



Les alimentations à découpage...

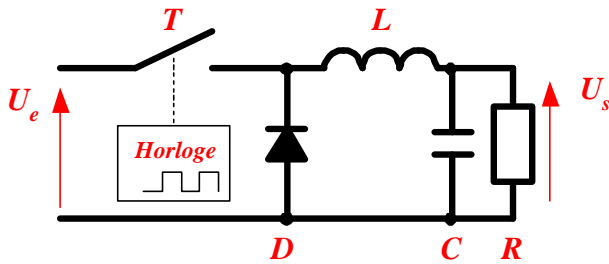


III.1) Classification des alimentations à découpage.



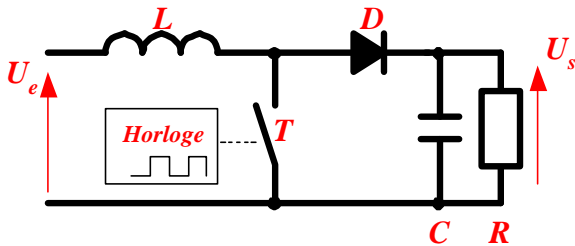
Non isolées de la source

Convertisseur abaisseur « BUCK »



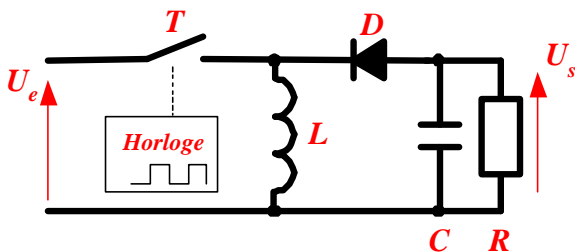
$$V_s = a V_e \text{ avec } a < 1$$

Convertisseur élévateur « BOOST »



$$V_s = \frac{1}{1-a} V_e \text{ avec } V_s > V_e$$

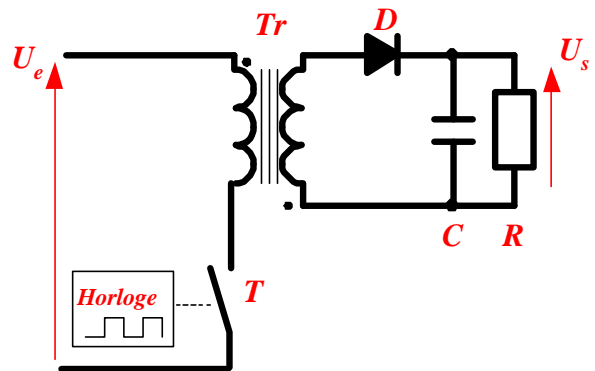
Convertisseur inverseur « BUCK BOOST »



$$V_s = -\frac{a}{1-a} V_e \text{ avec } V_s < 0$$

Isolées de la source

Convertisseur flyback

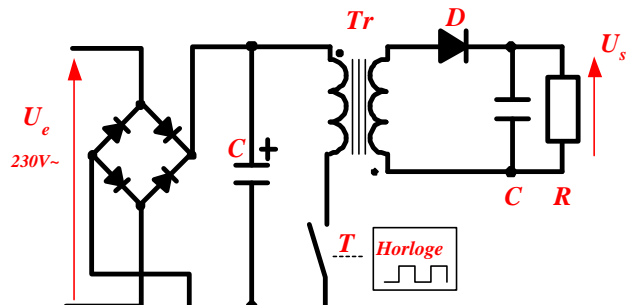


Ce convertisseur est très utilisé dans les alimentations. Il permet de s'affranchir de transformateurs volumineux. La tension aux bornes d'un enroulement est fonction de la fréquence ($U_s = 4.44 * B * N * S * f$). Pour une même valeur de tension si f augmente alors N diminue et par conséquent le volume du transformateur.

Pour une alimentation classique : $f = 50\text{Hz}$

Pour une alimentation à découpage : $f > 20\text{Khz}$.

Schéma typique d'une alimentation.



