

## EXERCICES

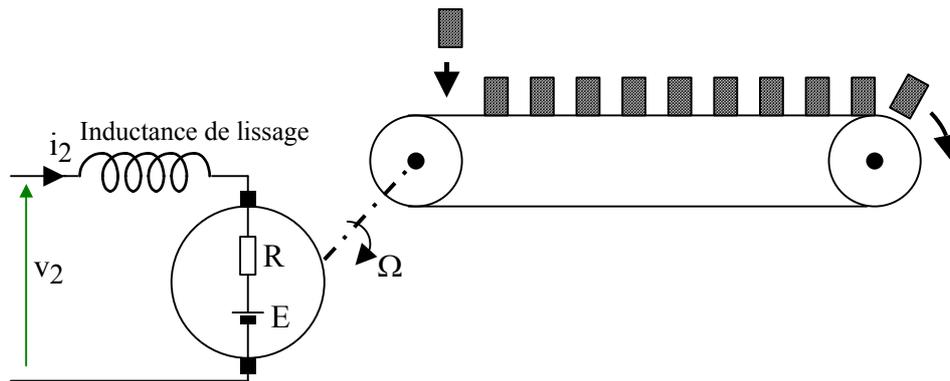
### Exercice 1 : Structure d'un hacheur réversible en courant.

**Contexte (cahier des charges):**

A partir d'une **source de tension constante  $V_1$**  réversible en courant mais non-réversible en tension, on veut alimenter une machine à courant continu à flux constant.

La machine entraîne un tapis transporteur sans inversion du sens de déplacement, mais avec une possibilité de freinage.

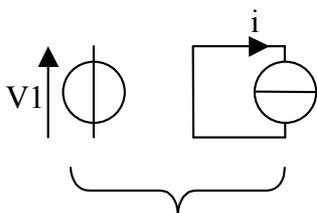
Une inductance de lissage est mise en série avec la machine constituant ainsi un élément courant.



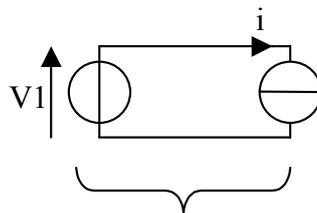
Dans ces conditions, le couple électromagnétique de la machine doit pouvoir s'inverser et donc que le signe de son courant  $i_2$ .

La tension  $v_2$  à ses bornes varie en amplitude en fonction de la vitesse de rotation, mais elle est de signe constant car, le sens de rotation étant constant, il n'est pas indispensable de l'inverser.

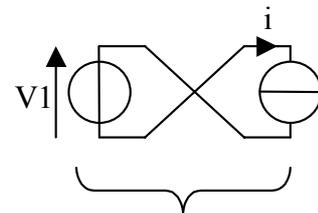
Sélectionner parmi les trois possibilités suivantes celles qui sont nécessaires. En déduire le schéma (avec le minimum d'interrupteurs) du convertisseur à liaison directe répondant au cahier des charges.



Pas d'échange d'énergie  
situation N°1



Echange d'énergie  
situation N°2



Echange d'énergie  
situation N°3

Ce convertisseur est appelé « hacheur direct réversible en courant ».

## Exercice 2 : Structure N°1 d'un hacheur en pont.

### Contexte (cahier des charges):

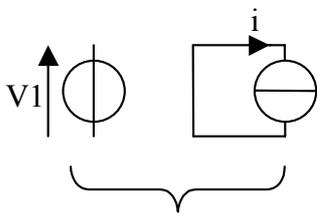
A partir d'une **source de tension constante**  $V_1$  réversible en courant mais non-réversible en tension, on veut alimenter une machine à courant continu à flux constant.

La machine actionne un treuil effectuant des opérations de levage. Dans ces conditions, son couple électromagnétique est de sens constant et par conséquent **le signe de son courant est constant**.

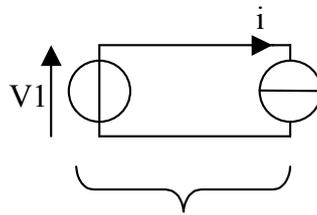
Pour effectuer les opérations de montée et de descente de la charge, la machine doit pouvoir tourner dans les deux sens de rotation. Par conséquent **le signe de la tension à ses bornes doit pouvoir s'inverser**.

Une inductance de lissage est mise en série avec la machine constituant ainsi un élément courant.

