

Diode en DC

Table of Contents

Caractéristique Electrique d'une diode.....	1
Calcul du point de fonctionnement d'un circuit avec une diode.....	2
Point de fonctionnement : Formulation mathématique.....	2
Résolution par méthode graphique.....	4
Approximation linéaire par morceaux de la loi de Shockley.....	5
Simulation Numerique d'une diode Idéalisée avec mcs.....	8
Exercices.....	9
Exercice 1.....	10
Simulation avec mcs.....	10
Exercice 2.....	11
Simulation avec mcs.....	12
Exercice 3 : Diode Zener.....	12
Simulation avec mcs :.....	14
Exemples d'applications.....	16
Pont redresseur avec diodes idéalisées et diodes 1N4001.....	16
Pont redresseur avec filtrage avec diodes idéales et diodes 1N4001.....	17
Redresseur, filtrage et stabilisation.....	19
Simulation de l'alimentation stabilisée :.....	20

Caractéristique Electrique d'une diode

La caractéristique courant/tension d'une jonction P-N se modélise par la relation dite "loi de Shockley" :

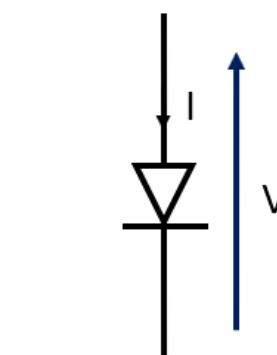
$$I = I_S \left(\exp \frac{V}{\eta V_T} - 1 \right) \quad (1)$$

V = voltage de la diode

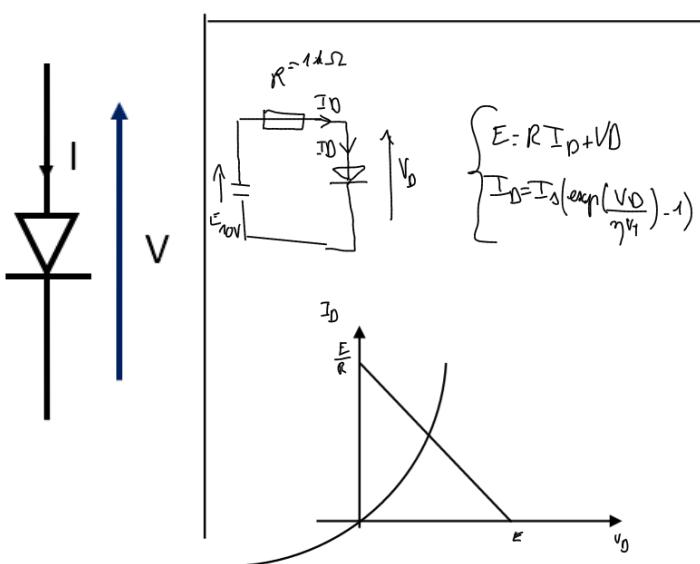
I_S est le courant de saturation inverse (de l'ordre de la centaine de nano ampères), $V_T = kT/q$ est la tension thermique (25 mV à 300K).

Pour une diode 1N4001, les paramètres de ce modèle sont $I_S = 14 \text{ nA}$ et $\eta = 1.9$.

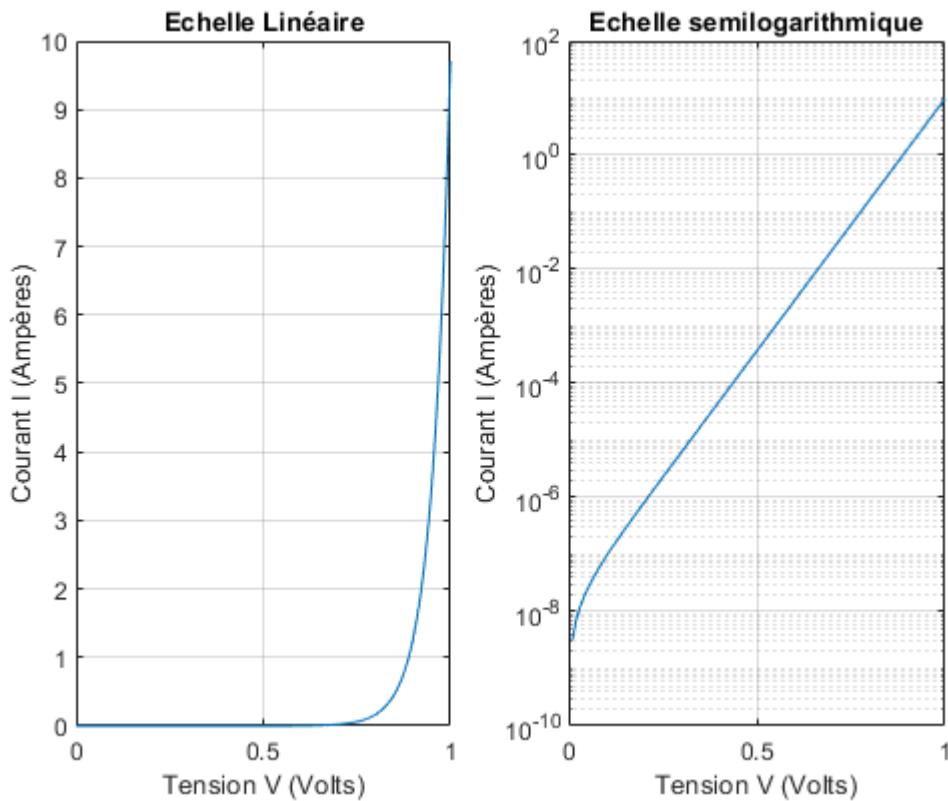
facteur de qualité
donné par le fabricant.



1



```
V=linspace(0,1,100);
kb=1.3806226e-23; % constante de Boltzmann (Joules/Kelvin)
T=300; % Temperature (Kelvin)
q=1.602e-19; % Charge élémentaire (Coulombs)
VT=kb*T/q;
Is=14e-9; % Courant de saturation inverse (Ampères)
eta=1.9; % coefficient d'idéalité
Id=Is*(exp(V/eta/VT)-1); % relation courant tension de la diode
subplot(1,2,1);
plot(V,Id);grid;title('Echelle Linéaire'), xlabel('Tension V (Volts)'), ylabel('Courant I (Ampères)')
subplot(1,2,2)
semilogy(V,Id);grid;title('Echelle semilogarithmique'), xlabel('Tension V (Volts)'), ylabel('Courant I (Ampères)')
```



Caractéristique courant-tension d'une diode modélisée par une loi de Shockley.

Calcul du point de fonctionnement d'un circuit avec une diode

Le point de fonctionnement d'un circuit correspond à l'ensemble des grandeurs électriques du circuit (courants, tension et charge) en réponse à des sources de tension et/ou courant continues. On parle également de point de polarisation du circuit. Par exemple, pour le circuit présenté sur la figure 1, le point de fonctionnement correspond aux courants et tensions I_g , I_R , I , V_R et V en réponse à une tension continue E_g .

Point de fonctionnement : Formulation mathématique

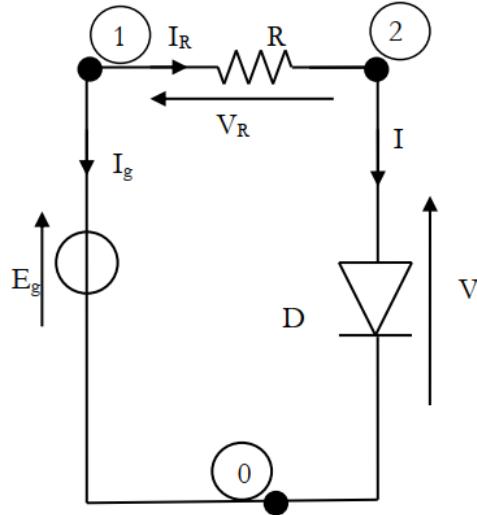


Figure 1 : Exemple de circuit non linéaire

Le circuit décrit par la figure 1 servira de support à tout ce paragraphe. La diode est modélisée par la loi de Shockley :

$$I = I_S \left(\exp \frac{V}{\eta V_T} - 1 \right)$$

I_S est le courant de saturation inverse (de l'ordre de la centaine de nano ampères), $V_T = kT/q$ est la tension thermique (25 mV à 300K). Cette équation est l'équation constitutive de la branche où est insérée la diode. Malheureusement, cette équation est non linéaire et on ne peut pas mettre le système d'équations relatif au circuit sous forme matricielle. On peut écrire pour ce circuit un jeu d'équations relatif au circuit (sans se soucier de la nature des éléments connectés entre eux) et un jeu d'équations relatif aux éléments (composants). Les lois de Kirchhoff KCL et KVL permettent d'obtenir que :

$$\begin{cases} -I_g = I_R = I & (\text{KCL}) \\ E_g = V_R + V & (\text{KVL}) \end{cases}$$

