

TD d'électronique analogique

Série N°:1

Diodes et applications

EX_1

ATTENUATEUR DE TENSION A DIODE COMMANDEE ELECTRIQUEMENT¹

Cette application de la diode au silicium met en oeuvre les notions fondamentales de point de repos en régime continu et de résistance dynamique équivalente autour de ce point en mode petits signaux sinusoïdaux.

On considère le montage de la figure 1 excité par un générateur sinusoïdal $e_g = E_{gm} \sin(\omega.t)$, de résistance interne nulle, d'amplitude constante faible (10 mV) et de fréquence $f = 10$ kHz. La température est fixée à 25°C.

Ce montage permet de disposer en sortie, d'une tension sinusoïdale $v_s(t)$ dont l'amplitude dépend d'une tension continue de commande V_1 de valeur ajustable entre 0 et 10 V. La caractéristique de la diode en coordonnées linéaires est donnée en figure 3.

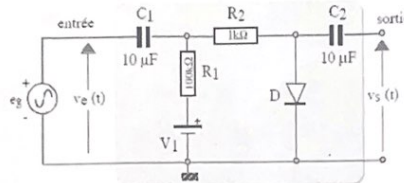


Figure 1

Méthode de travail :

L'analyse du fonctionnement du montage où cohabitent des courants et des tensions sinusoïdales superposés à des courants et des tensions continus est effectuée à l'aide du théorème de superposition permettant de distinguer deux modes :

- Continu où seul le générateur de tension continue V_1 intervient ($e_g = 0$ V)
- Variable sinusoïdal où le générateur d'excitation e_g intervient seul ($V_1 = 0$ V).

Afin de pouvoir simuler la présence des deux condensateurs du montage, on rappelle leur propriété en mode quelconque fonction du temps et en mode sinusoïdal permanent :

Mode quelconque : $i_c(t) = C \frac{dv_c(t)}{dt}$

Mode sinusoïdal permanent : $Z_c = \frac{1}{j\omega C}$ — module : $\frac{1}{\omega C}$
— argument : $-\frac{\pi}{2}$

En déduire le schéma simple de simulation des condensateurs C_1 et C_2 pour les deux modes de fonctionnements du montage :

- En mode continu où ils sont chargés sous une tension constante.
- En mode sinusoïdal permanent en calculant le module de leur impédance et en la comparant avec la valeur des résistances R_1 et R_2 .

¹ Ph.ROUX © 2009

2) ETUDE EN MODE SINUSOIDAL PETITS SIGNAUX (2^e partie du théorème de superposition)

Sachant que la tension variable qui se développe aux bornes de la diode possède une amplitude suffisamment faible (l'amplitude de e_s est égale à 10 mV), on simule la diode en régime sinusoïdal petits signaux par sa résistance dynamique r_d .

- Dessiner le schéma équivalent au montage en régime sinusoïdal imposé par e_s .
- Une diode passante obéit à la loi : $I_A = I_S \exp(\frac{V_A}{U_T})$, avec $U_T \approx 25$ mV à 25°C et I_S le courant inverse de saturation de la jonction. Montrer que l'expression de la résistance dynamique de la diode autour d'un point de repos est telle que :

$$r_d = \left(\frac{dV_A}{dI_A} \right)_{\text{point de repos}} = \frac{U_T}{I_{A \text{ repos}}}$$

Faire les applications numériques pour les points de repos définis précédemment. Comparer graphiquement en traçant la tangente à la caractéristique de la diode.

3) BILAN

- Analyser le fonctionnement du montage complet.
- Calculer l'expression du rapport $A = v_s / v_e$ et tracer le graphe $A = f(V_1)$.
- Que passe-t-il si on impose une tension V_1 nulle ou négative ?

EX_2

MONTAGE ECRETEUR A DIODES ¹

PREMIERE PARTIE : DIODE IDEALE

On considère le montage donné en figure 1 qui utilise deux diodes supposées idéales, qui sont simulées par :

- Un circuit ouvert pour l'état bloqué
- Un court-circuit pour l'état passant.