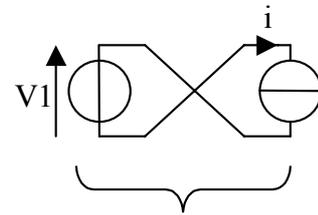
Sélectionner parmi les trois possibilités suivantes celles qui sont nécessaires. En déduire le schéma (avec le minimum d'interrupteurs) du convertisseur à liaison directe répondant au cahier des charges.



Pas d'échange d'énergie  
situation N°1



Echange d'énergie  
situation N°2

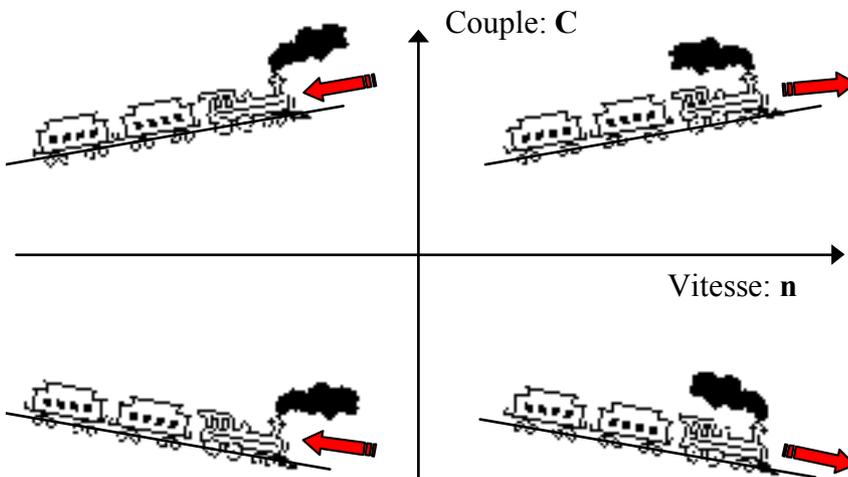


Echange d'énergie  
situation N°3

### Exercice 3 : Structure N°2 d'un hacheur en pont.

#### Contexte (cahier des charges):

A partir d'une **source de tension constante  $V_1$**  réversible en courant mais non-réversible en tension, on veut alimenter une machine à courant continu à flux constant de façon à la faire fonctionner dans les **quatre quadrants** du plan couple vitesse.

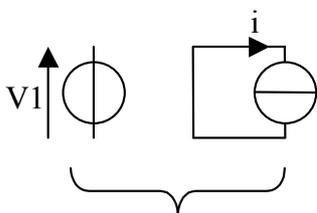


La machine doit donc pouvoir fonctionner avec une vitesse positive ou négative, et avec un couple positif ou négatif. Ce qui donne donc quatre possibilités (les quatre quadrants représentés ci-contre de manière imagée).

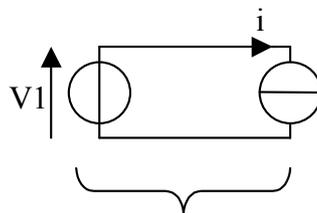
Pour obtenir ces quatre possibilités, la machine doit pouvoir être alimentée sous une **tension moyenne positive ou négative**, avec un **courant moyen positif ou négatif**.

La machine (nécessairement accompagnée de son inductance de lissage) constitue donc une charge "courant" réversible en courant et réversible en tension.

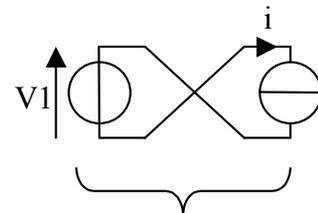
Sélectionner parmi les trois possibilités suivantes celles qui sont nécessaires. En déduire le schéma (avec le minimum d'interrupteurs) du convertisseur à liaison directe répondant au cahier des charges.