Remarque : On redresse directement le secteur, par conséquent le pont diodes et le condensateur de filtrage devront être correctement dimensionnés pour supporter ce secteur.

LES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES.

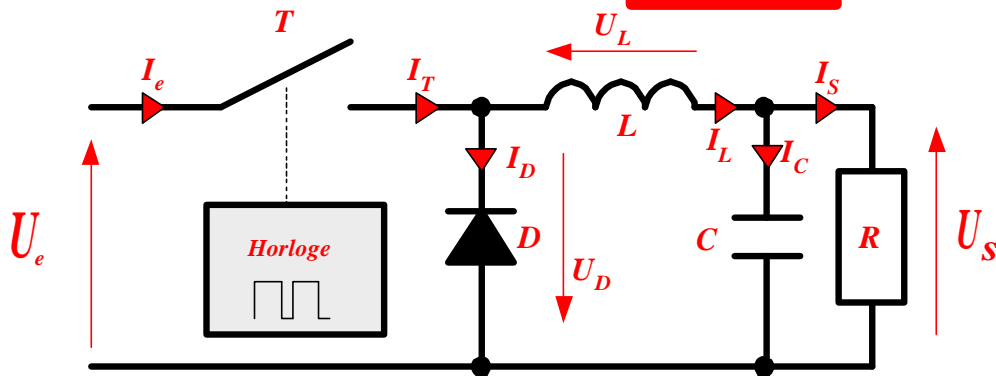


III.1) Les alimentations non isolées de la source: (avec une bobine).

Elles permettent **d'abaisser**, **élever** et **inverser** une tension continue avec de très faibles pertes. Par conséquent ils ont un très bon rendement, peu d'énergie à dissiper par le transistor.

III.1.1) Convertisseur abaisseur.

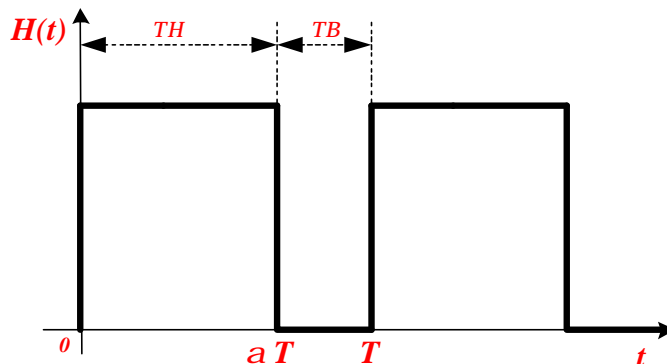
"BUCK"



$$V_s = a V_e \text{ avec } a < 1$$

III.1.1.1) Principe de fonctionnement :

Le transistor **T** est commandé par une horloge **H**. Pendant le temps haut de l'horloge (**PHASE N°1 de 0 à a T**), le transistor **T** est commandé et la bobine **L** emmagasine de l'énergie, puis pendant le temps bas de l'horloge (**PHASE N°2 de a T à T**), le transistor est bloqué et la bobine **L** restitue l'énergie emmagasinée.



$$\text{Le rapport cyclique } a = \frac{TH}{T} = \frac{aT}{T}$$



LES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES.

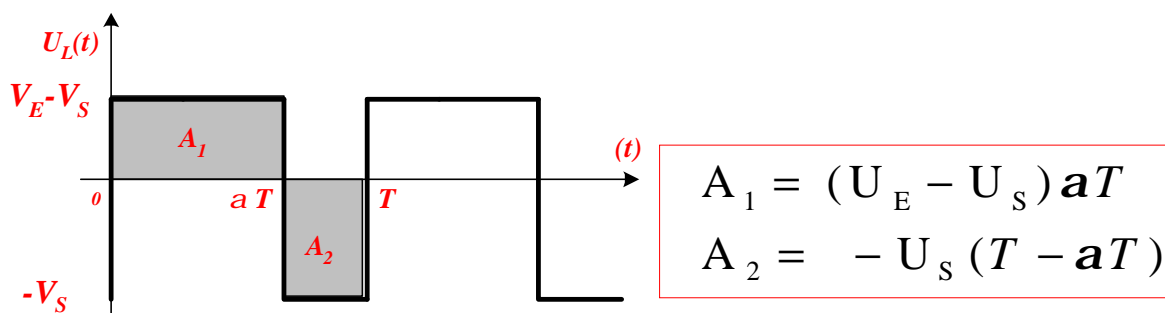


Remarques importantes: Pour comprendre le fonctionnement des convertisseurs à découpage, deux conditions sont fondamentales...

