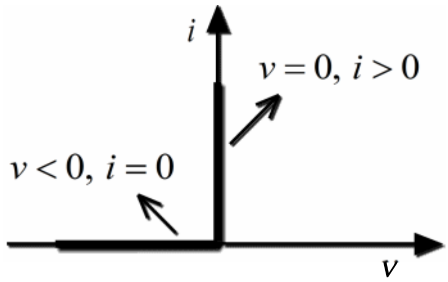
Université Mohammed V -Agdal **Année 11/12**
Faculté des Sciences

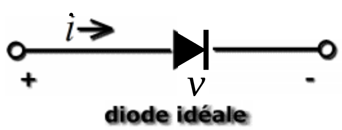
SMP5 : Electronique
Correction de la série n°1

Exercice 1 :

<u>Diode idéale</u>

Caractéristique :





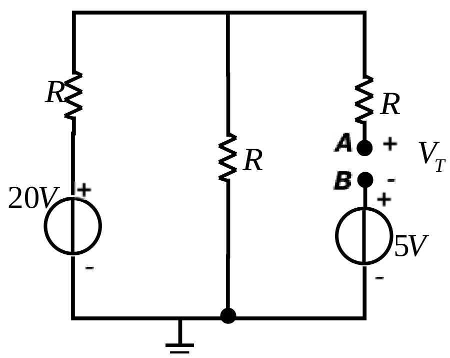
$$\equiv \begin{cases} \text{fil} & si \quad i > 0 \\ \text{interrupteur ouvert} & si \quad v < 0 \end{cases}$$

Circuit fig1.a

La diode D conduit si la f.é.m. du générateur de Thévenin qui l'attaque est positive.
Notons E_T cette f.é.m.

<u>Calcul de E_T</u>

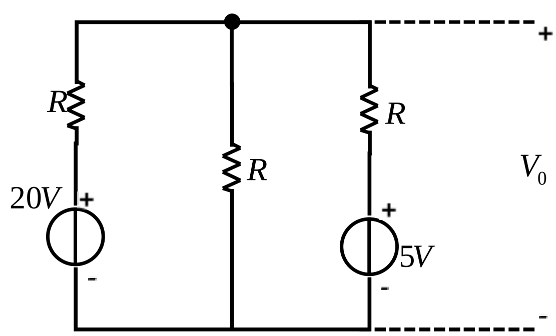
$$V_T = V_A - V_B$$



<u>Diviseur de tension</u>

$$V_A = \frac{R}{R+R} 20V = 10V$$
$$V_B = 5V \qquad V_T = 10 - 5 = 5V > 0$$

La diode conduit et on peut donc la remplacer par un fil.
On aura le circuit suivant :

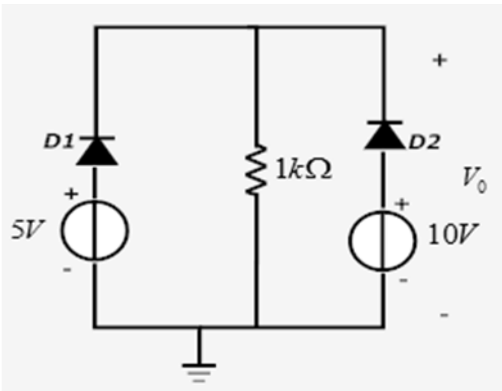


Méthode des nœuds :

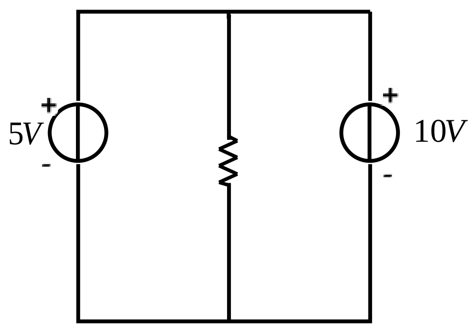
$$V_0\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R}+\frac{1}{R}\right)=\frac{20}{R}+\frac{5}{R}$$
$$3V_0=20+5=25$$
$$V_0=\frac{25}{3}=8.34V$$

Circuit de la fig1.b

1) a) supposons que *D1* conduit et *D2* conduit. Le circuit à diodes de la figure 1b devient :

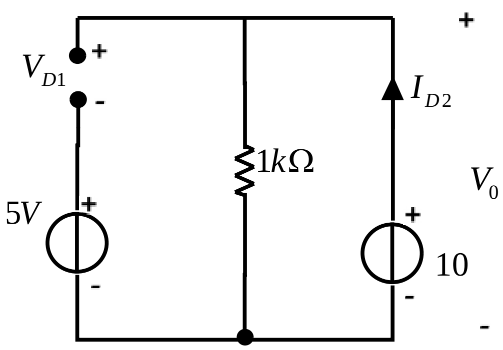


≡



Impossible $5 \neq 10V$

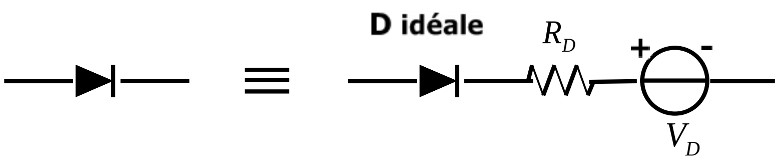
b) Supposons que *D2* conduit et *D1* est bloquée. On obtient le circuit suivant :



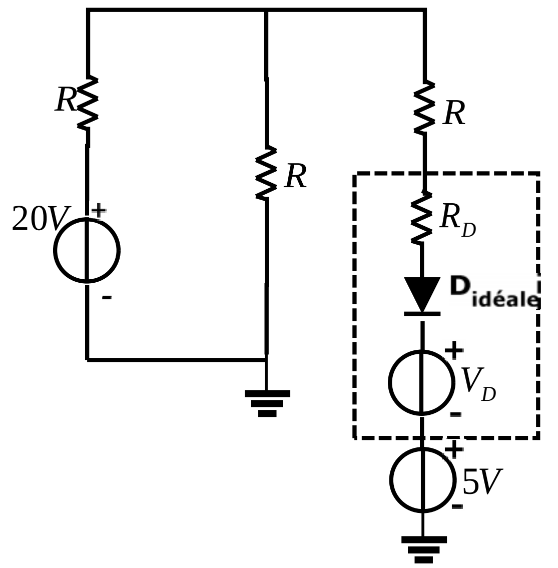
$$I_{D2}=\frac{10}{1k}=10mA>0$$
$$V_{D1}=5-10=-5V<0$$

La supposition est valide puisque $I_{D2}>0$ et $V_{D1}<0$. La tension V_0 vaut donc : $V_0=10V$.

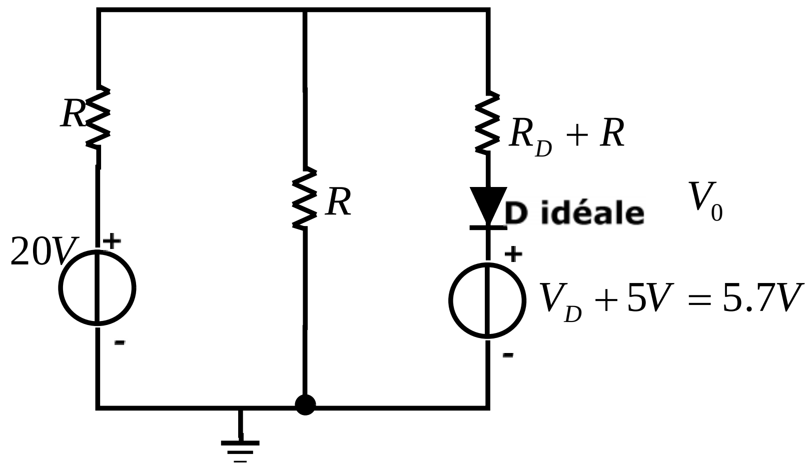
2) La diode D est réelle. Elle est caractérisée par : $V_D=0.7V$ et $R_D=20\Omega$



En substituant à la diode réelle son schéma équivalent représenté ci-dessus, le circuit devient :



Soit :



La tension V_T attaquant la diode idéale est $V_T = 10V - 5.7V = 4.3V > 0$

D conduit est donc équivalente à un court-circuit (Diode idéale).