Pas d'échange d'énergie  
situation N°1

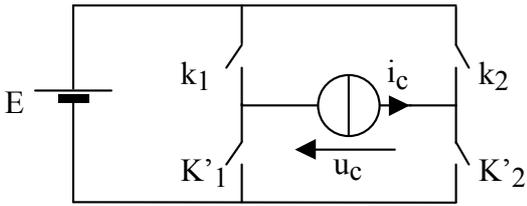


Echange d'énergie  
situation N°2



Echange d'énergie  
situation N°3

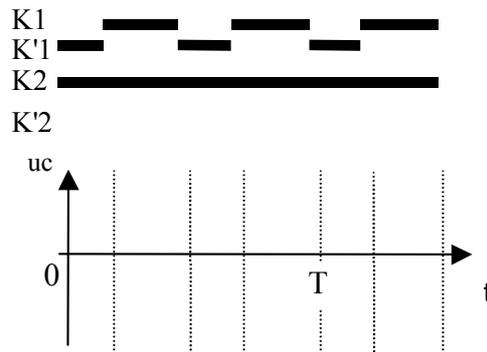
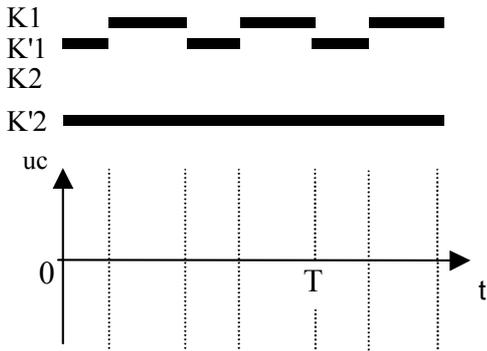
### Exercice 4 : Hacheur en pont avec différentes lois de commande.



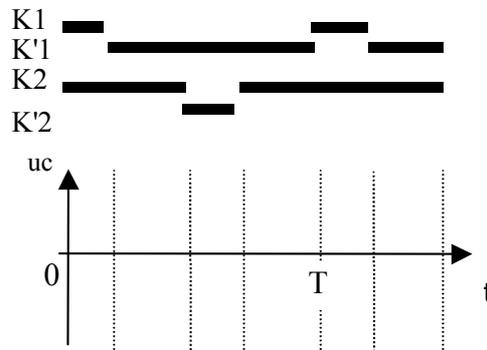
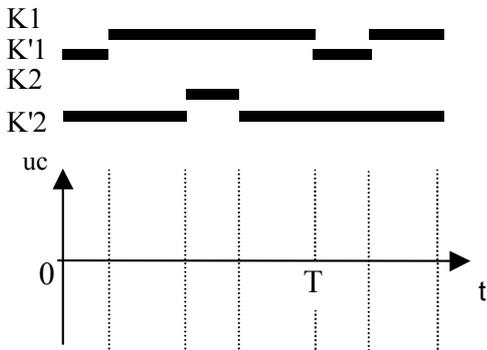
Pour éviter tout court-circuit de la source "tension" E et pour éviter d'interrompre le courant  $i_c$  dans la charge "courant":  $K'1 = \overline{K1}$  et  $K'2 = \overline{K2}$ .

Dans les six cas de commande proposés ci dessous, déterminer  $u_c(t)$  à partir des intervalles de fermeture des interrupteurs indiqués par des traits forts. Représenter dans chaque cas sa valeur moyenne. Conclure sur l'intérêt de chaque loi de commande en ce qui concerne sa facilité de mise en œuvre et le nombre de commutation (et donc les pertes par commutation) des interrupteurs.

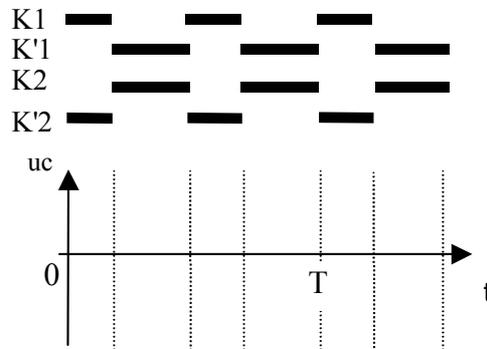
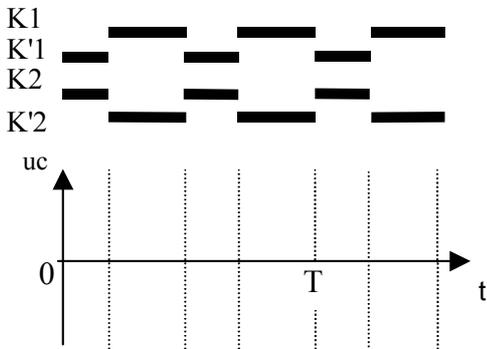
Loi de commande N°1 :



Loi de commande N°2 :



Loi de commande N°3 :



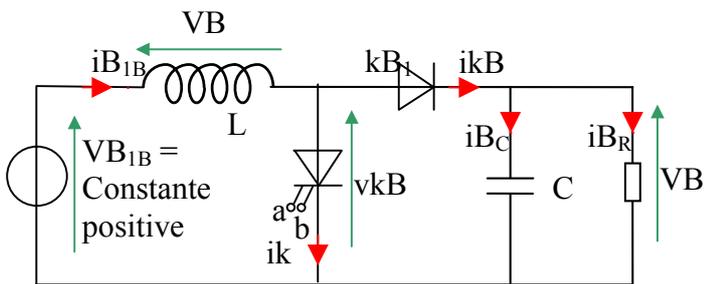
## Exercice 5 : Comportement d'une alimentation à découpage boost.

