

GENIE ELECTRIQUE

Conversion statique d'énergie

Michel Piou

Introduction à l'électronique de puissance Chapitre I

Edition 18/10/2010

Extrait de la ressource en ligne **PowerElecPro** sur le site Internet iutenligne.net

Table des matières

1 POURQUOI ET COMMENT ?	1
2 GENERALITES.....	2
2.1 L'électronique de puissance, Qu'est ce que c'est ?.....	2
2.2 Les fonctions principales de l'électronique de puissance :.....	3
3 ALIMENTATION D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU A PARTIR D'UNE SOURCE DE TENSION CONTINUE.	4
3.1 Etablissement de la structure du convertisseur.	4
3.2 Etude du hacheur série en régime permanent (périodique).....	6
3.3 Conclusion.....	7
4 PROBLEMES	8
Chap 1. Exercice 1 : Comportement d'une alimentation à découpage en régime périodique.	8
Chap 1. Exercice 2 : Comportement d'un hacheur série.....	9
5 ANNEXE : RAPPELS SUR LE COMPORTEMENT D'UNE INDUCTANCE ET D'UN CONDENSATEUR.	11
6 ANNEXE : AUTO-EVALUATION SUR LA VALEUR MOYENNE, LA VALEUR EFFICACE ET LA PUISSANCE.12	
6.1 Notion de valeur moyenne et de valeur efficace d'une fonction périodique	12
6.2 Puissance en monophasé.	13
6.3 Association de dipôles.....	14
6.4 Conversion d'énergie électrique.....	14
7 ANNEXE : RAPPELS SUR LES CIRCUITS R.L ET R.C EN REGIME TRANSITOIRE.	15
8 CE QUE J'AI RETENU DE CE CHAPITRE.....	17
9 REPONSES AUX QUESTIONS DU COURS	18

Copyright : droits et obligations des utilisateurs

Ce document est extrait de la ressource *PowerElecPro* qui est disponible en version numérique sur le site Internet *IUT en ligne*

Je ne renonce pas à ma qualité d'auteur et aux droits moraux qui s'y rapportent du fait de la publication de mon document.

Les utilisateurs sont autorisés à faire un usage non commercial, personnel ou collectif, de ce document et de la ressource *PowerElecPro*, notamment dans les activités d'enseignement, de formation ou de loisirs. Tout ou partie de cette ressource ne doit pas faire l'objet d'une vente - en tout état de cause, une copie ne peut pas être facturée à un montant supérieur à celui de son support.

Pour tout extrait de ce document, l'utilisateur doit maintenir de façon lisible le nom de l'auteur *Michel Piou*, la référence à *PowerElecPro* et au site *Internet IUT en ligne*.

Michel PIOU - Agrégé de génie électrique – IUT de Nantes - FRANCE

INTRODUCTION A L'ELECTRONIQUE DE PUISSANCE.

1 POURQUOI ET COMMENT ?

Avec le développement des composants électroniques capables de tenir des courants et des tensions de plus en plus élevés, une nouvelle façon de gérer l'énergie électrique s'est développée depuis quarante ans. On la dénomme « électronique industrielle » ou « électronique de puissance »

Prérequis :

Les bases de l'électricité.

Objectifs :

Pour commencer ce nouveau cours, nous vérifierons que les connaissances sur l'énergie électrique nécessaires pour la suite sont bien acquises. Dans le cas contraire, il est conseillé de les reprendre. Puis, au moyen d'un exemple, nous découvrirons les premiers concepts de l'électronique de puissance

Méthode de travail :

Ce premier chapitre repose sur une découverte assez intuitive des éléments mis en jeu en électronique de puissance. Il sera fait appel à des savoirs déjà rencontrés dans le cours d'électricité et qui sont rappelés en annexe :

(Annexe : Rappels sur le comportement d'une inductance et d'un condensateur. Page [11](#))

(Annexe : Auto-évaluation sur la valeur moyenne, la valeur efficace et la puissance. Page [12](#))

(Annexe : Rappels sur les circuits R.L et R.C en régime transitoire. Page [15](#))

Un paragraphe intitulé « Ce que j'ai retenu de ce chapitre » (page [17](#)) permet de vérifier les connaissances à retenir.

Travail en autonomie :

Pour permettre une étude du cours de façon autonome, les réponses aux questions du cours sont données en fin de document.

On trouvera des compléments dans la ressource en ligne « PowerElecPro »

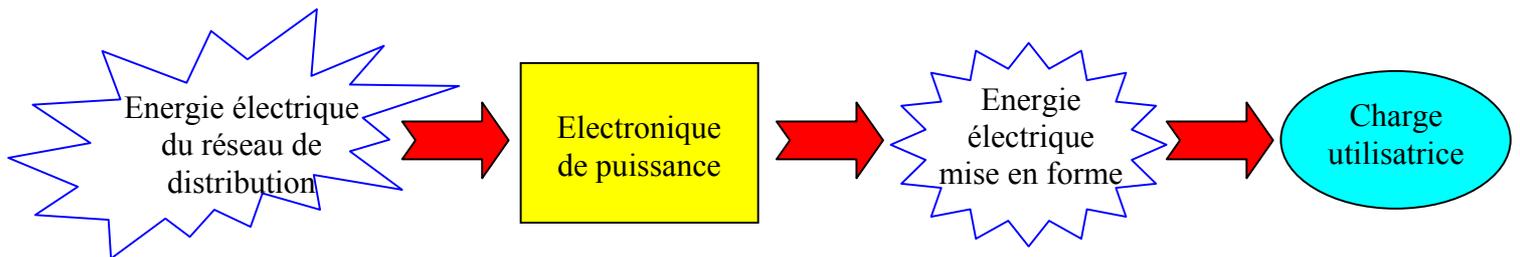
Temps de travail estimé pour un apprentissage de ce chapitre en autonomie : 10h30

INTRODUCTION A L'ELECTRONIQUE DE COMMUTATION.