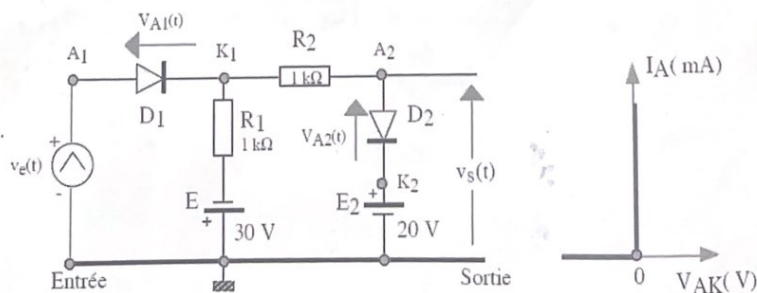


Figure 1

1) ETUDE DU MODE CONTINU (1^o partie du théorème de superposition)

- Dessiner le schéma équivalent du montage en régime continu.
- Ecrire l'équation de la droite de charge à la diode : $V_A = f(I_A)$.
- Tracer la droite de charge sur la figure 1 pour : $V_1 = 1, 2, 3, 5$ et 10 V et déterminer les coordonnées du point de fonctionnement (ou de repos) correspondant.

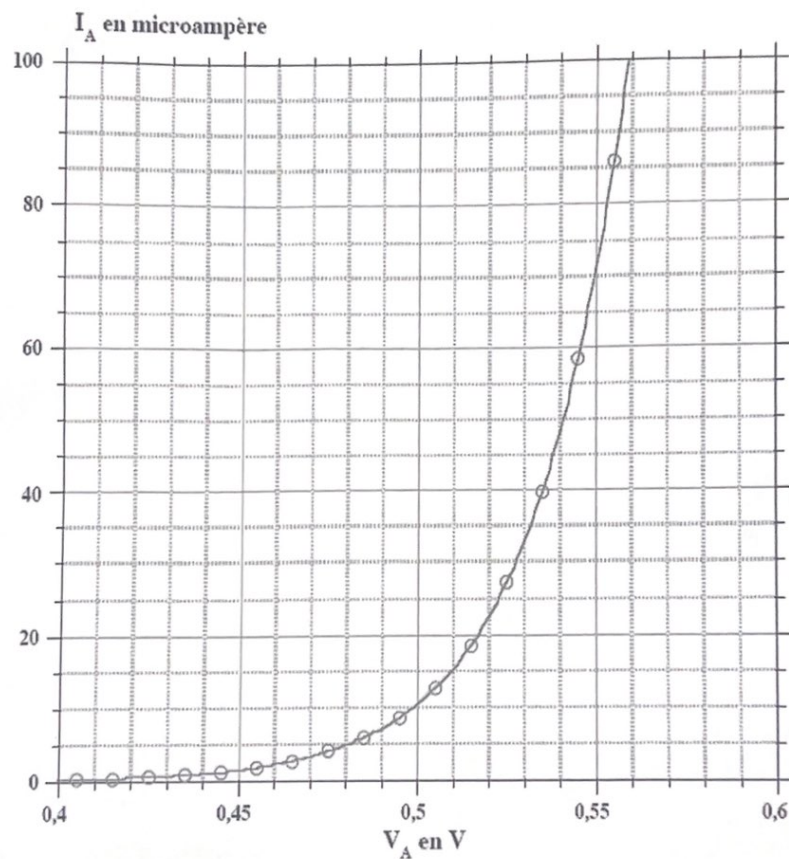
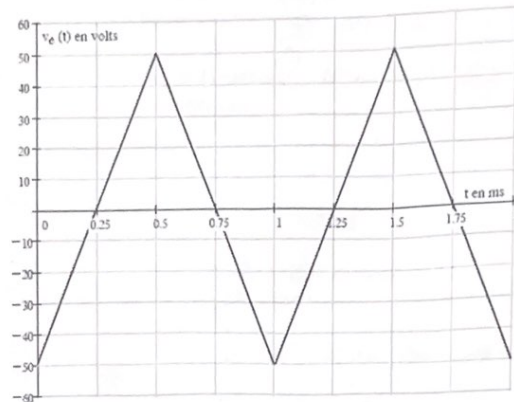