<u>Méthode des Nœuds :</u>

$$V_0\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R_D + R}\right) = \frac{20}{R} + \frac{5,7}{R_D + R}$$

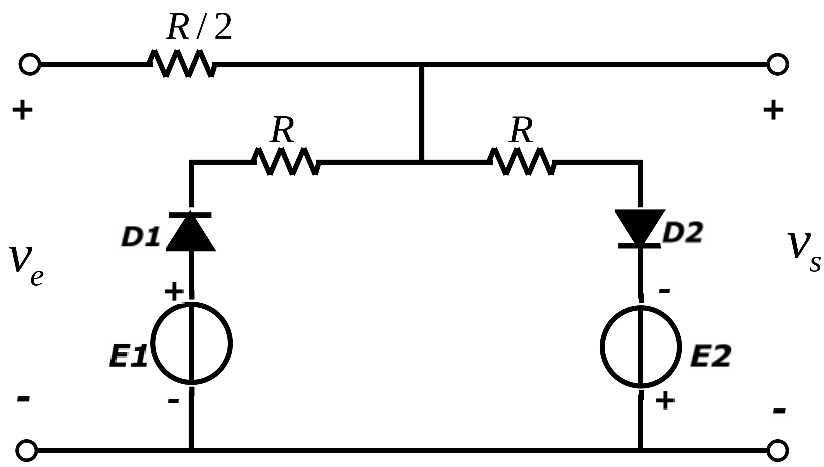
$$V_0\left(\frac{1}{30} + \frac{1}{30} + \frac{1}{50}\right) = \frac{20}{30} + \frac{5.7}{50}$$

$$V_0(100 + 30) = 1000 + 171$$

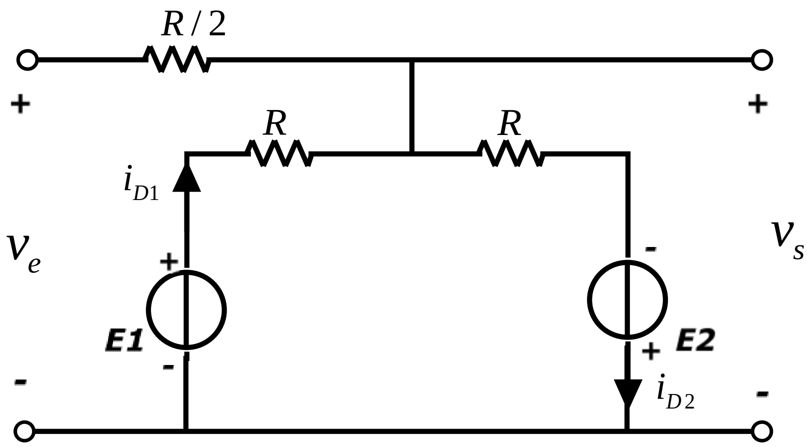
$$V_0 = \frac{1171}{130} = 9V$$

Exercice 2 :

On considère le circuit de la figure suivante. Les diodes *D1* et *D2* sont idéales.



a) On suppose que D1 conduit et D2 conduit :



$i_{D1} > 0$

$i_{D2} > 0$

La loi d'Ohm nous donne :

$$i_{D1} = \frac{-v_s + E_1}{R} \rightarrow v_s < E_1$$

$$i_{D2} = \frac{v_s + E_2}{R} > 0 \rightarrow v_s > -E_2 \quad \text{Soit :} \quad -E_2 < v_s < E_1$$

<u>Méthode des Nœuds :</u>

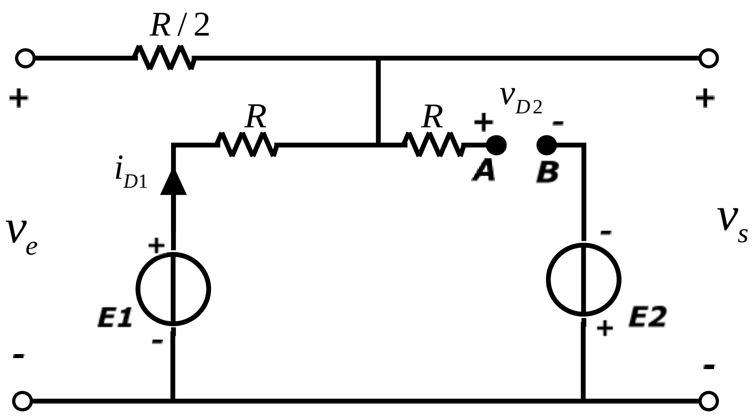
$$v_s\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{2}{R}\right) = \frac{2}{R}v_e + \frac{E_1}{R} - \frac{E_2}{R} \rightarrow v_s = \frac{1}{2}v_e + \frac{1}{4}(E_1 - E_2)$$

et puisque $E_1 = E_2$, on peut écrire : $v_s = \frac{1}{2}v_e$

Conclusion : Si $-2E_2 < v_e < 2E_1$ les deux diodes conduisent et la sortie vaut :

$$v_s = \frac{1}{2}v_e$$

b) On suppose que D1 conduit et D2 est bloquée :



$i_{D1} > 0$

$v_{D2} < 0$

Méthode des Nœuds :

$$v_s\left(\frac{1}{R}+\frac{2}{R}\right) = \frac{E_1}{R}+\frac{2}{R}v_e \rightarrow v_s = \frac{2}{3}v_e + \frac{E_1}{3}$$

Conditions :

$$i_{D1} = \frac{E_1 - v_e}{\frac{R}{2}+R} > 0 \rightarrow v_e < E_1 = 5V$$

- Loi des mailles

$$E_2 - v_{D2} + v_s = 0 \rightarrow v_{D2} = v_s + E_2 < 0$$

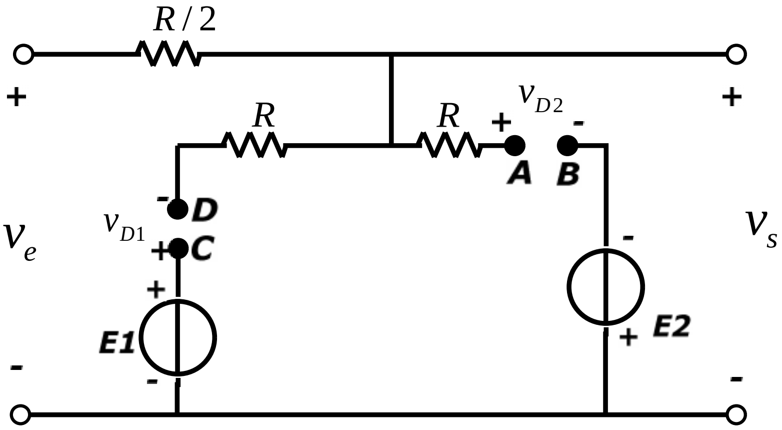
Soit :

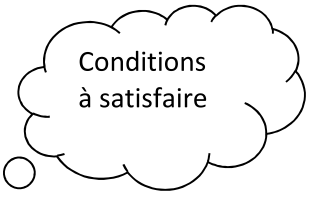
$$\underbrace{v_s}_{\frac{2}{3}v_e+\frac{E_1}{3}} < -E_2 \rightarrow v_e < -\frac{3}{2}\left(E_2 + \frac{E_1}{3}\right)$$

Conclusion : Si $v_e < -\frac{3}{2}\left(E_2 + \frac{E_1}{3}\right)$, *D1* conduit et *D2* est bloquée. La tension de sortie est égale à :

$$v_s = \frac{2}{3}v_e + \frac{E_1}{3}$$

c) On suppose que D1 et D2 sont bloquées :