2 GENERALITES

2.1 L'électronique de puissance, Qu'est ce que c'est ?

L'électronique de puissance est une branche de l'électricité qui traite de la **modification de la présentation de l'énergie électrique** pour l'adapter dans les meilleures conditions aux multiples utilisations.

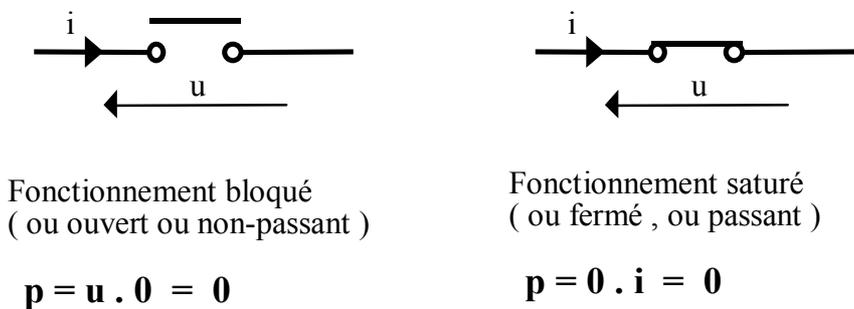


L'électronique de puissance est chargée d'adapter l'énergie électrique aux besoins de la charge utilisatrice. Elle doit le faire avec un bon rendement énergétique, tout en ne perturbant pas le réseau de distribution.

L'électronique de puissance utilise des **convertisseurs statiques** ⁽¹⁾ construits à partir de composants électroniques.

Contrairement à l'électronique « petits signaux » qui s'intéresse à l'information (son, images, données informatiques etc) codée sous forme de signaux électriques, l'électronique « de puissance » s'intéresse plutôt aux **pertes d'énergie** et au **rendement** des équipements électriques.

En électronique de puissance, les composants électroniques actifs fonctionnent en **commutation** ⁽²⁾, de façon à consommer le moins d'énergie possible.



⁽¹⁾ Dans les **convertisseurs statiques**, il n'y a pas de mouvement mécanique. (contrairement aux convertisseurs électromécaniques que sont les machines tournantes.

⁽²⁾ Les composants électroniques actifs (transistors, diodes etc) se comportent alors comme des interrupteurs: soit ouverts, soit fermés, soit en train de passer de l'une à l'autre des situations précédentes

Si les composants électroniques en commutation étaient parfaits, ils ne consommeraient aucune énergie à l'état bloqué (pas de courant), aucune énergie à l'état passant (pas de tension), et les temps de commutation (pour passer de l'un à l'autre des états précédents) seraient infiniment petits.

Mais les composants ne sont pas parfaits; ils consomment de l'énergie à l'état bloqué (léger courant), à l'état saturé (légère tension) et aussi lors des commutations (passage de l'état bloqué vers l'état saturé et réciproquement). Il convient de chercher à réduire ces pertes autant que possible.

Quelques exemples de convertisseurs statiques qu'on peut trouver sur le marché :

- onduleurs chargés de stabiliser l'énergie électrique d'alimentation des systèmes informatiques sensibles,
 - variateurs de vitesse chargés d'alimenter en énergie les moteurs électriques les plus divers (industries, traction ferroviaire, propulsion électrique des navires...),
 - convertisseurs électriques pour alimenter le réseau de distribution à partir d'une source d'énergie variable (éolienne, capteurs solaires ...)
 - chargeurs de batteries.
 - interconnexion des réseaux haute tension français et britannique par une liaison transmanche en courant continu.
 - alimentations à découpage
- (de quelques dizaines de watt aux alimentations de sécurité des centres de calcul de 1 MW).

2.2 Les fonctions principales de l'électronique de puissance :

La conversion de l'alternatif vers le continu (convertisseur AC → DC): **Redresseur**.

La conversion du continu vers l'alternatif (convertisseur DC → AC): **Onduleur**.

La conversion du continu vers le continu (convertisseur DC → DC): **Hacheur et alimentations à découpage**.

La conversion de l'alternatif vers l'alternatif (convertisseur AC → AC): **Gradateur; Cycloconvertisseurs ; Changeurs directs de fréquence**.

Un convertisseur peut être constitué de plusieurs fonctions mises en série.

3 ALIMENTATION D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU A PARTIR D'UNE SOURCE DE TENSION CONTINUE.

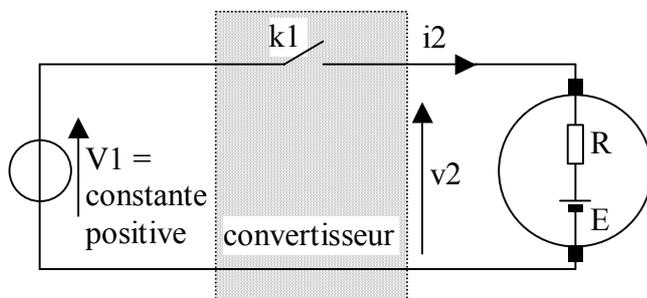
De façon à entrer progressivement dans le sujet, nous allons étudier un exemple de convertisseur DC → DC.

Celui-ci est destiné à faire varier la vitesse d'une machine à courant continu à partir d'une source de tension constante.

3.1 Etablissement de la structure du convertisseur.

Disposant d'un générateur de tension continue fixe V_1 , on désire alimenter un moteur à courant continu (à flux constant) sous une tension variable de façon à faire varier sa vitesse.

Pour obtenir un bon rendement, le convertisseur ne peut contenir que des interrupteurs et des éléments non dissipatifs.