Les modèles mathématiques des composants, c'est-à-dire la loi d'Ohm pour la résistance et la loi de Shockley pour la diode, conduisent aux équations suivantes :

$$\begin{cases} V_R = RI_R \\ I = I_S \left(\exp \frac{V}{\eta V_T} - 1 \right) \end{cases}$$

En ne gardant uniquement comme inconnues V et I , on obtient le système non linéaire suivant :

$$\begin{cases} E_g = RI + V \\ I = I_S \left(\exp \frac{V}{\eta V_T} - 1 \right) \end{cases} \quad (2)$$

Ce système n'a pas de solution analytique, c'est-à-dire qu'on ne peut pas exprimer de façon explicite le couple (I, V) solution. En effet, on peut réduire ce système d'équations à une seule équation à une inconnue V :

$$E_g = R \cdot I_S \left(\exp \frac{V}{\eta V_T} - 1 \right) + V \quad (3)$$

L'équation (3) est dite transcendante. On ne peut pas exprimer analytiquement la solution exacte V_0 de cette équation. On ne peut qu'estimer la solution par des méthodes de résolution approchées.

Résolution par méthode graphique

La méthode graphique classiquement utilisée pour ce type de problème est présenté sur la figure 2. Le système (2) est composé de deux équations et chaque équation est représentée par une courbe dans le plan (V, I). La première équation ne dépend uniquement que du circuit dans lequel est connectée la diode. La courbe relative à cette équation est une droite dans le plan (V, I) est appelée *droite de charge statique*. La seconde équation est simplement la relation non linéaire courant/tension de la diode, et cette équation ne dépend pas du circuit dans lequel la diode est insérée. Cette courbe est une exponentielle qui croît extrêmement rapidement. La figure 2 représente la résolution graphique du système. Ces courbes correspondent au circuit de la figure 1 avec $E_g = 1 \text{ V}$, $R = 50 \Omega$, $I_S = 14 \cdot 10^{-9} \text{ A}$ et $\eta = 1.9$.

```
V=linspace(0,1,100);
kb=1.3806226e-23; % constante de Boltzmann (Joules/Kelvin)
T=300; % Temperature (Kelvin)
q=1.602e-19; % Charge élémentaire (Coulombs)
VT=kb*T/q;
Is=14e-9; % Courant de saturation inverse (Ampères)
eta=1.9; % coefficient d'idéalité
R=50; % ohms
Eg=1; % source de tension en Volts
Id=Is*(exp(V/eta/VT)-1); % relation courant tension de la diode
I_charge=(Eg-V)/R; % équation de la droite de charge
figure
plot(V,Id,V,I_charge);grid;ylim([0 .02]);xlabel('V (Volts)');ylabel('I (Ampères)');
legend('Caractéristique courant/tension diode','Droite de charge')
ax = gca;
chart = ax.Children(1);
datatip(chart,0.6465,0.007071);
```

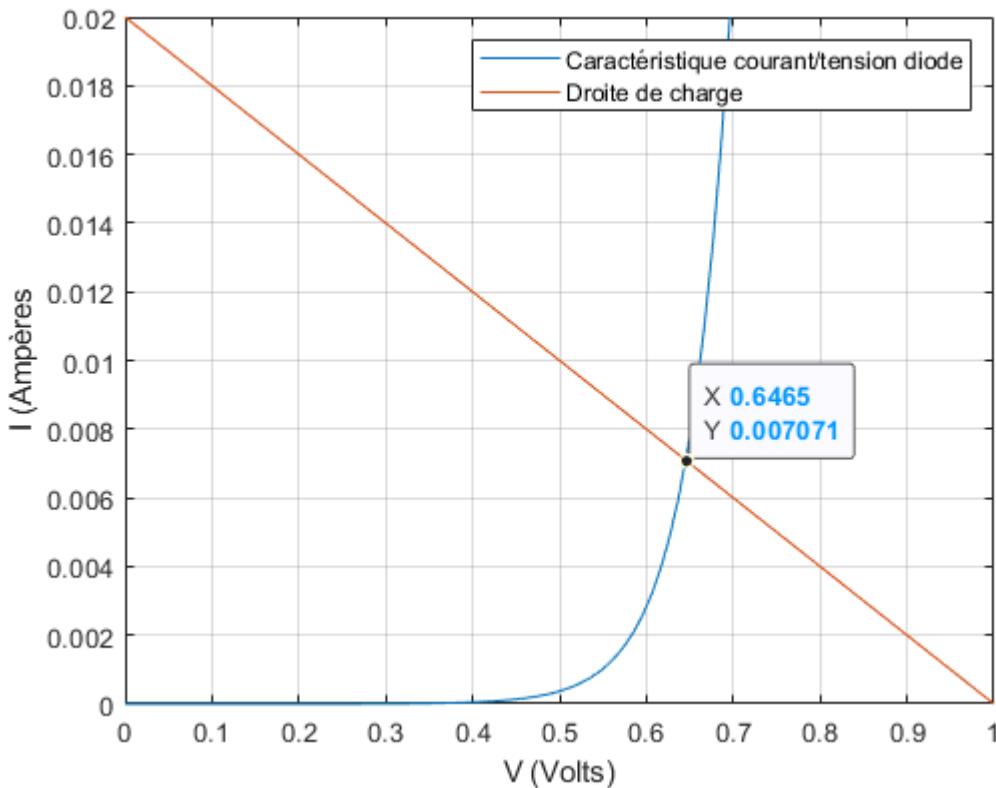


Figure 2 : résolution graphique du système d'équation non linéaire.

La résolution graphique (intersection des 2 courbes) donne le point de fonctionnement (V_0 , I_0) de ce circuit :

$$\begin{cases} V_0 \approx 0.6465 \text{ V} \\ I_0 \approx 7.071 \text{ mA} \end{cases}$$

Approximation linéaire par morceaux de la loi de Shockley

Une autre méthode approchée consiste à approximer la caractéristique non linéaire courant/tension par une fonction linéaire permettant ainsi de résoudre analytiquement le problème. La fonction exponentielle croît rapidement ; de ce fait, on peut approximer l'équation (1) par deux segments de droite. Sur la figure 3, la caractéristique de la diode est approximée par un segment horizontal et un segment vertical.

```

V=linspace(0,1,100);
kb=1.3806226e-23; % constante de Boltzmann (Joules/Kelvin)
T=300; % Temperature (Kelvin)
q=1.602e-19; % Charge élémentaire (Coulombs)
VT=kb*T/q;
Is=14e-9; % Courant de saturation inverse (Ampères)
eta=1.9; % coefficient d'idéalité
Id=Is*(exp(V/eta/VT)-1); % relation courant tension de la diode
Vd0=0.65; % paramètre du modèle d'approximation par 2 segment
I_approx=0*(V<=Vd0)+(V>Vd0).*1/eps.*(V-Vd0);
figure
plot(V,Id,V,I_approx);grid;ylim([0 .02]);xlabel('V (Volts)');ylabel('I (Ampères)');
annotation('textarrow',[0.7148 0.8349],...

