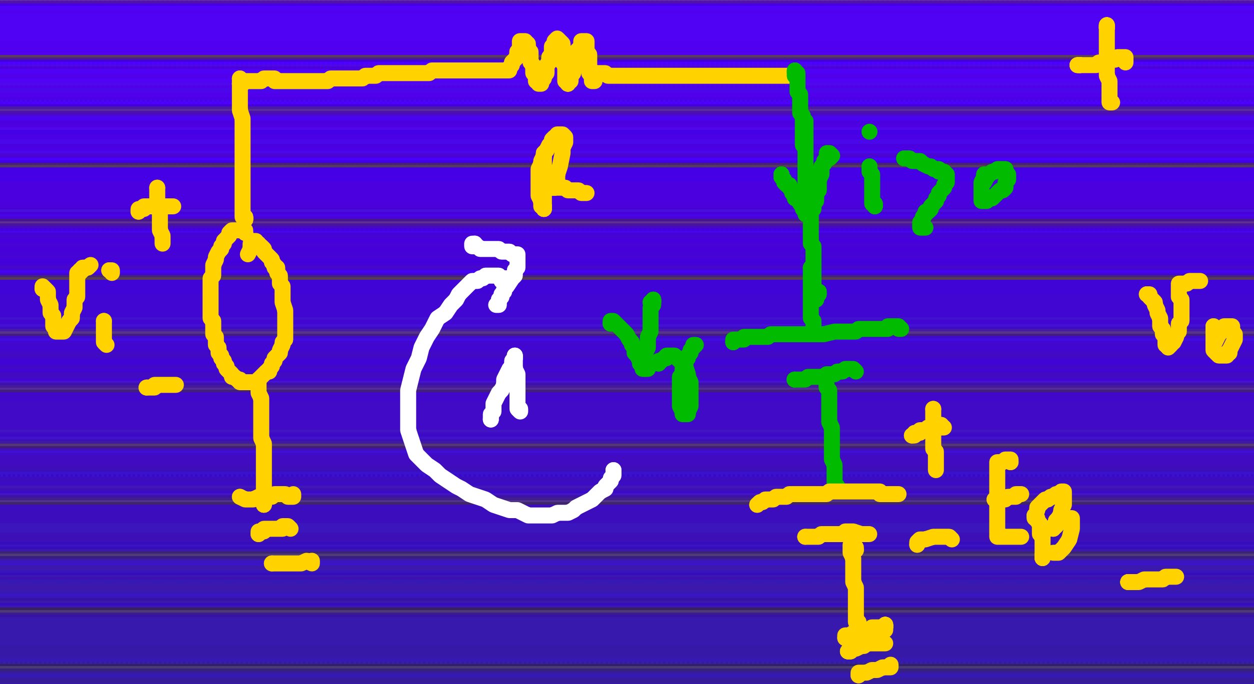


Si D conduit (D= 'ON')

Di conduit et



on obtient :



La loi des mailles (maille 1) se traduit par :

$$-v_i + Ri + (V_\gamma + E_B) = 0$$

Soit

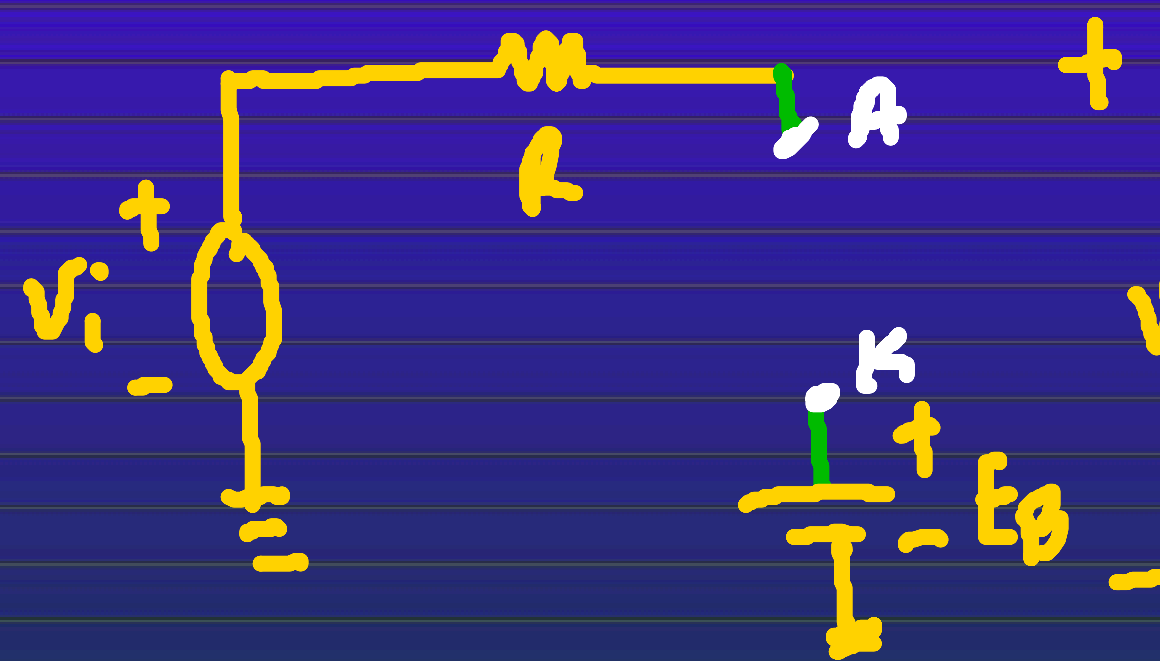
$$i = \frac{v_i - (V_\gamma + E_B)}{R} > 0$$

Ainsi : Si $v_i > V_\gamma + E_B$; $D_1 =$ 'ON' ; $D =$ 'ON' et

$$v_o = E_B + V_\gamma.$$

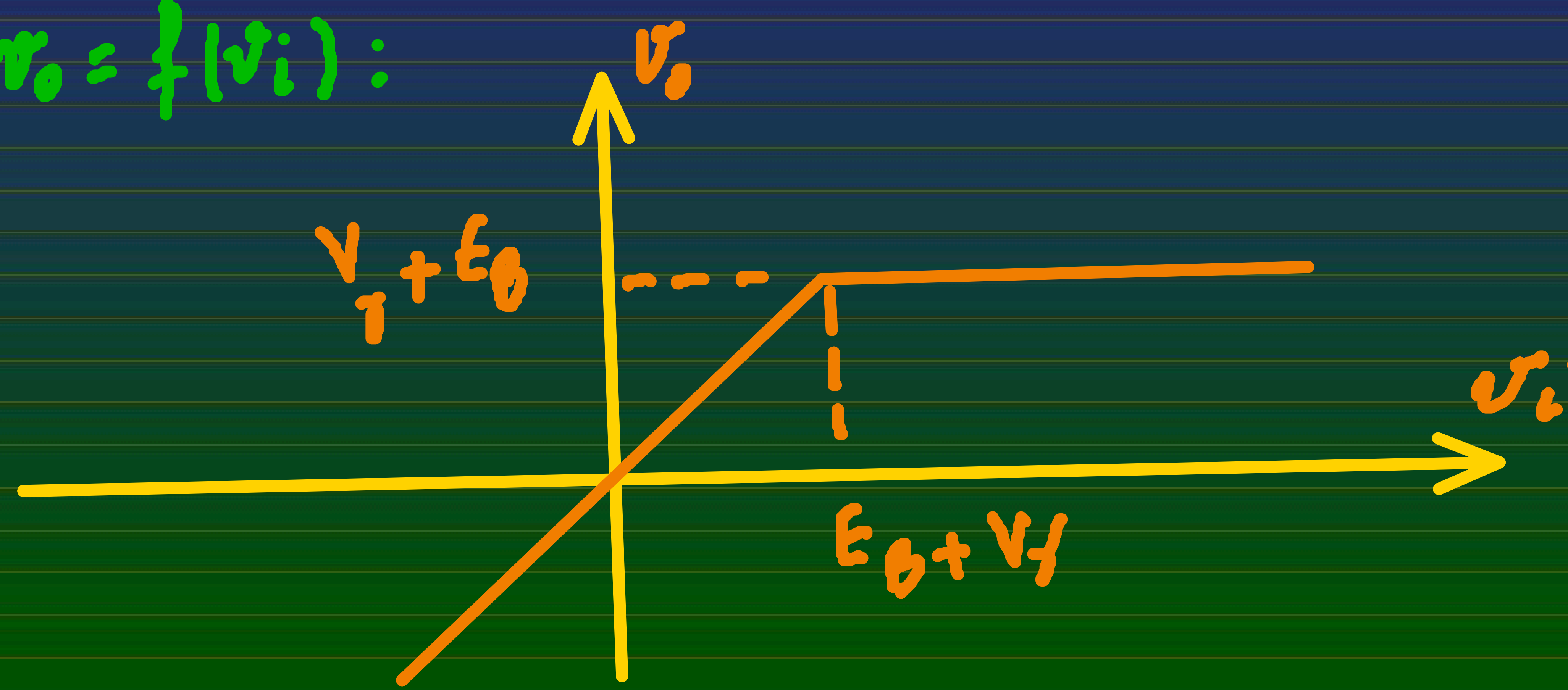
Si $v_i < V_\gamma + E_B$; D_i = 'OFF' et D = 'OFF'

Le circuit devient :

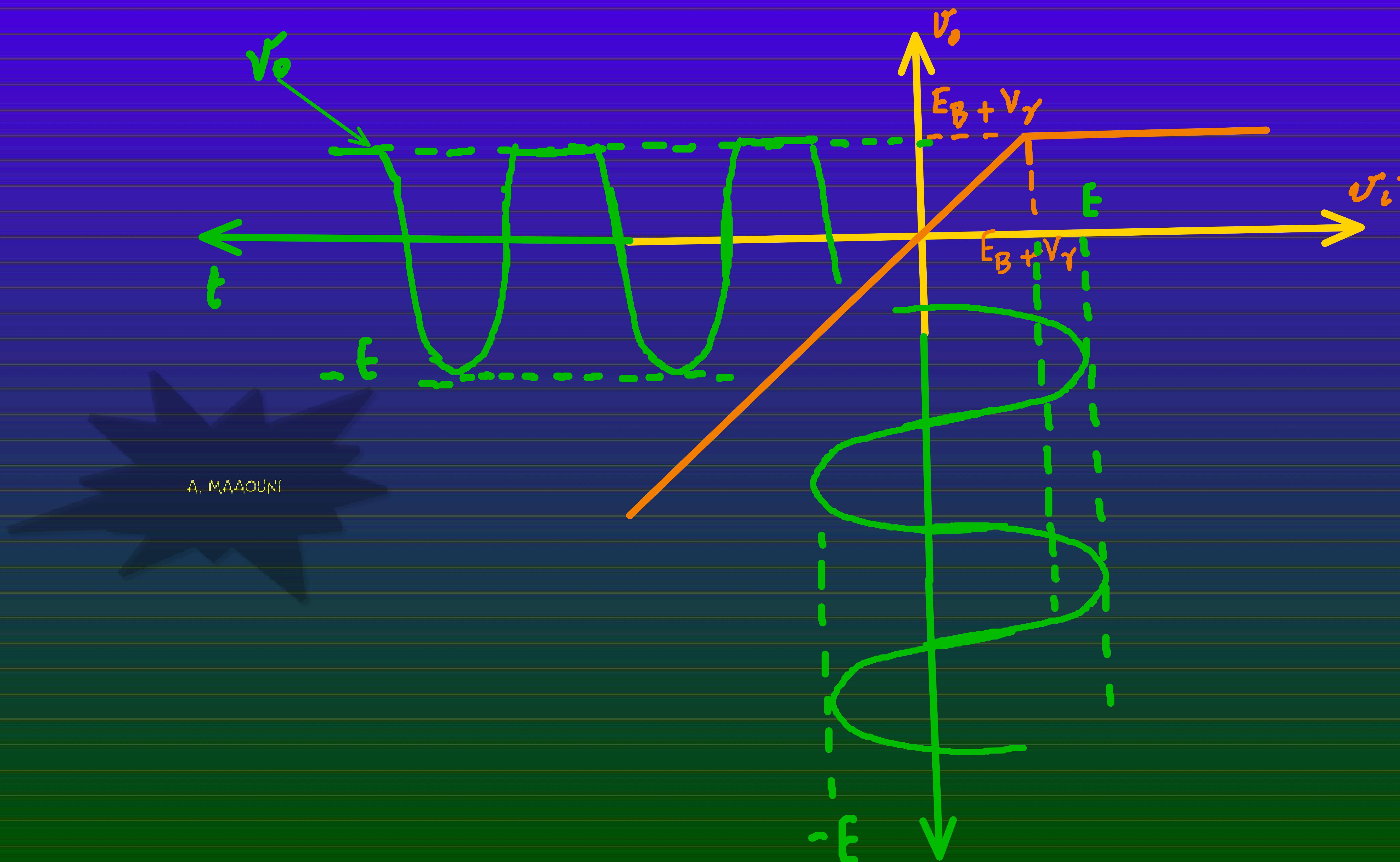


$V_o = V_i$

Caractéristique $v_o = f(v_i)$:



