EXERCICES

Exercice 1 *Soit un courant $i(t) = 20\sin(2\pi 60t)$ qui traverse un élément électrique qui peut être :*

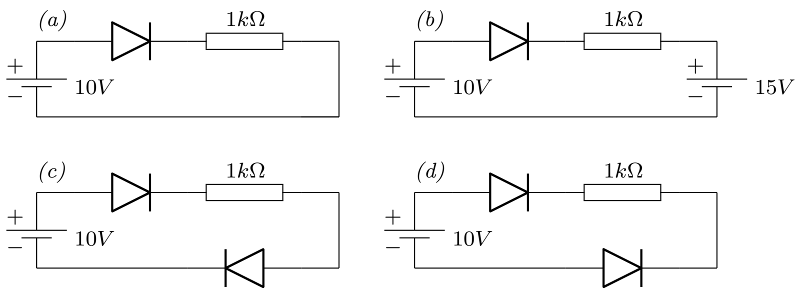
a. une résistance de 5 Ω ;

b. une inductance de 10 mH ;

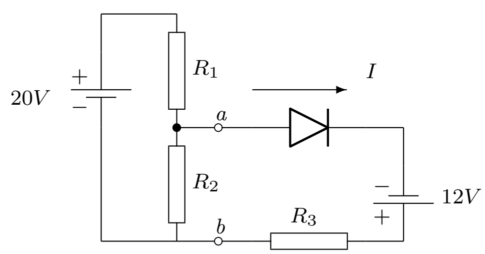
c une source à courant continu de 6 V.

Calculez la puissance instantanée ainsi que la puissance moyenne absorbée par l'élément dans chacun des cas.

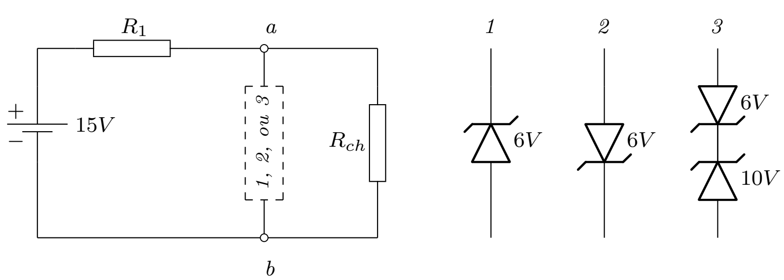
Exercice 2 *Calculez le courant traversant la résistance de $1k\Omega$ dans les 4 cas suivants :*



Exercice 3 *Sachant que $R_1 = R_2 = 1k\Omega$ et $R_3 = 2k\Omega$, calculez le courant qui traverse la diode.*

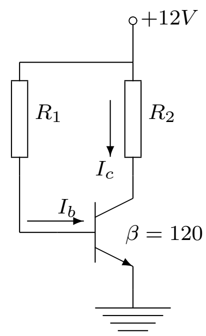


Exercice 4 *Soit le circuit suivant dans lequel on branchera entre les bornes a et b alternativement soit l'élément (1), soit l'élément (2) soit les deux éléments (3).*

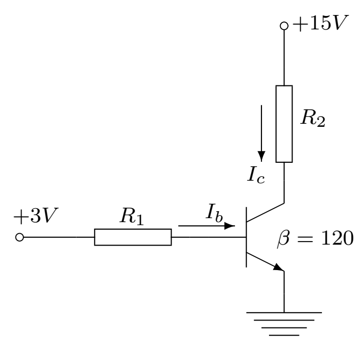


Calculez la tension V_{ab} ainsi que le courant dans la résistance de charge R_{ch} dans les trois cas sachant que $R_{ch} = 10k\Omega$ et $R_1 = 100\Omega$. Les tensions aux bornes des diodes Zener en conduction inverse sont indiquées dans la figure.

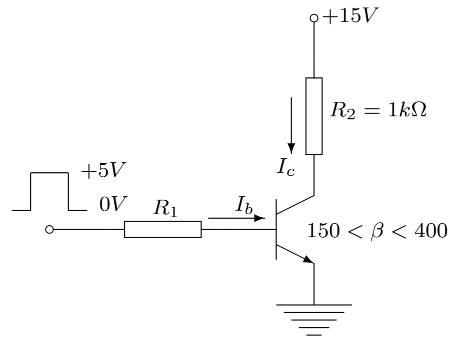
Exercice 5 *Soit le schéma à transistor alimenté par une tension de $12V$ et où $R_1 = 100k\Omega$, $R_2 = 500\Omega$ et le gain du transistor $\beta = 120$.*
Trouvez la tension aux bornes de la résistance R_2.



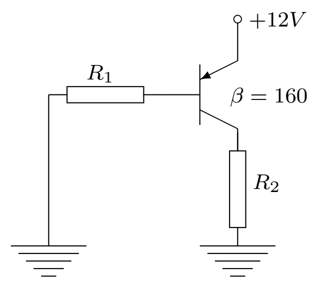
Exercice 6 *Dans le circuit suivant, dites si le transistor est saturé ou non. Calculez le courant du collecteur I_c ainsi que la tension entre le collecteur et l'émetteur V_{CE}. Les paramètres du circuit sont : $R_1 = 100k\Omega$, $R_2 = 5k\Omega$, le gain $\beta = 120$.*



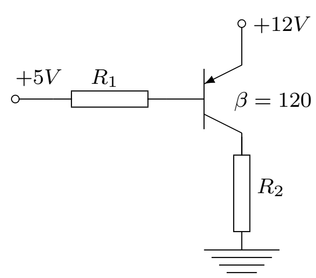
Exercice 7 *On souhaite faire fonctionner un transistor comme un interrupteur.*
Calculez la résistance R_1 nécessaire au fonctionnement du transistor comme interrupteur, c'est-à-dire en ON/OFF.



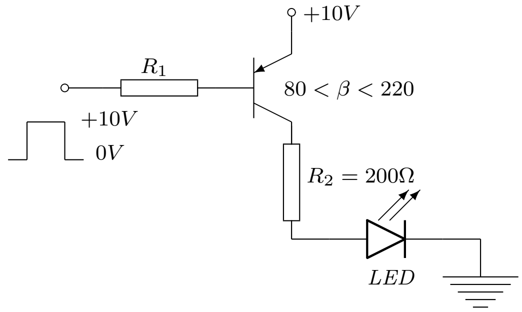
Exercice 8 *Soit un circuit à transistor PNP avec $R_1 = 500k\Omega$ et $R_2 = 1k\Omega$:*
Trouvez la tension aux bornes de la résistance R_2.



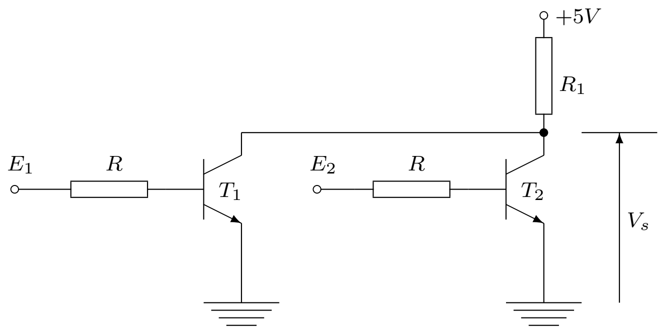
Exercice 9 *Soit un circuit à transistor PNP avec $R_1 = 150k\Omega$ et $R_2 = 2k\Omega$:*
Trouvez la tension V_{CE} entre l'émetteur et le collecteur.



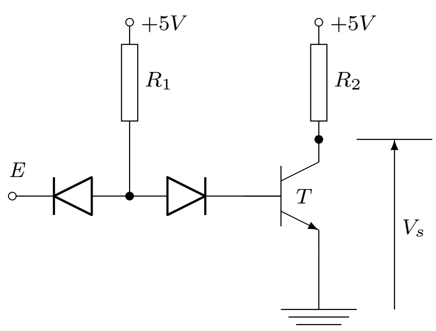
Exercice 10 *On utilise un transistor PNP en interrupteur pour allumer et éteindre une LED. On dispose d'alimentations et d'éléments électroniques tels que représentés dans la figure. Trouvez R_1 afin que le transistor fonctionne comme un interrupteur. Enfin, on supposera que la LED donne une lumière verte lorsqu'elle est allumée ($\Delta V = 2.2V$).*



Exercice 11 *Soit un circuit logique RTL (Resistance Transistor Logic).*
Donnez la tension de sortie V_s en fonction des excitations d'entrées E_1 et E_2.