```

```
[0.1908 0.1237], 'String', {'V_{D0}=0.65 V'});
legend('Caractéristique courant/tension diode', 'modèle d''approximation par 2 segments', 'Location');

```

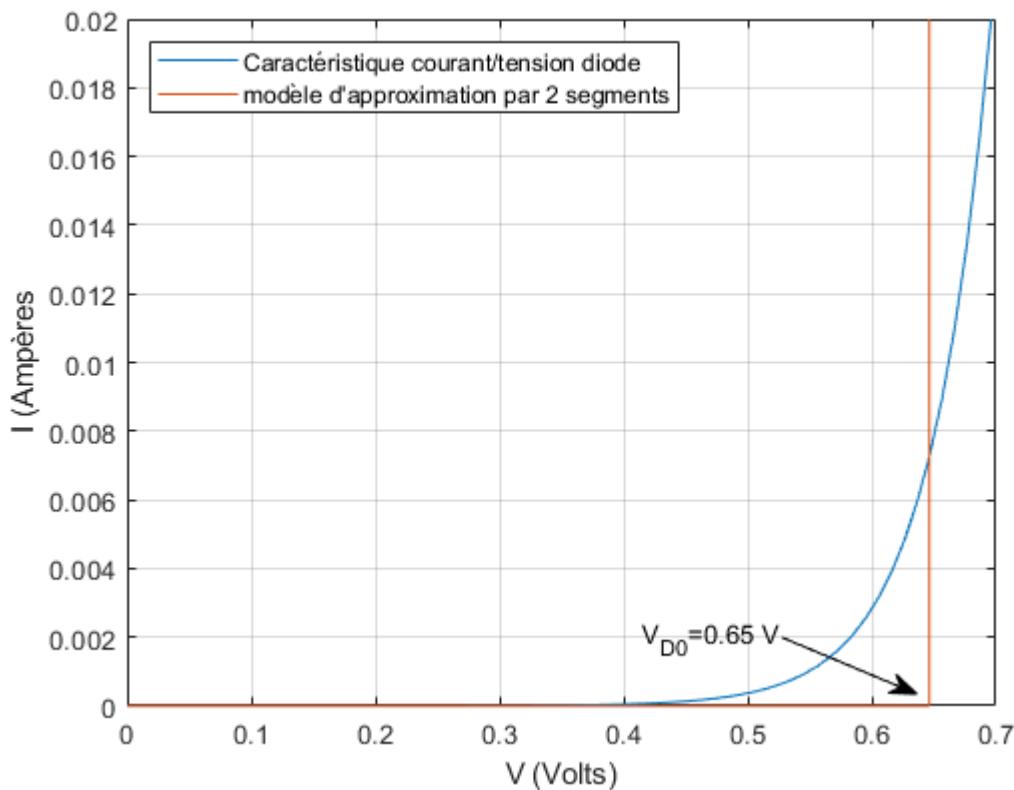


Figure 3 : Approximation de la caractéristique de la diode par 2 segments de droite, un premier horizontal et un deuxième vertical.

En utilisant la tension V_{D0} définie sur la figure 3, l'approximation linéaire par morceaux s'exprime par :

$$\begin{cases} I = 0 & \text{pour } V < V_{D0} \\ V = V_D & \text{pour } I > 0 \end{cases}$$

Il faut noter ici les limites de cette approximation. On constate clairement que cette approximation est satisfaisante si la tension aux bornes de la diode est inférieure à environ 0.5 V ou proche de 0.65 V. En dehors de ces zones, l'approximation s'éloigne de la caractéristique non linéaire (loi de Shockley) de la diode. La fonction exponentielle ne possédant pas d'asymptote verticale, la courbe réelle de la diode traversera toujours le segment vertical. Le choix du paramètre de V_{D0} est donc à priori capital pour la validité de l'approximation par segments ; il faudrait connaître le résultat final pour choisir correctement V_{D0} , ce qui est difficile puisque V_{D0} doit permettre de trouver le résultat final... Heureusement, une valeur classique comprise entre 0,6 V et 0,7 V permet d'obtenir la plupart du temps un résultat correct dans un circuit électronique basse tension. Mais le fait de prendre cette valeur (entre 0,6 et 0,7 V) sous-entend que le courant dans la diode ne sera pas trop important, ce qui en soit correspond à faire une hypothèse sur le résultat final.

En remplaçant le modèle non linéaire de la diode (loi de Shockley) par le modèle linéaire par morceaux , on obtient le système suivant :

$$\begin{cases} E_g = R I + V \\ \begin{cases} I = 0 & \text{pour } V < V_{D0} \\ V = V_D & \text{pour } I > 0 \end{cases} \end{cases}$$

Pour résoudre ce système, il suffit de séparer les deux cas $V < V_{D0}$ et $I > 0$.

Pour $V < V_{D0}$, on obtient le système :

$$\begin{cases} E_g = R I + V \\ I = 0 \end{cases}$$

On obtient donc que :

$$\begin{cases} V = E_g \\ I = 0 \end{cases}$$

Ce résultat est valable tant que $V < V_{D0}$, c'est-à-dire tant que $E_g < V_{D0}$.

Pour $I > 0$, on obtient le système :

$$\begin{cases} E_g = R I + V \\ V = V_{D0} \end{cases}$$

On obtient donc que :

$$\begin{cases} V = V_{D0} \\ I = \frac{E_g - V_{D0}}{R} \end{cases}$$

Ce résultat est valable tant que $I > 0$, c'est-à-dire tant que $E_g > V_{D0}$.

La figure 4 représente le courant I et la tension V en fonction de E_g . La solution basée sur l'approximation par morceaux est comparée à la résolution numérique du système non-linéaire. On retrouve les zones de validité de l'approximation mentionnée précédemment.

```
% Simulation numerique du circuit R - Diode
% Parametres diode Is=14e-9 A , eta=1.9
% Paramètres circuit Eg variable de 0 a 1.6 V, R=50 ohms
netlist={
    'V1 1 0 0'      % Générateur Eg
    'R1 1 2 50'     % Resistance
    'D1 2 0 ma_diode'
    '.model ma_diode D (IS1=14e-9 n1=1.9)'

    '.mute'
};

Eg=linspace(0,1.6,50);
V=0*Eg;I=0*Eg; % initialisation des variables Vd et Id
for i=1:length(Eg)
    netlist{i}=['V1 1 0 ' num2str(Eg(i))]; % num2str convertit un double en string,
```

```

% puis on concatène les chaines de caractères
sim=mcs(netlist);
X=sim.X;
V(i)=X(2);I(i)=-X(3);
end
% Calcul avec le modèle d'approximation par segment
% parametre du modèle d'approximation Vd0=0.65 V
Vd0=0.65;
R=50;
V_approx=Vd0*(Eg>=Vd0)+Eg.*(Eg<Vd0);
I_approx=(Eg-Vd0)/R.*(Eg>=Vd0)+0.*(Eg<Vd0);
figure
subplot(2,1,1);plot(Eg,V,Eg,V_approx,'r');xlabel('E_g (V)');ylabel('V (V)');grid;legend('Modèle numé'
subplot(2,1,2);plot(Eg,I,Eg,I_approx,'r');xlabel('E_g (V)');ylabel('I (A)');grid;legend('Modèle numé'

```

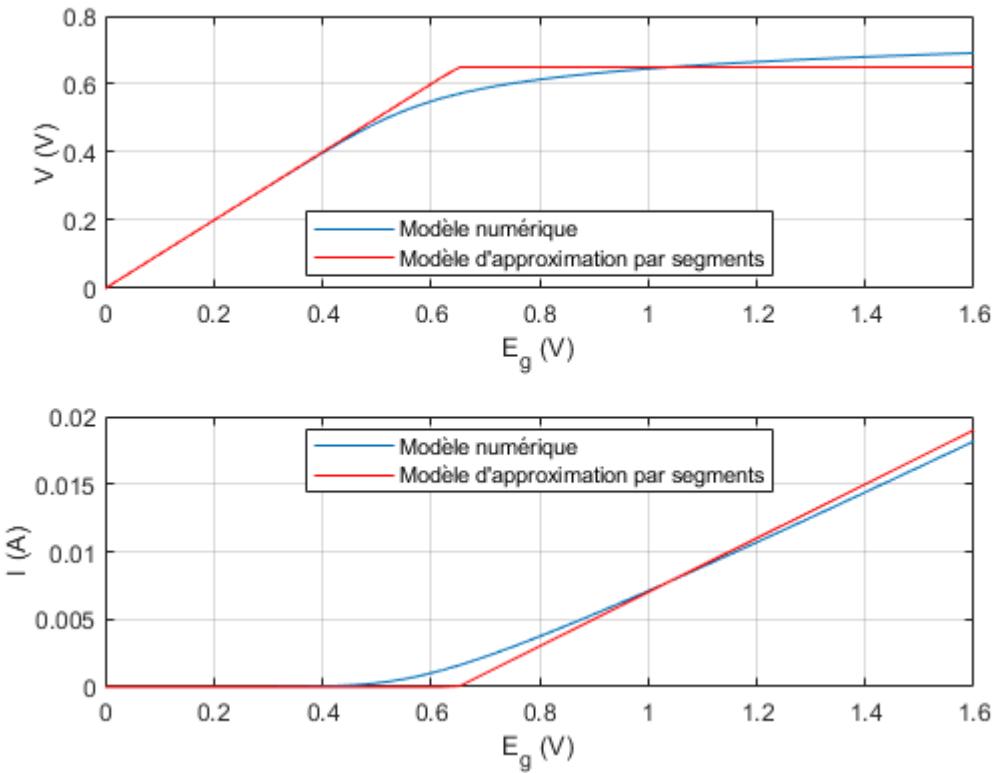


Figure 4 : Résultats I/V en utilisant l'approximation par morceaux et un calcul numérique (modèle Shockley) (mcs).