Evolution de v_o :



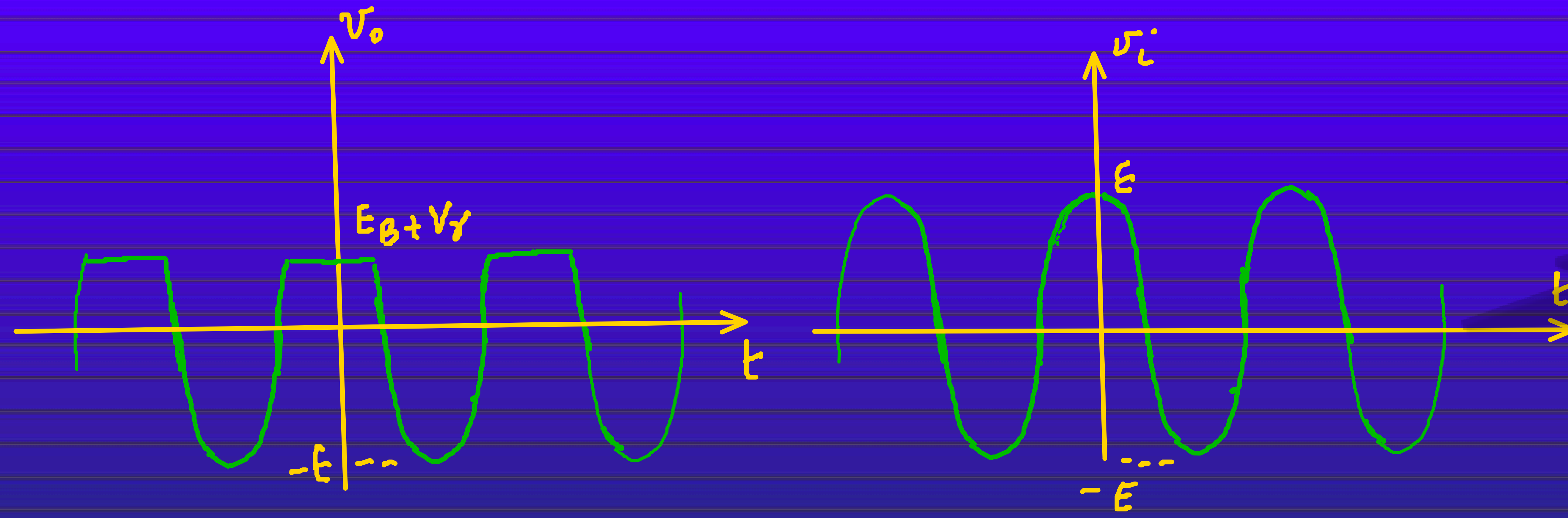
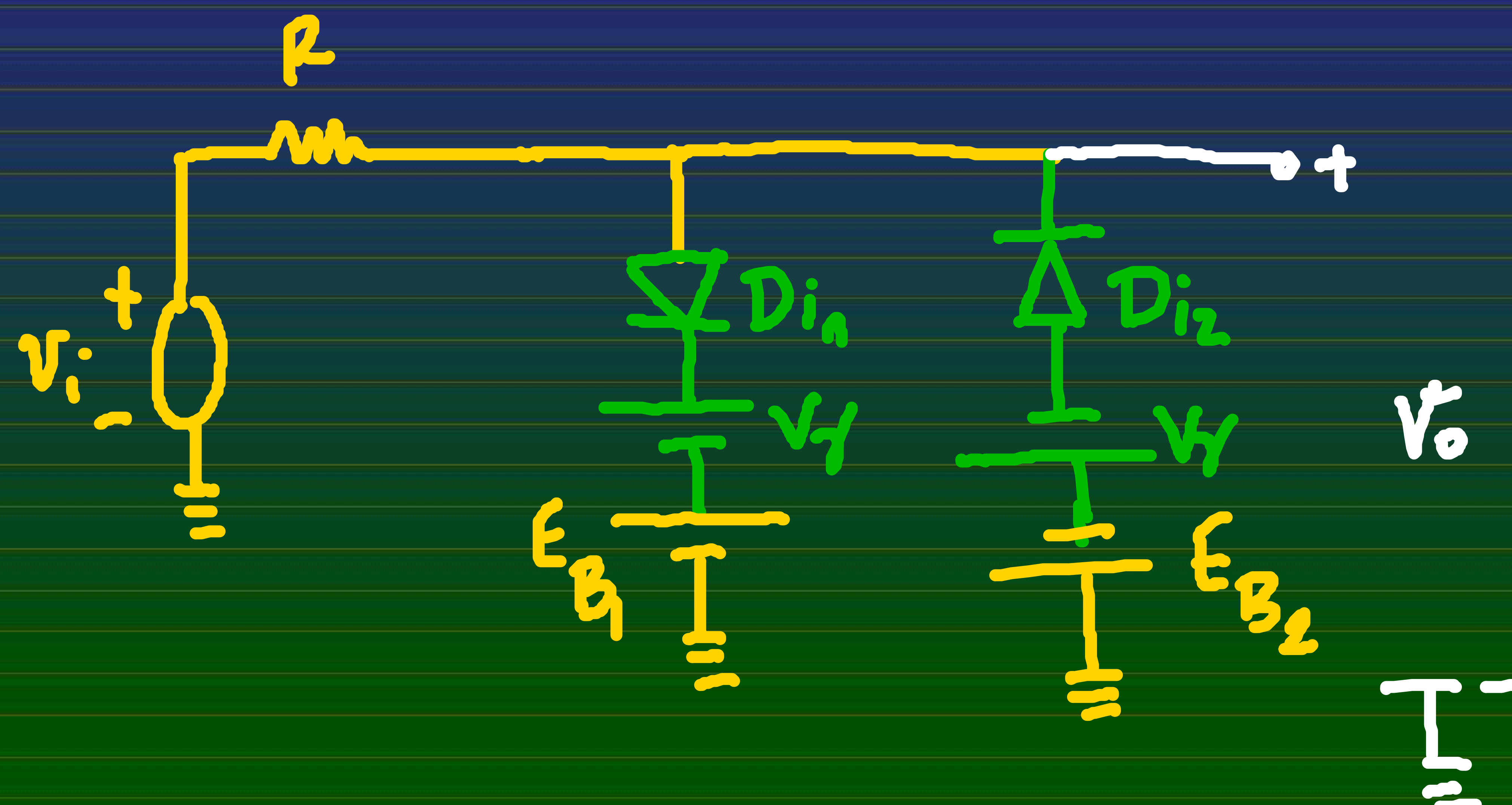


fig.2a : Compte tenu du modèle de la diode, le schéma de la fig2a devient :



$Di_{1,2}$ Diodes idéales.

Si D_1 = 'ON' , D_2 = 'OFF' , le circuit devient:

$$i_1 = \frac{v_i - (V_\gamma + E_{B_1})}{R} > 0 \quad \text{soit} \quad v_i > V_\gamma + E_{B_1}.$$

D'autre part :

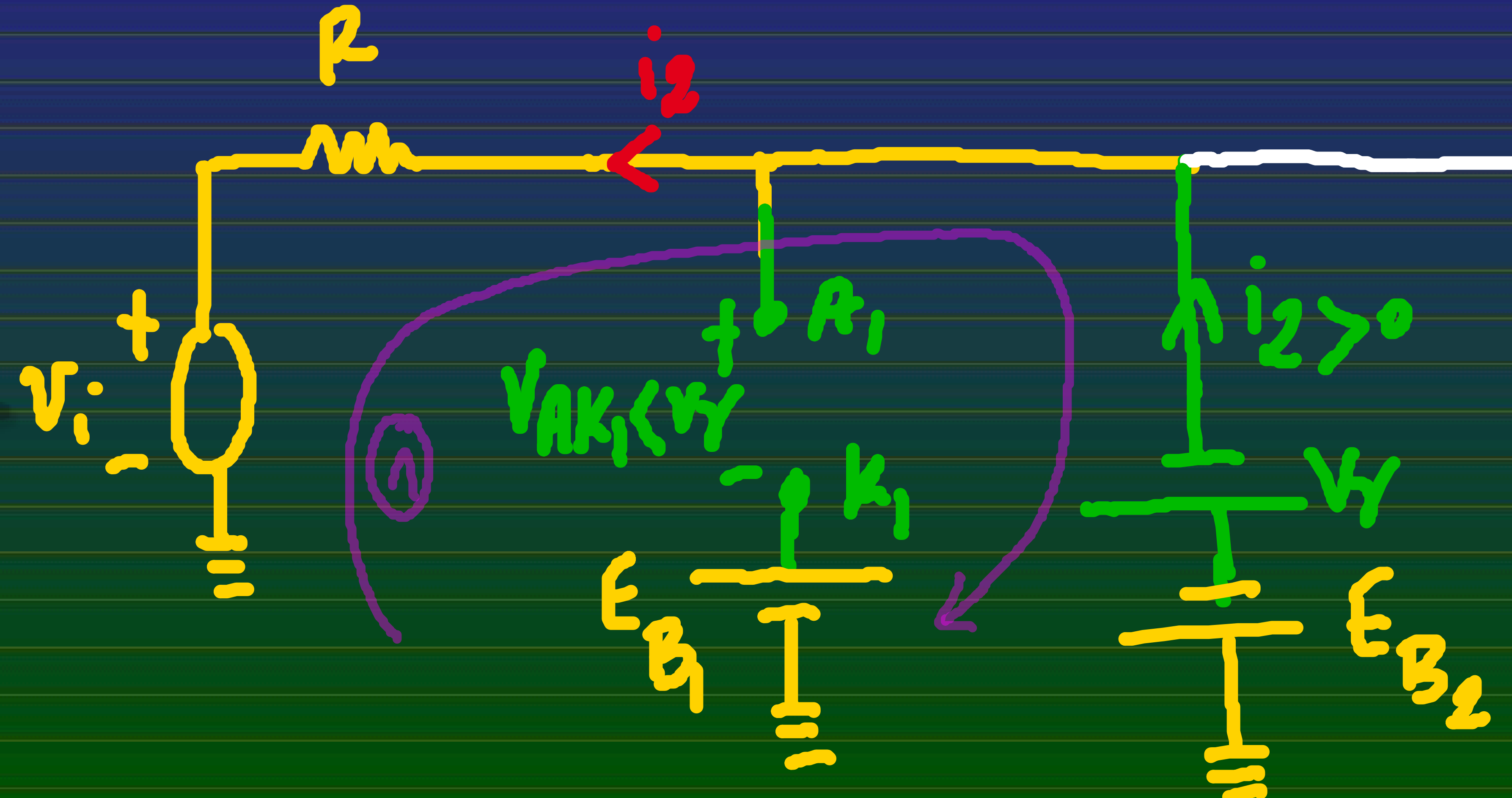
$$V_{AK_2} = V_{A_2} - V_{K_2} = -E_{B_2} - (\overbrace{E_{B_1} + V_\gamma}^{>0}) < 0 < V_\gamma$$

D_2 ne conduit pas.

C/C : Si $v_i > E_{B_1} + V_\gamma$, D_1 = 'ON', D_2 = 'OFF' et :

$$v_0 = E_{B_1} + V_\gamma.$$

Si D_1 = 'OFF' et D_2 = 'ON', le schéma devient :



$v_0 = -(V_\gamma + E_{B_2})$

Loi des mailles : (1)

$$-v_i - (V_\gamma + E_{B_2}) - R i_2 = 0$$

Soit :

$$i_2 = -\frac{1}{R}\left(v_i + (E_{B_2}+V_\gamma)\right) > 0$$

$$v_i < -(E_{B_2}+V_\gamma).$$

A. MAAOUNI

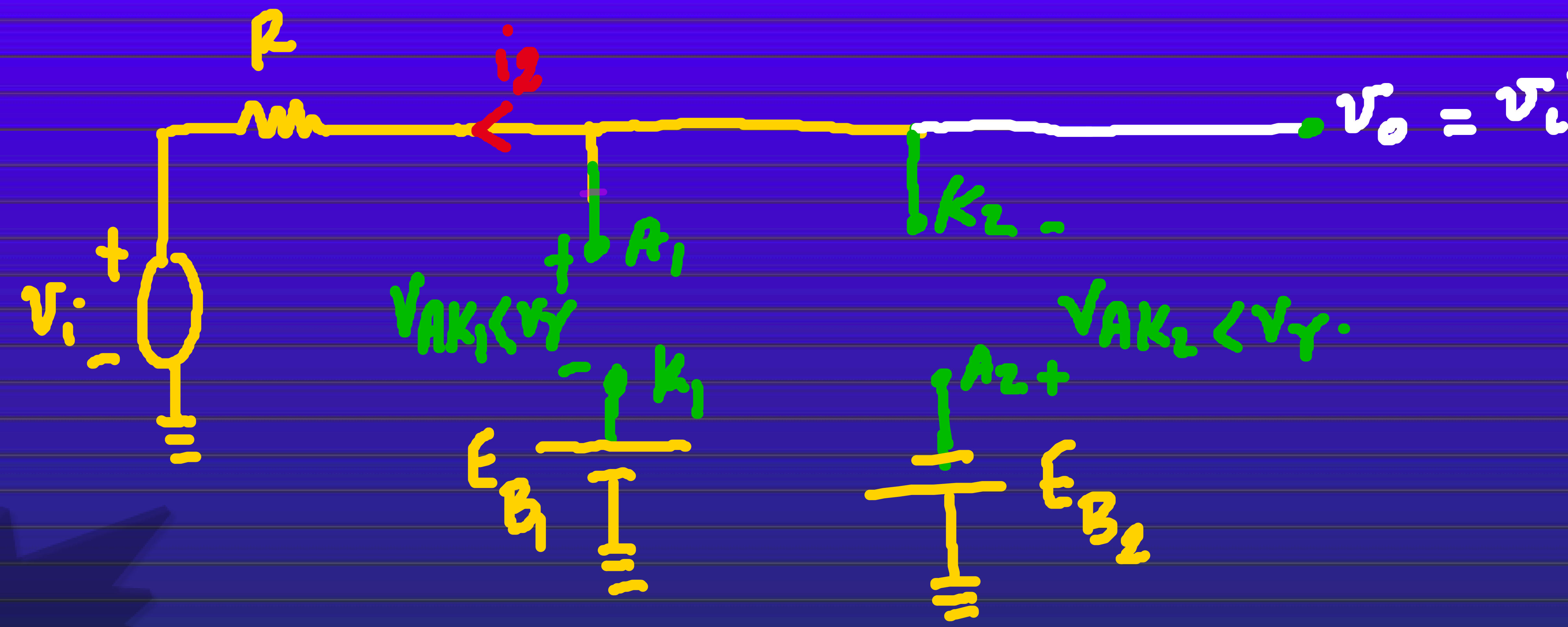
$$v_{AK_1} = v_{A_1} - v_{K_1} = -(\overbrace{V_\gamma + E_{B_2}}^{>0}) - E_{B_1} < 0 < V_\gamma$$

D_1 ne conduit donc pas.