Exercice 12 *Soit un circuit logique DTL (Diode Transistor Logic).*
Donnez la tension de sortie V_s en fonction de l'excitation d'entrée E.



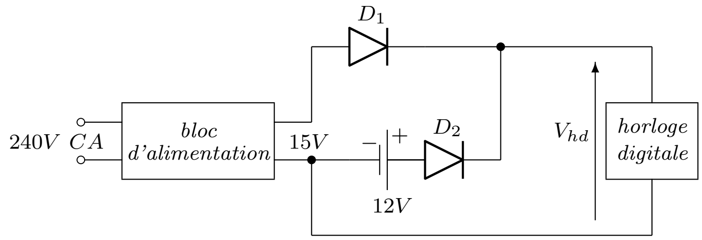
Exercice 13 *On désire actionner les articulations d'un robot manipulateur par des moteurs à courant continu de petite puissance.*
Les moteurs doivent pouvoir fonctionner dans les deux sens de rotation. De plus, ils doivent être contrôlés par 2 bits : l'un pour le sens de rotation et l'autre pour la marche/arrêt.
On demande de proposer un circuit de commande utilisant des MOSFETS.

Exercice 14 *Il s'agit, dans cet exercice, de concevoir un circuit de commande d'un moteur à courant continu à partir du port sortie parallèle d'un micro-ordinateur. Le moteur doit pouvoir fonctionner dans les deux sens de rotation. Il faut aussi prévoir une isolation optique entre le micro-ordinateur et le circuit de commande du moteur, de même qu'une protection contre les surtensions lorsque l'on coupe l'alimentation du moteur.*

Exercice 15 *On désire faire fonctionner un séchoir à cheveux sur deux puissances, par exemple à la pleine puissance de 1600W et à la demi-puissance de 800W. Le séchoir dispose d'un moteur à collecteur CA qui entraîne un ventilateur, lequel souffle sur une résistance électrique chauffante.*
Donnez un circuit simplifié du montage possible.

Exercice 16 *Soit le circuit d'une horloge digitale.*

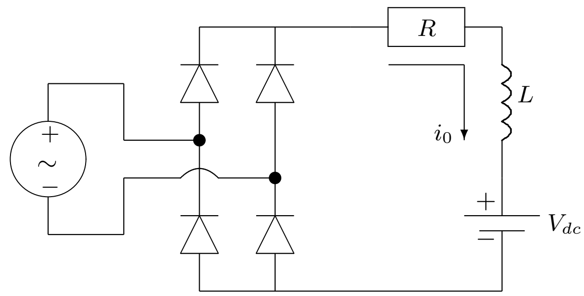
1. *Quelles sont les deux tensions V_{hd} possibles sous lesquelles cette horloge peut fonctionner ?*
2. *Comment peut-on stabiliser la tension V_{hd} aux bornes de l'horloge à 9V ?*



Exercice 17 *Soit le pont redresseur (double-alternance) :*

Les données sont :

$$\begin{aligned} v_s(\omega t) &= 170 \sin \omega t \quad V \\ \omega &= 2\pi f = 2\pi 60 \quad rad/s \\ L &= 20 \quad mH \\ R &= 4 \quad \Omega \\ V_{dc} &= 60 \quad V \end{aligned}$$



Trouvez :

a *la puissance absorbée par la source de courant continu V_{dc} ;*

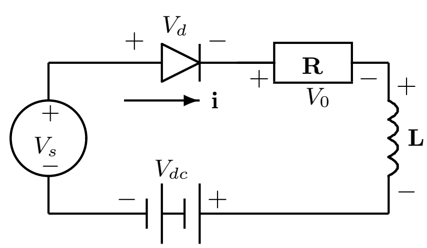
b *la puissance absorbée par la résistance ;*

c *le facteur de puissance ;*

d *la variation crête à crête (estimation) dans le courant de charge en tenant compte seulement du premier terme CA de la série de Fourrier pour le courant.*

Exercice 18 *Soit un redresseur simple alternance à charge R-L-source dc.*

Les données sont :
- $v_s(t) = 170 \sin(377t)$
- $R = 2 \quad \Omega$
- $L = 20 \quad mH$
- $V_{dc} = 100V$

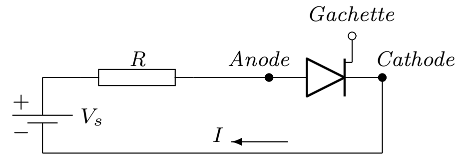


Déterminez :

1. *le courant $i(t)$;*
2. *La puissance absorbée par la résistance ;*
3. *La puissance absorbée par la source dc ;*
4. *La puissance fournie par la source alternative ;*
5. *Le facteur de puissance du circuit.*

Exercice 19 *Soit le schéma électrique suivant :*

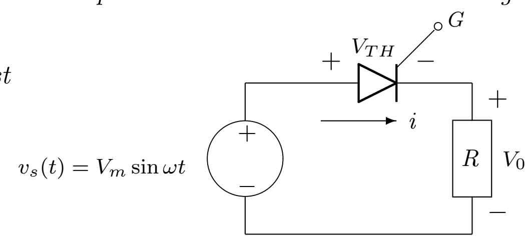
Si on applique une impulsion positive sur la gachette du thyristor, alors un courant I circulera en permanence sans jamais s'arrêter. Que doit-on faire pour bloquer le thyristor ?



Exercice 20 *Soit le redresseur contrôlé simple-alternance alimentant une charge résistive :*

Montrez que le facteur de puissance est décrit par l'expression :

$$PF = \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{4\pi}}$$

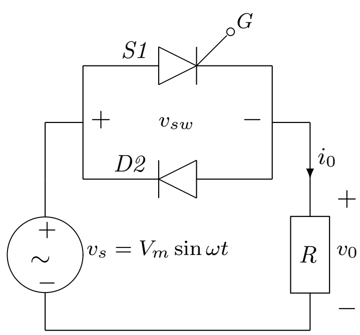


Exercice 21 *L'équation suivante exprime la tension de sortie d'un hacheur dévolteur en termes de tension d'entrée, de rapport de conduction, et de chute de tension aux bornes de composants non-idéaux, tels le commutateur et la diode :*

$$V_o = V_s D - V_Q D - V_D(1 - D)$$

Trouver une expression pour la tension de sortie d'un hacheur survolteur-dévolteur lorsque le commutateur et la diode sont des composants non-idéaux.

Exercice 22 *Soit le circuit d'un convertisseur ac-ac monophasé dans lequel on remplaçé un des thyristors par une diode.*



Si l'angle d'amorçage du thyristor S1 est α :

1. *Dessiner la forme d'onde de la tension de sortie v_0 ainsi que celle de la tension v_{sw}.*
2. *Trouver une expression pour $V_{0_{eff}}$ en fonction de l'angle d'amorçage α et de l'amplitude de la tension de la source V_m.*
3. *Donner les limites de variation de $V_{0_{eff}}$ à travers la résistance R. Discuter.*

Exercice 23 *Concevoir un convertisseur dc-dc pour produire une tension de sortie $V_o = 15$ volts à partir d'une source d'alimentation dont la tension varie de 12 volts à 18 volts. La résistance de charge est $R = 15\ \Omega$. (donner le type de convertisseur choisi et calculer le ou les taux de conduction D).*

Exercice 24 *Les deux thyristors d'un gradateur monophasé alimentant une charge R sont opérés avec des angles d'amorçages différents pour chacun d'eux ($\alpha_1 \neq \alpha_2$). Trouver les expressions de la tension de charge efficace et de la tension de charge moyenne en fonction de l'amplitude de la tension de la source V_m, de α_1 et de α_2.*

Exercice 25 *Trouver l'angle d'amorçage α qui permet d'éliminer le 7ième harmonique de la sortie d'un onduleur à pont tout transistor dont la tension de sortie est une onde carrée.*

1 Solutions

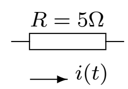
Solution de l'exercice 1 :

(a) **Résistance R :**

Sachant que $i(t) = 20\sin(2\pi 60t)$, alors la puissance instantanée $p(t)$ est :

$$p(t) = u(t)i(t) = Ri^2(t) = 5[20\sin(2\pi 60t)]^2 = 2000\sin^2(2\pi 60t)$$

La puissance moyenne P_{moy} est :