Cette approche analytique est souvent utilisée parce qu'elle donne de bons résultats comparés à la solution numérique du système d'équation non linéaire.

Simulation Numérique d'une diode Idéalisée avec mcs

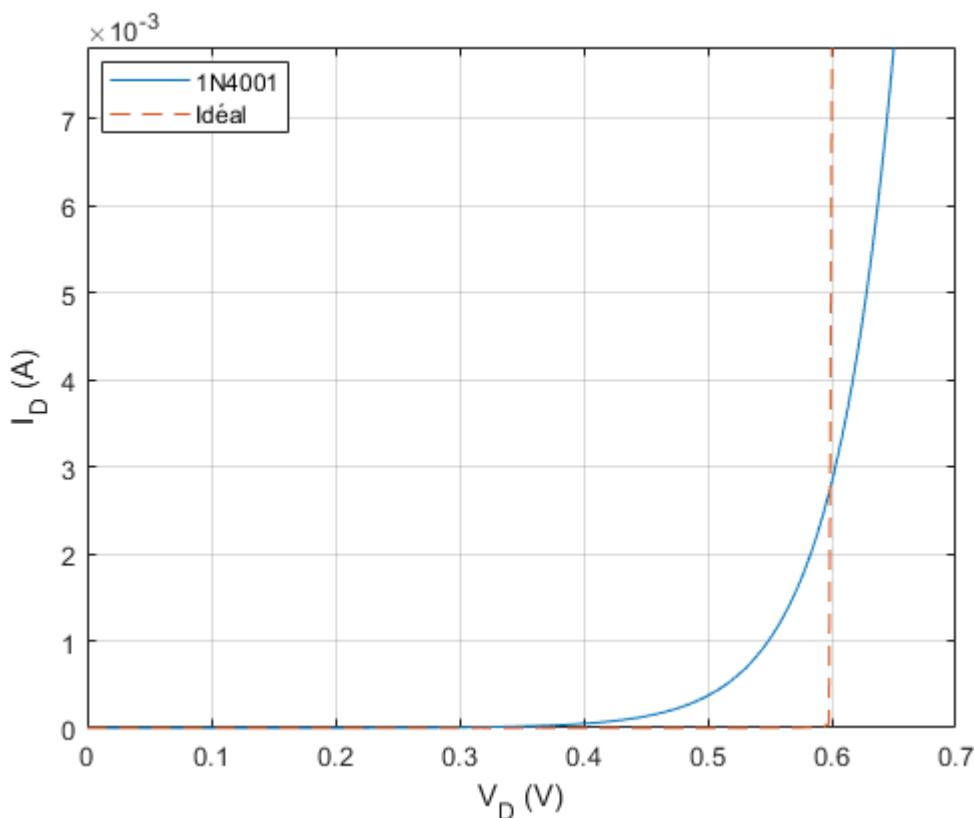
Dans l'exemple précédent, la tension V et le courant I de la diode dans le cas où on utilise un modèle idéal a été calculé à la main, puis tracé avec Matlab. Le modèle de diode idéalisée à 2 segments (avec un paramètre V_{D0} et R_{on}) est implanté dans mcs. La syntaxe est la suivante :

```

netlist1={
    '.model 1N4001 D (IS1=14e-9 n1=1.9)'
    'V1 1 0 {VD}'
    'D1 1 0 1N4001'
    '.mute'};
netlist2={
    '.model ideal D (IS1=-1 n1=0.6 n2=.1)' % Si IS1 négatif, diode idéale avec n1=VD0 et n2=R_C
    'V1 1 0 {VD}'
    'D1 1 0 ideal'
    '.mute'};

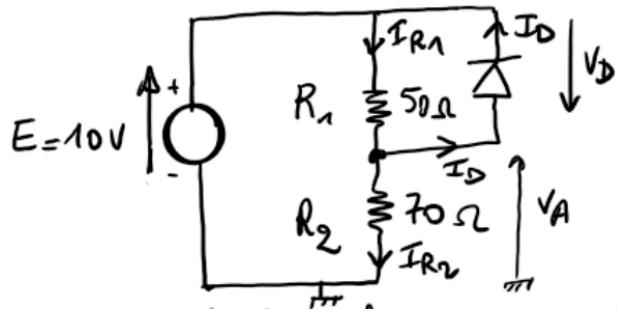
VD_=linspace(0,0.65,200);
ID1=0*VD_;ID2=0*VD_;
for i=1:length(VD_)
    VD=VD_(i);
    sim1=mcs(netlist1);
    sim2=mcs(netlist2);
    ID1(i)=-sim1.X(end);
    ID2(i)=-sim2.X(end);
end
figure
plot(VD_,ID1,VD_,ID2,'--');grid;xlabel('V_D (V)');ylabel('I_D (A)');
legend('1N4001','Idéal');
ylim([0 max(ID1)])

```

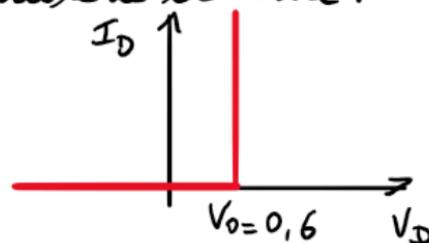


Exercices

Exercice 1



Modèle de la diode :



Calculer le point de fonctionnement de ce circuit, puis calculer la puissance dissipée par la diode.

Hypothèse : La diode est bloquée $\Rightarrow I_D = 0$, $V_D < 0.6$ V

$$V_A = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E \quad (\text{La formule du pont diviseur de tension s'applique car le courant } I_D \text{ est nul})$$

$E=10; R1=50; R2=70;$
 $VA=R2/(R1+R2)*E$

$VA = 5.8333$

$V_A = 5.83 \text{ V}$

$V_D = V_A - V_E = 5.83 - 10 = -4.17 \text{ V}$

$\Rightarrow V_D < 0.6$ V: Ce résultat est cohérent avec l'hypothèse.

Le point de fonctionnement de la diode est :

$$\begin{cases} I_D = 0 & (\text{La diode est bloquée}) \\ V_D = -4.17 \text{ V} & \end{cases}$$

La puissance dissipée par la diode est :

$P_{diode} = V_D \times I_D = 0 \text{ Watt}$

Simulation avec mcs

```
netlist={
    'V1 1 0 10'    % Générateur E
    'R1 1 2 50'    % Resistance 1
    'R2 2 0 70'    % Résistance 2
    'D1 2 1 ideal'
    '.model ideal D (IS1=-1e-9 n1=0.6)'    % IS1 négatif => diode idéale n1=>V0 tension de décharge
    };
sim=mcs(netlist);
```

Matlab Circuit Simulator v4 (c)Frederic Martinez

max time steps =200000 TolR=0.001 TolA=1e-12 TolA_NR=0.001 TolA_NR=1e-12 maxIterNR=1500 dt_max=, dt_min=1e-09, dt0=1
2 Resistor(s), 0 Inductor(s), 0 Capacitor(s), 1 Diode(s), 0 Current Source(s), 1 Voltage Source(s) 2 electrical node
in.t and in.t_bounds not provided ... OP solver

Calcul point de Fonctionnement
MNA init ... [ok]
Elapsed time is 0.031265 seconds.

sim.X

```
ans = 3x1
10.0000
5.8333
-0.0833
```

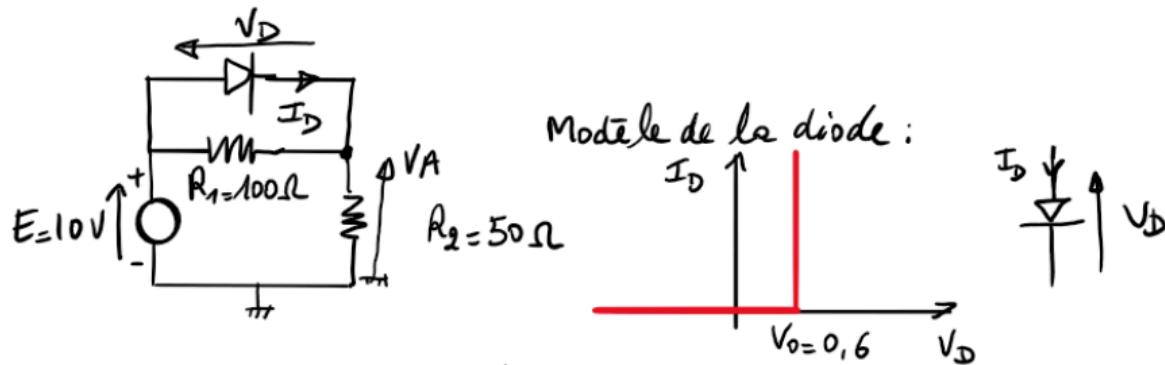
Le potentiel du noeud 2 est égale à la tension V_A , on retrouve $V_A = 5.83$ V. La tension V_D est le potentiel du noeud 2 - le potentiel du noeud 1 :

sim.X(2)-sim.X(1)

```
ans = -4.1667
```

On retrouve $V_D = -4.17$ V. La tension $V_D < 0.6$ V, donc le courant dans la diode est nul. La puissance dissipée est nulle.