C/C : Si $v_i < -(E_{B_2}+V_\gamma)$; D_1 = 'OFF', D_2 = 'ON' et

$$v_0 = -(E_{B_2} + V_\gamma).$$

Si $D_1 \equiv D_2$ = 'OFF', le circuit de la fig 2a devient:



$$v_{AK_1} = V_{A_1} - V_{K_1} = v_i - E_{B_1} < V_\gamma \quad \text{soit} \quad v_i < V_\gamma + E_{B_1}$$

$$v_{AK_2} = V_{A_2} - V_{K_2} = -E_{B_2} - v_i < V_\gamma \quad \text{soit} \quad v_i > -(V_\gamma + E_{B_2})$$

C/C Si $-(V_\gamma + E_{B_2}) < v_i < V_\gamma + E_{B_1}$; $D_1 \equiv D_2 =$ 'OFF'

$$v_0 = v_i$$

Caractéristique $v_o = f(v_i)$

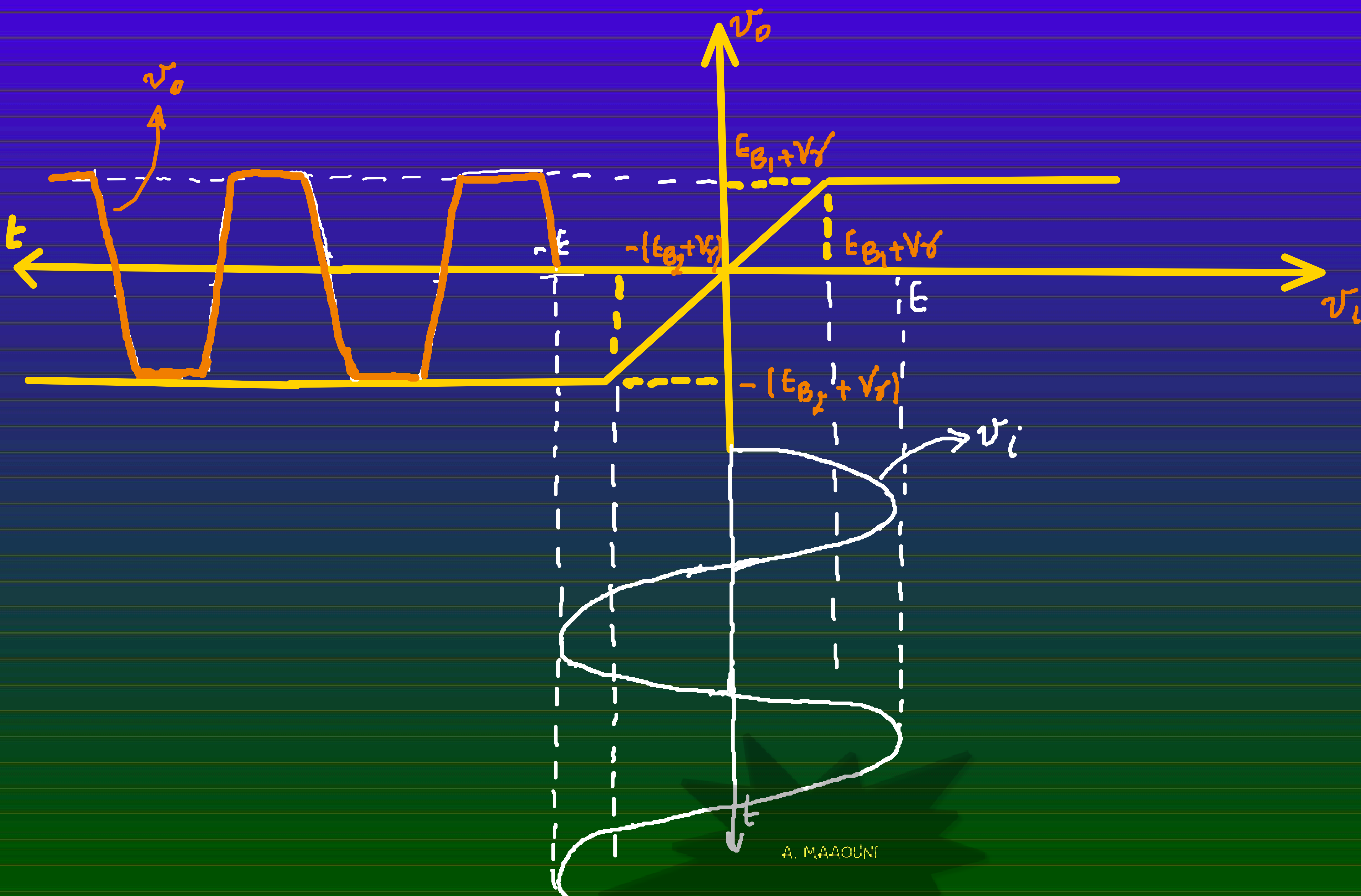
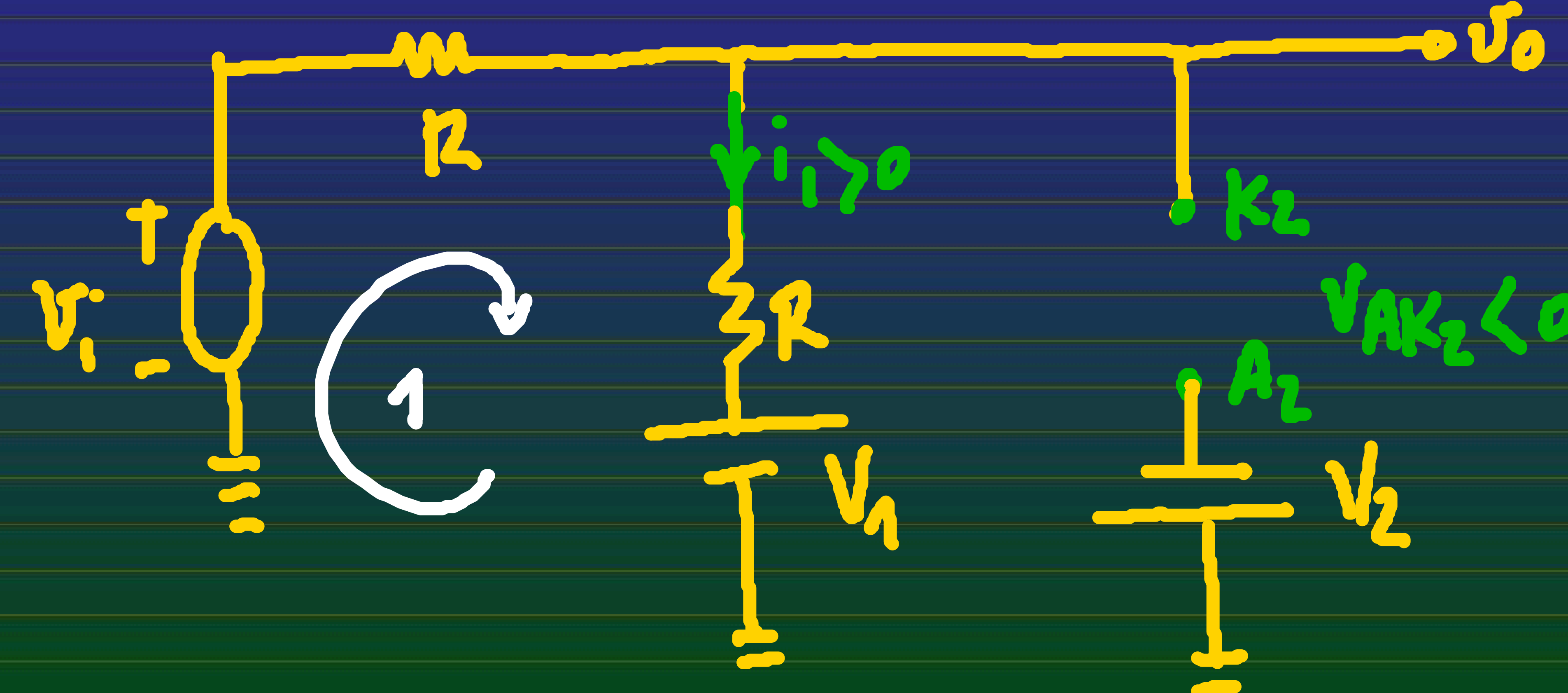


fig 3a : Les deux diodes sont supposées idéales.

Si D_1 = 'ON', D_2 = 'OFF', le circuit devient :



Maille 1 :

$$-v_i + Ri + Ri + V_1 = 0 \qquad \text{soit} \qquad i_1 = \frac{v_i - V_1}{2R} > 0$$

$v_i > V_1$.

$$V_{AK_2} = V_{A_2} - V_{K_2} = -V_2 - v_0$$

Or, l'application du théorème de Millmann, permet d'écrire :

$$v_0 = \frac{v_i/R + V_1/R}{1/R + 1/R} = \frac{v_i}{2} + \frac{V_1}{2}.$$

$$V_{AK_2} = -V_2 - \frac{v_i}{2} - \frac{V_1}{2} = -4 - 3\sin\omega t - 1 = -5 - 3\sin\omega t$$

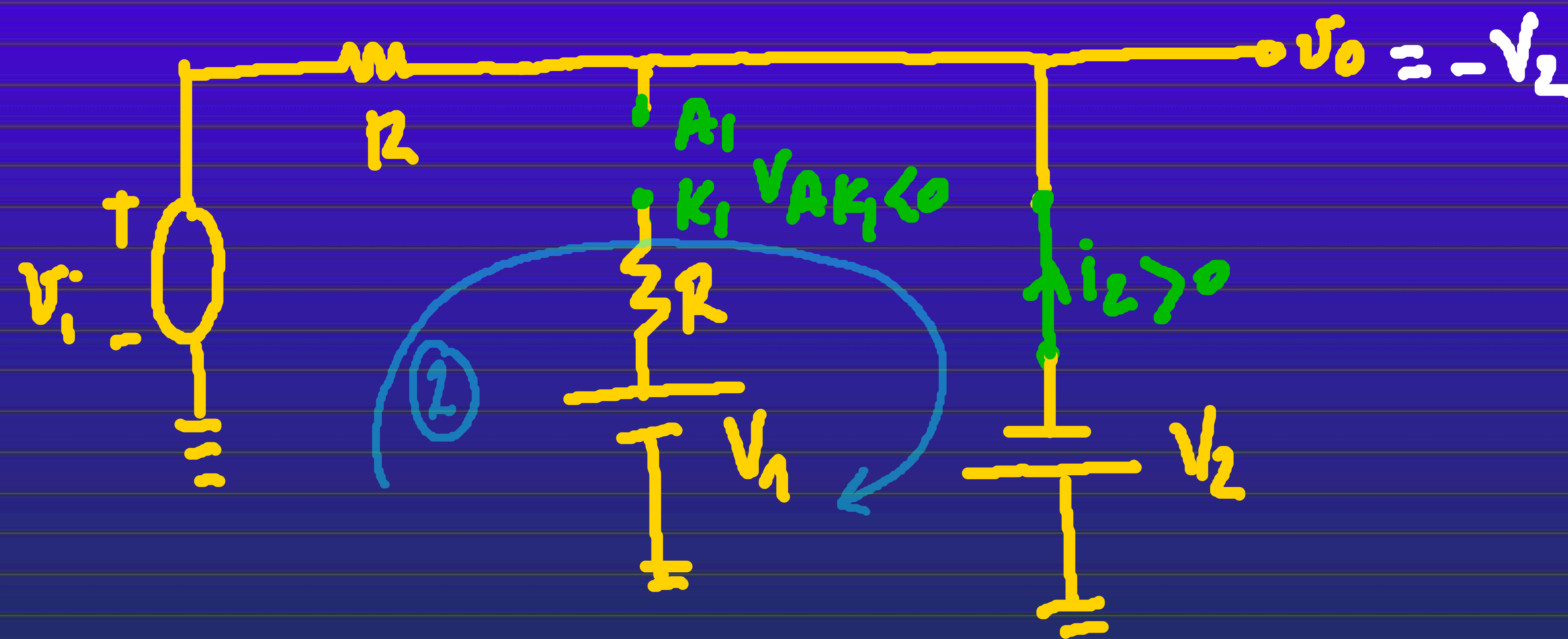
$-8V \leq V_{AK_2} \leq -2V$ d'où $V_{AK_2} < 0$.