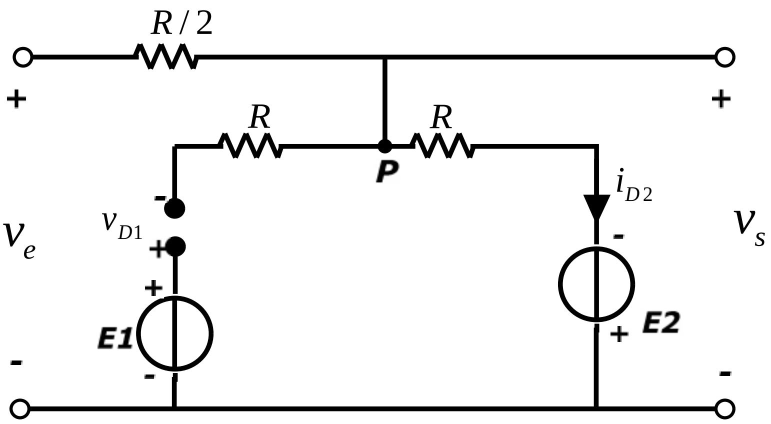
$v_{D1} < 0$

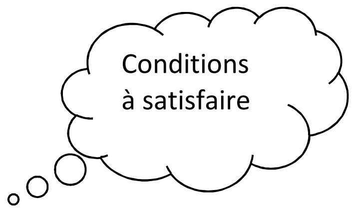
$v_{D2} < 0$

$$v_{D1} = v_C - v_D = E_1 - v_s < 0 \rightarrow E_1 < v_s$$
$$v_{D2} = v_s + E_2 < 0 \rightarrow v_s < -E_2$$

Conclusion : Impossible d'avoir les deux diodes simultanément bloquées.

a) ***On suppose que D2 conduit et D1 est bloquée :***





$i_{D2} > 0$

$v_{D1} < 0$

<u>Méthode des nœuds</u>

Nœud P : $v_s(\frac{1}{R}+\frac{2}{R}) = \frac{2}{R}v_e - \frac{E_2}{R} \rightarrow v_s = \frac{2}{3}v_e - \frac{E_2}{3}$

Conditions :

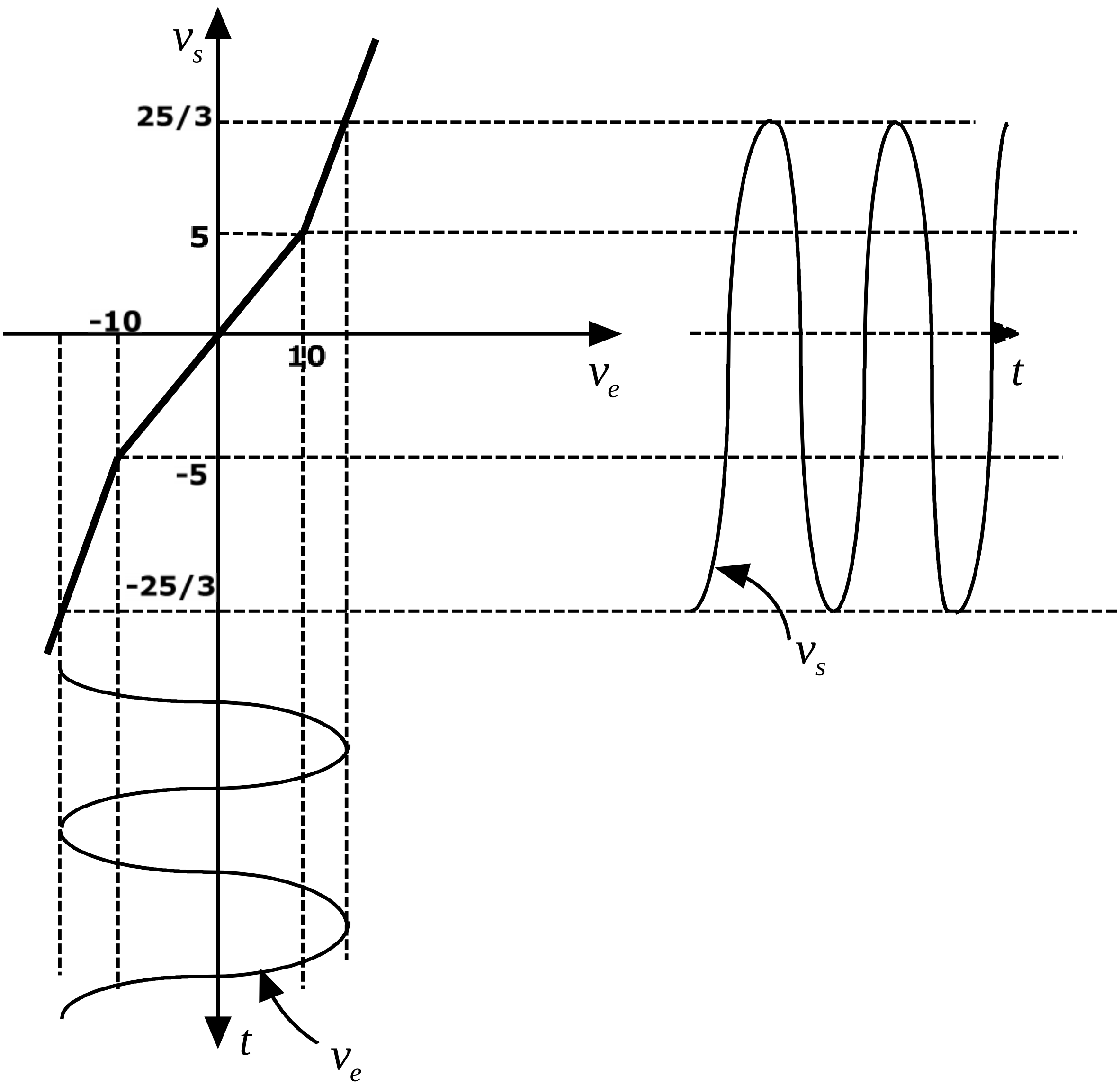
$$i_{D2} = \frac{v_e + E_2}{\frac{R}{2}+R} > 0 \rightarrow v_e > -E_2$$

$$v_{D1} = E_1 - v_s < 0 \rightarrow \underbrace{v_s}_{v_s=\frac{2}{3}v_e-\frac{E_2}{3}} > E_1 \rightarrow v_e > \frac{3}{2}\left(E_1 + \frac{E_2}{3}\right)$$

Conclusion : Si $v_e > \frac{3}{2}\left(E_1 + \frac{E_2}{3}\right)$, *D1* conduit et *D2* est bloquée. La tension de sortie est égale à :

$$v_s = \frac{2}{3}v_e - \frac{E_2}{3}$$

A.N : $E_1 = E_2 = 5$



Exercice 3 :

Pour que la tension soit maintenue stable à la valeur nominale de 7V, il faut que la diode Zener fonctionne dans la zone de claquage, donc en régulateur.
Un tel fonctionnement exige :

$$i_{z\min} < i_z < i_{z\max}$$

Calcul de $i_{z\max}$

La puissance dans la diode Zener ne doit pas excéder la puissance maximale admissible :

$$P_{z\max} = 0,25W$$

$$P_z = v_z.i_z < P_{z\max} = 0.25W$$

$$i_z < i_{z\max} = \frac{P_{z\max}}{v_z} = \frac{0,25W}{7} = 35,7mA$$

Conditions sur R_L

$$i_z > i_{z\min} \rightarrow \frac{e-V_z}{R} - \frac{V_z}{R_L} > i_{z\min}$$

$$\frac{e-V_z}{R} - i_{z\min} > \frac{V_z}{R_L}$$

Soit : $$R_L > \frac{V_z}{\frac{e-V_z}{R} - i_{z\min}} \quad \text{pour } e_{\min} < e < e_{\max}$$

Donc : $$R_L > \frac{V_z}{\frac{e_{\min}-V_z}{R} - i_{z\min}} = \frac{7}{\frac{9-7}{100} - 1,0mA}$$

Et $$R_{\min} = \frac{7V}{19mA} = 368,4\Omega$$

D'autre part :

$$i_z < i_{z\max}$$

$$\frac{e-V_z}{R} - \frac{V_z}{R_L} < i_{z\max}$$

$$\Rightarrow -i_{z\max} + \frac{e-V_z}{R} < \frac{V_z}{R_L}$$

$$\Rightarrow R_L < \frac{V_z}{\frac{e-V_z}{R} - i_{z\max}} \quad \text{pour } e_{\min} < e < e_{\max}$$

Il en résulte que :

$$R_L < \frac{V_z}{\frac{e-V_z}{R} - i_{z\max}} = \frac{7V}{\frac{12-7}{100} - 35,7mA} = 489,5\Omega$$