Une idée simple consiste à alimenter le moteur de manière périodique avec un interrupteur électronique K1:

(Le moteur est représenté par son schéma équivalent R.E)

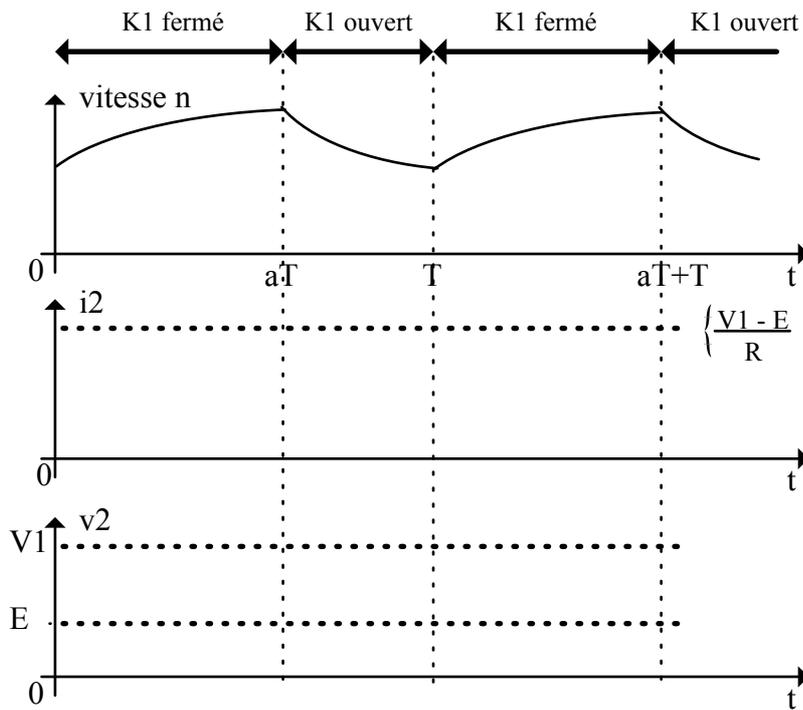
Dans une machine à courant continu à flux constant, la f.e.m. « E » est proportionnelle à la vitesse de rotation Ω et le couple électromagnétique est proportionnel au courant :

$$E = \lambda \cdot \Omega \quad \text{et} \quad C_{em} = \lambda \cdot i_2 \quad (\lambda \text{ est une constante caractéristique de la machine}).$$

La période de fonctionnement du convertisseur est de l'ordre de la milliseconde. Sur un tel intervalle, la vitesse angulaire Ω du moteur varie peu.

Dans le but de simplifier l'étude, on considèrera donc que la f.e.m. « E » est quasiment constante sur une période : $E \approx cte$

Représenter sur le graphe ci-après $i_2(t)$ et $v_2(t)$ dans ce cas en régime permanent (périodique).
(Réponse 1:)



En faisant varier le **rapport cyclique** :

$$a = \frac{\text{temps de fermeture de } k1}{\text{période } T}$$

(³), on peut espérer faire varier la vitesse du moteur.

Cependant, le résultat fait apparaître quelques problèmes:

Le courant $i_2(t)$ est discontinu. Le couple électromagnétique du moteur étant à chaque instant proportionnel au courant, ceci entraîne de grandes variations de couple et donc des vibrations, et des contraintes de fatigue sur la mécanique.

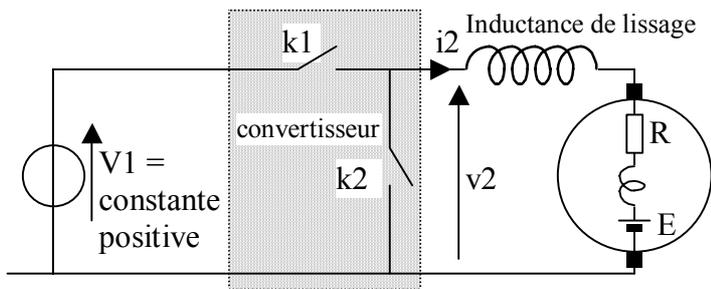
A vitesse faible, la f.e.m. du moteur est faible, et la valeur $\frac{V1 - E}{R}$ du courant est très élevée, ce qui peut être dangereux pour le moteur et l'interrupteur électronique $k1$.

Mais c'est surtout l'inductance parasite de l'induit (que nous avons négligée) qui occasionne des surtensions aux bornes de $K1$ à chacune de ses ouvertures (⁴), (le conduisant ainsi à sa destruction)

Pour résoudre ces problèmes, il convient donc d'ajouter une **inductance (de lissage)** pour réduire les ondulations du courant (et donc les ondulations de couple); et un **second interrupteur $K2$** pour assurer la continuité du courant i_2 dans la charge inductive (et éviter ainsi les surtensions à l'ouverture de $K1$).

(³) $0 < a < 1$

(⁴) Revoir l'Annexe : Rappels sur le comportement d'une inductance et d'un condensateur.



Voici donc ci-contre le montage complet.

On désigne l'ensemble des deux interrupteurs ainsi agencés sous le nom de « **hacheur série** ».

Remarquons que K1 et K2 ne peuvent pas être ouverts en même temps si $i_2 \neq 0$ sous peine de créer une surtension aux bornes de L.

Ils ne peuvent pas être fermés en même temps sous peine de court-circuiter la source V1.

Donc lorsque i_2 n'est pas nul, les deux interrupteurs sont nécessairement complémentaires :

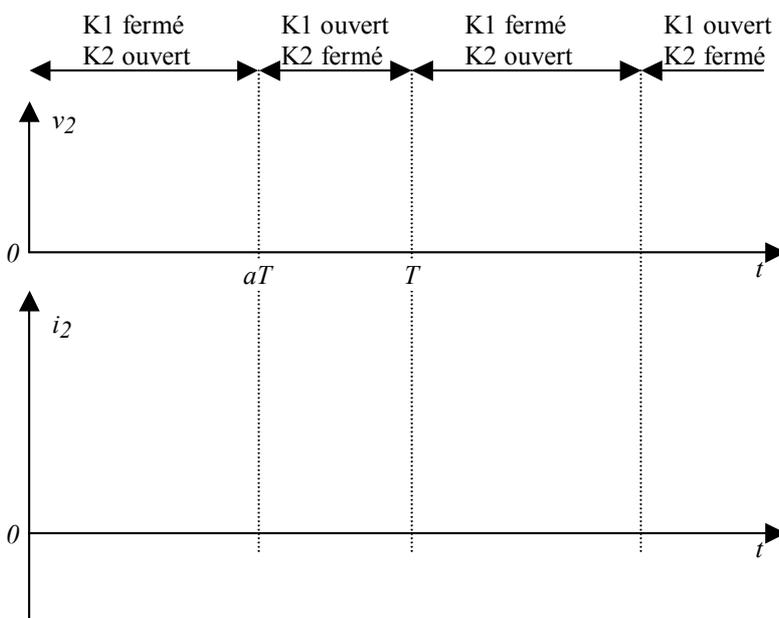
$$K2 = \overline{K1}$$

3.2 Etude du hacheur série en régime permanent (périodique).

On prendra pour hypothèse: i_2 toujours positif (hypothèse de la **conduction continue**).