Exercice 2



Calculer le point de fonctionnement de ce circuit, puis calculer la puissance dissipée par la diode.

Hypothèse : La diode est bloquée $\Rightarrow I_D = 0$, $V_D < 0.6$ V

$$V_A = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E \quad (\text{La formule du pont diviseur de tension s'applique car le courant } I_D \text{ est nul})$$

```
E=10;R1=100;R2=50;
VA=R2/(R1+R2)*E
```

```
VA = 3.3333
```

$$V_A = 3.33 \text{ V}, V_D = E - V_A = 6.67 \text{ V}.$$

La tension $V_D = 6.67 > 0.6$ donc ce résultat n'est pas cohérent avec l'hypothèse que la diode est bloquée. On recommence le calcul en supposant que la diode est passante.

Hypothèse : La diode est passante, $I_D > 0$, $V_D = 0.6$ V.

$$\Rightarrow V_A = E - 0.6 = 9.4 \text{ V}$$

$$\Rightarrow I_{R2} = \frac{V_A}{R_2} = \frac{9.4}{50} = 0.18 \text{ A}$$

$$\Rightarrow I_{R1} = \frac{E - V_A}{R_1} = \frac{10 - 9.4}{100} = 6 \text{ mA}$$

$$I_D + I_{R1} = I_{R2} \Rightarrow I_D = 0.174 \text{ V} > 0$$

Ce résultat est cohérent avec l'hypothèse que la diode est passante.

Le point de fonctionnement de la diode est :

$$\begin{cases} V_D = 0.6 \text{ V} \\ I_D = 0.174 \text{ A} \end{cases}$$

La puissance dissipée par la diode est :

$$P_{diode} = V_D \times I_D = 104 \text{ mW}$$

Simulation avec mcs

```
netlist={
    'V1 1 0 10'    % Générateur E
    'R1 1 2 100'   % Resistance 1
    'R2 2 0 50'    % Résistance 2
    'D1 1 2 ideal'
    '.model ideal D (IS1=-1e-9 n1=0.6 n2=0.01)'  % IS1 négatif => diode idéale n1=>V0 tension
    };
sim=mcs(netlist);
```

```
Matlab Circuit Simulator v4 (c)Frederic Martinez
max time steps =200000 TolR=0.001 TolA=1e-12 TolR_NR=0.001 TolA_NR=1e-12 maxIterNR=1500 dt_max=, dt_min=1e-09, dt0=1
2 Resistor(s), 0 Inductor(s), 0 Capacitor(s), 1 Diode(s), 0 Current Source(s), 1 Voltage Source(s) 2 electrical node
in.t and in.t_bounds not provided ... OP solver
Calcul point de Fonctionnement
MNA init ... [ok]
Elapsed time is 0.010158 seconds.
```

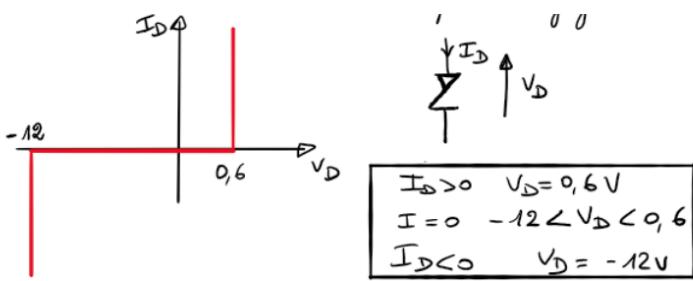
```
sim.X
```

```
ans = 3x1
10.0000
9.3982
-0.1880
```

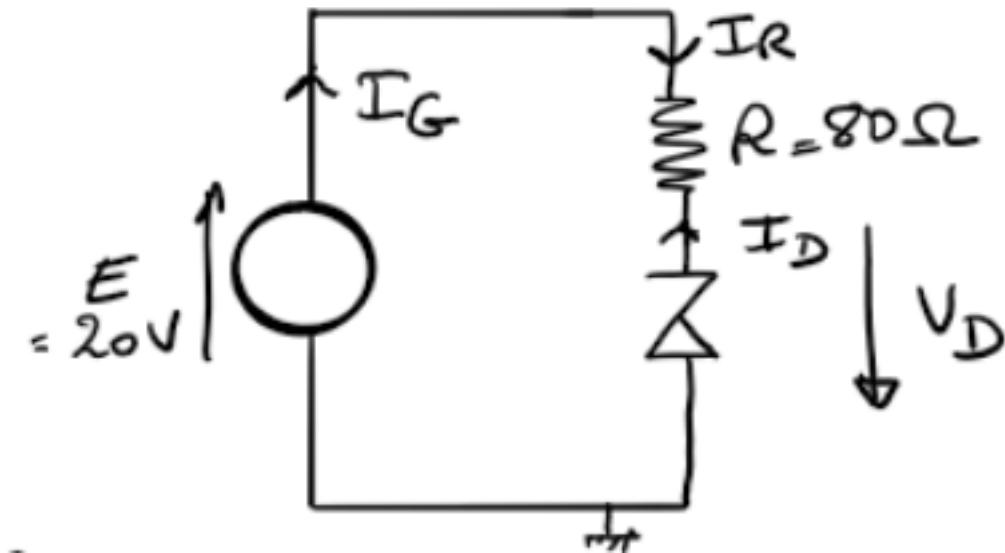
La tension V_A correspond au potentiel du noeud 2, d'où $V_A = 9.4 \text{ V}$.

Exercice 3 : Diode Zener

Le modèle de la diode Zener est donné par la figure suivante :



Soit le circuit suivant :



- Calculer la puissance dissipée dans la diode zener
- Calculer la puissance dissipée dans la résistance
- Vérifier que la somme des ces puissances est égale à la puissance fournie par le générateur de tension

hypothèse : La diode en conduit pas : $I_D = 0$ et $-12 < V_D < 0.6$

si $I_D = 0$, $V_D = -E$ (pas de chute de potentiel dans R)

$E = 20 \text{ V} \implies$ Ce résultat n'est pas cohérent avec l'hypothèse.

Hypothèse : La diode conduit avec $I_D > 0$ et $V_D = 0.6 \text{ V}$.

$$\text{Le courant } I_D = -I_R \text{ et } I_R = \frac{E - (-V_D)}{R} = \frac{20 + 0.6}{80} = 0.26 \text{ A}$$

$$(20 + 0.6) / 80$$

$$\text{ans} = 0.2575$$

$I_D = -0.26 \text{ A} \implies$ Ce résultat n'est pas cohérent avec l'hypothèse.

Hypothèse : La diode conduit avec $I_D < 0$ et $V_D = -12 \text{ V}$.

$$I_R = \frac{E - (-V_D)}{R} = \frac{20 - 12}{80} = 0.1 \text{ V}$$

$$I_D = -I_R = \frac{20 - 12}{80} = -0.1 \text{ A} < 0$$

Ce résultat est cohérent avec l'hypothèse.