Conclusion :

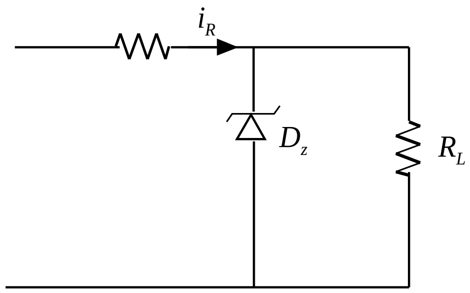
Pour que la diode fonctionne en régulateur, il faut que :

$$368,4\Omega < R_L < 489,5\Omega$$

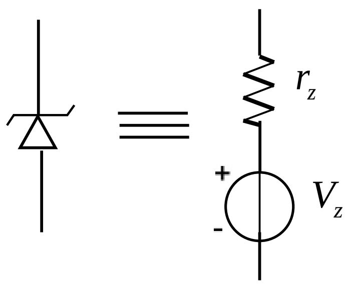
1) La résistance $R_L = 320\Omega < R_{L\min}$

La diode est bloquée et le courant qui la traverse i_z est inférieur à $i_{z\min}$: $i_z \simeq 0$

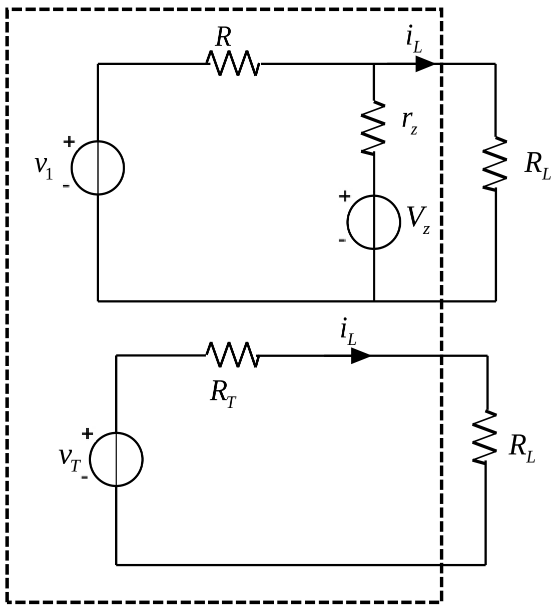
2)



On suppose que la diode fonctionne en régulateur. On peut la remplacer par le schéma équivalent suivant :



Le circuit régulateur devient :



$$R_T = R \parallel r_z$$

$$v_T = \frac{\frac{V_z}{r_z} + \frac{v_1}{R}}{\frac{1}{r_z} + \frac{1}{R}} = \frac{RV_z + v_1 r_z}{r_z + R}$$

La loi des mailles nous permet d'écrire :

$$-v_T + R_T i_L + \underbrace{R_L i_L}_{v_2} = 0$$

$$\frac{RV_z + v_1 r_z}{r_z + R} - (R_L \parallel r_z) i_L = v_2$$

En termes d'ondulations, on peut directement écrire :

$$\frac{R\Delta V_z + r_z \Delta v_1}{r_z + R} - (R_L \parallel r_z)\Delta i_L = \Delta v_2$$

$\Delta V_z = 0$, donc:

$$\Delta v_2 = \left(\frac{r_z}{r_z + R}\right)\Delta v_1 - (R_L \parallel r_z)\Delta i_L$$

$$\left.\frac{\Delta v_2}{\Delta v_1}\right|_{i_L = cte} = \left(\frac{r_z}{r_z + R}\right) \simeq \frac{r_z}{R} << 1$$

$\left.\frac{\Delta v_2}{\Delta v_1}\right|_{i_L = cte}$ est le coefficient de régulation amont.

$$-\left.\frac{\Delta v_2}{\Delta i_L}\right|_{v_1 = cte} = (R_L \parallel r_z) \simeq r_z$$

$-\left.\frac{\Delta v_2}{\Delta i_L}\right|_{v_1 = cte}$ est le coefficient de régulation avale

Exercice 4 :

<u>Données</u> : $e_{\min} = 11V,\ e_{\max} = 13,6V$

Désignons par i_L le courant dans la radio. On a : $i_{L\min} = 0,\ i_{L\max} = 100mA$

Le courant $i_{z\min}$ est de valeur égale à 10% de celle du courant $i_{z\max}$, soit :

$$i_{z\min} = 10\% i_{z\max} = 0,1 i_{z\max}$$

La tension Zener est $V_z = 9V$

1) $e - R(i_z + i_L) = V_z$

Quand la tension est minimale, le courant dans la diode est minimal et le courant dans la charge est maximal.

Un tel effet provient du fait qu'au fur et à mesure que la tension diminue, la diode approche le blocage et le courant i_z par conséquent diminue.

$$e_{\min} - R(i_{z\min} + i_{L\max}) = V_z$$

De même : $$e_{\max} - R(i_{z\max} + i_{L\min}) = V_z$$

$$\frac{i_{z\min} + i_{L\max}}{e_{\min} - V_z} = \frac{i_{z\max} - V_z}{e_{\max} - V_z}$$

Compte tenu du fait que $i_{z\min} = 0{,}1 i_{z\max}$

On obtient : $$i_{z\max} = \frac{i_{L\max}\left(\frac{e_{\max} - V_z}{e_{\min} - V_z}\right) - i_{L\min}}{1 - 0{,}1\left(\frac{e_{\max} - V_z}{e_{\min} - V_z}\right)}$$

<u>Application numérique</u> : $$i_{z\max} = \frac{100.\left(\frac{13{,}6-9}{11-9}\right) - 0}{1 - 0{,}1.\left(\frac{13{,}6-9}{11-9}\right)} = 298{,}7mA$$

2) La puissance maximale dans la diode est donnée par :

$$P_{z\max} = i_{z\max} V_z = 298{,}7mA \times 9 \simeq 2{,}68W$$

3) La puissance maximale dissipée dans la résistance R est :

$$P_{R\max} = \frac{(e_{\max} - V_z)^2}{R} = \frac{(13{,}6-9)^2}{R}$$

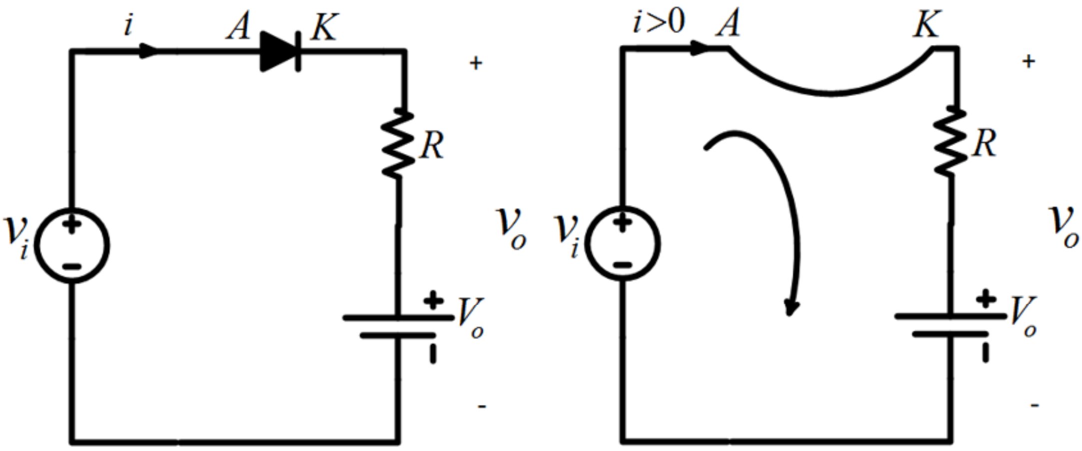
$$R = \frac{e_{\max} - V_z}{i_{z\max} + i_{L\max}} = \frac{13{,}6-9}{298{,}7} = 15{,}4\Omega$$

$$\Rightarrow P_{R\max} = \frac{13{,}6-9}{15{,}4\Omega} = 1{,}37W$$

Exercice 5 : On considère le circuit de la figure 6.a.