Pour les intervalles de conduction indiqués ci-après, représenter l'allure de la tension $v_2(t)$ et du courant $i_2(t)$ en régime périodique ⁽⁵⁾. Préciser les asymptotes des morceaux d'exponentielles de $i_2(t)$ sur chaque intervalle. En raisonnant sur les valeurs moyennes, montrer que si i_2 est toujours positif, V1 est nécessairement supérieur à E.

(Réponse 2:)



⁽⁵⁾ En cas d'hésitation, il est conseillé de revoir :Annexe : Rappels sur les circuits R.L et R.C en régime transitoire. Page 15

3.3 Conclusion.

Pour avoir un bon rendement, le hacheur est constitué d'éléments non dissipatifs ⁽⁶⁾ (principalement des interrupteurs réalisés avec des composants électroniques fonctionnant en commutation associés à une inductance ⁽⁷⁾).

Il faut choisir sa structure de façon à assurer une non-discontinuité du courant dans les circuits inductifs

Le chapitre suivant portera sur une méthode de choix des structures des convertisseurs et le choix des interrupteurs en fonction du cahier des charges envisagé.

⁽⁶⁾ qui ne transforment pas l'énergie électrique en chaleur

⁽⁷⁾ La puissance active (ou puissance moyenne) dans une inductance ou un condensateur est nulle.

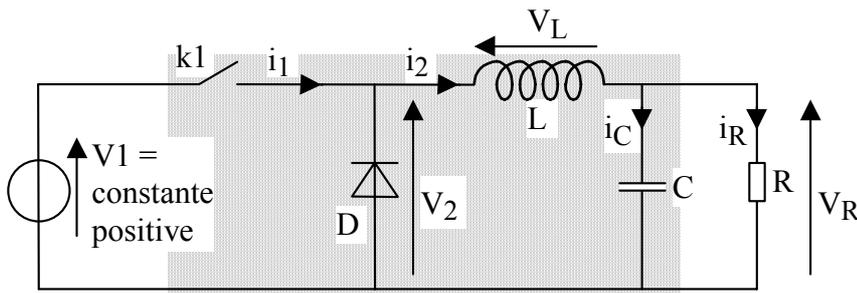
4 PROBLEMES

Chap 1. Exercice 1 : Comportement d'une alimentation à découpage en régime périodique.

Objectifs :

Hacheur en régime périodique. Valeurs moyennes. Puissance.

Le but de ce montage est de produire une tension de sortie V_R continue réglable aux bornes d'une charge résistive « R » (d'où le condensateur de filtrage) à partir d'une tension d'entrée V_1 continue fixe.



Dans le hacheur série ci contre, l'interrupteur « k2 » est réalisé par une simple diode.

La fréquence de fonctionnement et la constante de temps RC sont suffisamment élevées pour que la tension V_R soit presque constante.

La conduction dans l'inductance L est supposée continue (avec $i_2 > 0$).

La diode « D » est supposée idéale.

L'interrupteur $k1$ est actionné périodiquement à la période T . On définit son rapport cyclique :

$$a = \frac{\text{intervalle de fermeture}}{\text{période } T}$$

L'instant origine « $t = 0$ » est pris à la fermeture de $k1$.

a) Montrer que l'ouverture de $k1$ entraîne l'amorçage de D et que la fermeture de $k1$ entraîne le blocage de D .

b) Que se passerait-il si, pour simplifier le montage, on remplaçait l'inductance L par un simple court-circuit ?

c) Pour un rapport cyclique « a » donné, représenter $v_2(t)$ en régime périodique.

Calculer $V_{2\text{moy}}$ en fonction de V_1 et a .

Sachant que $V_R(t) \approx V_{R\text{moy}} = \text{cte} = V_R$. Exprimer, pour un rapport cyclique « a » quelconque, V_R en fonction de $V_{2\text{moy}}$ puis de « a » et V_1 .

d) En déduire les expressions littérales de $I_{R\text{moy}}$, $I_{C\text{moy}}$ et $I_{2\text{moy}}$.

e) Sachant que $0 \leq a \leq 1$, quelles sont les limites de la tension de sortie V_R de cette alimentation à découpage lorsque la conduction dans L est continue ?

f) Pour le même rapport cyclique que précédemment, représenter l'allure de $i_2(t)$ et de $i_1(t)$ en régime périodique.

Préciser, sur chaque intervalle de fonctionnement l'expression de la dérivée de $i_2(t)$ en fonction de « a », V_1 et L.

g) Connaissant I_{2moy} , en déduire I_{2min}

h) En utilisant uniquement un raisonnement sur les aires sous les courbes, établir la relation entre I_{2moy} et I_{1moy} en fonction de « a ».

i) Etablir l'expression de la puissance moyenne dans R.

Pourquoi la puissance moyenne délivrée par la source V_1 est-elle $P = V_1 \cdot I_{1moy}$?

Comparer les deux valeurs précédentes. Conclure sur le rendement de cette alimentation à découpage.

j) Par un raisonnement sur la conservation de la puissance active, retrouver le résultat précédent.