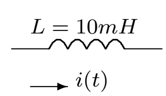


$$\begin{aligned} P_{\text{moy}} &= \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} p(t)dt = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} 2000\left(\frac{1-\cos(2\pi 60t)}{2}\right)dt \\ &= \frac{2000}{2\pi}\int_0^{2\pi}\left(\frac{1}{2} - \frac{\cos(2\pi 60t)}{2}\right)dt \\ &= 1000\ \text{W} \end{aligned}$$

(b) **Inductance L :**

Sachant que $i(t) = 20\sin(2\pi 60t)$, alors la puissance instantanée $p(t)$ est :

$$\begin{aligned} p(t) &= u(t)i(t) = \left(L\frac{di(t)}{dt}\right)i(t) \\ &= \left(L\frac{d[20\sin(2\pi 60t)]}{dt}\right)20\sin(2\pi 60t) \\ &= (0.01)(20)(2\pi 60)\cos(2\pi 60t)(20)\sin(2\pi 60t) \\ &= 754\sin(4\pi 60t) \end{aligned}$$



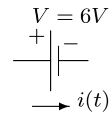
La puissance moyenne P_{moy} est :

$$P_{\text{moy}} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} p(t)dt = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} 754\sin(4\pi 60t)dt = 0$$

(c) **Source à courant continu :**

Sachant que $i(t) = 20\sin(2\pi 60t)$, alors la puissance instantanée $p(t)$ est :

$$p(t) = u(t)i(t) = (6)(20)\sin(2\pi 60t) = 120\sin(2\pi 60t)$$



La puissance moyenne P_{moy} est :

$$\begin{aligned} P_{\mathrm{moy}} &= VI_{\mathrm{moy}} \\ &= 6\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} i(t)dt \\ &= 6\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} 20\sin(2\pi 60t)dt = 0 \end{aligned}$$

Solution de l'exercice 2 :

On se réfère à la figure(1).

cas (a) La diode est toujours polarisée en direct et le courant I circulant est bien dans le sens indiqué dans la figure. Sachant que la chute de tension, V_d, aux bornes de la diode lorsque celle-ci conduit est de l'ordre de 0.7 volts, alors l'expression du courant est :

$$I = \frac{V - V_d}{R} = \frac{10 - 0.7}{1000} = 9.3mA$$

cas (b) Étant donné que $15V > 10V$, alors le courant devrait avoir le sens indiqué par la flèche en pointillé si la diode était absente. Mais, comme la diode est présente, alors elle est polarisée en inverse. Une diode polarisée en inverse ne conduit pas et donc le courant dans le circuit est nul.

cas (c) Les 2 diodes sont polarisées en direct et le courant I a le sens indiqué dans la figure. Sachant que $V_d = 0.7V$, alors l'expression du courant est :

$$I = \frac{V - 2V_d}{R} = \frac{10 - 2 \times 0.7}{1000} = 8.6mA$$

cas (d) Étant donné que les 2 diodes sont en opposition, c.a.d. que l'une est polarisée en direct et l'autre en inverse, alors aucun courant ne peut circuler dans le circuit et $I = 0A$.

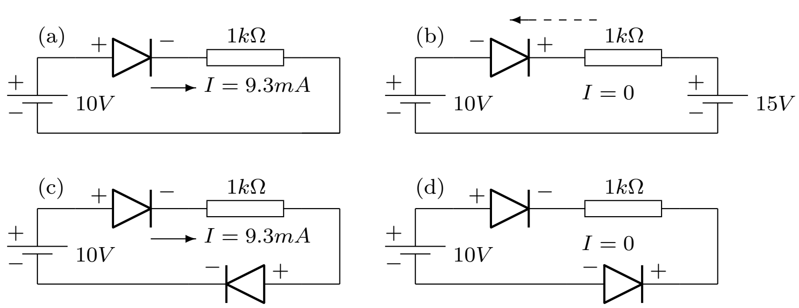
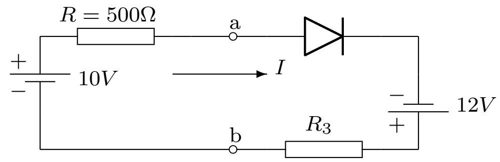


FIG. 1 – solution de l'exercice 2.

Solution de l'exercice 3 :

En transformant la partie se trouvant à gauche des bornes (a) et (b) par son équivalent de Thévenin, on obtient :



avec :

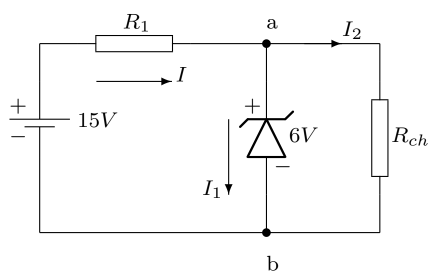
$$
\begin{aligned}
R_{th} &= \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{(1k)(1k)}{1k + 1k} = 500\Omega \\
V_{th} &= \frac{(20V)(R_2)}{R_1 + R_2} = \frac{(20)(1k)}{1k + 1k} = 10V
\end{aligned}
$$

En se référant à la figure transformée ci-dessus, le courant I qui traverse la diode est :

$$
I = \frac{10V + 12V}{R_3 + 500\Omega} = \frac{22}{2500} = 8.8mA
$$

Solution de l'exercice 4 :

cas 1 : Le circuit est le suivant :



Supposons que la résistance de charge R_{ch} est absente. Dans ce cas, tout le courant qui provient de la source de 15 V passera à travers la diode Zener, tel que :

$$
I = \frac{15V - 6V}{100\Omega} = 90mA
$$

Ainsi, la valeur de $90mA$ représente le courant maximal qui peut passer à travers la diode Zener. Mais, comme la résistance de charge R_{ch} est présente, alors le courant va être partagé entre la diode Zener et R_{ch} parce qu'on suppose que la diode Zener conduit en inverse comme indiqué dans la figure. Cela est vrai seulement si la tension aux bornes de la diode Zener n'est pas inférieure à $6V$. Donc, pour le schéma considéré si la tension aux bornes de la diode Zener est inférieure à 6V, alors la diode ne conduit pas et tout le courant passe par R_{ch}.

Ainsi, pour le schéma considéré, les relations suivantes sont vraies :

$$
\begin{aligned}
V_{ab} &= 6V \\
I &= \frac{15V - 6V}{100\Omega} = 90mA \\
I_2 &= \frac{V_{ab}}{1k\Omega} = \frac{6V}{1000\Omega} = 6mA \\
I_1 &= I - I_2 = 90mA - 6mA = 84mA
\end{aligned}
$$

Cas particulier :

Supposons que $R_{ch} = 10\Omega$ au lieu de $1k\Omega$.
Si on considère que la diode Zener conduit, alors le courant I_2 dans la charge R_{ch} serait égal à :

$$I_2 = \frac{V_{ab}}{10\Omega} = \frac{6V}{10\Omega} = 600mA$$

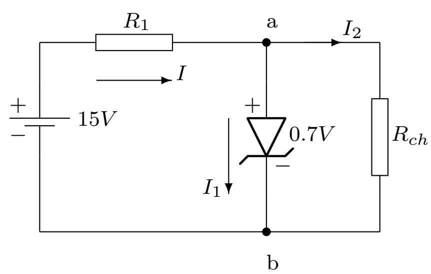
Il est clair que cette valeur est erronée car le courant maximal, lorsque la diode conduit, est de $90mA$. Cela veut dire que si $R_{ch} = 10\Omega$, alors une seule explication est possible : la diode ne conduit pas, donc la branche ab est ouverte et le courant circulant dans le circuit est :

$$\begin{aligned} I &= \frac{15V}{100\Omega + 10\Omega} = 136mA \\ V_{ab} = V_{zener} = V_{R_{ch}} &= (10\Omega)(136mA) = 1.36V \end{aligned}$$

Conclusion :

Cet exemple montre l'intérêt des diodes Zener. Le courant maximal disponible lorsque la diode Zener conduit est de $90mA$, et le courant est réparti entre la diode Zener et la charge R_{ch}.
Tant que le courant dans le circuit ne dépasse pas $90mA$, un courant traverse la diode Zener et la tension aux bornes de la charge est maintenue à 6 volts. On stabilise ainsi une tension aux bornes d'une charge en maintenant un courant inférieur ou égal à $90mA$ dans le circuit. C'est le principe du régulateur de tension.
D'un autre côté, si la charge R_{ch} consomme un courant supérieur à $90mA$, alors on perd l'avantage de la régulation de tension, c'est-à-dire que la tension aux bornes de la charge R_{ch} n'est plus constante à $6V$ mais inférieure, donc variable.