<u>Cas où la diode est idéale :</u>

Supposons que la diode conduit, le schéma ci-dessous devient (compte tenu du fait que la diode est supposée idéale) :



Le courant *anode*→ $cathode\ i > 0$. La loi des mailles s'écrit :

$$-v_i + Ri + V_o = 0$$

Soit :

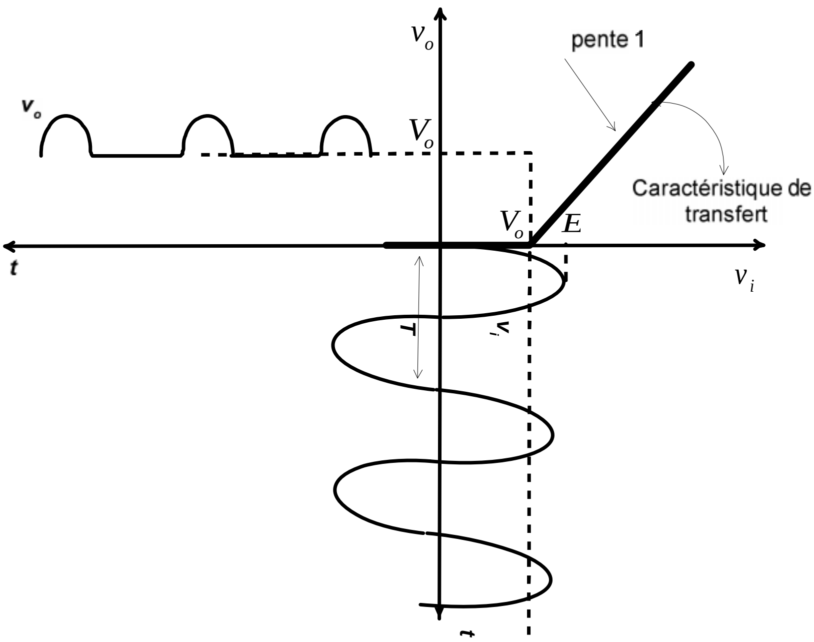
$$i = \frac{v_i - V_0}{R} > 0$$

La tension de sortie $v_o = v_i$

Si $v_i > V_o$ la diode est ON, la tension de sortie vaut : $v_o = v_i$

Si $v_i < V_o$ la diode est OFF la tension de sortie vaut : $v_o = V_0$

Les deux résultats ci-dessus peuvent être traduits par la fonction de transfert suivante :



Cas où la diode est caractérisée par (R_D, V_D) :

Le circuit de la figure 6a peut être représenté par le circuit équivalent suivant :

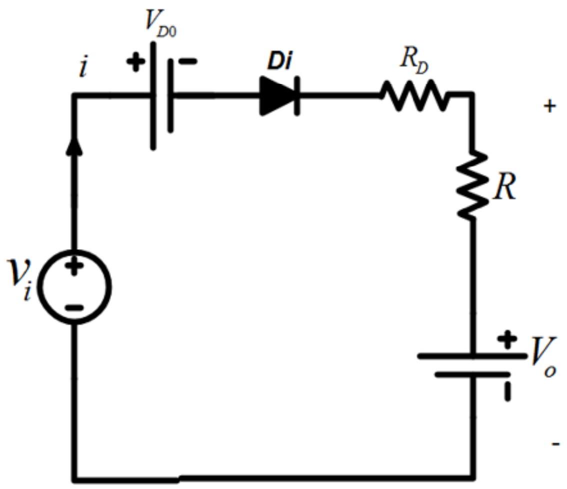


Fig. X

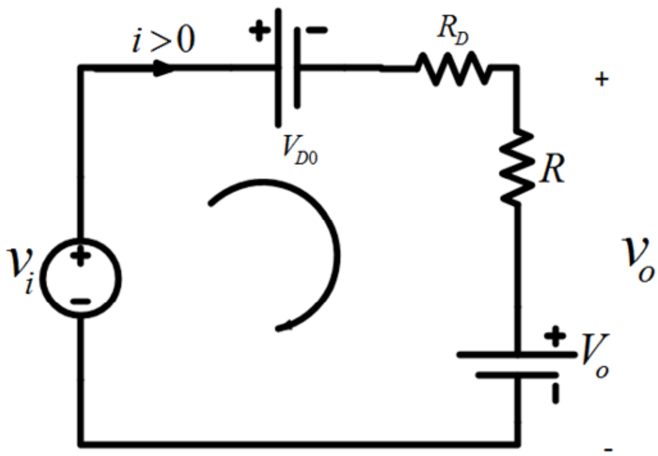


Fig. Y

Di est une diode idéale. Lorsque la diode conduit, la diode idéale est équivalente à un court-circuit (Cf. Fig. Y).

Loi des mailles :

$$-v_i + V_{D_0} + (R_D + R)i + V_0 = 0$$

Soit :

$$i = \frac{v_i - (V_D + V_0)}{R_D + R} > 0$$

$$v_i > V_D + V_0$$

Théorème de Millmann

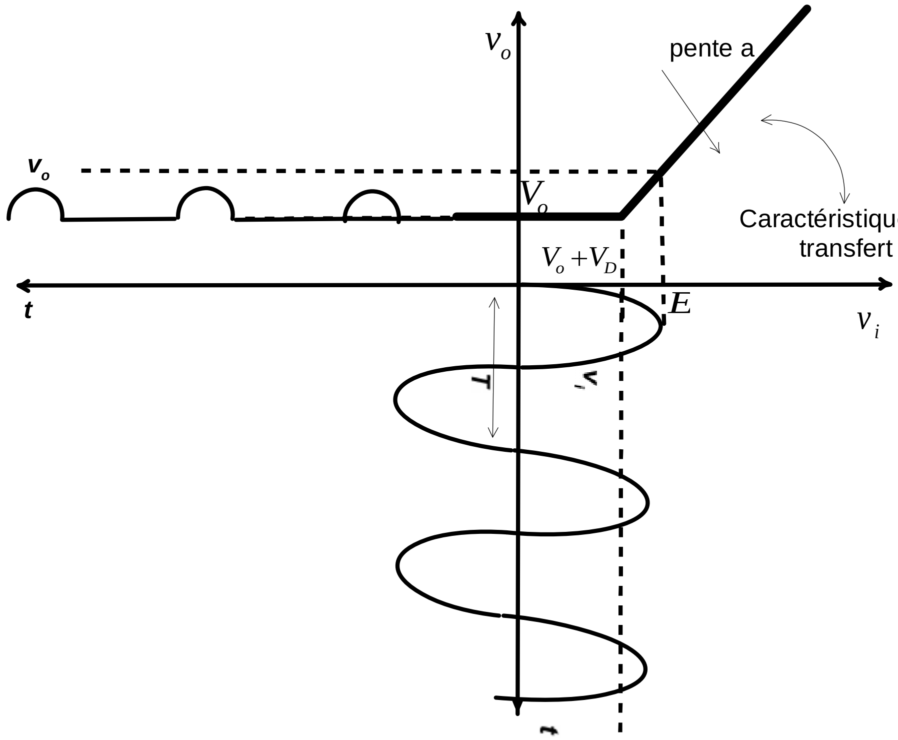
$$v_o = \frac{R_D V_o + (v_i - V_D)R}{R_D + R}$$

Désignons par a le terme suivant : $a = \frac{R}{R+R_D}$

$$\boxed{\text{Si } v_i > V_0 + V_D\text{, Diode ON, } v_o = \frac{R_D V_o+(v_i-V_D)R}{R_D+R} = a\big(v_i - (V_o + V_D)\big) + V_o}$$

$$\boxed{\text{Si } v_i < V_D + V_o\text{, la diode OFF, } v_o = V_o}$$

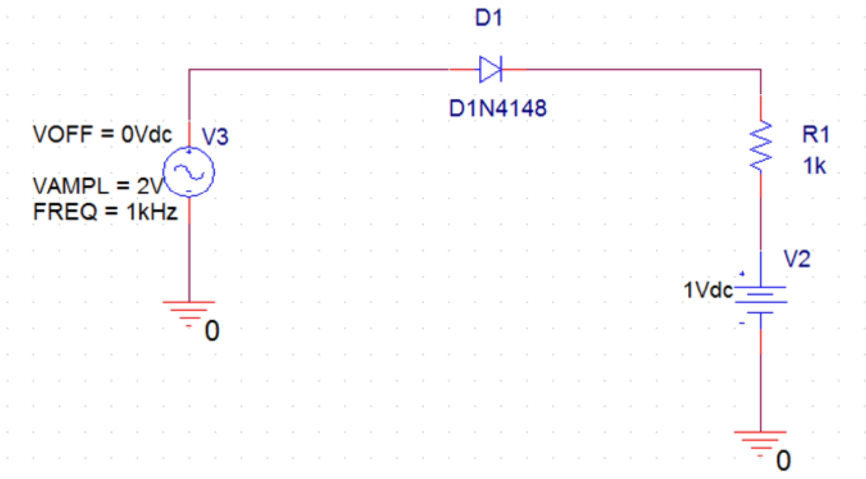
La caractéristique ainsi que la forme d'onde de sortie sont représentées dans la figure ci-dessous.