Figure 3

V_1	1 V	2V	3 V	5 V	10 V
$V_{A \text{ repos}}$					
$I_{A \text{ repos}}$					

On désire déterminer le graphe de la tension de sortie $v_s(t)$ du montage lorsque celui-ci est excité par un générateur délivrant une tension $v_e(t)$ triangulaire périodique ayant :

- Une fréquence f de 1 kHz
- Une valeur moyenne nulle
- Une amplitude 100V crête à crête et telle que $v_e(t=0) = -50V$.



- 1) A l'instant $t = 0$, où $v_e(0) = -50V$, on désire connaître l'état des diodes. A cet effet, on exploite la méthode d'analyse suivante :

- Déconnecter les deux diodes et calculer alors la valeur des tensions :

¹ Ph.ROUX © 2009

rouxphi3.perso.cegetel.net

- V_{A1M} et V_{K1M} pour la diode D_1
- V_{A2M} et V_{K2M} pour la diode D_2 .

Montrer alors que les diodes sont bloquées.

- 2) Donner la valeur de la tension de sortie $v_s(0)$ à l'instant $t = 0$.

A partir de l'instant $t = 0$, la tension $v_e(t)$ augmente et l'analyse du schéma montre que la diode D_1 devient passante la première alors que D_2 reste encore bloquée. On divise donc le fonctionnement du montage en trois séquences ayant chacune son propre schéma d'analyse.

SEQUENCE 1 : D_1 et D_2 BLOQUEES

Dans cette séquence, le schéma d'analyse est obtenu en remplaçant D_2 bloquée par un circuit ouvert. Cependant, on dessine D_1 sous sa forme symbolique afin de déterminer sa droite de charge et définir la tension $v_{e1}(t_1)$ qui rend D_1 juste conductrice.

- 3) Ecrire l'équation de la droite de charge de la diode D_1 .

- a) Tracer la droite de charge à l'instant $t = 0$. Vérifier que le point de fonctionnement correspond à D_1 bloquée.
- b) Comment se déplace la droite de charge lorsque que $v_e(t)$ augmente à partir de $t = 0$?
- c) En déduire la valeur de la tension d'entrée $v_{e1}(t_1)$ qui rend D_1 juste conductrice.
- d) Calculer l'expression de la tension $v_s(t)$ dans cette 1^o séquence.

SEQUENCE 2 : D₁ PASSANTE, D₂ BLOQUEE

La tension $v_e(t) > v_{e1}$ est telle que D₁ est passante alors que D₂ est encore bloquée. La diode D₁ est donc simulée par un court-circuit alors que D₂ est représentée sous sa forme symbolique.

- 4) Dessiner le nouveau schéma équivalent au montage. Rechercher l'expression de la tension de sortie $v_s(t)$ en fonction de $v_e(t)$ dans cette séquence.
- 5) Déterminer la valeur de la tension $v_{e2}(t_2)$ qui rend la diode D₂ juste passante et qui indique la fin de la deuxième séquence.

SEQUENCE 3 : DIODES PASSANTES

Dans cette dernière séquence, la tension $v_e(t) > v_{e2}$ est telle que D₁ et D₂ sont passantes.

- 6) Dessiner le nouveau schéma équivalent au montage. Quelle est l'expression de la tension $v_s(t)$?
- 7) Compte tenu de l'analyse complète représenter l'évolution de la tension de sortie $v_s(t)$ sur deux périodes du signal $v_e(t)$.

DEUXIEME PARTIE : MODELE LINEAIRE DE LA DIODE

- Le générateur d'attaque $v_e(t)$ évolue maintenant de -10 à +10 V (figure 2a).
- Les résistances R₁ et R₂ sont égales à 10 Ω
- E₁ = E₂ = 2V.