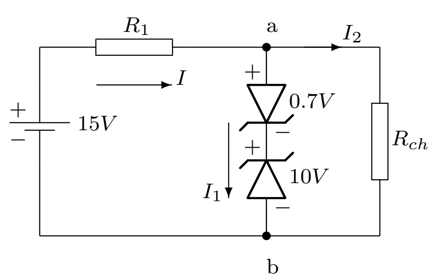
cas 2 : Le circuit est le suivant :



Ici, la diode Zener se conduit comme une diode ordinaire polarisée en direct. Pratiquement tout le courant passe par la diode qui court-circuite la charge R_{ch}. Les relations sont :

$$\begin{aligned} V_{ab} &= 0.7V \text{ (chute de tension normale d'une diode)} \\ I &= \frac{15V - 0.7V}{100\Omega} = 143mA \\ I_2 &= \frac{V_{ab}}{1k\Omega} = \frac{0.7V}{1000\Omega} = 0.7mA \approx\ 0A \\ I_1 &\approx I = 143mA \end{aligned}$$

cas 3 : Le circuit est le suivant :



Dans ce cas-ci, une diode se comporte comme une diode ordinaire (chute de tension de 0.7 volts en conduction) et l'autre comme une Zener en conduction inverse.
Les relations sont :

$$\begin{aligned} V_{ab} &= 0.7V + 10V = 10.7V \\ I &= \frac{15V - 10.7V}{100\Omega} = 43mA \\ I_2 &= \frac{V_{ab}}{1k\Omega} = \frac{10.7V}{1000\Omega} = 10.7mA \\ I_1 &= I - I_2 = 43 - 10.7 = 32.3mA \end{aligned}$$

Solution de l'exercice 5 :

Sachant que la chute de tension base-emetteur du transistor NPN est de $0.7V$, le courant de base est :

$$I_b = \frac{12V - 0.7V}{100k\Omega} = 113\mu A$$

Le courant du collecteur I_c est :

$$I_c = \beta I_b = (120)(113\mu A) = 13.6mA$$

Finalement, la tension aux bornes de R_2 est :

$$V_{R_2} = RI_c = (500\Omega)(13.6mA) = 6.8V$$

La tension V_{CE} est donnée par :

$$V_{CE} = 12V - 6.8V = 5.2V.$$

Solution de l'exercice 6 :

1. Calcul du courant I_c : Le courant maximal du collecteur est :

$$I_{c_{max}} = \frac{15V}{5k\Omega} = 3mA$$

Le courant réel du collecteur dépend du courant de base et du gain du transistor, tel que :

$$\begin{aligned} I_b &= \frac{3V - 0.7V}{100k\Omega} = 23\mu A \\ I_c &= \beta I_b = (120)(23\mu A) = 2.76mA \end{aligned}$$

Comme $I_c = 2.76mA < I_{c_{max}} = 3mA$, alors le transistor n'est pas saturé.

2. Calcul de la tension V_{CE} :

$$V_{CE} = 15V - V_{R_2} = 15 - (5 \times 10^3)(2.76 \times 10^{-3}) = 15 - 13.8 = 1.2V$$

Solution de l'exercice 7 :

On sait que si on injecte une tension de $0V$ dans la base du transistor, le courant du collecteur est nul et le transistor est bloqué (interrupteur ouvert). De même, si on injecte une tension de $+5V$ sur sa base, le courant du collecteur est non nul et le transistor laisse passer un courant (interrupteur fermé). On sait aussi que le courant du collecteur dépend du courant de base et du gain du transistor, tel que $I_b = \frac{I_c}{\beta}$. De

plus, pour que le transistor agisse comme un interrupteur, il faut que la tension V_{CE} entre le collecteur et l'émetteur soit ≈ 0 (en principe $0.7V$). En d'autres termes, il faut que le transistor fonctionne en mode saturé et non en amplificateur. Comme I_b est inversement proportionnel à β qui, à son tour, est variable, alors pour rester dans le mode saturé, il faut choisir I_b le plus grand possible quelle que soit la variation de β (voir courbes $I_c = f(V_{CE})$ du transistor).
Le courant maximal du collecteur est :

$$I_{c_{max}} = \frac{15V}{1k\Omega} = 10mA$$

Ainsi, en prenant la valeur de β la plus défavorable (150), on a :

$$\begin{aligned} I_b &> \frac{I_{c_{max}}}{\beta} = \frac{15mA}{150} \\ I_b &> 0.1mA \end{aligned}$$

En fonctionnement saturé, le courant de base est :

$$I_b = \frac{5V - 0.7V}{R_1} = \frac{4.3V}{R_1}$$

Finalement, on a :

$$\begin{aligned} \frac{4.3V}{R_1} &> 0.1mA \\ \text{ou } R_1 &< \frac{4.3V}{0.1mA} = 43k\Omega \end{aligned}$$

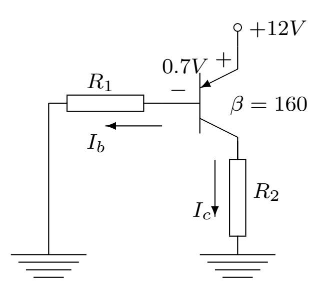
Solution de l'exercice 8 :

Le principe de fonctionnement du transistor PNP est le même que celui du NPN, sauf que les polarités sont inversées.
La chute de tension Emetteur-Base est de $0.7V$ (voir figure).
Un courant de base circule et le transistor conduit. Les équations suivantes sont vraies :

$$\begin{aligned} I_b &= \frac{12V - 0.7V}{500k\Omega} = 22.6\mu A \\ I_c &= \beta I_b = (160)(22.6\mu A) = 3.62mA \\ V &= R_2 I_c = (1k\Omega)(3.62mA) = 3.62V \end{aligned}$$

La tension V_{CE} est donnée par :

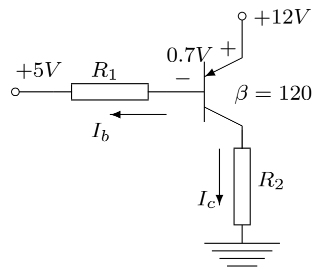
$$V_{CE} = (12 - 3.62)V = 8.38V$$



Solution de l'exercice 9 :

Du moment que l'on a $+12V > +5V$, alors un courant de base circule et la chute de tension Emetteur-Base est de $0.7V$.
Les équations suivantes sont vraies :

$$
\begin{aligned}
I_b &= \frac{12V - 0.7V - 5}{150k\Omega} = 42\mu A \\
I_c &= \beta I_b = (120)(42\mu A) = 5.04mA \\
V_{R_2} &= RI = (2k\Omega)(5.04mA) = 10.08V \\
V_{CE} &= 12V - 10.08V = 1.92V
\end{aligned}
$$



Solution de l'exercice 10 :

Lorsque la base est excitée par une tension de $+10V$, il n'y a aucun courant de base car la différence $10V - 10V = 0V$. Par contre, lorsque la base est excitée par une tension de $0V$, il y a un courant de base car la différence $10V - 0V > 0$ et on a une chute de tension de $0.7V$ entre l'émetteur et la base. En conséquence, un courant collecteur I_c apparaît et la LED s'allume.
Comme il faut s'assurer que le transistor est saturé pour toutes les valeurs du gain β (on choist le plus petit), alors la condition suivante doit être satisfaite :

$$
\begin{aligned}
\beta I_b &> I_{c_{max}} \\
80 I_b &> \frac{10V - 2.2V}{200\Omega} = 0.039 \\
I_b &> \frac{0.039}{80} = 487.5\mu A
\end{aligned}
$$

Pour le circuit Émetteur-Base, on a :

$$
I_b = \frac{10V - 0.7V}{R} > 487.5\mu A
$$

ce qui donne :

$$
R < \frac{10V - 0.7V}{487.5\mu A} \approx 19k\Omega
$$

Solution de l'exercice 11 :

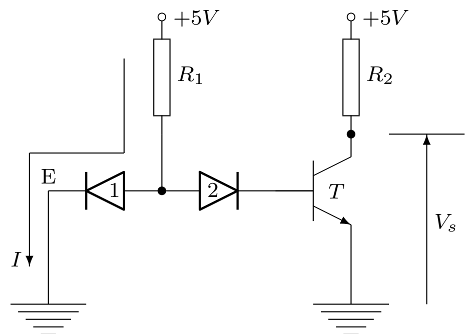
Les transistors T_1 et T_2 utilisés sont identiques, de type NPN et fonctionnent en mode de saturation. C'est-à-dire que chaque transistor conduit si sa base est excitée par une tension. Dans le cas contraire, le transistor ne conduit pas.