Le point de fonctionnement est :

$$\begin{cases} I_D = -0.1 \text{ A} \\ I_R = 0.1 \text{ A} \\ V_D = -12 \text{ V} \end{cases}$$

La puissance dissipée par la résistance est $P_R = I_R V_R = R I_R^2 = 80 \times (0.1)^2 = 0.8 \text{ W}$

```
80*.1^2
```

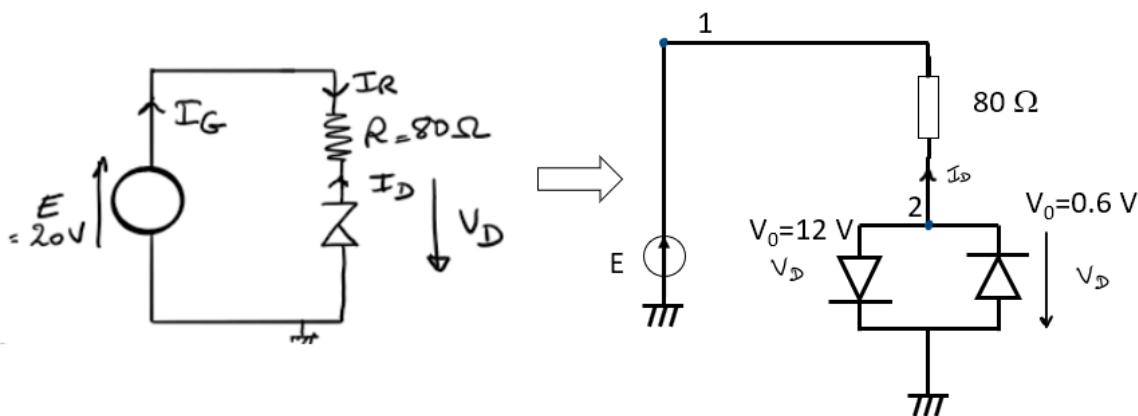
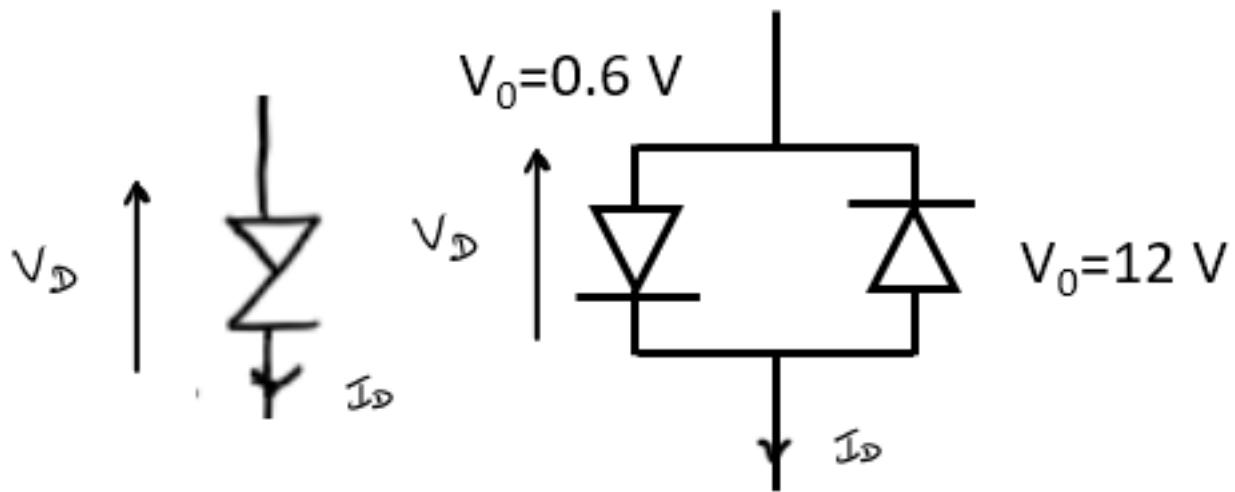
```
ans = 0.8000
```

La puissance fournie par le générateur de tension est $P_G = EI_G = 20 \times 0.1 = 2 \text{ W}$

On retrouve bien la relation $P_G = P_R + P_D$

Simulation avec mcs :

La diode zener peut être modélisée par 2 diodes idéales en antiparallèle :



```
netlist={
```

```
'V1 1 0 20' % Générateur E
'R1 1 2 80' % Resistance
```

```
'D1 0 2 ideal1'
'D2 2 0 ideal2'
'.model ideal1 D (IS1=-1e-9 n1=0.6 n2=0.01)' % IS1 négatif => diode idéale n1=>V0 tension
'.model ideal2 D (IS1=-1e-9 n1=12 n2=0.01)' % IS1 négatif => diode idéale n1=>V0 tension
};
```

```
sim=mcs(netlist);
```

Matlab Circuit Simulator v4 (c)Frederic Martinez

max time steps =200000 TolR=0.001 TolA=1e-12 TolA_NR=0.001 TolA_NR=1e-12 maxIterNR=1500 dt_max=, dt_min=1e-09, dt0=1
1 Resistor(s), 0 Inductor(s), 0 Capacitor(s), 2 Diode(s), 0 Current Source(s), 1 Voltage Source(s) 2 electrical node

in.t and in.t_bounds not provided ... OP solver

Calcul point de Fonctionnement

MNA init ... [ok]

Elapsed time is 0.010994 seconds.

sim.X

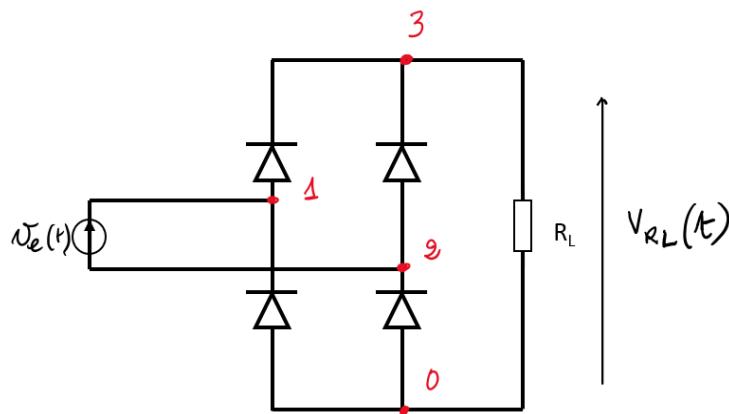
```
ans = 3x1
20.0000
12.0010
-0.1000
```

On retrouve $V_D = -V(2) = -12$ V

Le courant débité par la source de tension I(V1) (fléché entrant, convention récepteur) est le courant I_D du schéma initial, on retrouve $I_D = -0.1$ A

Exemples d'applications

Pont redresseur avec diodes idéalisées et diodes 1N4001



$$R_L = 500 \Omega, V_e(t) = 14 \times \sin(2\pi 50t)$$

Simulation avec diodes idéalisée $V_0 = 0.6$ et $R_{on} = 1 \Omega$:

```
netlist={
```

```
'V1 1 2 @(t) 14*sin(2*pi*50*t)'
'D1 1 3 ideal'
'D2 2 3 ideal'
'D3 0 1 ideal'
'D4 0 2 ideal'
'.model ideal D (IS1=-14e-9 n1=0.6 n2=1)'    % IS1 négatif => diode idéale n1=>V0 tension de déclenchement
'.tran tstop=50e-3 dtmax=1e-4 initTRAN=OP'
'RL 3 0 500'
'.mute'
};
```

```
sim1=mcs(netlist);
```

Simulation avec diodes 1N4001:

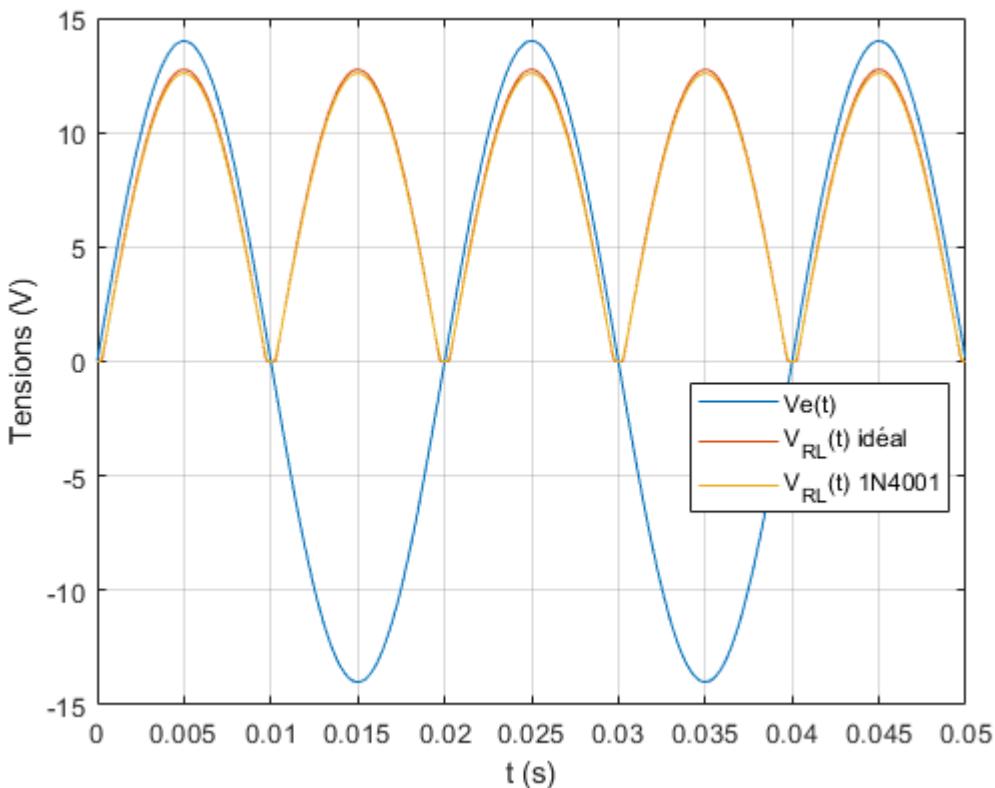
```
netlist={
```

```

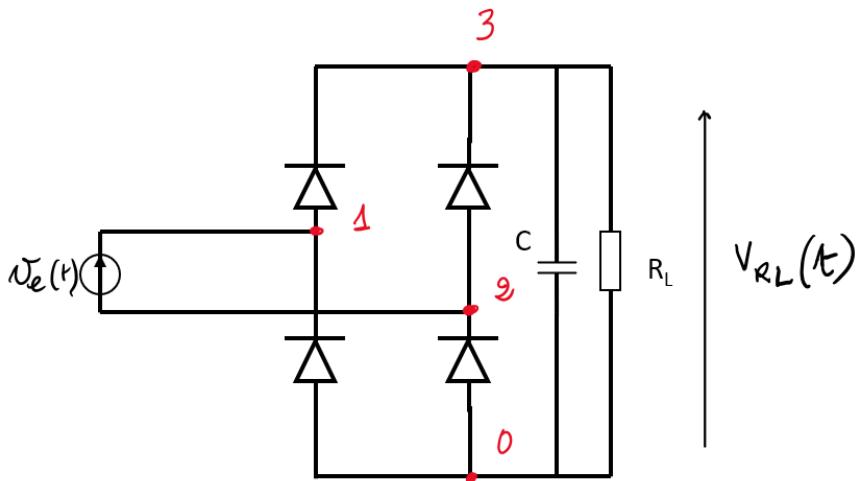
'V1 1 2 @(t) 14*sin(2*pi*50*t)'
'D1 1 3 1N4001'
'D2 2 3 1N4001'
'D3 0 1 1N4001'
'D4 0 2 1N4001'
'.model 1N4001 D (IS1=14e-9 n1=1.9)'    %
'.tran tstop=50e-3 dtmax=1e-4 initTRAN=OP'
'RL 3 0 500'
'.mute'
};

sim2=mcs(netlist);
figure
plot(sim1.t,sim1.X([1],:)-sim1.X([2],:),sim1.t,sim1.X([3],:),sim2.t,sim2.X(3,:));grid
xlabel('t (s)');ylabel('Tensions (V)');legend('Ve(t)', 'V_{RL}(t) idéal', 'V_{RL}(t) 1N4001', 'loc

```



Pont redresseur avec filtrage avec diodes idéales et diodes 1N4001



$$R_L = 500 \Omega, C = 330 \mu\text{F}, V_e(t) = 14 \times \sin(2\pi 50t)$$

Simulation avec diodes idéalisée $V_0 = 0.6$ et $R_{on} = 1 \Omega$:

```
netlist={

'V1 1 2 @(t) 14*sin(2*pi*50*t)'
'D1 1 3 ideal'
'D2 2 3 ideal'
'D3 0 1 ideal'
'D4 0 2 ideal'
'.model ideal D (IS1=-1 n1=0.6 n2=1)'    % IS1 négatif => diode idéale n1=>V0 tension de déchet
'.tran tstop=50e-3 dtmax=1e-4 initTRAN=OP'
'RL 3 0 500'
'C1 3 0 300e-6'
'.mute'
};

sim1=mcs(netlist);
```

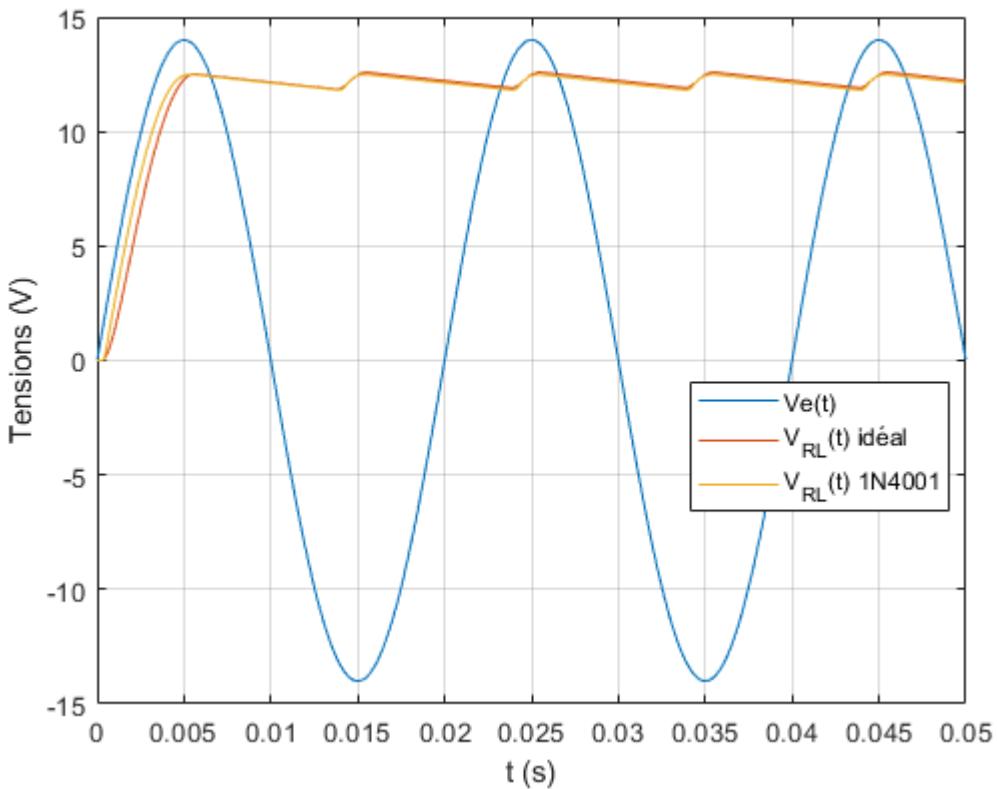
Simulation avec diodes 1N4001:

```
netlist={

'V1 1 2 @(t) 14*sin(2*pi*50*t)'
'D1 1 3 1N4001'
'D2 2 3 1N4001'
'D3 0 1 1N4001'
'D4 0 2 1N4001'
'.model 1N4001 D (IS1=14e-9 n1=1.9)'
'.tran tstop=50e-3 dtmax=1e-4 initTRAN=OP'
'RL 3 0 500'
'C1 3 0 300e-6'
'.mute'
};

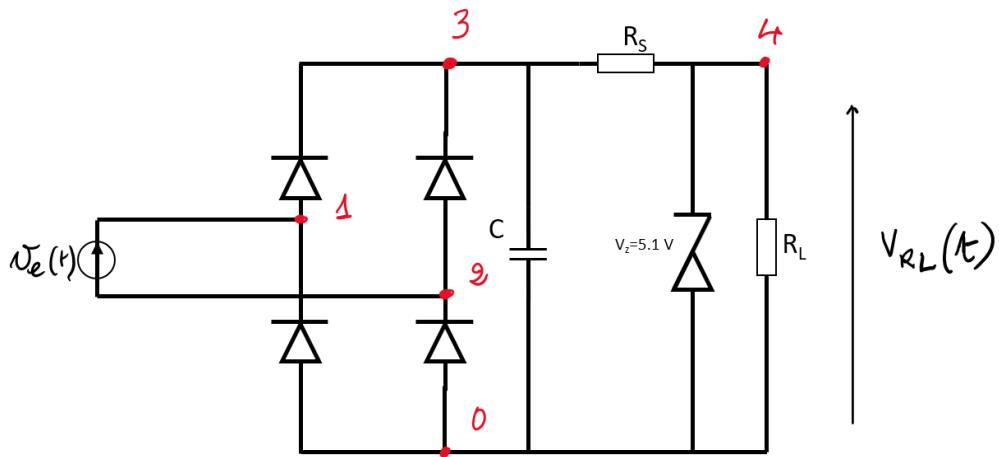
sim2=mcs(netlist);
figure
plot(sim1.t,sim1.X([1],:)-sim1.X([2],:),sim1.t,sim1.X([3],:),sim2.t,sim2.X(3,:));grid
```

```
xlabel('t (s)'); ylabel('Tensions (V)'); legend('Ve(t)', 'V_{RL}(t) idéal', 'V_{RL}(t) 1N4001', 'loc
```