L'objectif est d'obtenir une tension continue d'amplitude variable à partir d'une source de tension continue d'amplitude fixe  $V_1$  (par exemple une batterie d'accumulateur)

La charge sera supposée équivalente à une résistance  $R$ .

De façon à obtenir une tension la plus continue possible en sortie, Il est judicieux de placer un condensateur en parallèle avec la charge  $R$ , ce qui en fait une charge « tension ».

Ne pouvant pas associer deux éléments tension avec un convertisseur à liaison directe, on a choisi de transformer l'élément tension d'entrée  $V_1$  en un élément courant (au moyen d'une inductance en série).



Si  $i_l \neq 0$ , pourquoi, les deux interrupteurs sont-ils nécessairement complémentaires ?

L'interrupteur  $k_1$  est une diode. L'interrupteur  $k_2$  est un interrupteur commandable à l'amorçage et au blocage dans le sens direct. Il n'est jamais polarisé dans le sens inverse. Il peut être réalisé avec un transistor

La constante de temps  $RC$  de la charge est très grande par rapport à la période du hacheur.

On considérera donc  $V_R$  quasiment constant et positif en régime permanent.

La fréquence propre du circuit RLC (quand  $k_1$  conduit) est prise très inférieure à la fréquence de hachage, de façon à éviter toute surtension.

Les composants sont supposés idéaux.

On appelle rapport cyclique la valeur:  $a = \frac{\text{temps de conduction de } k_2}{\text{période "T" du convertisseur}}$ .

On prendra l'instant de fermeture de  $k_2$  pour instant origine «  $t = 0$  ».

### A - Etude en régime permanent (périodique) en conduction continue dans L.

a) Exprimer  $\frac{di_l}{dt}$  en fonction de  $V_1$ ,  $V_R$  et  $L$  lorsque  $K_2$  conduit, puis lorsque  $K_2$  est bloqué.

b) Représenter l'allure de  $i_l(t)$ ,  $i_{k1}(t)$ ,  $i_{k2}(t)$  et  $v_{k2}(t)$  pour un rapport cyclique a quelconque ( $0 < a < 1$ ). (La période sera notée « T », l'intervalle de conduction de chaque interrupteur sera représenté).

c) Exprimer  $V_{k2_{moy}}$  en fonction de  $V_R$  et  $a$ , puis en fonction de  $V_1$ . En déduire, en conduction continue dans  $L$ , la relation entre  $V_R/V_1$  et  $a$ .

d) Exprimer  $I_{kI_{moy}}$  en fonction de  $I_{I_{moy}}$  et  $a$ .

e) Montrer que  $I_{kI_{moy}} = \frac{V_R}{R}$ .

f) Dédire des résultats précédents l'expression de  $I_{I_{moy}}$  en fonction de  $V_R$ ,  $R$  et  $a$ ; puis exprimer  $I_{I_{moy}}$  en fonction de  $V_I$ ,  $R$  et  $a$ .

Vérifier ce dernier résultat en raisonnant sur la puissance reçue par la charge et la puissance fournie par la source.

g) Exprimer  $i_{I_{minimum}}$  en fonction de  $a$ ,  $T$  et des éléments du montage.

### **B - Etude de la limite de conduction continue dans L.**

En limite de conduction continue dans  $L$ :  $i_I(0) = i_I(T) = 0$ .

a) Pour  $a = \frac{2}{3}$ , représenter  $i_I(t)$  et  $i_{kI}(t)$ , si le fonctionnement est à la limite de conduction continue.

b) En utilisant les résultats de l'étude en conduction continue, déterminer en fonction de  $V_I$ ,  $L$ ,  $a$  et  $T$ , la condition sur  $R$  qui assure la conduction continue dans  $L$ .