Comme son nom l'indique (RTL), ce circuit réalise une fonction logique.
En effet,

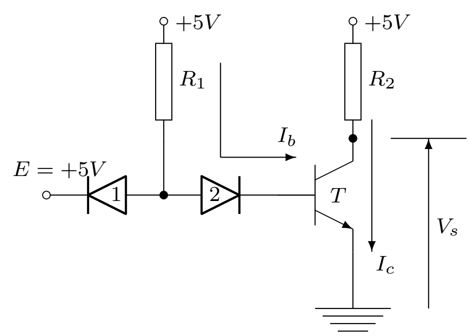
1. Si l'entrée E_1 est excitée et l'entrée E_2 ne l'est pas : Le transistor T_1 conduit, le transistor T_2 reste bloqué et La tension $V_s = 0$.
2. Si l'entrée E_2 est excitée et l'entrée E_1 ne l'est pas : Le transistor T_2 conduit, le transistor T_1 reste bloqué et La tension $V_s = 0$.
3. Si l'entrée E_1 est excitée et l'entrée E_2 l'est aussi : Le transistor T_1 conduit, le transistor T_2 conduit aussi et La tension $V_s = 0$.
4. Si l'entrée E_1 n'est pas excitée et l'entrée E_2 ne l'est pas aussi : Le transistor T_1 est bloqué, le transistor T_2 est aussi bloqué et La tension $V_s = +5V$.

Solution de l'exercice 12 :

Lorsqu'il n'y a aucune tension à l'entrée E, on obtient le schéma équivalent de la figure ci-contre.
La diode 1 va opposer une tension de $0.7V$ alors que la diode 2 et la jonction base-émetteur du transistor vont opposer une tension de $1.4V$ $(0.7V + 0.7V)$. Le courant va donc suivre le chemin de la diode 1 et le courant de base sera égal à zéro $(I_b = 0)$.

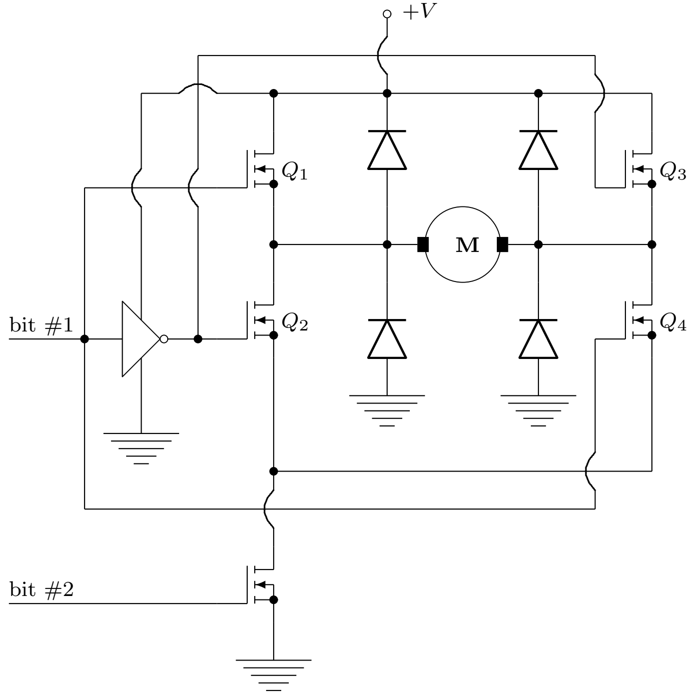


Lorsqu'il y a une tension à l'entrée E, on obtient le schéma équivalent de la figure ci-contre.
La diode 1 va opposer une tension de $5.7V$ ($5V$ de l'entrée E et $0.7V$ de chute de tension dans la diode) alors que la diode 2 et la jonction base-émetteur du transistor vont opposer une tension toujours de $1.4V$ $(0.7V + 0.7V)$.
Le courant va donc suivre le chemin de la diode 2 et le courant de base est non nul, donc le transistor va conduire et la tension V_s est nulle $(V_s = 0V)$.



Solution de l'exercice 13 :

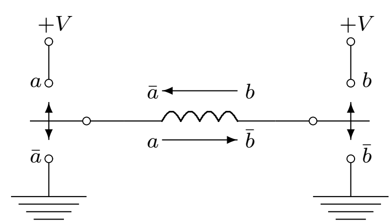
Un montage possible est le suivant :



1. Lorsque le Bit #1 est à 0 et le bit #2 à 1, alors c'est Q_2 et Q_3 qui conduisent. Le courant dans le moteur circule de droite à gauche et le moteur tourne dans un sens bien défini.
2. Lorsque le Bit #1 est à 1 et le bit #2 est à 1, alors c'est Q_1 et Q_4 qui conduisent. Le courant dans le moteur circule de gauche à droite et le moteur tourne dans l'autre sens.
3. Lorsque le bit #2 est à 0, alors quel que soit le niveau du bit #1, le moteur est à l'arrêt. En d'autres termes, le bit #2 ouvre ou ferme le circuit d'alimentation du moteur.

Solution de l'exercice 14 :

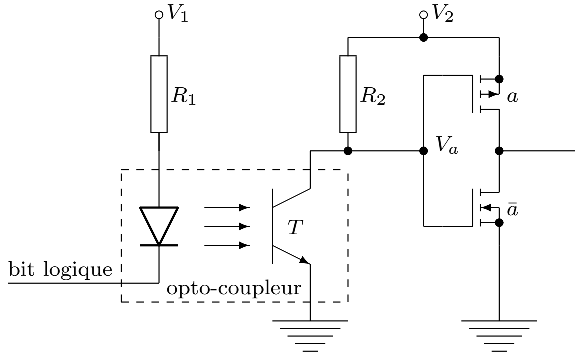
Le principe de fonctionnement du circuit de commande est représenté dans la figure suivante :



1. Lorsque les interrupteurs sont l'un dans la position a et l'autre dans la position $\bar{b}$, alors le courant dans le moteur circule selon la flèche $a \to \bar{b}$.
2. Lorsque les interrupteurs sont l'un dans la position $\bar{a}$ et l'autre dans la position b, alors le courant dans le moteur circule selon la flèche $b \to \bar{a}$.

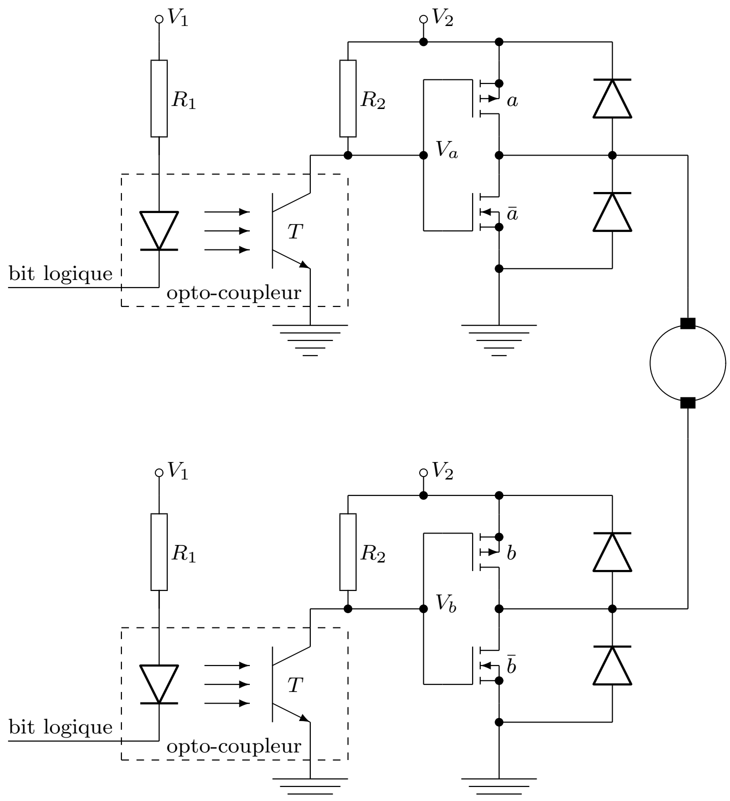
Il s'agit maintenant de remplacer les positions des interrupteurs a, $\bar{a}$, b et $\bar{b}$ par des transistors de type MOSFET. Cela est possible si on choisit un MOSFET canal P pour la position a, et un MOSFET canal N pour la position $\bar{a}$. De même, on choisira un MOSFET canal P pour la position b, et un MOSFET canal N pour la position $\bar{b}$.