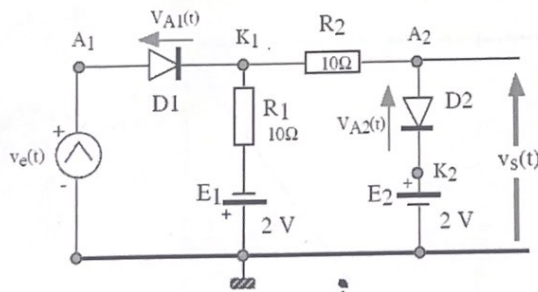


Figure 2a

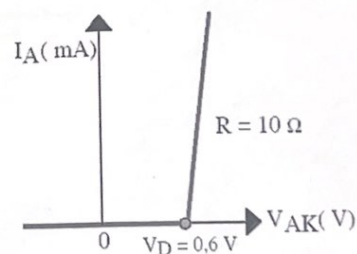


Figure 2b

Refaire l'étude de la première partie en simulant chaque diode par un schéma plus proche de la réalité (figure 2b), c'est-à-dire :

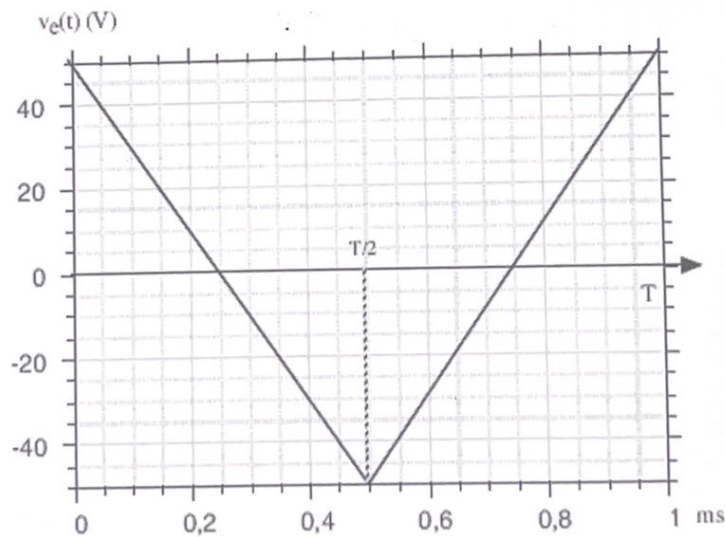
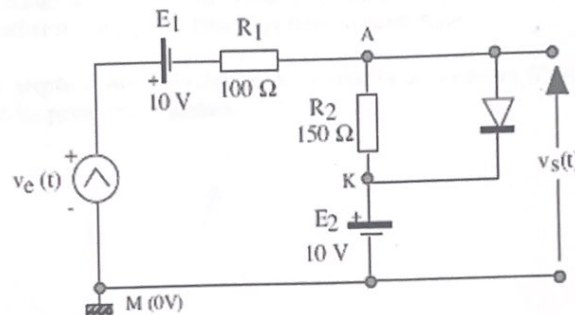
- $V_{AK} > V_D \rightarrow$ diode passante \rightarrow f.c.e.m. $V_D = 0.6V$ et résistance série $R = 10\Omega$.
- $V_{AK} \leq V_D \rightarrow$ diode bloquée \rightarrow circuit ouvert.

EX_3

CONFORMATEUR A DIODE

On considère le montage suivant qui utilise une diode au silicium dont la caractéristique est idéalisée. Lorsque la diode sera passante ou bloquée, elle sera remplacée respectivement par un court-circuit ou un circuit ouvert.

Le générateur $v_e(t)$, dont le graphe est donné ci-après, fournit une tension triangulaire, de valeur moyenne nulle, d'amplitude 50V et de période $T = 1\text{ms}$.



On se propose de déterminer les caractéristiques du générateur de Thévenin qui alimente la diode entre les nœuds A et K.