### **C - Etude en conduction discontinue dans L.**

Hypothèse: la conduction dans  $L$  cesse à l'instant  $t_I < T$ . (Les conditions de conduction continue ne sont plus remplies)

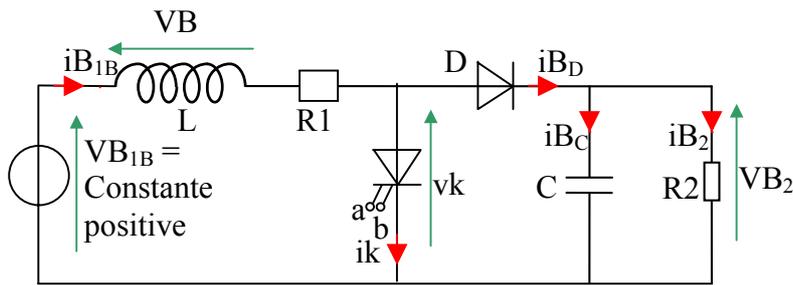
a) Représenter l'allure de  $i_I(t)$ ,  $i_{kI}(t)$ ,  $i_{k2}(t)$  et  $v_{k2}(t)$  pour  $a = \frac{2}{3}$  et  $t_I = \frac{5.T}{6}$ .

b) Montrer que, pour un même rapport cyclique et des valeurs de  $L$ ,  $V_I$  et  $T$  identiques (seule  $R$  change),  $V_R / V_I$  est plus grand en conduction discontinue qu'en conduction continue. (Comparer  $i_I(t)$  en limite de conduction continue et en conduction discontinue.

c) Exprimer  $t_I$  en fonction de  $a$ ,  $T$ ,  $V_R$  et  $V_I$ .

Après avoir déterminé la relation entre la puissance fournie par la source est  $(v_I \cdot i_I)_{moy}$ , et la puissance reçue par la charge  $\frac{V_R^2}{R}$ , établir l'expression de  $V_R / V_I$  en conduction discontinue en fonction de  $a$ ,  $T$ ,  $R$  et  $L$ .

## Exercice 6 : Alimentation boost en prenant en compte la résistance interne de la bobine.



Rapport cyclique:

$$a = \frac{\text{temps de fermeture de K}}{\text{période du hacheur}}$$

### Hypothèses:

- Les composants sont supposés idéaux sauf la bobine qui est modélisée par une inductance  $L$  en série avec une résistance  $R_1$ .
- $R_2 \cdot C \gg T$  donc  $V_2 \approx cte$ .
- $L/R_1 \gg T$  donc  $i_1(t)$  peut être confondu avec son développement limité au 1<sup>o</sup> ordre.  $i_1(t)$  sera donc représenté sous forme de segments de droites.
- $\sqrt{L \cdot C} \gg T$ . Il n'y a donc pas d'oscillations lorsque  $D$  est passante.
- Le régime est **permanent** (périodique). La **conduction** est supposée **continue** dans l'inductance.

**a)** Exprimer  $v_k(t)$  en fonction de  $V_1$ ,  $L$ ,  $R_1$  et  $i_1(t)$  quel que soit  $t$ . En déduire une expression de  $V_{k_{moy}}$  en fonction de  $V_1$ ,  $L$ ,  $R_1$  et  $I_{1_{moy}}$ .

**b)** Sachant que  $V_1 = cte$ ,  $V_2 \approx cte$  et  $i_1(t) \approx$  segments de droites, représenter l'allure de  $i_1(t)$  pour  $a = 2/3$  (sans préciser son échelle mais en précisant ses asymptotes en fonction de  $V_1$ ,  $V_2$  et des composants).

Sous  $i_1(t)$ , représenter  $v_k(t)$  et  $i_D(t)$ .

En déduire  $V_{k_{moy}}$  en fonction de  $V_2$ ,  $a$ , et des composants; ainsi que  $I_{D_{moy}}$  en fonction de  $I_{1_{moy}}$  et  $a$ .

**c)** Montrer que  $V_2/R_2 = I_2$  est égal à  $I_{D_{moy}}$ .

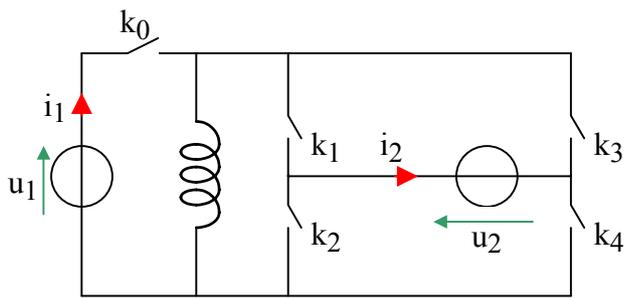
**d)** Déduire des relations précédentes la relation donnant  $I_{1_{moy}}$  en fonction de  $I_2$  et  $a$ ; et la relation donnant  $V_2$  en fonction de  $V_1$ ,  $a$  et des composants.