Le circuit pour les MOSFETS a et $\bar{a}$ incluant l'isolation optique (l'opto-coupleur) est le suivant :



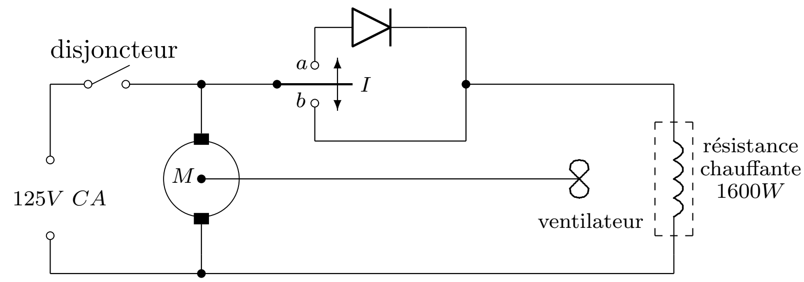
1. Lorsque le bit logique est à 1 : On a la LED qui conduit, donc le transistor T aussi conduit et le potentiel en V_a est égal à 0. Puisque le potentiel V_a est égal à 0, alors c'est le MOSFET a qui conduit car il est de type P, tandis que le MOSFET $\bar{a}$ ne conduit pas car il est de type N.
2. Lorsque le bit logique est à 0 : On a la LED qui ne conduit pas, donc le transistor T non plus ne conduit pas et le potentiel en V_a est égal à V_2. Puisque le potentiel V_a est égal à V_2, alors c'est le MOSFET $\bar{a}$ qui conduit car il est de type N, tandis que le MOSFET a ne conduit pas car il est de type P.

Le circuit pour les MOSFETS b et $\bar{b}$ est identique à celui des MOSFETS a et $\bar{a}$.
Le circuit complet incluant les protections contre les surtensions est celui de la figure (**??**).



Solution de l'exercice 15 :

Un montage simplifié possible est représenté à la figure suivante :



Si l'on considère la consommation d'énergie du moteur-ventilateur négligeable, alors lorsque le disjoncteur est fermé et l'interrupteur I mis dans la position a, la diode conduit et ne fournit à la résistance chauffante que les alternances positives, c'est-à-dire seulement la demi-puissance $\frac{1600}{2} = 800W$.
Par contre, si l'interrupteur I est mis dans la position b, alors la diode est hors-circuit et la résistance chauffante reçoit la puissance totale de $1600W$.

Solution de l'exercice 16 :

1. Ici, on a deux situations :
   (a) Le bloc d'alimentation fonctionne normalement
   (b) Le bloc d'alimentation est en panne et la pile de $12V$ prend la relève.

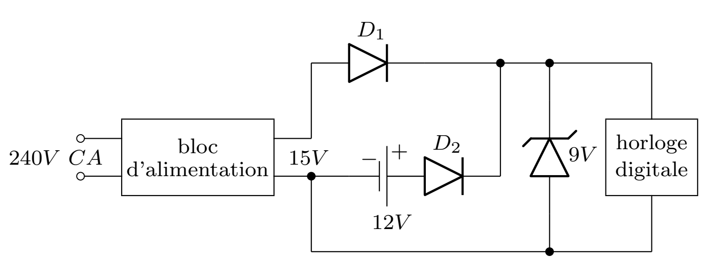
   (a) Lorsque le bloc d'alimentation fonctionne normalement, il fournit à sa sortie $15V$. La diode D_1 est polarisée en direct et elle conduit, tandis que la diode D_2 est en inverse et est bloquée. Dans ce cas, en considérant la chute de tension de $0.7V$ dans la diode D_1, l'horloge reçoit la tension suivante :

   $$V_{hd} = 15V - 0.7V = 14.3V$$

   (b) Lorsque le bloc d'alimentation est en panne, la diode D_1 est bloquée car aucun courant ne la traverse, et la diode D_2 est polarisée en direct, donc elle conduit, grâce à la présence de la batterie de secours de $12V$.
   Dans ce cas, en considérant la chute de tension de $0.7V$ dans la diode D_2, l'horloge reçoit la tension suivante :

   $$V_{hd} = 12V - 0.7V = 11.3V$$

   En conclusion, l'horloge peut accepter des tensions de $11.3V$ et $14.3V$.
2. Si l'on veut stabiliser la tension de l'horloge à $9V$, il faut placer une diode Zener en parallèle avec l'horloge et dont la tension en conduction est de $9V$ tel que montré dans la figure suivante.



Solution de l'exercice 17 :

(a) La puissance absorbée par la source à courant continu est :

$$\begin{aligned}
P_{V_{dc}} &= I_0 V_{dc} = (12)(60) = 720\ W \\
\text{avec } I_0 &= \frac{V_0 - V_{dc}}{R} = \frac{\frac{2V_m}{\pi} - V_{dc}}{R} \\
I_0 &= \frac{\frac{2(170)}{\pi} - 60}{4} = 12\ A
\end{aligned}$$

(b) La puissance absorbée par la résistance est :

$$\begin{aligned}
P_R &= I_{eff}^2 R = R\left[I_0^2 + \left[\frac{I_2}{\sqrt{2}}\right]^2 + \left[\frac{I_4}{\sqrt{2}}\right]^2 + \cdots\right] \\
\text{avec } I_n &= \frac{V_n}{Z_n} \\
V_n &= \frac{2V_m}{\pi}\left[\frac{1}{n-1} - \frac{1}{n+1}\right] \\
Z_n &= \|R + \jmath n\omega L\| = \sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}
\end{aligned}$$

Ainsi, en considérant seulement les trois premiers termes, on a :

$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{V_2}{Z_2} = \frac{\frac{2V_m}{\pi}\left[\frac{1}{2-1} - \frac{1}{2+1}\right]}{\|4 + \jmath 2(2\pi 60)(20.10^{-3})\|} \\
&= \sqrt{4^2 + 2^2(2\pi 60)^2(20.10^{-3})^2} = 4.63\ A \\
I_4 &= \frac{V_4}{Z_4} = \frac{\frac{2V_m}{\pi}\left[\frac{1}{4-1} - \frac{1}{4+1}\right]}{\|4^2 + \jmath 2\omega(20.10^{-3})\|} \\
&= \sqrt{4^2 + 4^2(2\pi 60)^2(20.10^{-3})^2} = 0.47\ A
\end{aligned}$$

Finalement :

$$P_R = 4\left[(12)^2 + \left[\frac{4.63}{\sqrt{2}}\right]^2 + \left[\frac{0.47}{\sqrt{2}}\right]^2 + \cdots\right] \approx 619\ W$$

(c) Le facteur de puissance est :

$$\begin{aligned}
FP &= \frac{P_R}{\frac{V_m}{\sqrt{2}} I_{eff}} = \frac{619}{\frac{170}{\sqrt{2}}(12.44)} = 0.413 \\
I_{eff} &= \sqrt{\frac{P_R}{4}} = 12.44\ A
\end{aligned}$$

(d) Le premier terme de la série de Fourrier est $I_2 = 4.63$ A. La variation crête à crête est :

$$\Delta i_0 \approx 2I_2 = 2(4.63) = 9.26\ A$$

Solution de l'exercice 18 :

L'équation différentielle qui régit le fonctionnement du circuit est :

$$V_m \sin \omega t - V_{dc} = Ri(t) + L\frac{di}{dt} \tag{1}$$

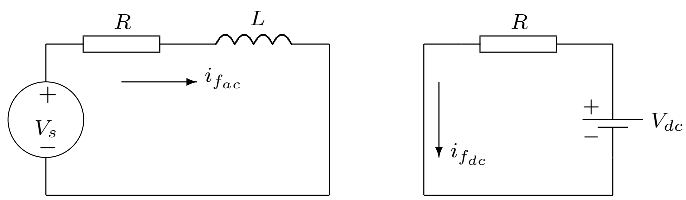
avec :

$$i(t) = i_n(t) + i_f(t) \tag{2}$$

La composante naturelle i_n est trouvée en résolvant l'équation homogène :

$$\begin{aligned}
Ri_n + L\frac{di_n}{dt} &= 0 \\
\frac{di_n}{i} &= -\frac{R}{L}dt \\
\ln i_n &= -\frac{R}{L}t + c \\
i_n(t) &= e^{-\frac{R}{L}t+c} = e^c e^{-\frac{R}{L}t} = Ae^{-\frac{R}{L}t} \\
i_n(t) &= Ae^{-\frac{t}{\tau}} && (3) \\
\text{avec } \tau &= \frac{L}{R} = \text{ constante de temps du circuit} && (4)
\end{aligned}$$