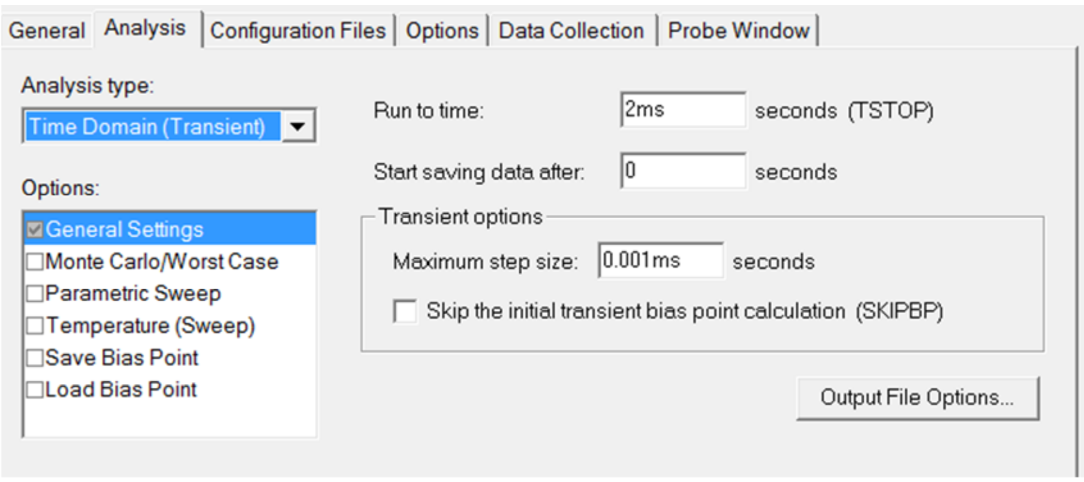
La tension maximale en sortie vaut $v_{omax} = \frac{R_D V_o+(v_{imax}-V_D)R}{R_D+R} = \frac{R_D V_o+(E-V_D)R}{R_D+R}$.

Une analyse similaire peut être utilisée pour le circuit de la figure 6b.

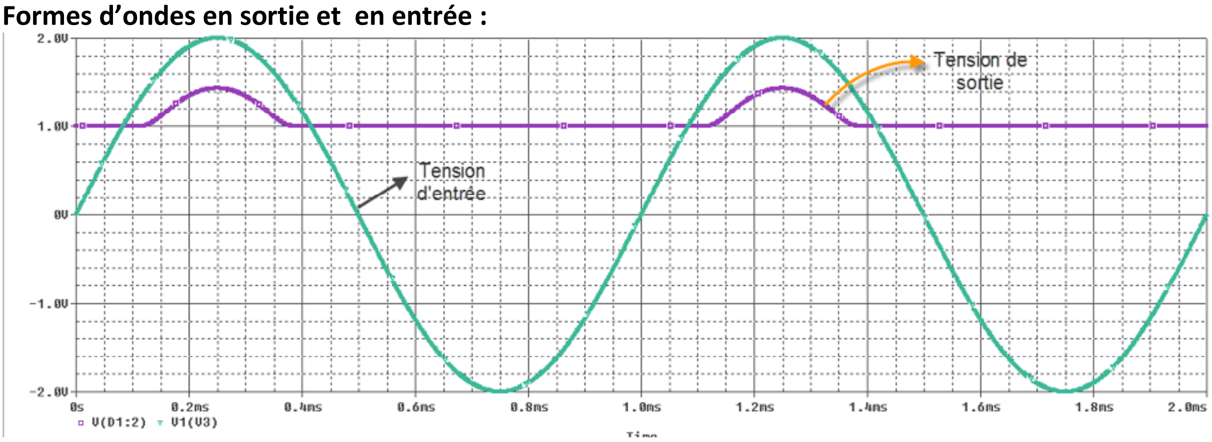
Exemple SPICE :



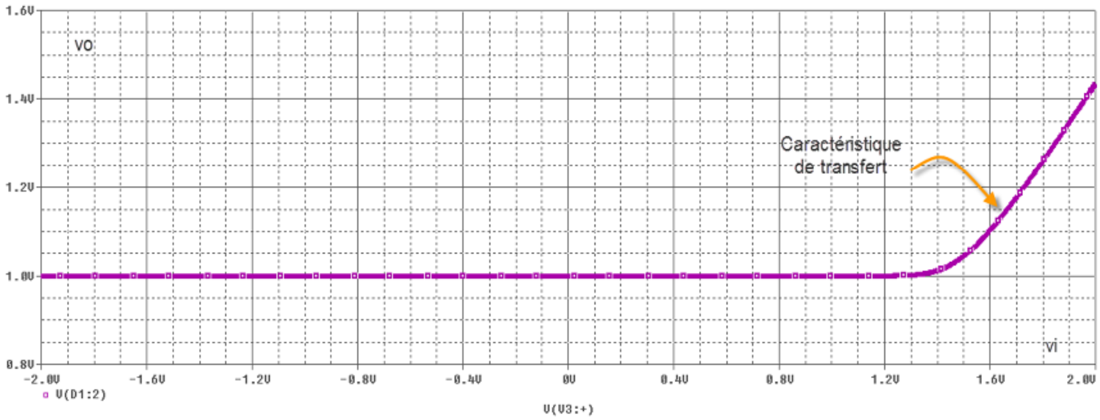
Paramètres de l'analyse transitoire



Formes d'ondes en sortie et en entrée :

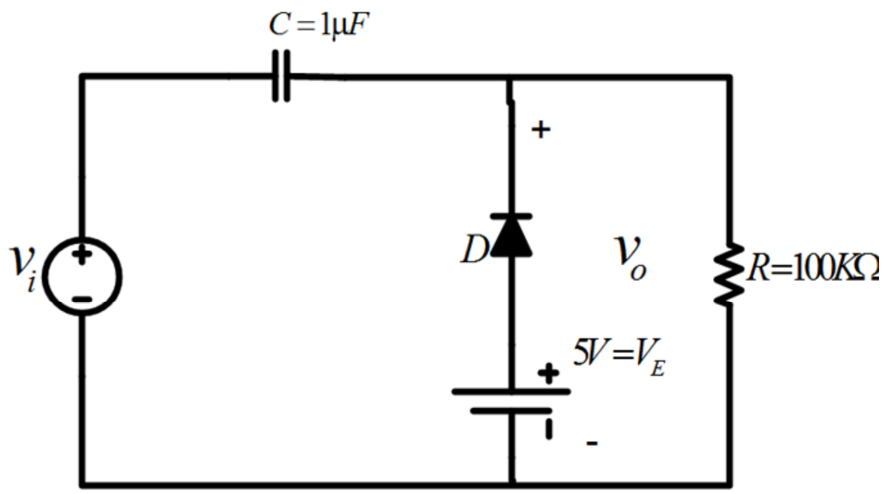


Fonction de transfert :



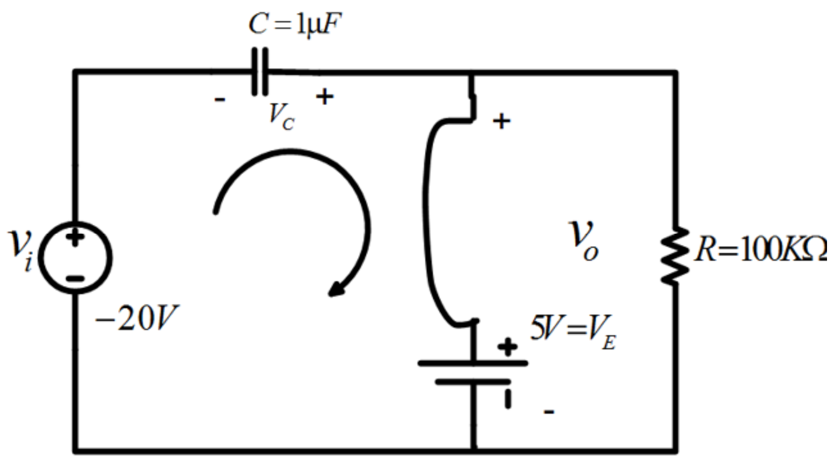
Exercice 6 :

On considère le circuit de la figure suivante :



Le signal d'attaque est un signal rectangulaire de fréquence $f = 1000Hz$, donc de période $T = 1ms$.