C/c : si $v_i > V_1 = 2V$; $D_1 =$ 'ON' ; $D_2 =$ 'OFF' ;

$$v_0 = \frac{v_i}{2} + \frac{V_1}{2}$$

A. MAAOUNI

Si $D_1 =$ 'OFF', $D_2 =$ 'ON', le circuit devient:



Maille 2:

$-v_i - Ri_2 - V_2 = 0$ Soit $i_2 = -\dfrac{(v_i + V_2)}{R} > 0$

d'où $v_i < -V_2$

$V_{AK_1} = V_{A_1} - V_{K_1} = -V_2 - V_1 = -6V < 0$.

Ainsi si $v_i < -V_2$; $D_1 =$ 'OFF', $D_2 =$ 'ON' ; $v_o = -V_2$.

Si $D_1 =$ 'OFF' ; $D_2 =$ 'OFF'. le Circuit devient :

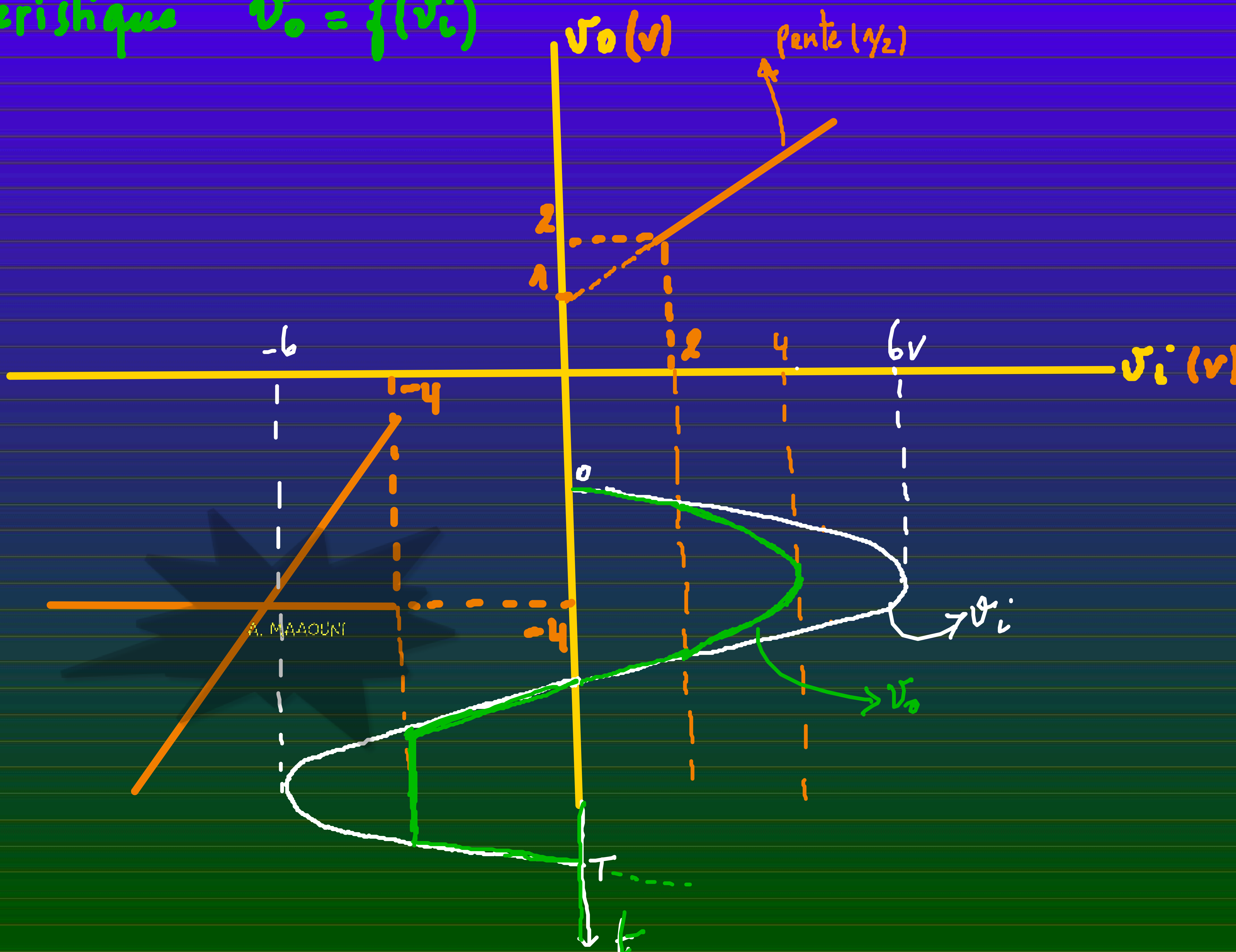
$$V_{AK_1} = V_{A_1} - V_{K_1} = v_i - V_1 < 0 \quad \text{soit} \quad v_i < V_1$$

$$V_{AK_2} = V_{A_2} - V_{K_2} = -V_2 - v_i < 0 \quad \text{soit} \quad v_i > -V_2$$

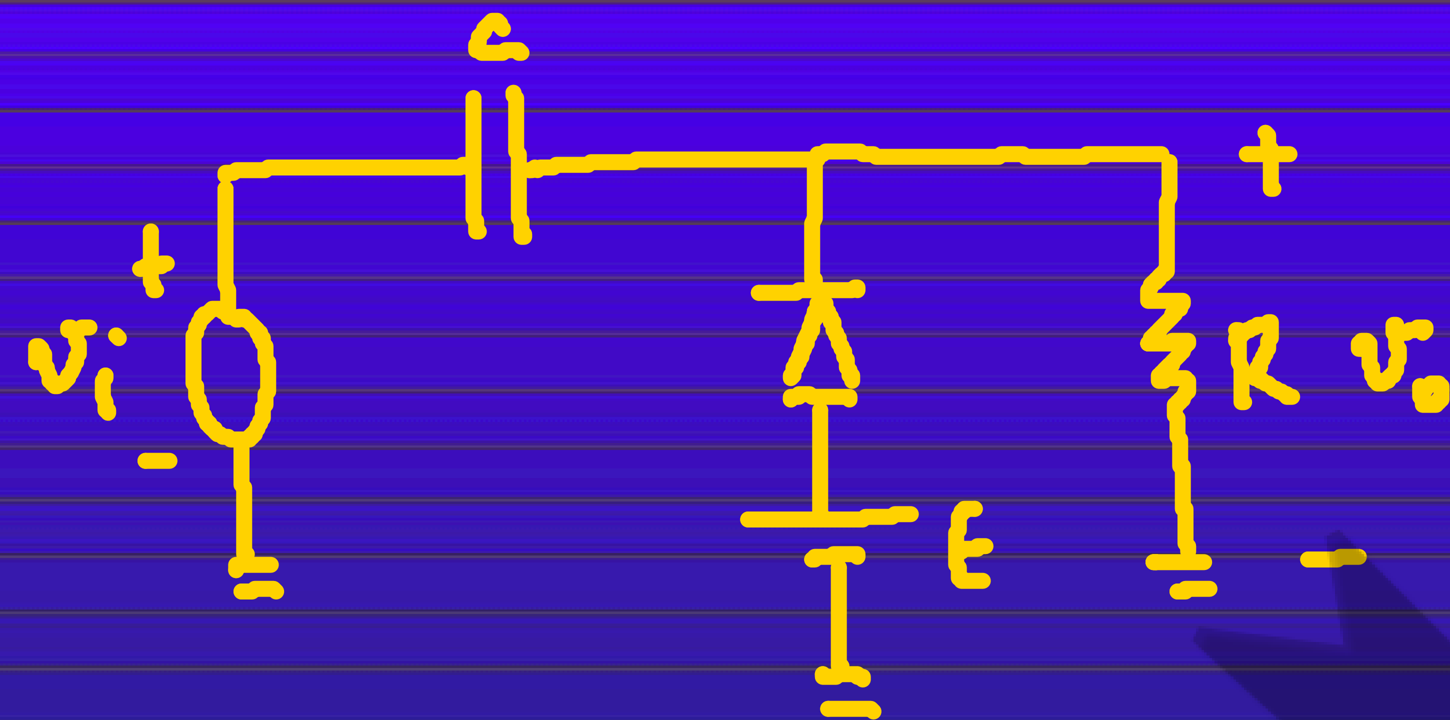
Ainsi : si $-V_2 < v_i < V_1$; $D_1 =$ 'OFF' ; $D_2 =$ 'OFF' et

$v_0 = v_i$

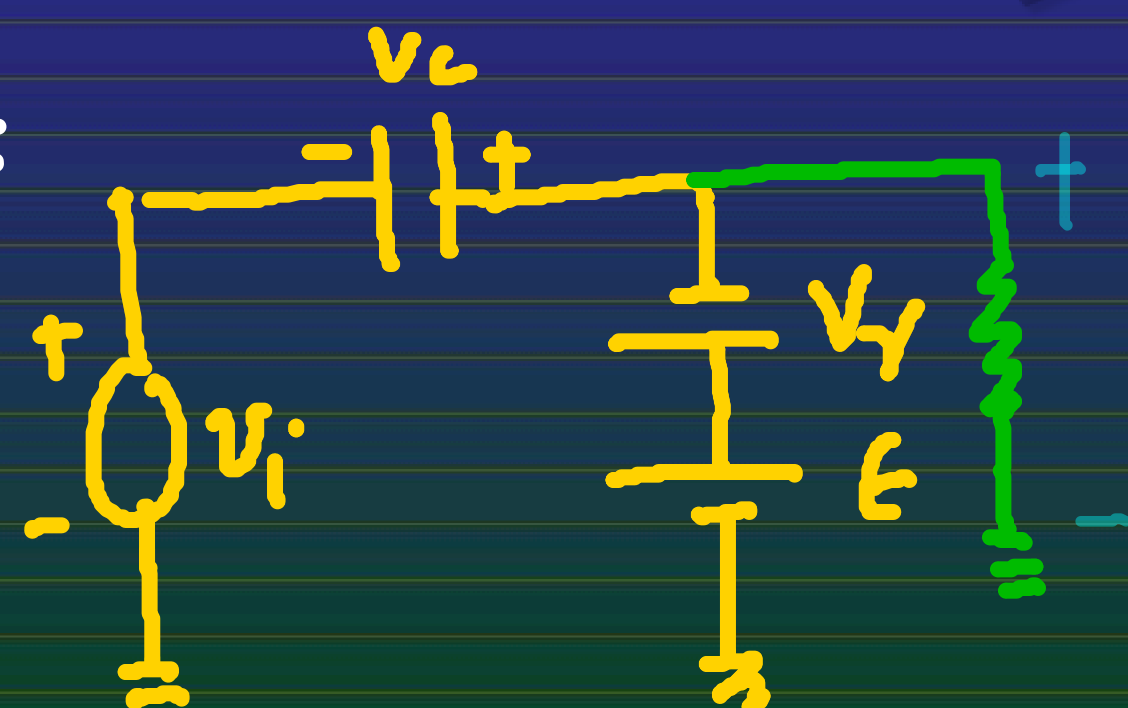
Caractéristique $v_o = f(v_i)$



EX2 :



Pendant l'alternance (-), la capacité se charge immédiatement et le circuit devient :