- 1) Déterminer l'expression du générateur de Thévenin $e_{th}(t) = f(v_e(t), E_1, E_2, R_1, R_2)$. Donner le schéma d'analyse et faire l'application numérique afin d'obtenir $e_{th}(t)$ en fonction de $v_e(t)$.
- 2) Déterminer la résistance interne R_{th} du générateur de Thévenin. Donner le schéma d'analyse.
- 3) Dessiner alors le schéma de simulation du montage. A l'instant $t = 0$ s, Quel est l'état de la diode ? Donner l'équation de la droite de charge de la diode et en déduire la valeur de la tension particulière $v_e(t_1)$ qui amène la diode à la frontière entre la zone passante et bloquée.
- 4) Déterminer l'expression de la tension de sortie $v_s(t)$ du montage complet lorsque la diode est passante. Donner le schéma d'analyse et faire l'application numérique.
- 5) Déterminer l'expression de la tension de sortie $v_s(t)$ du montage complet lorsque la diode est bloquée. Donner le schéma d'analyse et faire l'application numérique.
- 6) Représenter sur le graphe donné, l'évolution de la tension de sortie $v_s(t)$ sur une période, en indiquant clairement les points remarquables.

EX_4

1^{re} PARTIE : MONTAGE REDRESSEUR UNE ALTERNANCE

On considère le montage de la figure 1 où la diode D est supposée idéale (court-circuit si passante et circuit ouvert si bloquée). Le transformateur reliant le réseau E.D.F. au circuit redresseur est, vu du secondaire, équivalent à un générateur de tension parfait : $u(t) = U_m \sin(\omega t)$ avec $U_m = 20 \text{ V}$ et $f = 50 \text{ Hz}$.

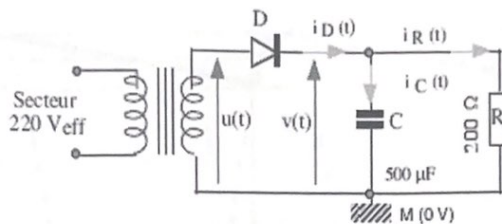


Figure 1

I) ETUDE DU MONTAGE SANS LA CAPACITE DE FILTRAGE C

Tracer le graphe des tensions $u(t)$ et $v(t)$.

Déterminer la valeur moyenne V_{moy} de la tension $v(t)$ et en déduire la valeur du courant moyen I_{moy} circulant dans la résistance de charge R de 200Ω .

II) ÉTUDE DU MONTAGE AVEC CAPACITE DE FILTRAGE

1) RÉGIME TRANSITOIRE

À l'instant $t = 0$ où : $u(t) = 0 \text{ V}$, on suppose que la capacité est déchargée et la diode passante.

- Déterminer l'expression de la tension $v(t)$ et des courants : $i_R(t)$ et $i_C(t)$.
- Déterminer l'expression du courant $i_D(t)$ circulant dans la diode (figure 2).

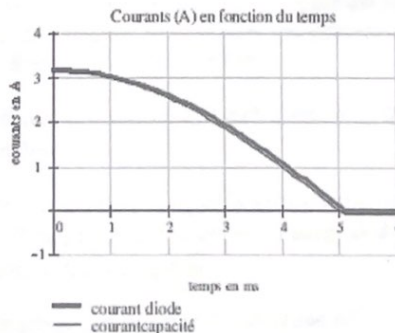


Figure 2 : courants diode et capacité C en régime transitoire

- c. En utilisant le graphe de Fresnel, calculer l'amplitude I_{Dm} du courant $i_D(t)$ et son déphasage Φ par rapport à $v(t)$.
- d. Calculer l'instant t_1 où la diode se bloque c'est-à-dire $i_D(t_1) = 0$ A. Déterminer à cet instant, le courant circulant dans le condensateur et dans la résistance R.

2) RÉGIME PERMANENT (figure 3)

On prend l'instant t_1 comme nouvel instant initial, qui par commodité sera pris égal à 5 ms. A l'instant $t_1 + \epsilon$, la capacité garde sa charge alors que la tension $u(t)$ diminue : la diode D se bloque.