**e)** Pour  $V_1$  et les composants donnés, déterminer la valeur de  $a$  pour laquelle  $V_2$  est maximum. Déterminer l'expression de  $V_2$  maximum.

Application numérique:  $V_1 = 12 \text{ V}$ ,  $R_1 = 3 \text{ } \Omega$ ,  $R_2 = 61 \text{ } \Omega$ . Calculer  $V_{2_{maximum}}$ .

**f)** Calculer  $I_{1_{moy}}$  en fonction de  $a$ .

### Exercice 7 : Convertisseur tension ↔ tension généralisé.



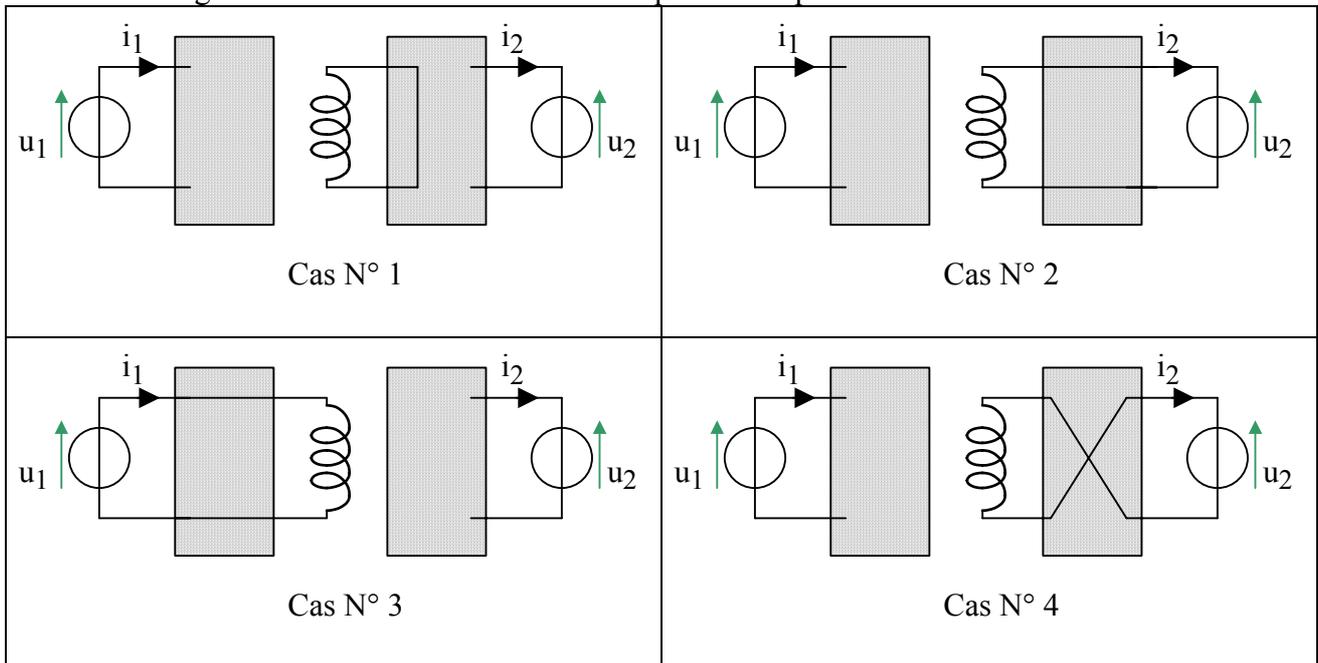
Cette structure impose des incompatibilités entre les différents états (ouvert ou fermé) des interrupteurs.

Etablir la liste de toutes les incompatibilités entre les états (ouverts ou fermés) des interrupteurs  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  et  $k_4$  lorsque l'interrupteur  $k_0$  est fermé, puis lorsque l'interrupteur  $k_0$  est ouvert. ( $u_1$  et  $u_2$  sont quelconques)

### Exercice 8 : Convertisseur DC ↔ DC, tension ↔ tension, non réversible.

Un élément tension **générateur**  $u_1$  **non réversible** (avec  $u_1 > 0$  et  $i_1 \geq 0$ ) à mettre en relation avec un élément tension  $u_2$  **récepteur non réversible** (avec  $u_2 > 0$  et  $i_2 \geq 0$ ).