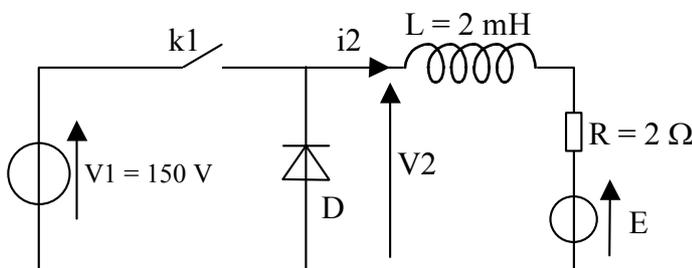
Chap 1. Exercice 2 : Comportement d'un hacheur série.

Objectifs :

Régime transitoire du 1^{er} ordre sous excitation constante.

Conduction continue ou discontinue.

Hacheur en régime périodique.



Dans le hacheur série ci contre, l'interrupteur « k2 » est réalisé par une simple diode (supposée idéale).

On suppose $E \approx \text{cte} > 0$

L'interrupteur k1 est actionné périodiquement à la période $T = 1 \text{ ms}$. On définit son rapport cyclique : $a = \frac{\text{intervalle de fermeture}}{\text{période } T}$.

L'instant origine « $t = 0$ » est pris à la première fermeture de k1

a) $t < 0$. Montrer que si k1 est ouvert depuis très longtemps, $i_2 = 0$.

b) $t = 0^+$. A l'instant « $t = 0$ », on ferme l'interrupteur k1. Montrer que D est nécessairement bloquée tant que k1 est fermé.

c) $0 < t < T$. Le rapport cyclique de k1 est : $a = 0,8$. La f.e.m. E a pour valeur 100 V.

- Etablir l'équation de $i_2(t)$ sur l'intervalle $[0, a.T]$. En déduire $i_2(a.T)$.
- A l'instant $a.T$, l'interrupteur k1 se bloque. Montrer que D devient nécessairement conductrice. (On peut utiliser un raisonnement par l'absurde : Supposons que D reste bloquée...).
- Etablir l'équation de $i_2(t)$ sur l'intervalle $[a.T, T]$. En déduire $i_2(T)$.

- Représenter l'allure du graphe de $i_2(t)$ et de $v_2(t)$ sur l'intervalle $[0, 2.T]$. La conduction dans la charge RLE est-elle continue ? (8)

d) $0 < t < T$. Le rapport cyclique de k_1 est : $a = 0,2$. La f.e.m. E a pour valeur 20 V .
Reprendre la question c) avec ces nouvelles données.

e) *Etude du régime permanent (périodique).*

Dans le cas de la conduction discontinue, le régime permanent est atteint dès la première période. Alors que dans le cas de la conduction continue, le régime permanent s'établit progressivement (au bout d'environ $5.L/R$).

Cette question reprend les données de la question c) mais en supposant le régime permanent (c'est à dire « périodique ») atteint.

On prend pour nouvel instant origine « $t = 0$ » l'instant de la fermeture de k_1 .

Soit I_{min} la valeur de $i_2(0)$.

- Etablir l'expression littérale de $i_2(t)$ sur l'intervalle $[0, a.T]$. En déduire l'expression littérale de $I_{max} = i_2(a.T)$ en fonction de I_{min} , a , V_1 , E , R et L .
- Etablir l'expression littérale de $i_2(t)$ sur l'intervalle $[a.T, T]$. En déduire l'expression littérale $i_2(T)$ en fonction de I_{max} , a , E , R et L .

- En régime périodique $I_{min} = i_2(T)$. On peut en déduire que
$$I_{min} = \frac{V_1}{R} \cdot \left(\frac{e^{\frac{a.T}{\tau}} - 1}{e^{\frac{T}{\tau}} - 1} \right) - \frac{E}{R}.$$

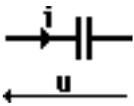
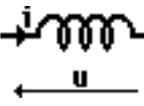
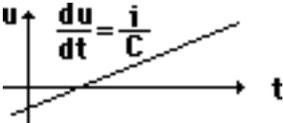
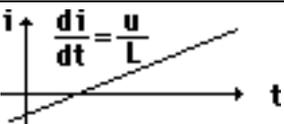
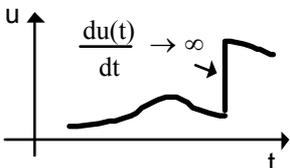
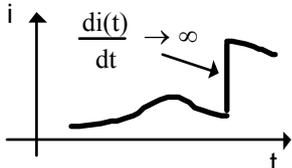
Calculer la valeur numérique de I_{min} et de I_{max}

- Représenter le graphe de $i_2(t)$ sur une période et estimer sa valeur moyenne $I_{2_{moy}}$.
- Etablir l'expression de $I_{2_{moy}}$ en fonction de $V_{2_{moy}}$ et des éléments du montage. En guise de vérification, comparer l'application numérique de $I_{2_{moy}}$ ainsi obtenue avec l'estimation de la valeur de $I_{2_{moy}}$ précédente.

(8) **Attention !** Ne pas confondre « conduction continue » = le courant n'est jamais nul avec « courant continu » = courant constant.

Si la conduction n'est pas continue, on dit qu'elle est « discontinue ».