Comme le circuit contient deux sources de tension, l'une alternative et l'autre continue, alors la composante forcée du courant a deux composantes tel que représenté dans la figure suivante :



ce qui donne les équations suivantes :

$$\begin{aligned}
i_f &= i_{f_{ca}} + i_{f_{dc}} && (5) \\
Ri_{f_{ca}} + L\frac{di_f}{dt} &= V_m \sin(\omega t) && (6) \\
V_{dc} &= Ri_{f_{dc}} && (7)
\end{aligned}$$

La composante forcée $i_{f_{ca}}$ est trouvée en résolvant l'équation des phaseurs :

$$\begin{aligned}
Ri_{f_{ca}} + L\frac{di_{f_{ca}}}{dt} &= V_m \sin(\omega t) \implies R\dot{I_{f_{ca}}} + \jmath\omega L\dot{I_{f_{ca}}} \\
\dot{I_{f_{ca}}} &= \frac{\dot{V}}{R + \jmath\omega L} = \frac{V_m e^{\jmath 0}}{Ze^{\jmath\theta}} \\
\dot{I_{f_{ca}}} &= \frac{V_m}{Z} e^{-\jmath\theta}
\end{aligned}$$

Ainsi, la composante forcée $i_{f_{ca}}$ est :

$$\begin{aligned}
i_f(t) &= \frac{V_m}{Z}\sin(\omega t - \theta) && (8) \\
Z &= \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \;\text{ impédance du circuit} && (9) \\
\theta &= \arctan\frac{\omega L}{R} \;\text{ déphasage entre tension et courant} && (10)
\end{aligned}$$

et la composante forcée $i_{f_{dc}}$ est :

$$i_{f_{dc}} = \frac{V_{dc}}{R} \tag{11}$$

La solution générale est de la forme :

$$\begin{aligned}
i_f &= i_{f_{ca}} - i_{f_{dc}} + i_n && (12) \\
i(t) &= \frac{V_m}{Z}\sin(\omega t - \theta) - \frac{V_{dc}}{R} + Ae^{-\frac{t}{\tau}} && (13)
\end{aligned}$$

où :

$$\alpha \quad \leq \quad \omega t \quad \leq \quad \beta$$

avec :
– α est l'angle de début de conduction de la diode
– β est l'angle de fin de conduction de la diode
En supposant qu'à l'instant $i(\omega t = \alpha) = 0$, l'équation (10) s'écrit :

$$i(\alpha) \quad = \quad 0 = \frac{V_m}{Z}\sin(\alpha - \theta) - \frac{V_{dc}}{R} + A$$

ce qui donne :

$$A \quad = \quad -\frac{V_m}{Z}\sin(\alpha - \theta) + \frac{V_{dc}}{R} \tag{14}$$

Finalement, la solution générale est :

$$i(t) = \begin{cases} \frac{V_m}{Z}\sin(\omega t - \theta) - \frac{V_{dc}}{R} + [-\frac{V_m}{Z}\sin(\alpha - \theta) + \frac{V_{dc}}{R}]e^{-\frac{t}{\tau}} & \text{pour } \alpha \leq \omega t \leq \beta \\ 0 & \text{autrement} \end{cases}$$

ou. ce qui revient au même :

$$i(\omega t) = \begin{cases} \frac{V_m}{Z}\sin(\omega t - \theta) - \frac{V_{dc}}{R} + \left[-\frac{V_m}{Z}\sin(\alpha - \theta) + \frac{V_{dc}}{R}\right] e^{-\frac{\omega t}{\omega \tau}} & \text{pour } \alpha \leq \omega t \leq \beta \\ 0 & \text{autrement} \end{cases} \tag{15}$$

Calcul de α et de β :

1. La diode commence à conduire quand $\omega t = \alpha$, c'est-à-dire :

$$\begin{aligned} V_m \sin \omega t &= V_{dc} \\ V_m \sin \alpha &= V_{dc} \end{aligned}$$

ce qui donne :

$$\alpha \quad = \quad \arcsin\left(\frac{V_{dc}}{V_m}\right)$$

2. La diode s'arrête de conduire quand $\omega t = \beta$, c'est-à-dire, en utilisant l'équation (13) :

$$i(\beta) \quad = \quad \frac{V_m}{Z}\sin(\beta - \theta) - \frac{V_{dc}}{R} + \left[-\frac{V_m}{Z}\sin(\alpha - \theta) + \frac{V_{dc}}{R}\right] e^{-\frac{\beta}{\tau}} = 0 \tag{16}$$

De l'équation (14) on trouve β en utilisant par exemple la fonction $\ll$ *fsolve* $\gg$ de MATLAB.

Connaissant les expressions de chaque grandeur demandée, les réponses aux questions sont :
(a) Le courant est :

$$\begin{aligned} i(\omega t) &= 21.8\sin(\omega t - 1.31) - 50 + 75.3e^{\frac{-\omega t}{3.77}} \quad A \\ i(\beta) &= 21.8\sin(\beta - 1.31) - 50 + 75.3e^{\frac{-\beta}{3.77}} \quad \Longrightarrow \quad \beta = 3.37 rad \text{ ou } 193^o \end{aligned}$$

(b) La puissance absorbée par la résistance est :

$$\begin{aligned}
P_R &= I_{eff}^2 R = (3.98)^2 \ \times \ 2 = 31.7W \\
I_{eff} &= \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_{0.628}^{3.37} i^2(\omega t)d(\omega t)} = 3.98A \\
\alpha &= \arcsin\left(\frac{V_{dc}}{V_m}\right) = \arcsin\left(\frac{100V}{170V}\right) = 0.628rad
\end{aligned}$$

(c) La puissance absorbée par la source dc est :

$$\begin{aligned}
P_{dc} &= I_{moy}V_{dc} = (2.25A)(100V) = 225W \\
I_{moy} &= \frac{1}{2\pi}\int_{0.628}^{3.37} i(\omega t)d(\omega t) = 2.25A
\end{aligned}$$

(d) La puissance fournie par la source ca est :

$$P_{ca} = P_R + P_{dc} = 31.7W + 225W = 256.7W$$

(e) le facteur de puissance est :

$$FP = \frac{P_{ca}}{V_{eff}I_{eff}} = \frac{256.7W}{(120V)(3.98A)} = 0.537$$

Solution de l'exercice 19 :

Pour bloquer le Thyristor (arrêter la conduction), on peut :

1. Réduire la tension de la source V_s à zéro.
2. Ouvrir le circuit par un interrupteur mécanique.
3. Obliger le courant à prendre une valeur nulle pendant une courte période de temps.