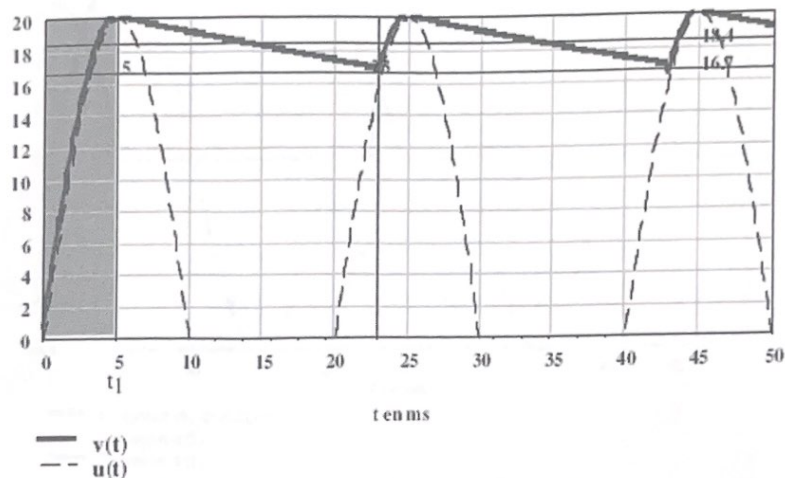


Figure 3 : Graphe des tensions du régime permanent

- a. Etablir l'expression de la tension $v(t)$ lorsque la diode est bloquée. Compte tenu de la valeur élevée de la constante de temps $\tau = RC$ devant la période T , le début de la décharge du condensateur C dans la résistance R peut être considérée comme linéaire (figure 3). Sachant que : $\exp(-x) \approx (1 - x)$ pour x faible, donner l'expression approchée de $v(t)$.
- b. Déterminer l'instant t_2 au bout duquel la diode redevient passante. Compte tenu de l'équation à résoudre, il est nécessaire de procéder soit par approximations successives ou bien d'utiliser une "méthode de zéro" avec une calculatrice. Donner la valeur du courant $i_c(t_2)$ lorsque la diode se met juste à conduire.
- c. Décrire l'évolution de la tension $v(t)$ après l'instant t_2 . Quelle est l'amplitude crête à crête de la « tension d'ondulation ΔV » ?
- d. Calculer la tension moyenne V_{moy} de la tension $v(t)$ en assimilant $v(t)$ à un segment de droite lorsque D est passante. Pour calculer l'intégrale donnant la tension V_{moy} , on utilisera la surface de deux trapèzes.
- e. Evaluation pratique de la tension d'ondulation ΔV .

Pour calculer la tension d'ondulation ΔV , on fait toujours un calcul approximatif en supposant que la capacité C se décharge à courant constant égal à I_{Rmoy} et ceci durant un

temps égal à la période T du signal. Dans ces conditions on écrit la loi fondamentale du condensateur :

$$I_{\text{moy}} = C \frac{\Delta V}{T}$$

Déterminer l'expression de la tension d'ondulation crête à crête ΔV .

Pour justifier la méthode, comparer ΔV à sa valeur déterminée graphiquement (figure 3).

Remarque : l'expression précédente est toujours utilisée pour calculer la valeur d'un condensateur de filtrage dont la valeur normalisée est choisie dans une gamme dont le pas est large.

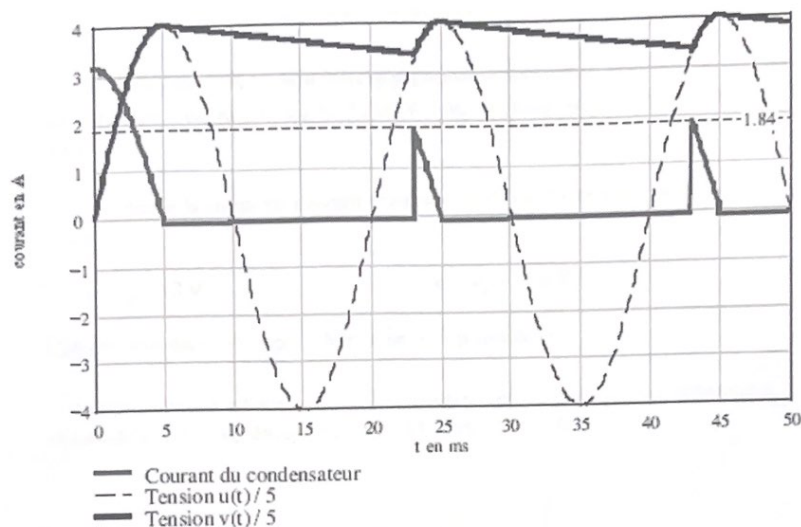


Figure 4

2° PARTIE : MONTAGE REDRESSEUR DEUX ALTERNANCES

Le montage redresseur deux alternances utilise un pont de diodes ou montage de Graetz (figure 5).