- 1) La valeur moyenne de la tension aux bornes d'une bobine est nulle.
- 2) La tension de sortie est continue.

Phase N°1 (0 à a T)	Phase N°2 (a T à T)
<p>Explications : Le transistor est passant et la diode D est bloquée.</p> <p style="text-align: center;">Schéma équivalent :</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin-top: 10px;"> $U_L = U_E - U_S \text{ avec } U_E > U_S$ </div>	<p>Explications : Le transistor est bloqué et c'est la bobine qui fournit l'énergie au montage, la diode D est passante.</p> <p style="text-align: center;">Schéma équivalent :</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin-top: 10px;"> $U_L = -U_S$ </div>

III.1.1.2) **Calcul de la fonction de transfert :** \Rightarrow $U_S = f(U_E)$



La valeur moyenne de la tension aux bornes d'une bobine est toujours nulle :

$$\langle U_L \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T U_L(t) dt = \frac{1}{T} [A_1 + A_2] = 0$$

$$(U_E - U_S) a - U_S (1 - a) = 0$$

$$a U_E - a \cancel{U_S} - U_S + a \cancel{U_S} = 0$$

$$U_S = a U_E$$

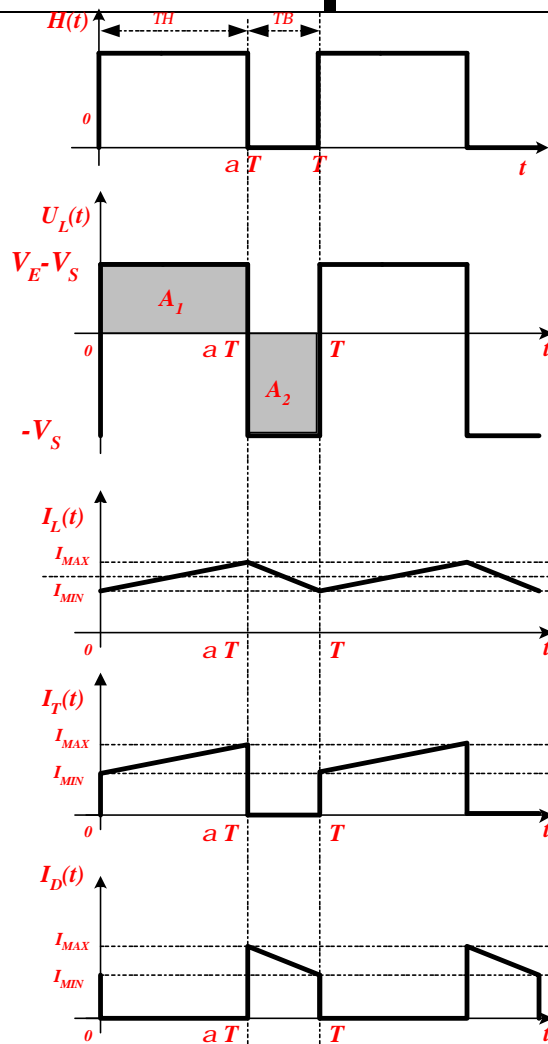




III.1.1.3) Etude des signaux:

Phase N°1 (0 à aT)	Phase N°2 (aT à T)
<p>1) I_L : Courant dans la bobine : Le courant dans la bobine augmente.</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin: 10px 0;"> $L \frac{di_L}{dt} = U_E - U_S$ $I_L(t) = \frac{U_E - U_S}{L} t + I_{\min}$ </div>	<p>1) I_L : Courant dans la bobine : Le courant dans la bobine diminue.</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin: 10px 0;"> $L \frac{di_L}{dt} = -U_S$ $I_L(t) = \frac{-U_S}{L} t + I_{\max}$ </div>
<p>2) I_D : Courant dans la diode</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>La diode est bloquée : $I_D(t) = 0$</p> </div>	<p>2) I_D : Courant dans la diode</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>La diode est passante : $I_D(t) = I_L(t)$</p> </div>
<p>3) I_T : Courant dans le transistor</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>Le transistor est passant : $I_T(t) = I_L(t)$</p> </div>	<p>3) I_T : Courant dans le transistor</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>Le transistor est bloqué $I_T(t) = 0$</p> </div>

Les Chronogrammes:





III.1.1.4) Choix des composants.

III.1.1.4.1) Choix de la bobine.

Son calcul:

Le calcul de la valeur de la self passe par l'ondulation crête à crête du courant de celle-ci, soit ΔI_L .

$$\Delta I_L = I_M - I_m = \frac{V_E - V_s}{L} aT \quad \Delta I_L = \frac{(1-a)V_s}{LF}$$

Soit: \longrightarrow

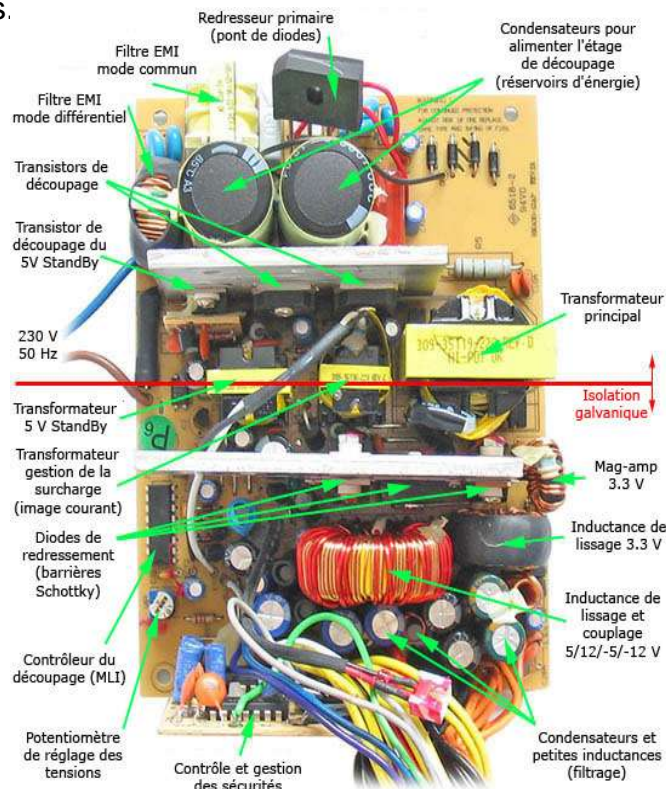
$$L = \frac{(1-a)V_s}{\Delta I_L F}$$

Nota :

ΔI_L Ondulation crête à crête du courant dans la bobine.
 F : Fréquence de travail du convertisseur.

Critères technologiques :

Les selfs utilisées dans les alimentations à découpage doivent en outre supporter les hautes fréquences (jusqu'à **100KHz**). Il faut toujours choisir les modèles préconisés par les constructeurs.