5 ANNEXE : RAPPELS SUR LE COMPORTEMENT D'UNE INDUCTANCE ET D'UN CONDENSATEUR.

	C	L
Cas général	 $i(t) = C \frac{du(t)}{dt}$	 $u(t) = L \frac{di(t)}{dt}$
Si i = constante		$u = 0$
Si u = constante	$i = 0$	
remarque	 <p> $\frac{du(t)}{dt} \rightarrow \infty \Rightarrow i(t) \rightarrow \infty$ Pas de discontinuité de la tension, sinon: surintensité. Si i(t) est fini $\Rightarrow \frac{d(u(t))}{dt}$ est fini </p>	 <p> $\frac{di(t)}{dt} \rightarrow \infty \Rightarrow u(t) \rightarrow \infty$ Pas de discontinuité du courant, sinon: surtension. Si u(t) est fini $\Rightarrow \frac{d(i(t))}{dt}$ est fini </p>
limites en régime périodique	$i(t) = C \frac{du(t)}{dt}$ <p> $\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } i(t) \text{ est fini} \\ \text{et } C \rightarrow \infty \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{du(t)}{dt} \rightarrow 0$ \Rightarrow Si la capacité C est grande: $u \rightarrow \text{cte} = U_{\text{moy}}$, mais $i(t) \neq 0$! </p>	$u(t) = L \frac{di(t)}{dt}$ <p> $\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } u(t) \text{ est fini} \\ \text{et } L \rightarrow \infty \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{di(t)}{dt} \rightarrow 0$ \Rightarrow Si l'inductance L est grande: $i \rightarrow \text{cte} = I_{\text{moy}}$, mais $u(t) \neq 0$! </p>
valeurs moyennes et puissance active (en régime périodique)	$I_{\text{moy}} = 0 ; P = 0$	$U_{\text{moy}} = 0 ; P = 0$
Energie stockée à un instant t	$w(t) = \frac{1}{2} \cdot C \cdot u(t)^2$	$w(t) = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i(t)^2$
En régime permanent alternatif sinusoïdal :	$\underline{Z} = \frac{-j}{C \cdot \omega} = \frac{1}{j \cdot C \cdot \omega}$ $P = 0 ; Q = -C \cdot \omega \cdot U_{\text{eff}}^2$	$\underline{Z} = j \cdot L \cdot \omega$ $P = 0 ; Q = L \cdot \omega \cdot I_{\text{eff}}^2$

6 ANNEXE : AUTO-EVALUATION SUR LA VALEUR MOYENNE, LA VALEUR EFFICACE ET LA PUISSANCE.

Pour ce chapitre et les suivants, il est important de revoir des notions d'électricité sans lesquelles il sera difficile de progresser.

Il est conseillé de ne pas répondre directement sur cette feuille afin de pouvoir reprendre ce test plusieurs fois si nécessaire.

Le but est d'atteindre rapidement le « zéro défaut ». Se contenter d'une connaissance « moyenne » n'a ici aucun sens.

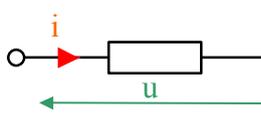
6.1 Notion de valeur moyenne et de valeur efficace d'une fonction périodique

	<p>Estimer graphiquement la valeur moyenne de $i_1(t)$ en hachurant les surfaces appropriées. (Sans calcul)</p>
	<p>Calculer la valeur moyenne de $i_2(t)$ sans utiliser la notion d'intégrale.</p>
<p>Soit une fonction $i_3(t)$ périodique de période T, telle que $i_3(t) = I_{max} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$ sur l'intervalle $\left[-\frac{T}{6}, +\frac{T}{6}\right]$ et nulle sur l'intervalle $\left[+\frac{T}{6}, +\frac{5T}{6}\right]$.</p>	<p>Représenter ci-contre, le graphe de $i_3(t)$. Calculer la valeur moyenne de $i_3(t)$.</p>

Conclure sur les trois façons de déterminer une valeur moyenne (de la plus simple à la plus compliquée).

Soit un signal $i(t)$ périodique de période T . Définir sa valeur efficace en traduisant « R.M.S ». Puis définir sa valeur efficace sous forme d'une intégrale.

6.2 Puissance en monophasé.

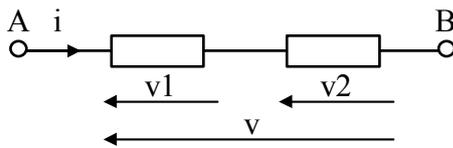


Soit un dipôle parcouru par un courant périodique $i(t)$ de période T et soumis à une tension $u(t)$ de même période T .

- a) Exprimer la puissance instantanée dans ce dipôle.
 - b) Exprimer la puissance active dans ce dipôle dans le cas général (sous forme d'une intégrale).
 - c) Exprimer la puissance active dans ce dipôle si $u(t) = U_0 = \text{constante}$.
 - d) Exprimer la puissance active dans ce dipôle si $i(t) = I_0 = \text{constante}$.
 - e) Exprimer la puissance active dans ce dipôle si $i(t) = I_{\max} \cdot \cos(\omega t)$ et $u(t) = U_{\max} \cdot \cos(\omega t + \varphi)$.
 - f) Exprimer la puissance active dans ce dipôle si celui-ci est une résistance de valeur R .
 - g) Exprimer la puissance active dans ce dipôle si celui-ci est un condensateur de capacité C .
 - h) Exprimer la puissance active dans ce dipôle si celui-ci est une inductance de valeur L .
 - i) *répondre par oui ou par non:*
La puissance active dans le dipôle est-elle, dans tous les cas, égale à $(v(t) \cdot i(t))_{\text{moy}}$?

La puissance active dans le dipôle est-elle, dans tous les cas, égale à $\left[(v(t))_{\text{moy}} \cdot (i(t))_{\text{moy}} \right]$?
 - j) Définir la puissance apparente dans un dipôle.
 - k) Définir le facteur de puissance d'une ligne monophasée ou d'un dipôle (cas général).
- Si $i(t) = I_{\max} \cdot \cos(\omega t)$ et $u(t) = U_{\max} \cdot \cos(\omega t + \varphi)$, comment s'exprime le facteur de puissance ?

6.3 Association de dipôles.



Soit le montage ci-contre associant en série deux dipôles quelconques, avec $v_1(t)$, $v_2(t)$ et $i(t)$ de même période.

Est-ce que, dans tous les cas, $V_{moy} = V_{1moy} + V_{2moy}$?

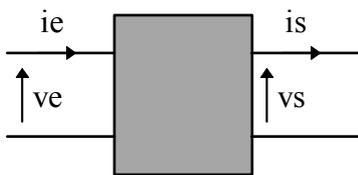
Est-ce que, dans tous les cas, $V_{eff} = V_{1eff} + V_{2eff}$?

Est-ce que, dans tous les cas, $(v(t).i(t))_{moy} = (v_1(t).i(t))_{moy} + (v_2(t).i(t))_{moy}$?

Que dit le théorème de Boucherot lorsque les tensions et les courants sont alternatifs sinusoïdaux de même fréquence ?