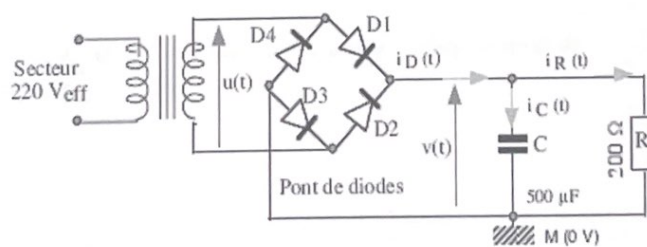


Figure 5

1) Pour ce montage, mener l'étude comme pour le montage redresseur une alternance. Quel est l'avantage de ce montage?

2) Application : on considère un montage redresseur deux alternances fonctionnant à partir du secteur via un transformateur et débitant un courant moyen maximum I_0 de 400 mA.

Quelle valeur doit avoir la capacité de filtrage pour limiter l'amplitude crête à crête de l'ondulation à 2 V dans le cas le plus défavorable ?

EX_5

Une diode zener de tension V_Z est utilisée dans le montage suivant, fig. 1.

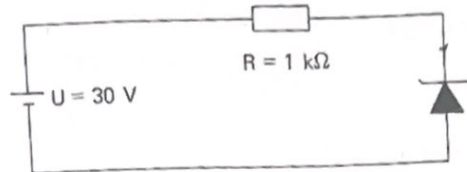


Fig. 1

Pour une valeur de tension inverse appliquée à ses bornes, inférieure à V_Z , son courant inverse est égal à $10 \mu A$. Pour $V > V_Z$ on suppose sa résistance différentielle nulle.

1) Calculer la valeur du courant traversant la diode Zener dans les deux cas suivants :

a) $V_Z = 10 V$

b) $V_Z = 100 V$

(On utilisera deux méthodes, algébrique puis graphique).

2) On applique à l'entrée du circuit suivant (fig 2), une tension alternative sinusoïdale $v(t) = V_0 \sin \omega t$ où $V_0 = 30$ volts, $R = 1 k\Omega$.

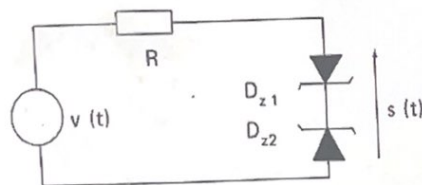


Fig. 2

Les tensions zener V_{Z1} et V_{Z2} sont égales à V_Z . Donner l'allure du signal de sortie $s(t)$ pour $V_Z = 10 V$.

EX_6 : Stabilisation par diode Zener

Avec le montage de la figure Fig. 1, on va essayer de stabiliser la tension aux bornes la charge R_L à l'aide d'une diode Zener ($V_Z = 5V$).

Pour les faibles valeurs de E , la Zener reste bloquée, la tension V_L aux bornes de R_L sera calculée comme si la Zener était absente. Dès que V_L dépasse V_Z , la Zener conduit et V_L reste égale à V_Z

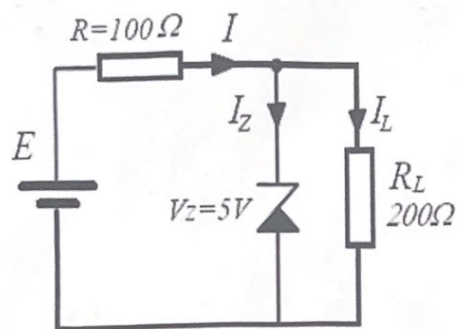


Fig. 1

Calculer V_L et I_L pour $E = 3, 6, 9$ et $12V$