Solution de l'exercice 20 :

Sachant que

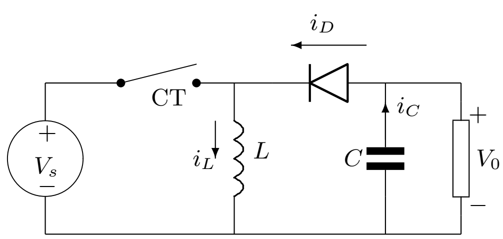
$$\begin{aligned}
V_{\mathrm{e}ff}^{*} &= V_{source} = \frac{V_{\mathrm{m}}}{\sqrt{2}} \\
I_{\mathrm{e}ff} &= \frac{V_{\mathrm{e}ff}}{R} = \frac{\sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} V_0^2(\omega t)d(\omega t)}}{R} \\
&= \frac{\sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}[V_{\mathrm{m}}\sin\omega t]^2 d(\omega t)}}{R} = \frac{\frac{V_{\mathrm{m}}}{2}\sqrt{1-\frac{\alpha}{\pi}+\frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}}{R}
\end{aligned}$$

on obtient :

$$
\begin{aligned}
\text{FP} &= \frac{P}{S} = \frac{V_{\text{eff}}^2/R}{V_{\text{eff}}^* I_{\text{eff}}} \\
&= \frac{\left[\frac{V_{\text{m}}}{2}\sqrt{1-\frac{\alpha}{\pi}+\frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}\right]^2/R}{\frac{V_{\text{m}}}{\sqrt{2}}\left[\frac{\frac{V_{\text{m}}}{2}\sqrt{1-\frac{\alpha}{\pi}+\frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}}{R}\right]} \\
&= \frac{\frac{1}{4}}{\frac{1}{2\sqrt{2}}}\sqrt{1-\frac{\alpha}{\pi}+\frac{\sin 2\alpha}{2\pi}} \\
&= \frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{1-\frac{\alpha}{\pi}+\frac{\sin 2\alpha}{2\pi}} \\
&= \sqrt{\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2\left(1-\frac{\alpha}{\pi}+\frac{\sin 2\alpha}{2\pi}\right)} \\
&= \sqrt{\frac{1}{2}-\frac{\alpha}{2\pi}+\frac{\sin 2\alpha}{4\pi}} \qquad c.q.f.d.
\end{aligned}
$$

Solution de l'exercice 21 :

Le schéma du Hacheur Survolteur-Dévolteur est :



Lorsque l'interrupteur CT est fermé, on a : $V_{L_F} = V_s - V_Q$ (dans le cas idéal, on a : $V_L = V_s$)
Lorsque l'interrupteur CT est ouvert, on a : $V_{L_O} = V_0 + V_D$ (dans le cas idéal, on a : $V_L = V_0$)

Sur une période complète, on a :

$$
V_L = 0 \implies \begin{aligned} V_{L_F}.DT + V_{L_O}(1-D)T &= 0 \\ (V_s - V_Q)DT + (V_0 + V_D)(1-D)T &= 0 \end{aligned}
$$

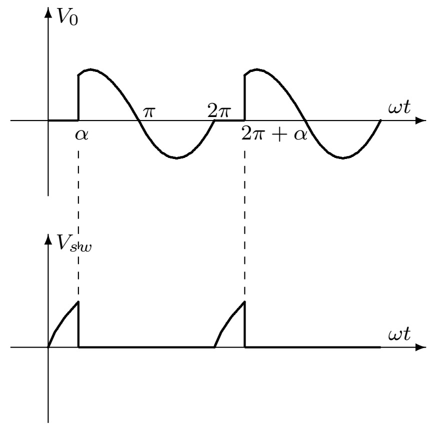
Finalement, on obtient :

$$
V_0 = -V_s\frac{D}{1-D} + \frac{V_Q D}{1-D} - V_D
$$

REM : Dans le cas idéal, on aurait eu : $V_Q = V_D \implies V_0 = -V_s\frac{D}{1-D}$, cqfd.

Solution de l'exercice 22 :

1. La forme de la tension aux bornes de la charge est :



2.

$$\begin{aligned} V_{0_{eff}} &= \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{2\pi}[V_m \sin\omega t]^2\, d(\omega t)} \\ &= \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi}\int_{\alpha}^{2\pi}\sin^2\omega t d(\omega t)} \\ &= \frac{V_m}{\sqrt{2}}\sqrt{1-\frac{\alpha}{2\pi}+\frac{\sin 2\alpha}{4\pi}} \end{aligned}$$

3.

$$\begin{matrix} \text{si } \alpha = 0 & \Longrightarrow & V_{0_{eff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \\ \text{si } \alpha = \pi & \Longrightarrow & V_{0_{eff}} = \frac{V_m}{2} \end{matrix} \quad \Longrightarrow \quad \frac{V_m}{2} \; < \; V_{0_{eff}} \; < \; = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

Solution de l'exercice 23 :

Par hypothèses, la source varie de 12V à 18V.
Si la source $V_s = 12V$ et la sortie $V_0 = 15V$, alors on doit utiliser un hacheur survolteur.
Si la source $V_s = 18V$ et la sortie $V_0 = 15V$, alors on doit utiliser un hacheur dévolteur.

Comme on dispose des deux tensions, alors on doit utiliser un hacheur dévolteur-survolteur (Buck-Boost). Pour ce hacheur, on a :

$$V_0 \;=\; -V_s\frac{D}{1-D}$$

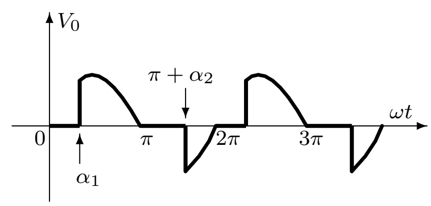
$$\text{pour } V_s = 12V \;\Longrightarrow\; 15 = 12\tfrac{D}{1-D} \;\Longrightarrow\; D = \tfrac{15}{27} = 0.555$$

$$\text{pour } V_s = 18V \;\Longrightarrow\; 15 = 18\tfrac{D}{1-D} \;\Longrightarrow\; D = \tfrac{15}{33} = 0.454$$

On voit qu'il suffit de changer le taux de conduction D pour passer d'un type de hacheur à un autre. De plus, le signe $(-)$ dans l'expression de V_0 indique seulement l'inversion. On n'en tient pas compte dans les calculs.

Solution de l'exercice 24 :

La forme d'onde de la sortie est :



1. Sachant que :

$$v_0(t) = \begin{cases} V_m \sin \omega t, & \text{pour } \alpha_1 \leq \omega t \leq \pi \text{ et } \pi + \alpha_2 \leq \omega t \leq 2\pi; \\ 0, & \text{ailleurs.} \end{cases}$$

la tension de charge efficace est :

$$V_{0_{eff}} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha_1}^{\pi} [V_m \sin \omega t]^2 \, d(\omega t) + \frac{1}{2\pi} \int_{\pi+\alpha_2}^{2\pi} [V_m \sin \omega t]^2 \, d(\omega t)}$$

$$V_{0_{eff}} = \sqrt{\frac{V_m^2}{2} \left[\frac{1}{2} - \frac{\alpha_1}{2\pi} + \frac{\sin 2\alpha_1}{4\pi}\right] + \frac{V_m^2}{2} \left[\frac{1}{2} - \frac{\alpha_2}{2\pi} + \frac{\sin 2\alpha_2}{4\pi}\right]}$$

$$V_{0_{eff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{1}{2\pi}(\alpha_1 + \alpha_2) + \frac{1}{4\pi} [\sin 2\alpha_1 + \sin 2\alpha_2]}$$

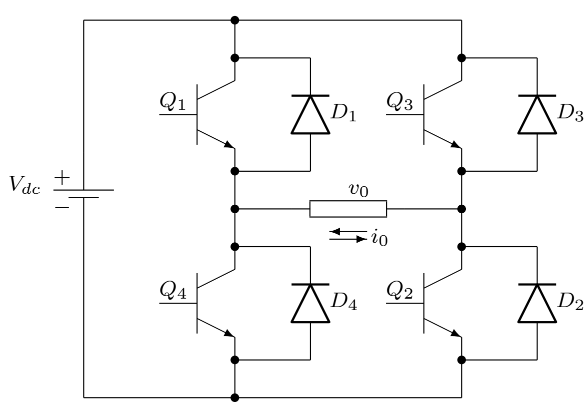
2. La tension moyenne est :

$$V_{0_{moy}} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha_1}^{\pi} [V_m \sin \omega t] \, d(\omega t) + \frac{1}{2\pi} \int_{\pi+\alpha_2}^{2\pi} [V_m \sin \omega t] \, d(\omega t)$$

$$V_{0_{moy}} = \frac{V_m}{2\pi} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

Solution de l'exercice 25 :

Le schéma de l'onduleur est :



L'amplitude du n-ième harmonique de la tension est exprimée par :

$$V_n = \frac{2}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi-\alpha} V_{dc}\sin(n\omega_0 t)d(\omega_0 t) = \frac{4V_{dc}}{n\pi}\cos n\alpha$$

Donc, pour le 7-ième harmonique, on obtient :

$$V_7 = \frac{4V_{dc}}{7\pi}\cos 7\alpha$$

Puisqu'on veut éliminer le 7-ième harmonique, alors on pose :

$$V_7 = \frac{4V_{dc}}{7\pi}\cos 7\alpha = 0$$

L'expression précédente est vraie si :

$$7\alpha = \frac{\pi}{2} \implies \alpha = \frac{\pi}{14} = 12.86^o \text{ ou } 0.224 rad.$$