6.4 Conversion d'énergie électrique

a) Si un convertisseur ne contient aucun élément qui puisse produire consommer ou accumuler de l'énergie électrique quel que soit l'instant (si, par exemple, il ne contient que des interrupteurs parfaits):



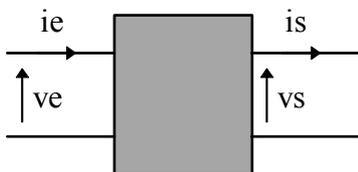
- quelle relation existe entre l'énergie qu'il reçoit en entrée sur un intervalle de temps « dt » infiniment petit: $(v_e(t).i_e(t)).dt$ et l'énergie qu'il restitue en sortie sur ce même intervalle de temps « dt »: $(v_s(t).i_s(t)).dt$?

- quelle relation existe entre la puissance instantanée $(v_e(t).i_e(t))$

qu'il reçoit en entrée la puissance instantanée $(v_s(t).i_s(t))$ qu'il restitue en sortie ?

Lorsqu'il fonctionne en régime périodique, quelle relation existe entre sa puissance moyenne en entrée et sa puissance moyenne en sortie ?

b) Si un convertisseur en régime périodique ne contient que des éléments dont la puissance électrique moyenne est nulle (si, par exemple, il ne contient que des interrupteurs parfaits, des inductances et des condensateurs):



- sa puissance instantanée en entrée est-elle nécessairement égale à sa puissance instantanée en sortie ?

- sa puissance moyenne en entrée est-elle nécessairement égale à sa puissance moyenne en sortie ?

Si une révision approfondie sur ces questions s'avère nécessaire, revoir les chapitres 9 et 10 de « baselecpro » :

(Rechercher Baselecpro sur Internet)

7 ANNEXE : RAPPELS SUR LES CIRCUITS R.L ET R.C EN REGIME TRANSITOIRE.

Résumé de la méthode par les schémas de régime libre, de régime forcé et des conditions initiales.

- **Solution de l'équation sans second membre:** (régime libre)

Elle correspond au comportement du montage sans ses excitations:

- Les sources de tension indépendantes sont mises à zéro $\rightarrow u = 0 \Rightarrow$ court-circuit.
- Les sources de courant indépendantes sont mises à zéro $\rightarrow i = 0 \Rightarrow$ circuit ouvert.

Le schéma ainsi obtenu ("schéma de régime libre") permet de dire si c'est effectivement un 1^o ordre (boucle RC ou RL); et dans ce cas on obtient la constante de temps:

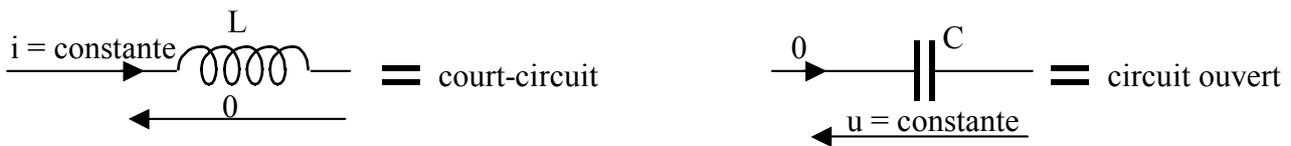


La solution du régime libre est alors du type $A.e^{-\frac{t}{\tau}}$

- **Solution particulière de l'équation générale:** (régime forcé ou régime permanent): $ff(t)$:

* Si les sources de tension et de courant sont continues:

\Rightarrow les tensions et les courants dans le montage sont continus en régime forcé. La solution du régime forcé est une constante.



* Si les sources de tension et de courant sont alternatives sinusoïdales de même fréquence:

\Rightarrow utiliser le calcul complexe. La solution du régime forcé est de type alternatif sinusoïdal.

* Si les sources de tension et de courant sont autres: non traité ici.

* Si les sources de tension et de courant sont diverses: utiliser le théorème de superposition.

- **Solution générale:**

$$f(t) = A.e^{-\frac{t}{\tau}} + f_f(t)$$

- **Conditions initiales:**

:

La tension aux bornes d'un condensateur ne peut pas présenter de discontinuité.
Le courant dans une inductance ne peut pas présenter de discontinuité.

La condition initiale permet de déterminer la valeur de la constante A.

La « condition initiale » n'est pas nécessairement à $t = 0$:

Soit t_0 un instant pour lequel on connaît la valeur de f .

Exprimer $f(t)$ en fonction de $f(t_0)$, $f_f(t)$

(Réponse 3:)

(Cette relation peut être utilisée directement sans la redémontrer à chaque utilisation)

Remarque :

Lorsque les sources de tension et de courant sont continues, on peut tracer directement le graphe des signaux recherchés à partir des schémas de régime libre, forcé et des conditions initiales en utilisant les deux propriétés suivantes:

- Les **63%** du chemin restant à parcourir pour atteindre l'asymptote sont parcourus en une constante de temps. (**63% \approx 2/3**)

- La tangente à l'origine est obtenue par construction graphique: c'est une droite qui passe par le point où l'on cherche la tangente et qui atteint l'asymptote au bout d'une constante de temps.

- On peut considérer que la courbe rejoint son asymptote en 4 ou 5 constantes de temps.

Si une révision approfondie sur ces questions s'avère nécessaire, revoir le chapitres 13 de « baselecpro » :

(Rechercher Baselecpro sur Internet)

8 CE QUE J'AI RETENU DE CE CHAPITRE.

Ce chapitre a pour objectif de remettre en place les connaissances sur les bases de l'électricité de façon qu'elles soient disponibles pour les chapitres suivants.

Pour les régimes périodiques, je dois maîtriser les notions de :

- Valeur moyenne (approche intuitive, avec les aires et par une intégrale) (revoir au besoin le chapitre « Valeur moyenne des signaux périodiques » du cours sur les bases de l'électricité).
- Valeur efficace (RMS...)
- Puissance instantanée et puissance active (ou moyenne) ...avec 6 cas particuliers.
- Facteur de puissance (revoir au besoin le chapitre « Energie et puissance électrique » du cours sur les bases de l'électricité).