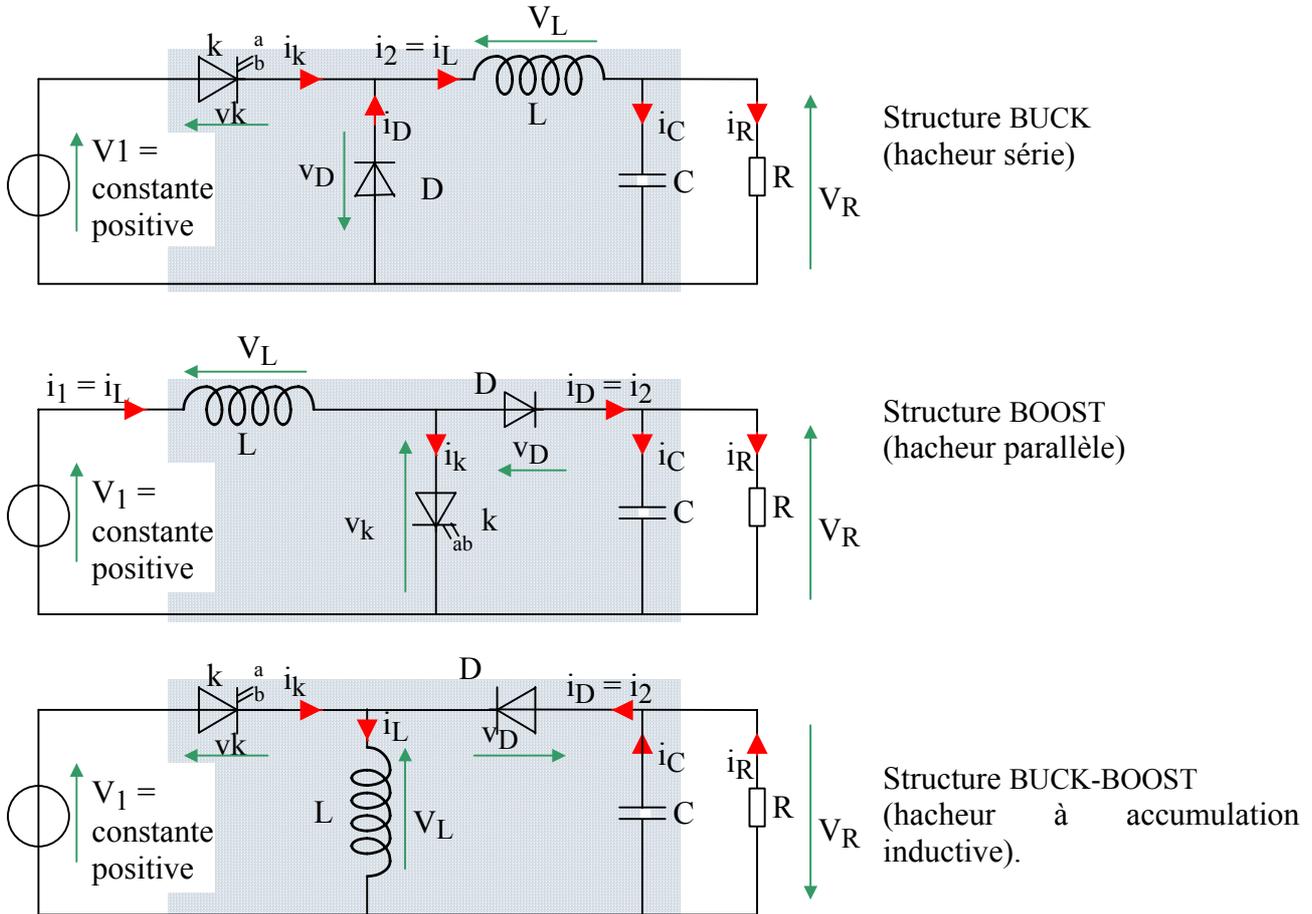
De façon à minimiser le nombre d'interrupteurs à mettre en œuvre, éliminer parmi les quatre cas du convertisseur généralisé tension ↔ tension ceux qui ne sont pas absolument nécessaires.