Redresseur, filtrage et stabilisation

On cherche à obtenir une tension continue aux bornes de R_L égale à 5.1 V. La tension $v_e(t)$ correspond à la tension au secondaire d'un transformateur.



$$R_L = 500 \Omega, C = 330 \mu\text{F}, V_e(t) = 14 \times \sin(2\pi 50t), R_S = 470 \Omega$$

Caractéristique des diodes 1N4001 et zener utilisées dans cet exemple :

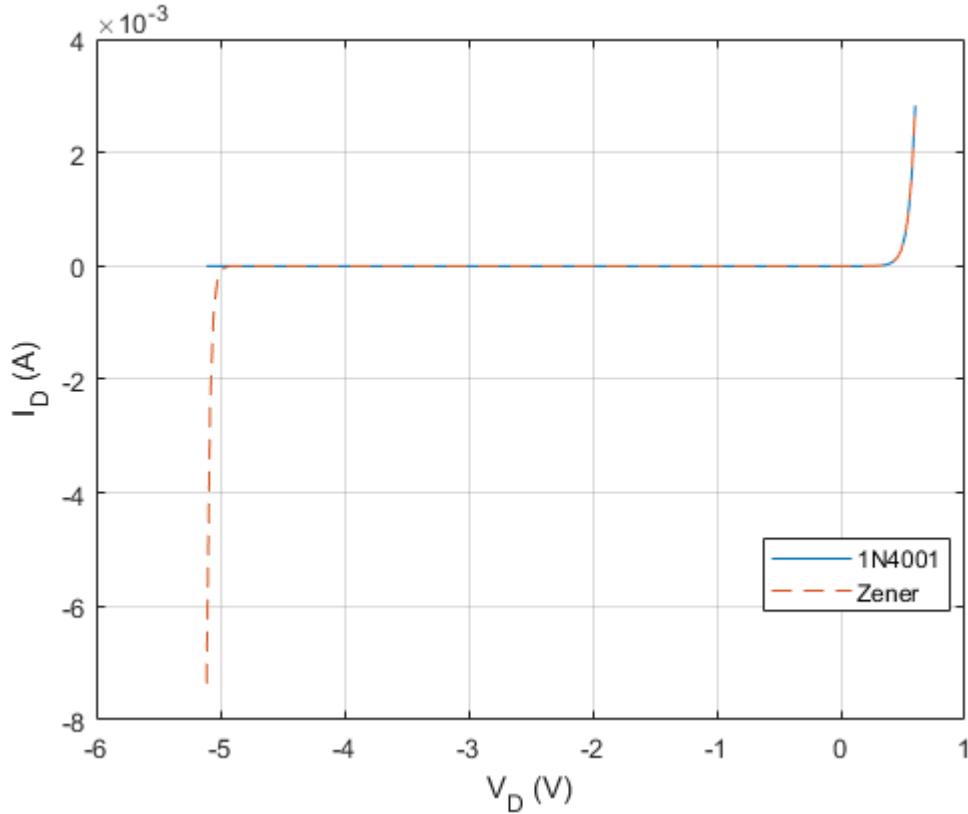
```
netlist1={  
    '.model 1N4001 D (IS1=14e-9 n1=1.9)'
```

```

'V1 1 0 {VD}'
'D1 1 0 1N4001'
'.mute'};
netlist2={ 
    '.model Dzener D (IS1=14e-9 n1=1.9 IBV=5e-3 BV=5.1)'
    'V1 1 0 {VD}'
    'D1 1 0 Dzener'
    '.mute'};

VD_=linspace(-5.11,0.6,200);
ID1=0*VD_; ID2=0*VD_;
for i=1:length(VD_)
    VD=VD_(i);
    sim1=mcs(netlist1);
    sim2=mcs(netlist2);
    ID1(i)=-sim1.X(end);
    ID2(i)=-sim2.X(end);
end
figure
plot(VD_,ID1,VD_,ID2,'--');grid;xlabel('V_D (V)');ylabel('I_D (A)');legend('1N4001','Zener','Lo');

```



Caractéristiques I/V des diodes 1N4001 et Zener

Simulation de l'alimentation stabilisée :

```
netlist={
```

```

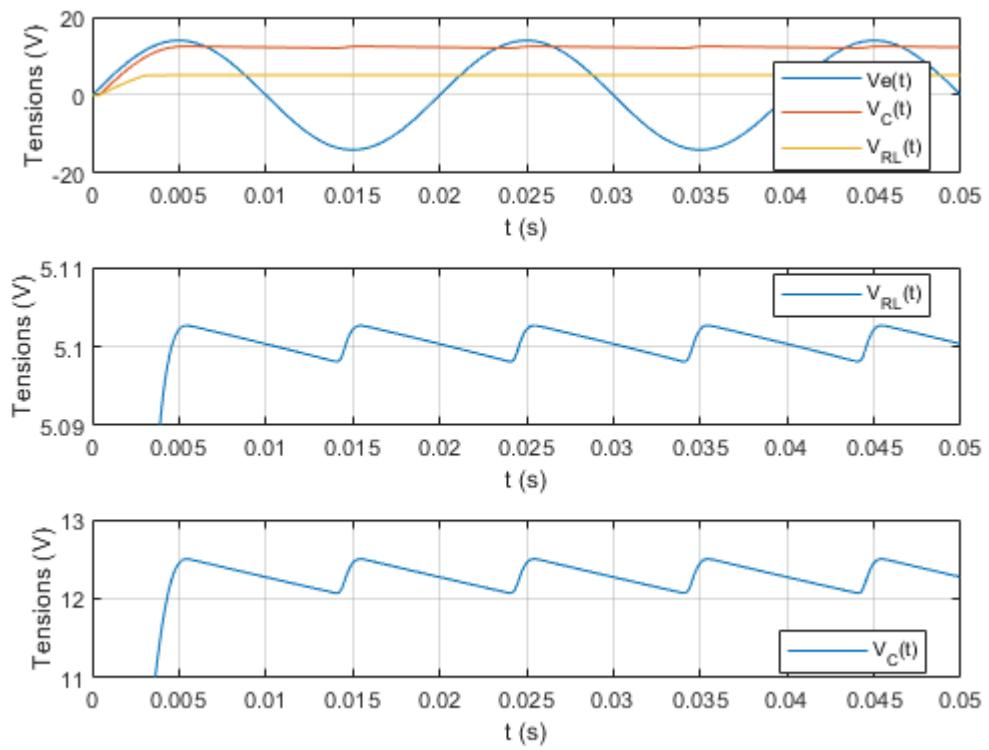
'V1 1 2 @(t) 14*sin(2*pi*50*t)'
'D1 1 3 1N4001'
'D2 2 3 1N4001'
'D3 0 1 1N4001'
'D4 0 2 1N4001'

'RL 4 0 500'
'RS 3 4 470'
'C1 3 0 300e-6'
'D1Z 0 4 Dzener'

'.model 1N4001 D (IS1=14e-9 n1=1.9)'    %
'.model Dzener D (IS1=14e-9 n1=1.9 IBV=5e-3 BV=5.1)'    %
'.tran tstop=50e-3 dtmax=1e-4 initTRAN=OP'
'.mute'
};

sim=mcs(netlist);
figure
subplot(3,1,1)
plot(sim.t,sim.X([1],:)-sim.X([2],:),sim.t,sim.X([3:4],:));grid
xlabel('t (s)')
ylabel('Tensions (V)')
legend('Ve(t)', 'V_{C}(t)', 'V_{RL}(t)', 'location', 'best')
subplot(3,1,2)
plot(sim.t,sim.X([4],:));grid
ylim([5.09 5.11])
xlabel('t (s)')
ylabel('Tensions (V)')
legend('V_{RL}(t)', 'location', 'best')
subplot(3,1,3)
plot(sim.t,sim.X([3],:));grid
ylim([11 13])
xlabel('t (s)')
ylabel('Tensions (V)')
legend('V_{C}(t)', 'location', 'best')

```



Avec les curseurs, on relève que la tension aux bornes de R_L ondule avec une amplitude de 5 mV autour de 5.1 V.

$$\frac{\Delta V}{V} \approx 0.1\%$$