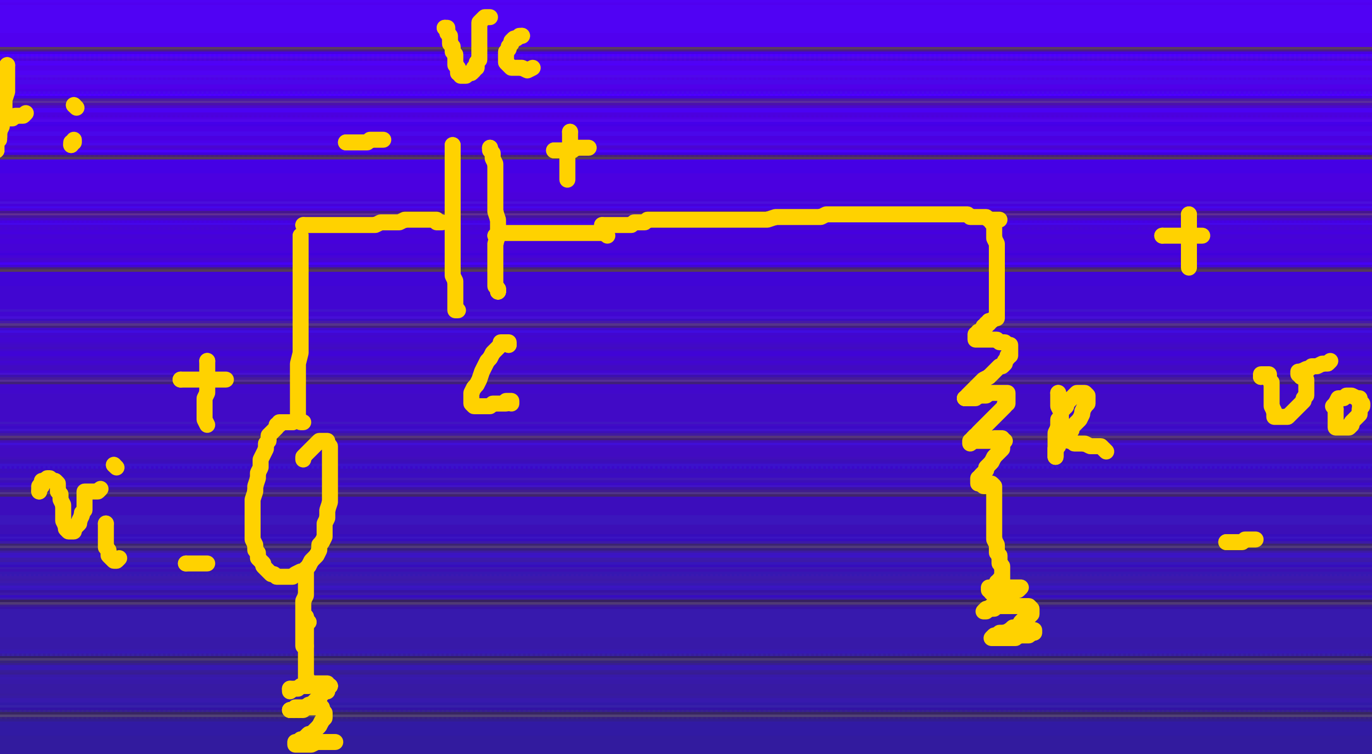


$v_c = -v_i + E - V_\gamma$

$v_i = -5 + 15 \sin(\omega t)$ (V)

la charge max du condensateur est atteinte à $v_c = v_{cmax} = -(-20) + E - V_\gamma = +20 + 5 - 0{,}7 = 24{,}3\,V$.

Une fois cette tension atteinte, la diode se bloque et le circuit devient :



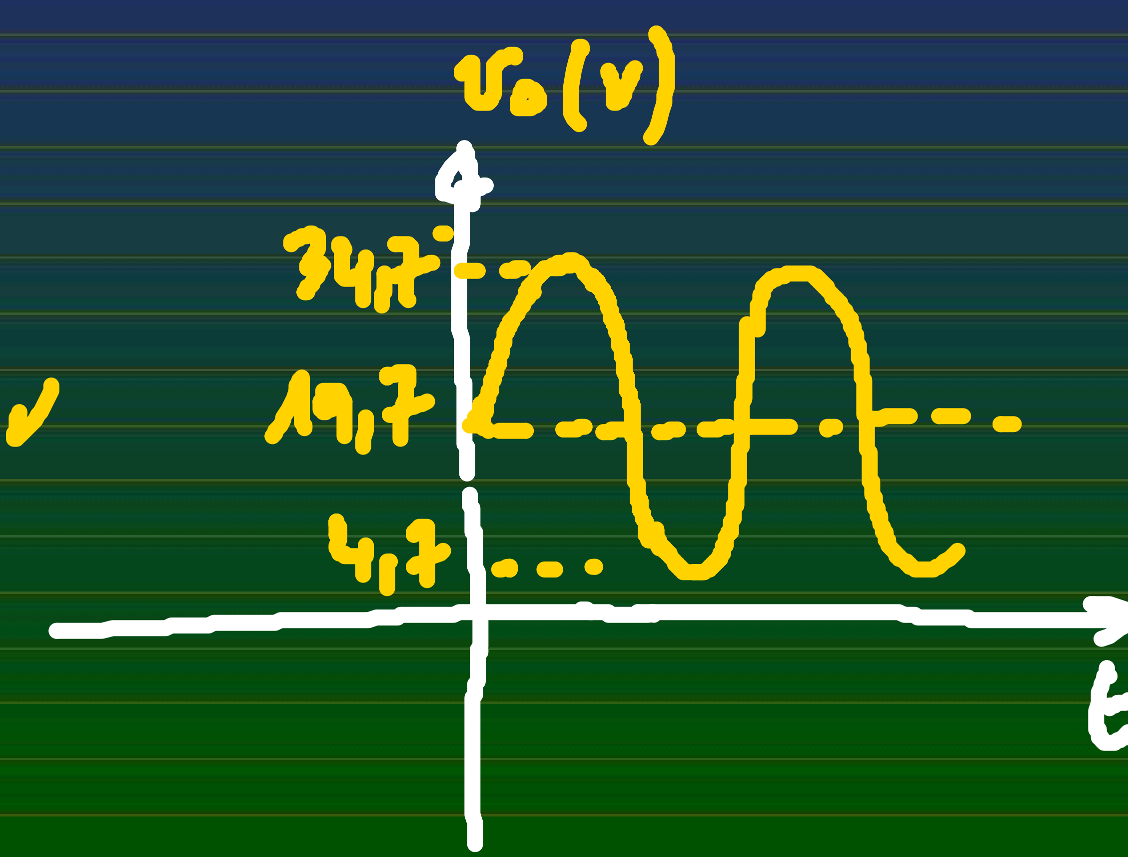
Du fait que la constante de temps $\tau = RC$ est assez large le condensateur garde sa charge et $v_C = v_{C\,max} = 24{,}7V$.

$$v_o = v_i + v_C$$

$$= v_i + 24{,}7V$$

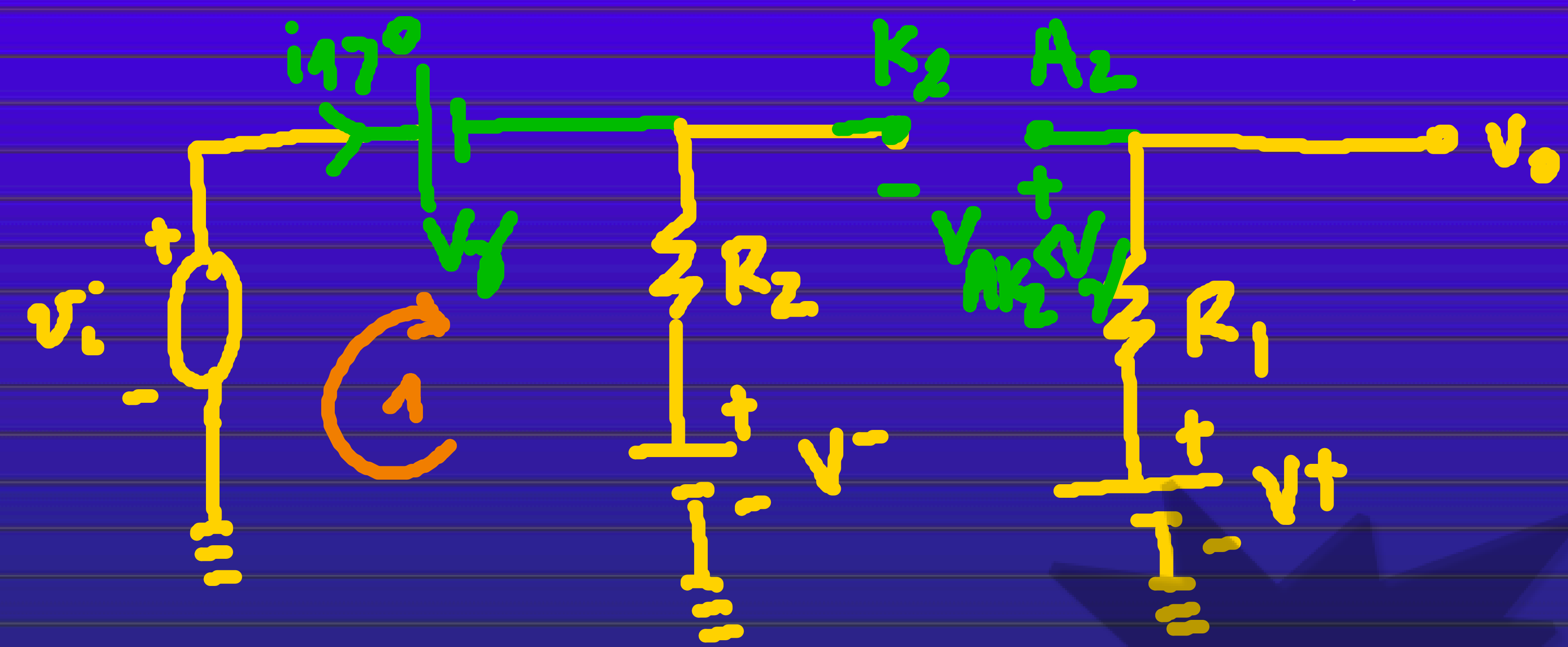
$$= -5 + 15 \sin \omega t + 24{,}7V$$

$$= 19{,}7 + 15 \sin(\omega t)$$



Ex 3: si D_1 = 'ON' , D_2 = 'OFF' , le circuit de la fig.3 devient

1/



$$v_0 = V^+ = 5V$$

Maille 1: $-v_i + V_\gamma + R i_1 + V^- = 0$ soit $i_1 = \dfrac{v_i - V^- - V_\gamma}{R_2} > 0$

$$v_i > V^- + V_\gamma = -5 + 0{,}7\,V = -4{,}3V.$$

D'autre part:

$$V_{A_2} = V^+ = 5V \;;\; V_{K_2} = v_i - V_\gamma$$

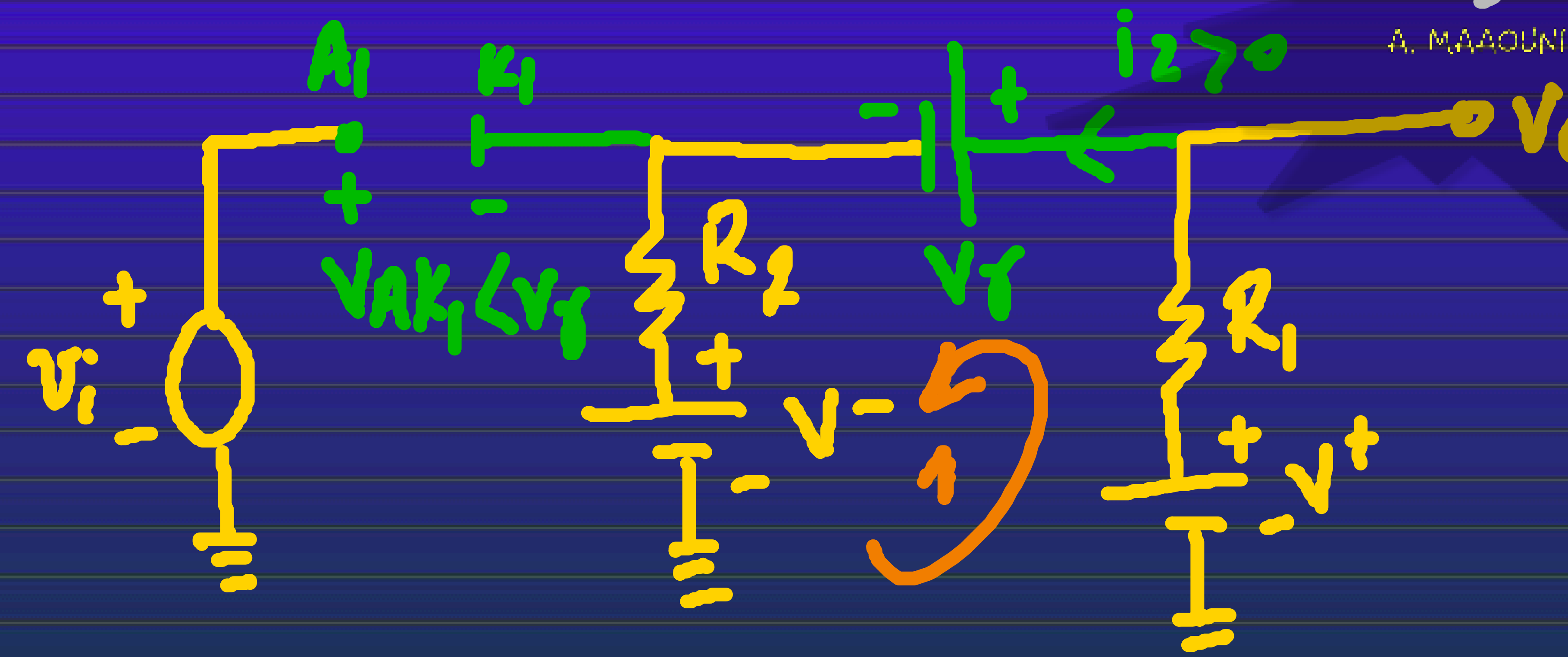
$$V_{AK_2} = V_{A_2} - V_{K_2} = V^+ - v_i + V_\gamma = 5 - v_i + 0{,}7 < V_\gamma = 0{,}7V$$

$$v_i > 5V.$$

4/c si $v_i > 5V$; D_1 = 'ON' , D_2 = 'OFF' et

$$v_0 = 5V.$$

Si D_1 = 'OFF' et D_2 = 'ON', le circuit de la fig 3 devient :