Déterminer la structure nécessitant le minimum d'interrupteurs. Représenter le schéma simplifié en mettant en évidence la position des interrupteurs.

### Exercice 9 : Comparaison des trois convertisseurs tension ↔ tension : alimentations à découpage non réversibles.

L'objectif est de comparer les trois montages suivants en régime périodique et en conduction continue dans l'inductance :

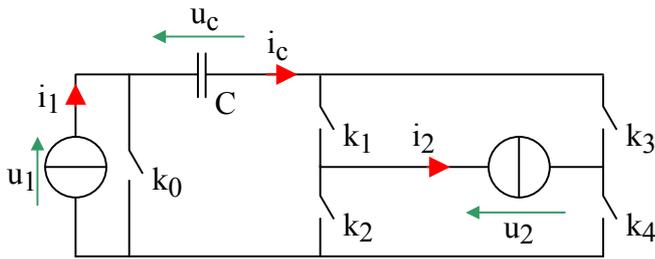


On suppose par hypothèse que  $i_L > 0$  et  $V_R$  quasiment constant.

Soit le rapport cyclique  $a = \frac{\text{temps de fermeture de K}}{\text{période}}$

- Quel est le signe de  $V_R$  ?
- Dans chaque cas, représenter l'allure de  $V_L(t)$  pour un rapport cyclique « a » donné et en déduire les rapports  $\frac{V_R}{V_1}$  en fonction de « a ». Que se passe-t-il si  $a \rightarrow 1$  ?
- Dans chaque cas, représenter l'allure de  $V_k(t)$  pour un rapport cyclique « a » donné. Commenter les contraintes de tension maximum sur l'interrupteur « K ».

**Exercice 10 : Convertisseur DC ↔ DC, courant ↔ courant, non réversible.**



Par hypothèse, la source courant «  $i_1$  » est génératrice avec  $u_1 \geq 0$  et  $i_1 \geq 0$ . Elle comporte une inductance de lissage, on considèrera  $i_1 \approx cte \geq 0$ .

Par hypothèse, la source courant «  $i_2$  » est réceptrice avec  $u_2 \geq 0$  et  $i_2 \geq 0$ . Elle comporte également une inductance, on considèrera  $i_2 \approx cte \geq 0$ .

Le fonctionnement du convertisseur comporte deux phases :

- Charge du condensateur par la source «  $i_1$  » pendant l'intervalle «  $a.T$  ».
- Décharge du condensateur dans la charge «  $i_2$  » pendant l'intervalle «  $(1 - a).T$  ».

On étudiera uniquement le régime permanent.

- Pourquoi ce convertisseur est-il « à liaison indirecte » ?
- Sur les schémas ci-dessous, en utilisant deux couleurs différentes, choisir un chemin pour le courant «  $i_1$  » et un chemin pour le courant «  $i_2$  », pendant l'intervalle «  $a.T$  » (*sur la figure 1*) et pendant l'intervalle «  $(1 - a).T$  » (*sur la figure 2*).

En déduire la structure du convertisseur comportant le minimum (*soit deux*) d'interrupteurs.

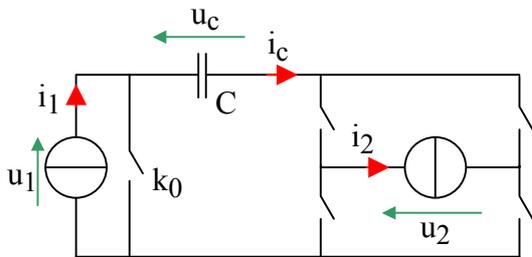


Figure 1

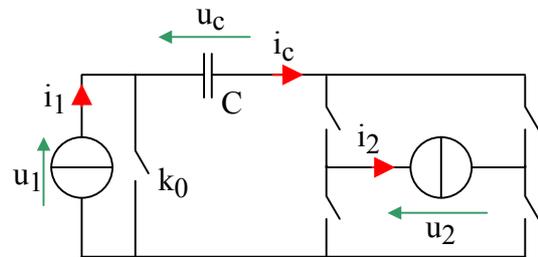


Figure 2

- En supposant  $\forall t : u_c(t) > 0$ , représenter l'allure de  $u_c(t)$  en précisant l'expression de  $\frac{d(u_c(t))}{dt}$  sur chaque intervalle. En considérant l'ondulation  $\Delta u_c$ , en déduire le rapport  $\frac{i_2}{i_1}$ .