Dans un convertisseur, quand y a-t-il conservation de la puissance instantanée ou conservation de la puissance active ? (revoir au besoin le chapitre « Energie et puissance électrique » du cours sur les bases de l'électricité).

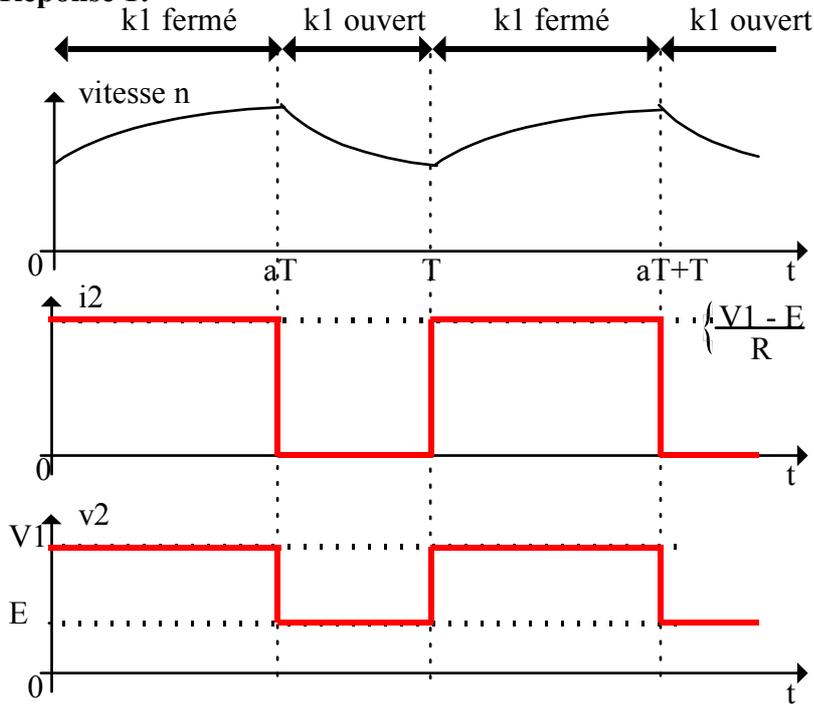
Peut-on faire varier brutalement la tension aux bornes d'une inductance ?

Peut-on faire varier brutalement le courant dans une inductance ?

Lorsqu'un circuit « RL » est soumis à une source de tension continue par morceaux, le courant qui le traverse est constitué de morceaux d'exponentielles. Suis-je capable de décrire la méthode qui permet d'établir la courbe du courant sur un intervalle à partir du régime libre, du régime forcé et d'une condition initiale ? Suis-je capable d'établir l'équation de ce courant ?

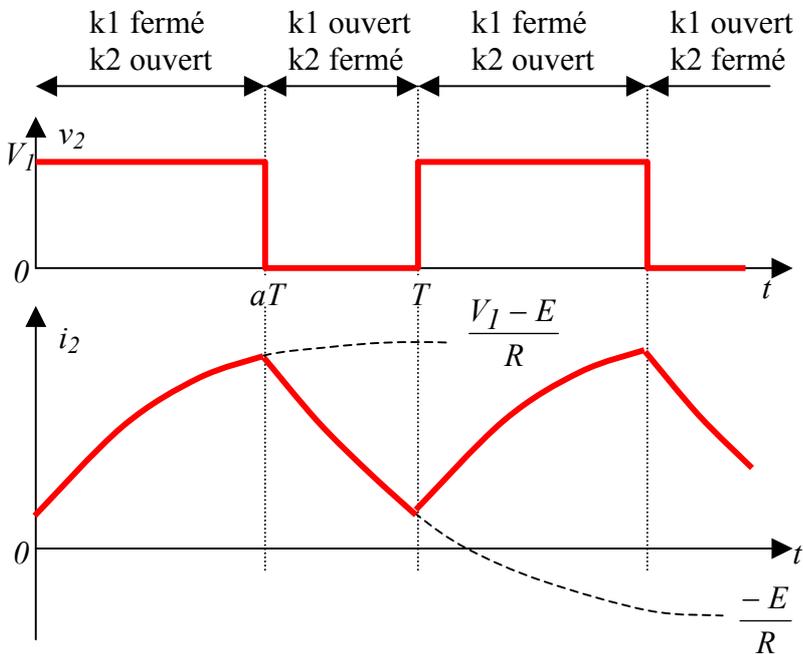
9 REPONSES AUX QUESTIONS DU COURS

Réponse 1:



[Retour](#)

Réponse 2:



$$v_2(t) = L \cdot \frac{d(i_2(t))}{dt} + R \cdot i_2(t) + E \Rightarrow V_{2moy} = 0 + R \cdot I_{2moy} + E$$

Par hypothèse le courant $i_2(t)$ est toujours positif, donc $I_{2moy} > 0$ et donc $V_{2moy} > E$

Sachant que $V_{2moy} = a \cdot V_1$ avec $0 < a < 1$, on en déduit que $V_1 > E$

[Retour](#)

Réponse 3:

$$f(t) = A.e^{-\frac{t}{\tau}} + f_f(t) \Rightarrow f(t_0) = A.e^{-\frac{t_0}{\tau}} + f_f(t_0)$$

$$\Rightarrow A = (f(t_0) - f_f(t_0))e^{\frac{t_0}{\tau}}$$

$$f(t) = (f(t_0) - f_f(t_0))e^{\frac{t_0}{\tau}} . e^{-\frac{t}{\tau}} + f_f(t)$$

$$f(t) = (f(t_0) - f_f(t_0))e^{-\frac{t-t_0}{\tau}} + f_f(t)$$

Cette relation peut éventuellement être mémorisée pour être utilisée directement dans les applications.

Si le régime forcé est une constante F_F (lorsque la ou les sources sont des constantes sur l'intervalle considéré) la relation devient :

$$f(t) = (f(t_0) - F_F)e^{-\frac{t-t_0}{\tau}} + F_F$$

[Retour](#)