Maille 1 :

$$-V^+ + R_1 i_2 + V_\gamma + R_2 i_2 + V^- = 0 \,, \quad i_2 = \frac{V^+ - V^- - V_\gamma}{R_1 + R_2} = \frac{10 - 0{,}7}{R_1 + R_2} > 0$$

De plus :

$$V_{A_1} = v_i \,; \quad V_{K_1} = V^- + R_2 i_2$$

$$= V^- + R_2 \left(\frac{V^+ - V^- - V_\gamma}{R_1 + R_2} \right)$$

$$V_{K_1} = -5 + \frac{10}{15} \cdot 9{,}3 = 1{,}2V$$

$V_{AK_1} < V_\gamma$ soit $v_i - 1{,}2 < 0{,}7$, $v_i < 1{,}9V$

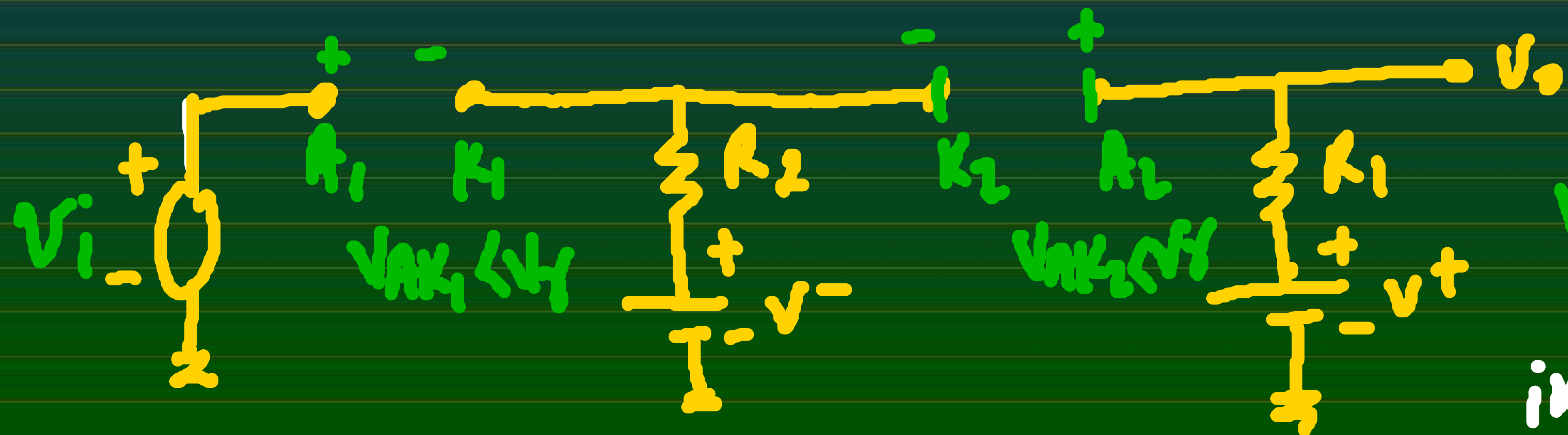
$$v_0 = v^+ - R_1 i_2 = v^+ - \frac{R_1}{R_1+R_2} \cdot (v^+ - v^- - V_\gamma)$$

$$= 5 - \frac{5}{15} \cdot 9{,}3 = 5 - 3{,}1 = 1{,}9V$$

C/C : si $v_i < 1{,}9V$; D_1 = 'OFF', D_2 = 'ON'

$$v_0 = 1{,}9V$$

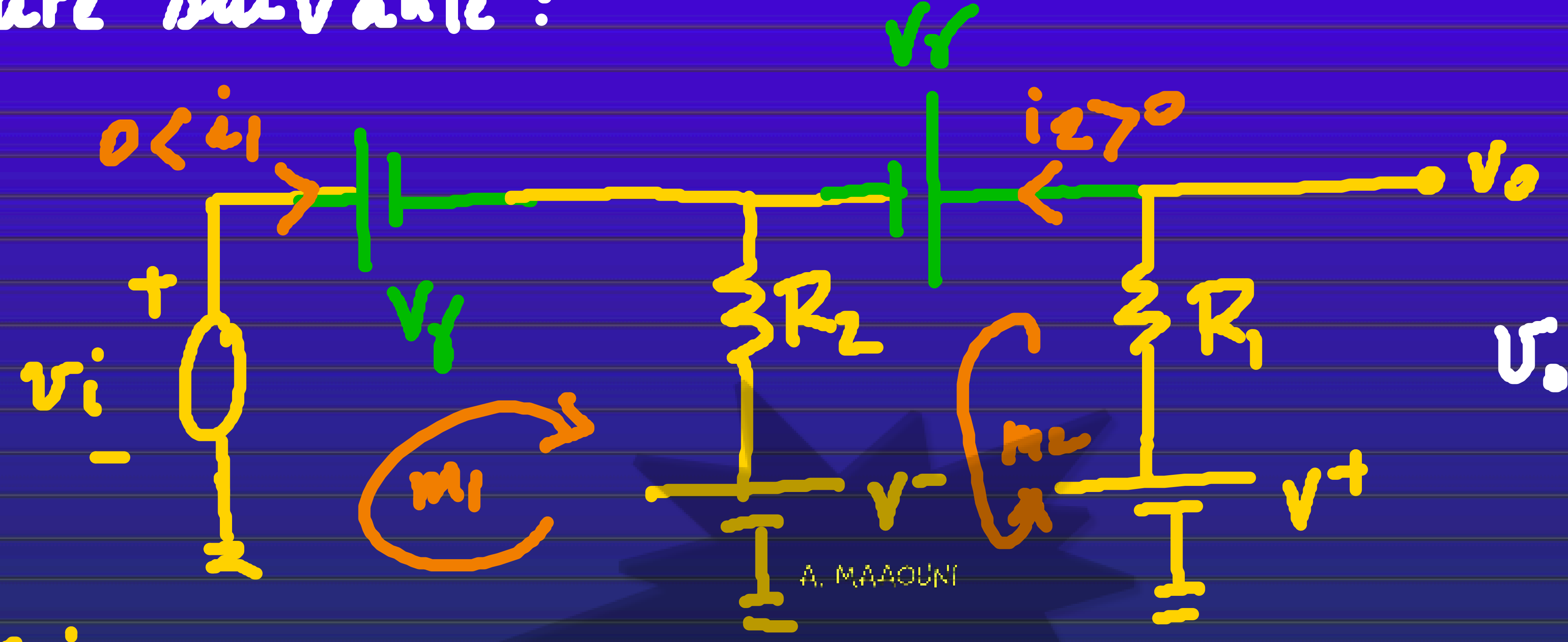
Si D_1 = 'OFF' , D_2 = 'OFF' , le circuit de la fig3 devient :



$V_{AK_2} = V^+ - V^- = 10V > V_\gamma$

impossible d'avoir cette configuration.

Si $D_1 \equiv D_2 \equiv$ 'on', le circuit fig3 se ramène à celui de la figure suivante :



$$v_o = v_i - V_\gamma + V_\gamma = v_i$$

Mailles m_1, m_2 :

$$-v_i + V_\gamma + R_2(i_1+i_2) + V^- = 0$$

$$V^- + R_2(i_1+i_2) + V_\gamma + R_1 i_2 - V^+ = 0$$

$$\begin{pmatrix} R_2 & R_2 \\ R_2 & R_2+R_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_i - V_\gamma - V^- \\ V^+ - V^- - V_\gamma \end{pmatrix}$$

$$\Delta i_1 = \begin{vmatrix} v_i - V_\gamma - V^- & R_2 \\ V^+ - V^- - V_\gamma & R_2 + R_1 \end{vmatrix}$$

$$= (R_1+R_2)(v_i - V_\gamma - V^-) - R_2(V^+ - V^- - V_\gamma) > 0$$

$$v_i > V_\gamma + V^- + \frac{R_2}{R_1+R_2}(V^+ - V^- - V_\gamma) = 0{,}7 - 5 + \frac{2}{3}(9{,}3)$$

A. MAAOUNI

$$= 0{,}7 + 1{,}2 = 1{,}9\,V$$

$$\Delta i_2 = \begin{vmatrix} R_2 & v_i - V_\gamma - V^- \\ R_2 & V^+ - V^- - V_\gamma \end{vmatrix} = R_2\left((V^+ - V^- - V_\gamma) - (v_i - V_\gamma - V^-)\right)$$

$$= R_2(V^+ - v_i) > 0 \quad \text{soit} \quad v_i < V^+ = 5\,V$$

Ainsi si $1{,}9\,V < v_i < 5\,V$, $D_1 \equiv D_2 \equiv$ 'ON',

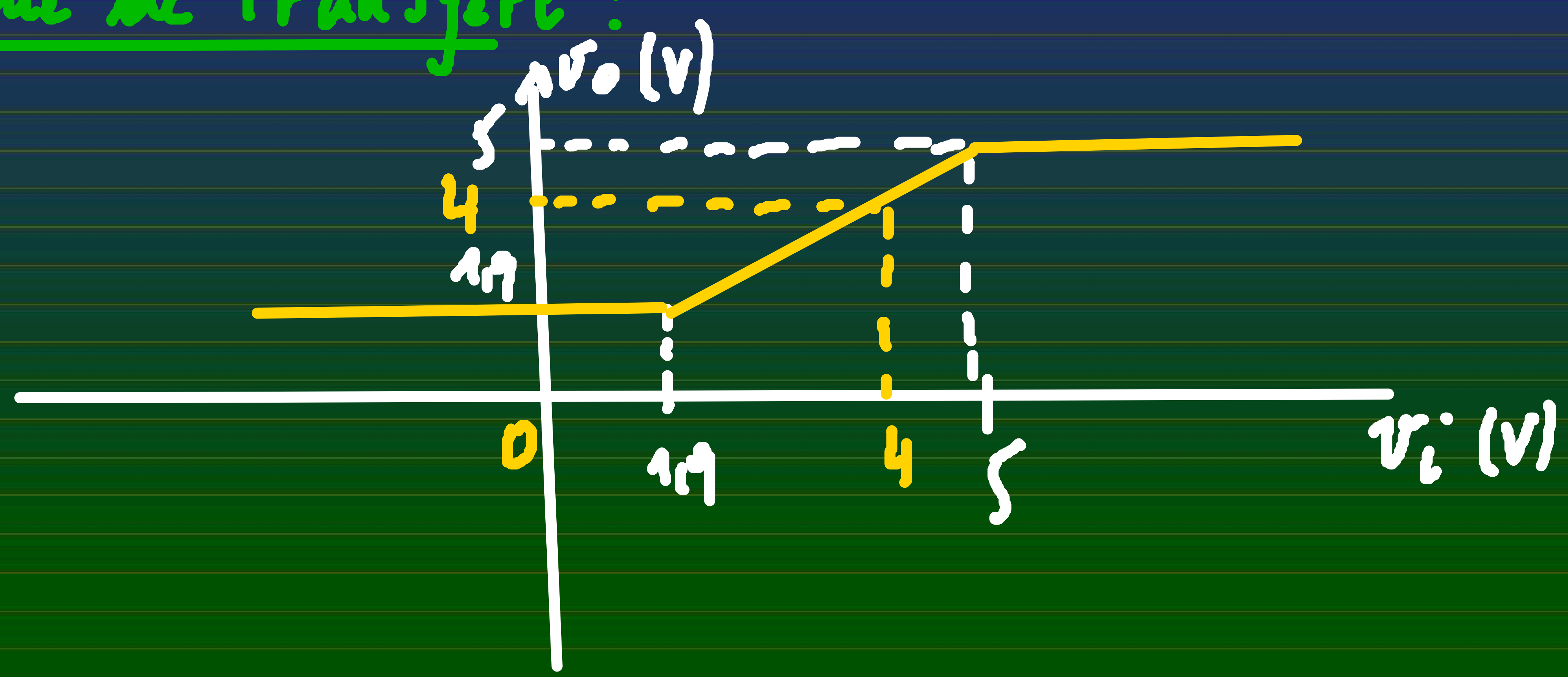
$$v_0 = -R_1 i_2 + V^+$$

$$V_0 = -\frac{R_1}{\Delta} \Delta i_2 + V^+$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} R_2 & R_2 \\ R_2 & R_2+R_1 \end{vmatrix} = R_2 (R_2 + R_1 - R_2) = R_1 R_2 .$$

$$v_0 = \frac{-R_1}{R_1 R_2} . R_2 (V^+ - v_i) + V^+ = v_i - V^+ + V^+ = v_i$$

Caractéristique de transfert :