Pendant l'alternance négative, la tension d'entrée $v_i = -20V$, la diode conduit (La cathode est plus électronégative que l'anode). Le circuit devient :



Loi des mailles :

$$-v_i - V_C + V_E = 0$$

Soit :

$$V_C = V_E - v_i = 5V + 20V = 25V$$

La tension de sortie vaut $v_o = 5V$.

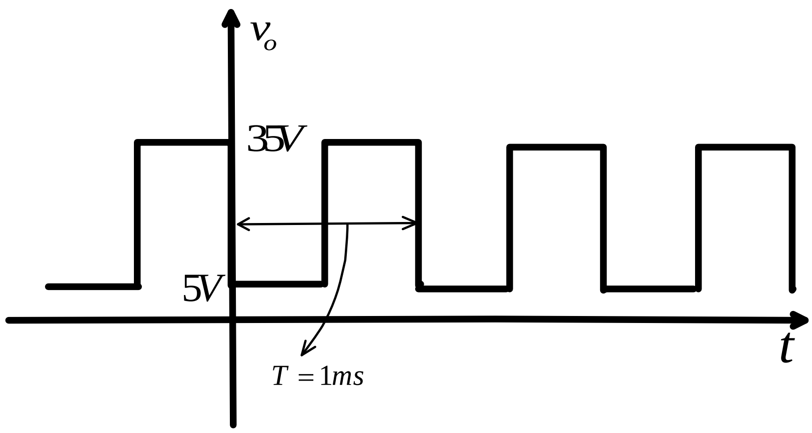
Pendant l'alternance positive, la tension d'entrée passe à $10V$. Le potentiel de la cathode vaut :

$$V_K = v_i + V_C = 35V$$

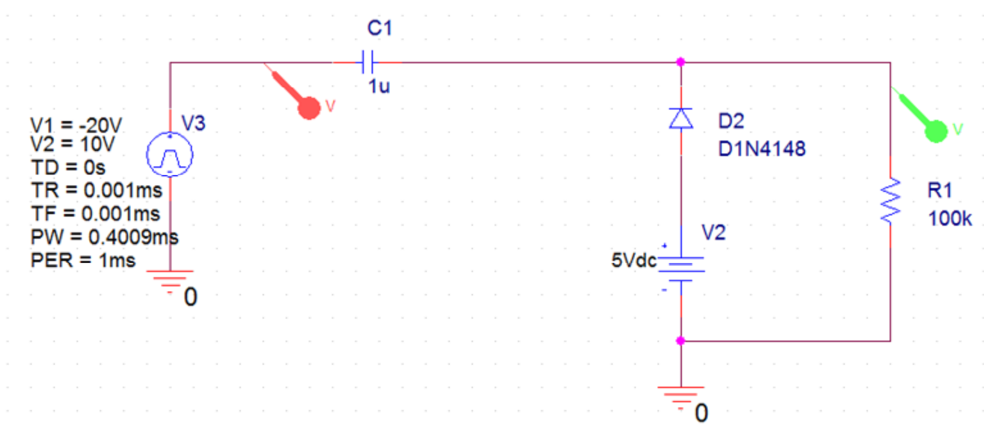
Celui de l'anode est $V_A = 5V$. La diode est donc bloquée.

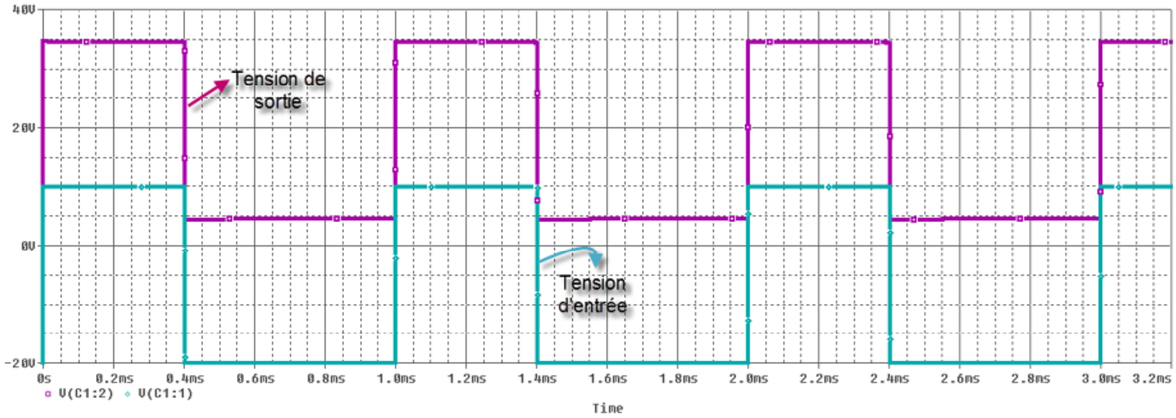
Le circuit devient un circuit RC en série. La capacité se décharge à travers la résistance avec une constante de temps $\tau = RC = 100k \times 1u\ \ s = 100ms$. Notons que τ □ T, la tension aux bornes de la capacité reste quasi-constante et vaut $25V$ (il n'y a pas de décharge puisque le terme $\exp(-\frac{T}{\tau}) \approx 1$). La tension de sortie vaut donc $35V$.

Le signal de sortie est donc celui représenté ci-dessous :



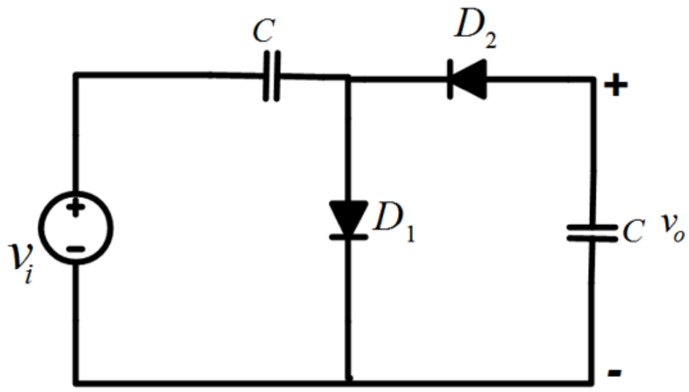
Exemple Spice :





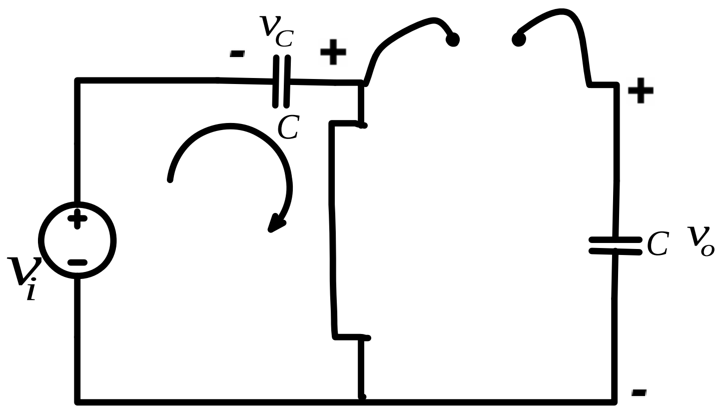
Exercice 7 :

On considère le circuit de la figure suivante :



Pendant l'alternance positive, D_1 conduit et D_2 bloquée :

DC



Loi des mailles :

$$v_c(t) = -v_i(t) = -Esin(\omega t)$$

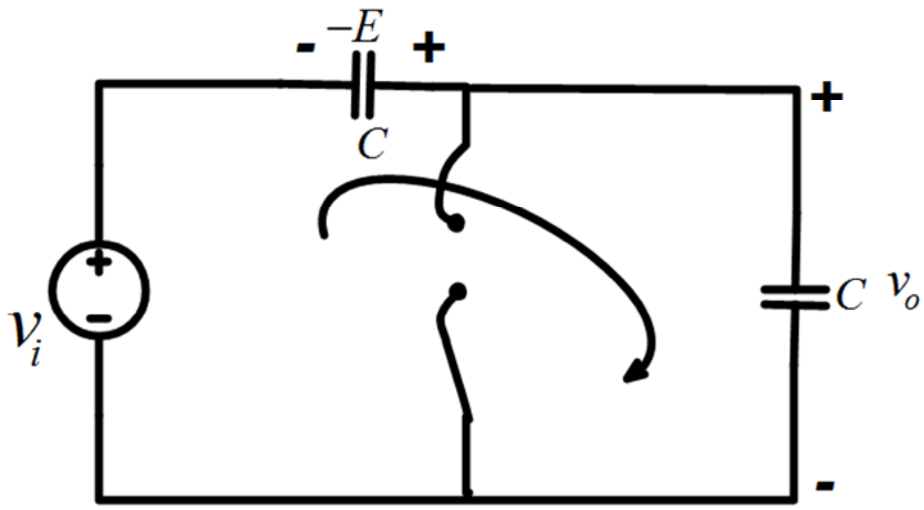
A $t = \frac{T}{4}$, la tension aux bornes du condensateur atteint sa valeur max (en valeur absolue) :

$$v_c\left(\frac{T}{4}\right) = v_{cmax} = -E$$

A l'instant $t = \frac{T^+}{4}$, le potentiel de la cathode de D_1 vaut :

$$v_{k1} = v_i - E = Esin(\omega t) - E < 0, v_{A1} = 0.$$

La diode D_1 est OFF. La diode D_2 conduit :



Loi des mailles :

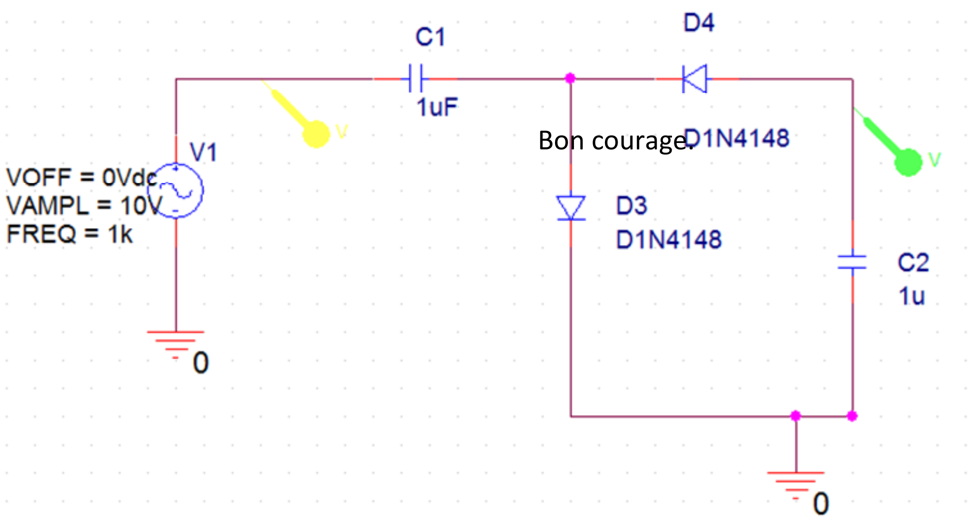
$$-v_i + E + v_o = 0$$

La capacité se charge et $v_o = -E + Esin(\omega t)$. La charge maximale est atteinte à $t = \frac{T}{2}$.

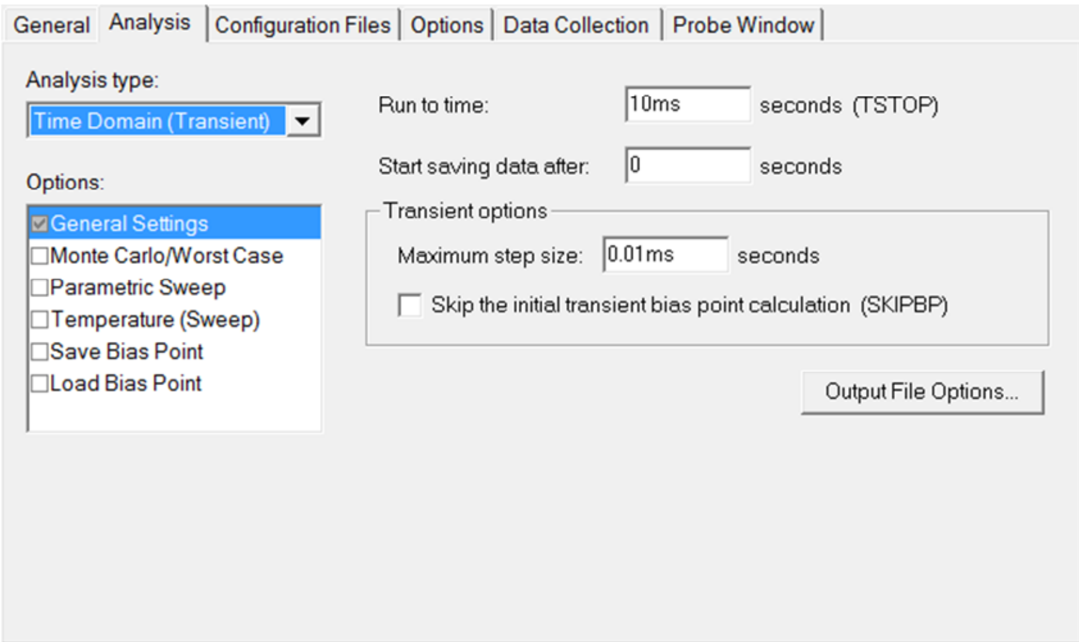
La tension de sortie en régime permanent vaut exactement $v_o = -2E$.

Le circuit porte le nom de doubleur de tension.

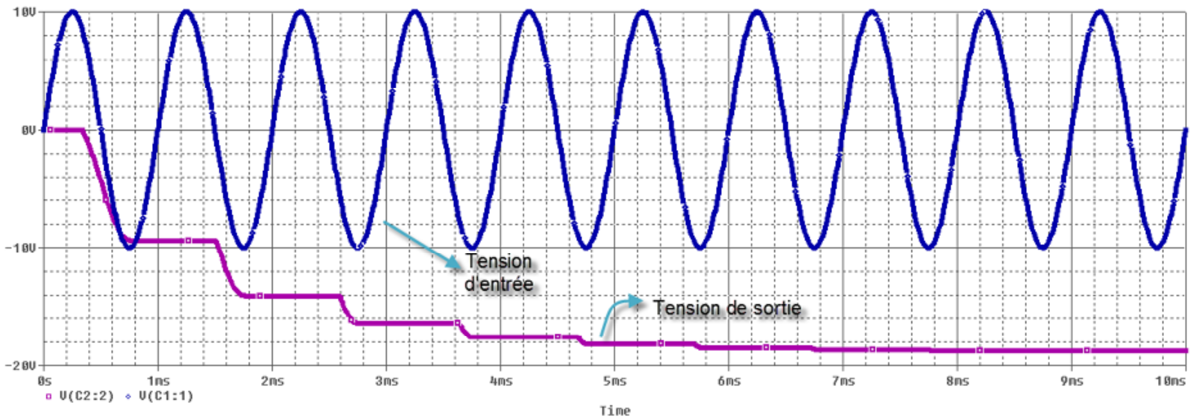
Exemple Spice :



Paramètres de l'analyse transitoire :



Formes d'ondes en sortie et en entrée :



La tension de sortie tend vers -20V (2 fois la tension crête).

Bon courage.