2°/ Si $v_i = 0V$; $v_o = 1{,}9V$

Si $v_i = 4V$; $v_o = 4V = v_i$

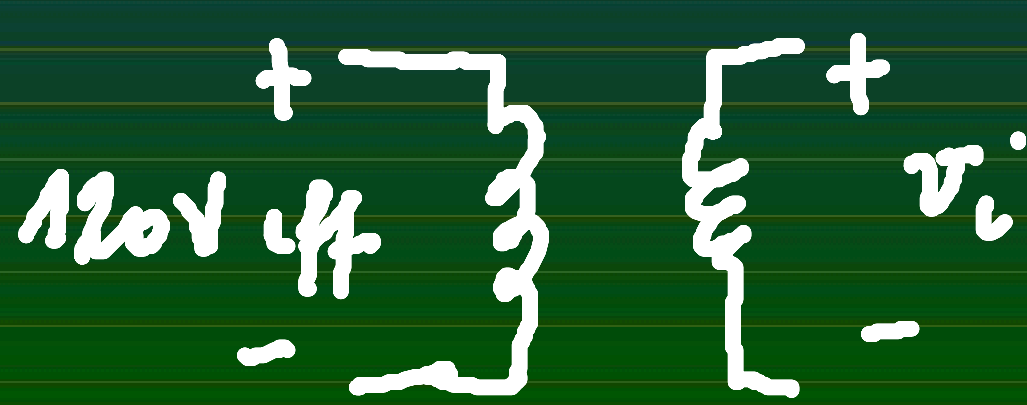
Ex 4/

1°/ La résistance R est donné par (voir cours) :

$$R = \frac{12V}{I_L} \quad ; \quad I_L = 120\,mA \; ; \; v_{o\,max} = 12V.$$

$$R \simeq \frac{12}{120}\,k\Omega = 100\,\Omega.$$

2°/



$$\frac{v_{i\,eff}}{120V\,eff} = \frac{N_2}{N_1} = a.$$

Désignons par V_p l'amplitude du signal d'entrée v_i :

Le rapport de transformation vaut donc :

$$a = \frac{V_p/\sqrt{2}}{120} = \frac{V_p}{\sqrt{2}\cdot 120}.$$

Rapp

Supposons que D_1 et D_2 conduisent et D_3 et D_4 bloqués.

le circuit devient (capacité débranchée) :

loi des mailles :

$$-v_i + V_\gamma + Ri + V_\gamma = 0$$

$$i = \frac{v_i - 2V_\gamma}{R} > 0$$

Soit $v_i > 2V_\gamma$

Ainsi, pour $v_i > 2V_\gamma$, déterminons V_{AK_3} et V_{AK_4}.

maille 'm' :

$$-v_i - V_{AK_3} + V_\gamma = 0,$$

$$V_{AK_3} = -(\underbrace{v_i - V_\gamma}_{> V_\gamma}) < 0 \text{ donc } V_{AK_3} < V_\gamma.$$

maille 'm'' :

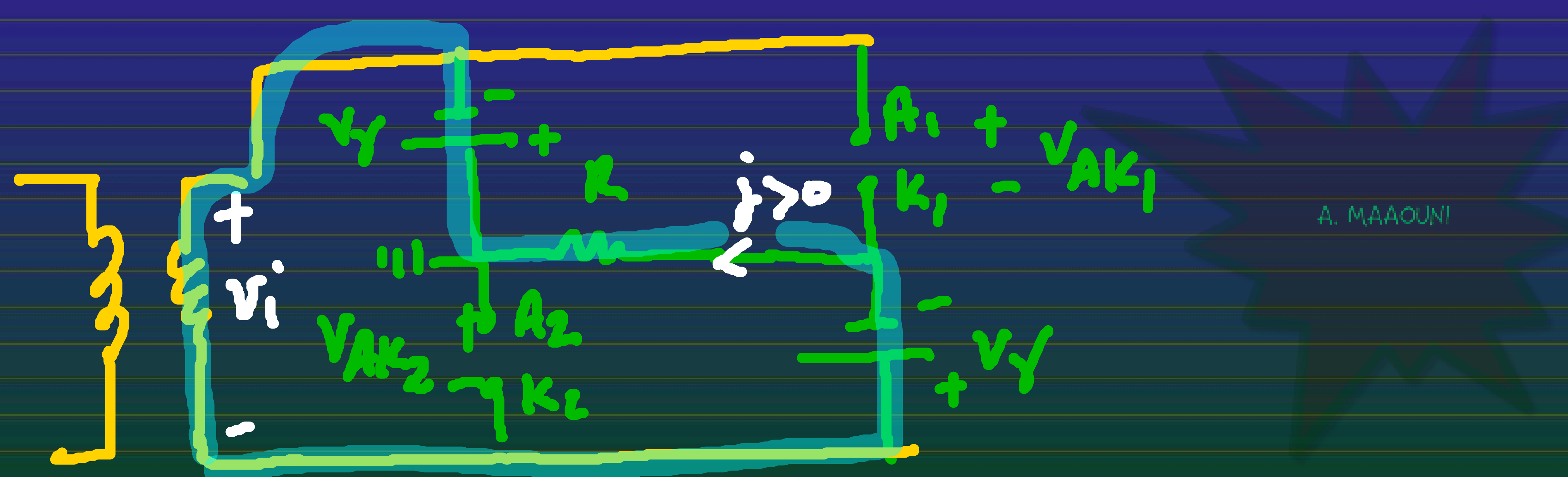
$$-v_i + V_\gamma - V_{AK_4} = 0$$

$$V_{AK_4} = -(\underbrace{v_i - V_\gamma}_{> V_\gamma}) < 0 \text{ donc } V_{AK_4} < V_\gamma$$

4c : Si $v_i > 2V_\gamma$, on effectivement D_1 et D_2 conduisent et D_3 et D_4 sont bloquées et :

$$v_0 = Ri = v_i - 2V_\gamma$$

Supposons que D_3 et D_4 conductrices et $D_{1,2}$ bloquées. Le circuit devient :



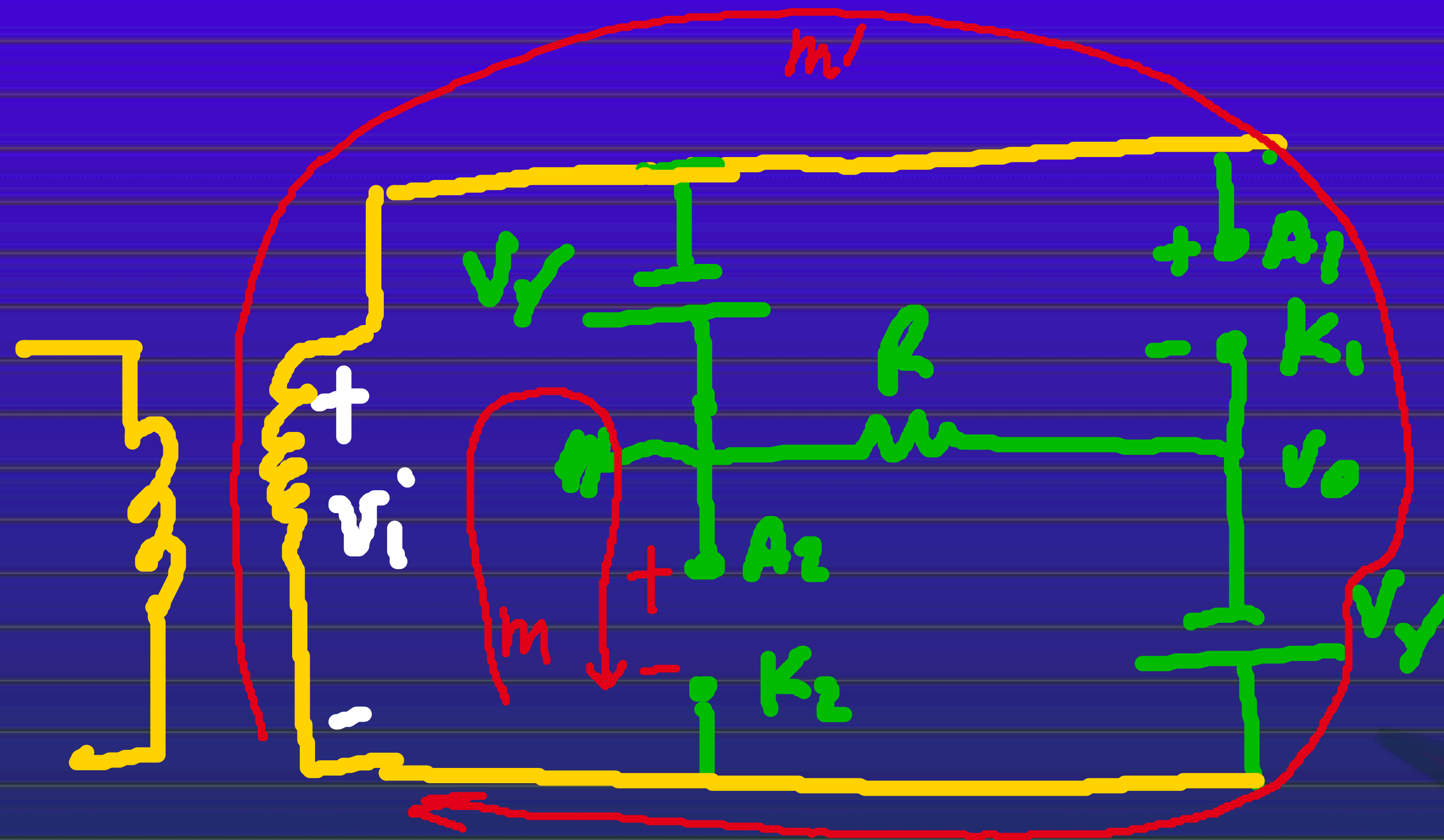
Loi des mailles: (maille hachurée) :

$$-v_i - V_\gamma - Rj - V_\gamma = 0$$

Soit

$$j = -(v_i + 2V_\gamma)/R > 0, \quad v_i < -2V_\gamma.$$

Pour $v_i < -2V_\gamma$, Déterminons V_{AK_1} et V_{AK_2}.



A. MAAOUNI

maille m :

$$-v_i - V_\gamma + V_{AK_2} = 0$$

$$V_{AK_2} = v_i + V_\gamma < -V_\gamma \text{ , soit } V_{AK_2} < V_\gamma$$

maille m' :

$$-v_i + V_{AK_1} - V_\gamma = 0 \text{ ,}$$

$$V_{AK_1} = v_i + V_\gamma < -V_\gamma \text{ , soit } V_{AK_1} < V_\gamma .$$

c/c pour $v_i < -2V_\gamma$, $D_{3,4} \equiv$ 'on' et $D_{1,2} =$ 'off'

$$v_o = Rj = -(v_i + 2V_\gamma).$$

Supposons que $D_{1,2,3,4}$ sont bloquées. Le circuit devient (lorsque la capacité est débranchée) :

$V_{AKi} < V_\gamma$ pour $i = 1, 2, 3, 4$.

loi des mailles :

$$-v_i + (V_{AK_1} + V_{AK_2}) = 0 \; ; \quad v_i = V_{AK_1} + V_{AK_2} < 2V_\gamma.$$

$$-v_i - (V_{AK_3} + V_{AK_4}) = 0 \; ; \quad v_i = -(V_{AK_3} + V_{AK_4}) > -2V_\gamma.$$

c/c si $-2V_\gamma < v_i < 2V_\gamma$; $D_{1,2,3,4}$ = 'OFF'.

$v_o = 0V$.

Caractéristique de transfert :

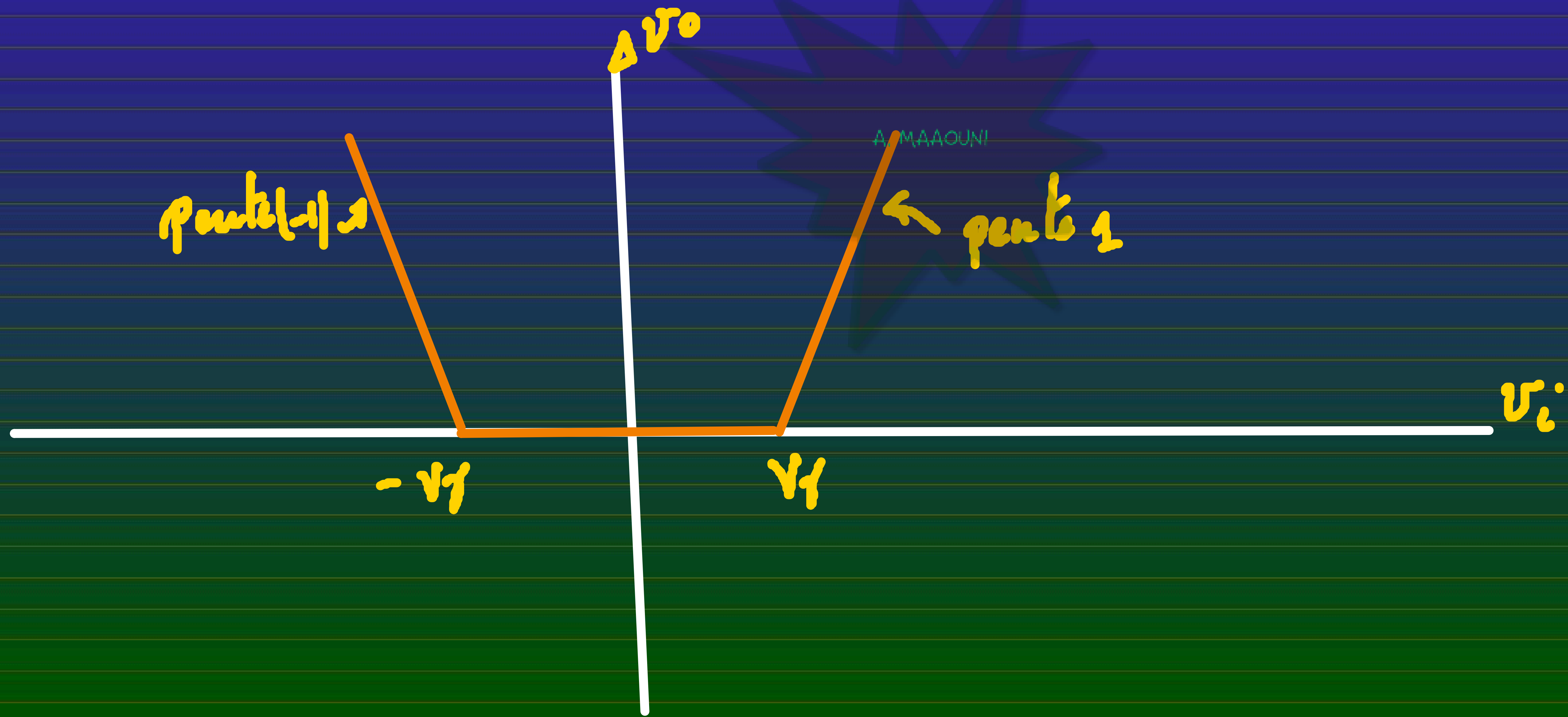
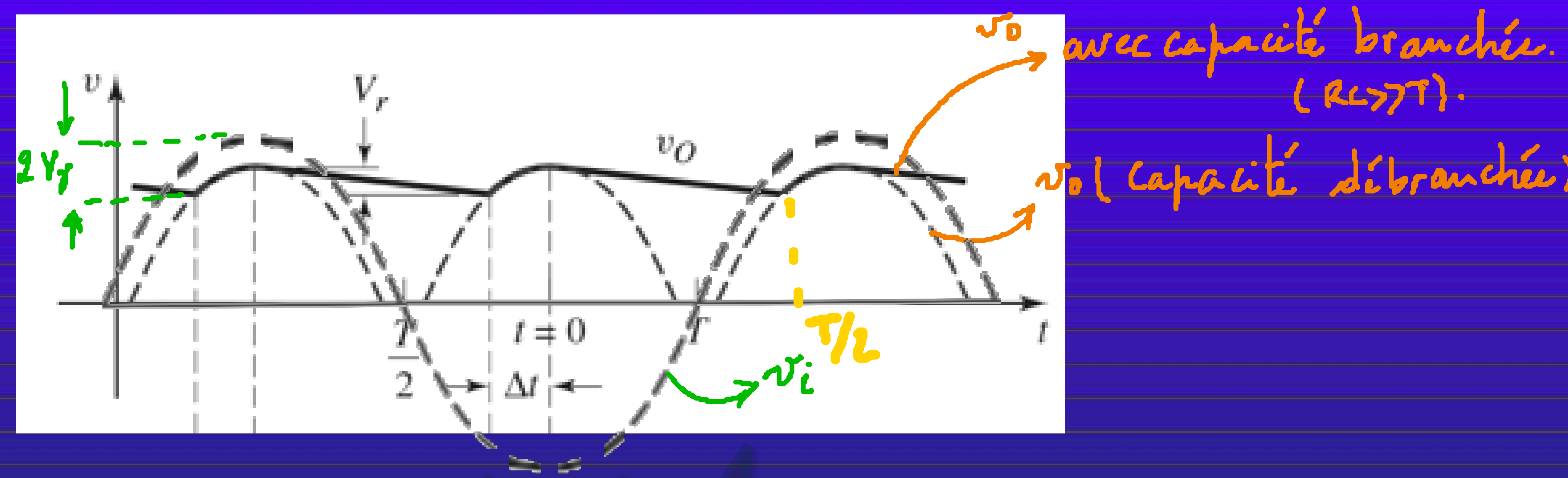


fig4.a



L'amplitude V_p du signal d'entrée v_i est :

$$V_p = 12V + 2V_T = 13{,}4V.$$

Le rapport de transformation vaut donc :

$$a = \frac{13{,}4}{\sqrt{2}\cdot 120} = 0{,}07896 = \frac{N_2}{N_1}$$

$$N_1/N_2 \cong 12{,}7.$$

$$v_0(t) = A\, e^{-t/\tau} \quad ; \quad \tau = RC \quad , \quad A = v_0(0) = V_{0max}$$

à $t = T/2$:

$$v_0(T/2) = V_{0max}\, e^{-\frac{T}{2\tau}} = V_{0max} - V_r$$

Or $T \gg \tau$, $e^{-\frac{T}{2\tau}} \simeq 1 - \frac{T}{2\tau}$, Soit :

$$V_{0max}\left(1 - \frac{T}{2\tau}\right) = V_{0max} - V_r$$

$$V_r \simeq V_{0max} \cdot \frac{T}{2\tau}$$

$$C = \frac{V_{0max}}{V_r} \cdot \frac{1}{2Rf} = \frac{12}{0{,}6} \cdot \frac{1}{2 \cdot 100 \cdot 50}\ F = 2000\ \mu F.$$

3°/ La tension crête-crête des ondulations est :

$$V_r = 5\% \cdot V_{0,c} \quad ; \quad V_{0,c} = \text{tension de sortie crête}$$

(taux d'ondulation de 5%)

$$V_r = 0{,}05 \cdot 12V = 0{,}6V.$$

4°/ Calcul de la capacité.

A $t = 0s$ (voir figure 4.a), la tension à charge maximale du condensateur est :

$$v_{0max} = 12V = (V_p - 2V_\gamma).$$

pour $t > 0$, la capacité se décharge selon la loi :

5) Partie de cours (à reprendre) :

Intervalle de conduction Δt

$$V'_p \cos(\omega \Delta t) = V'_p - V_r \simeq V_p \overbrace{\left(1 - \frac{\omega^2 \Delta t^2}{2}\right)}^{\cos(\omega\Delta t),\ \Delta t << \frac{1}{\omega}}$$

$V'_p = V_{omax} = 12\,V$;

$$\omega \Delta t \simeq \sqrt{\frac{2V_r}{V'_p}}$$

Angle de conduction

Courant moyen dans la diode (sur l'intervalle de conduction)

Ce courant peut être calculé en tenant compte du fait que :

La charge accumulée dans C pendant la conduction de D est perdue pendant la décharge dans la résistance.

$$Q_{accumulée} = i_{Cmoy} \Delta t = Q_{perdue} = V_r C$$

$$i_{Cmoy} = i_{Dmoy} - I_L \rightarrow I_{Dmoy} = I_L + \frac{V_r C}{\Delta t}$$

$$i_{Cmoy} = i_{Dmoy} - I_L \rightarrow I_{Dmoy} = I_L \left(1 + \pi \sqrt{\frac{V'_p}{2V_r}}\right)$$

Courant max dans la diode

$$i_D = C\frac{dv_I}{dt} + I_L,\ \ I_L = \frac{V_p'}{R},\ \ V_r \ll V_p$$

$$I_{D\max} \approx C\omega V_p\,\omega\Delta t + I_L,\ \ I_L = \frac{V_p'}{R},\ \ V_r \ll V_p'$$

$$I_{D\max} \approx I_L\left(1 + \ \pi\sqrt{\frac{2V_p'}{V_r}}\right)$$

i $\quad V_p' = V_{o\max} = V_p - 2V_\gamma.$

où :

$$V_r \approx \frac{V_p'}{2f\tau}$$

A. MAAOUNI

$$I_{D\max} \simeq \frac{12}{100}\left(1 + \pi\sqrt{\frac{2.(12)}{0{,}6}}\right) \simeq 2{,}50\,A.$$

Courant moyen sur l'intervalle de conduction :

$$I_{D\,moy} \simeq \frac{12}{100}\left(1 + \pi\sqrt{\frac{12}{2\times 0{,}6}}\right) \simeq 1{,}312\ A.$$

b/ PIV : (voir cours) :

$$PIV \simeq V_p - V_\gamma = 13{,}4V - 0{,}7V = 12{,}7V.$$

Ex5 : Soit le régulateur de la figure suivante :

Une tension V_{smin} engendre un courant minimal dans la diode (I_{Zmin}) pour un courant max dans la charge.

De même une tension V_{smax} engendre un courant max dans la diode (I_{Zmax}) et un courant minimal dans la charge. Ceci se traduit par (pour un fonctionnement en régulateur) :

$$R_S = \frac{V_{S\,min} - V_Z}{I_{Z\,min} + I_{L\,max}}$$

et $$R_S = \frac{V_{S\,max} - V_Z}{I_{Z\,max} + I_{L\,min}}.$$

Il en résulte que :

$$\frac{V_{S\,min} - V_Z}{I_{Z\,min} + I_{L\,max}} = \frac{V_{S\,max} - V_Z}{I_{Z\,max} + I_{L\,min}}.$$

Or, $I_{Z\,max} \cdot 0.1 = I_{Z\,min}$, ce qui se traduit par :

$$I_{Z\,max} = \frac{I_{L\,max}(V_{S\,max} - V_Z) - I_{L\,min}(V_{S\,min} - V_Z)}{V_{S\,min} - 0{,}9\,V_Z - 0{,}1\,V_{S\,max}}$$

$$I_{Lmax} = \frac{V_Z}{R_{Lmin}} = \frac{V_Z}{20} = \frac{5,6}{20} \simeq 0,28\ A$$

$$I_{Lmin} = \frac{V_Z}{R_{Lmax}} = \frac{5,6}{100} = 0,056\ A.$$

$$I_{Zmax} = \frac{0,28\,(14-5,6) - 0,056\,(10-5,6)}{10 - 0,9 \cdot 5,6 - 0,1 \cdot 14}$$

$$\simeq 0,591\ A$$

$$R_S = \frac{14-5,6}{0,591+0,056} \simeq 13\,\Omega.$$

2°/

$$P_{Z_{min}} = I_{Z_{min}} \cdot V_Z = 0{,}1 \cdot I_{Z_{max}} \cdot V_Z$$

$$= 0{,}1 \cdot 0{,}591 \cdot 5{,}6 \ (W)$$

$$\cong 0{,}33\ W$$

$$P_{Z_{max}} = 3{,}3\ W.$$

3°/

$R_S = 13\Omega$, $R_L = 50\ \Omega$.

=

$$V_{STh(min)} = V_{S_{min}} \cdot \frac{R_L}{R_L+R_S} = 10 \cdot \frac{50}{13+50} = 7{,}9\,V > V_Z = 5{,}6\,V.$$

la diode fonctionne en régulateur pour $V_{S_{min}} < V_S < V_{S_{max}}$.

Vis à vis des variations, on a :

$$\Delta V_o = \frac{r_Z \parallel R_L}{r_Z \parallel R_L + R_s}\,\Delta V_s$$

$$r_Z \parallel R_L = \left(\frac{1}{13} + \frac{1}{50}\right)^{-1} \Omega = 10{,}3\,\Omega$$

$$\frac{\Delta V_o}{\Delta V_s} = \frac{10{,}3}{10{,}3 + 13} = \frac{10{,}3}{23{,}3} = 0{,}442 = 44{,}2\,\%.$$

→ Sans charge ($R_L = \infty$) , pour la tension nominale

$$V_{S_{nom}} = \frac{10+14}{2} = 12\,V$$

$$V_{0\,|R_L=\infty} = \frac{V_{S_{nom}}/R_S + V_Z/r_Z}{1/R_S + 1/r_Z} = \frac{r_Z V_{S_{nom}} + R_S V_Z}{r_Z + R_S}$$

$$\simeq \frac{2 \cdot 12 + 13 \cdot 5{,}6}{15}$$

$$\simeq 6{,}45\,V$$

→ Pour $R_L = 50\,\Omega$

$$V_{0\,|R_L} = \frac{V_{S_{nom}}/R_S + V_Z/r_Z}{1/R_S + \frac{1}{r_Z} + \frac{1}{R_L}} = \frac{\frac{12}{13} + \frac{5{,}6}{2}}{\frac{1}{13} + \frac{1}{2} + \frac{1}{50}} \simeq 6{,}24\,V$$

$$\frac{V_{0,\infty} - V_{0,R_L}}{V_{0,R_L}} = \frac{6,45 - 6,24}{6,24} \simeq 3,36\,\%$$

Fin