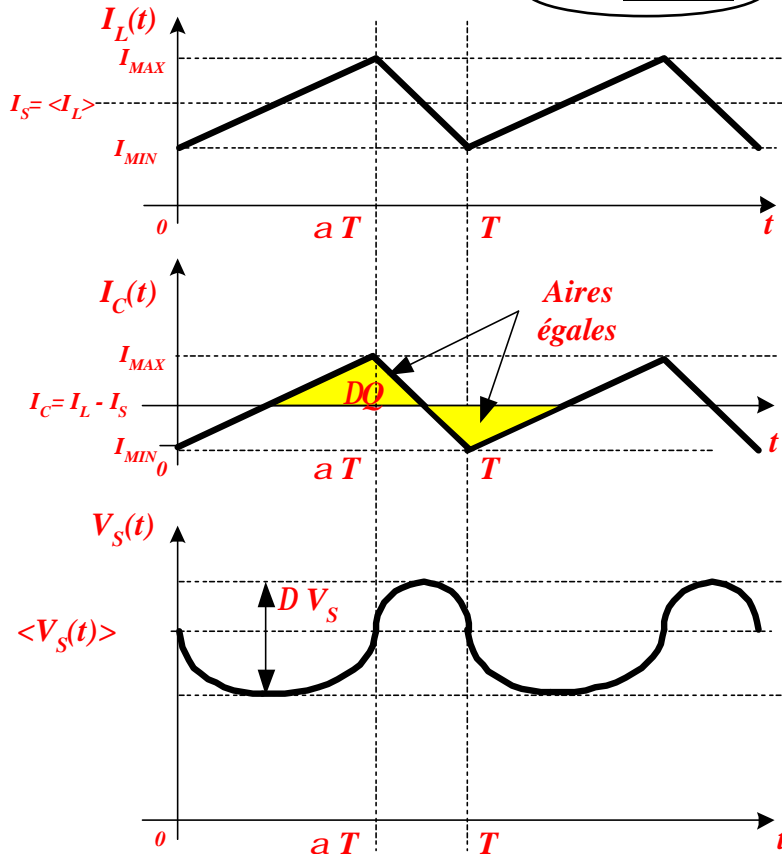


LES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES.

III.1.1.4.2) Choix du condensateur.

Son calcul:

Depuis le début de cet exposé, j'ai considéré que la tension V_s était continue, mais en réalité une petite variation $v_s(t)$ subsiste.



$$V_s(t) = \frac{1}{C} \int i_c(t) dt$$

$$\Delta V_s = \frac{\Delta Q}{C} \text{ et } \Delta Q = \frac{1}{2} \frac{\Delta I_L}{2} \frac{T}{2} \text{ donc } \Delta V_s = \frac{\Delta I_L}{8CF}$$

$$\text{et } \Delta I_L = \frac{(1-a)V_s}{LF} \text{ donc } \Delta V_s = \frac{(1-a)V_s}{8LCF^2}$$

Soit: \longrightarrow

$$= \frac{(1-a)V_s}{8LF^2 \Delta V_s}$$

DV_S Ondulation crête à crête de la tension de sortie.

Critères technologiques:

Les condensateurs utilisés dans les alimentations à découpage doivent avoir une faible résistance série (**ESR Effective Serie Resistor**). En effet l'ondulation de la tension de sortie est proportionnelle aux variations de courant du condensateur.





III.1.1.4.3) Choix de la diode et du transistor T.

Le principal critère de choix de la diode doit être la rapidité, en effet les convertisseurs à découpage fonctionnent à des fréquences de l'ordre de la dizaine de kilohertz. On choisit par conséquent des diodes rapides comme les diodes **schottky**. Pour le transistor, il doit posséder une faible résistance et commuter rapidement, on utilise souvent des transistors **MOS**.

III.1.1.5) Performances.

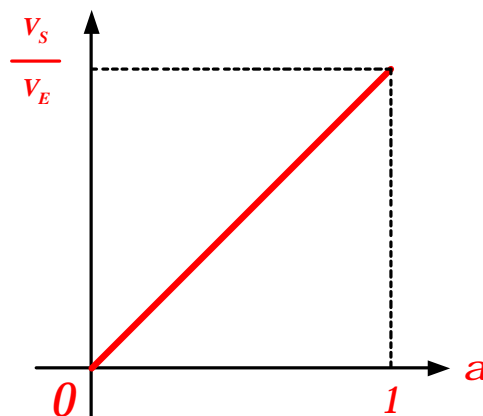
Rendement : Si on considère des composants parfaits ($V_{SAT}=0V$ et $V_{seuil}=0V$) le rendement est de **100%**, c'est-à-dire que l'on ne perd pas d'énergie !!

En réalité la diode a une tension de seuil V_D et le transistor une tension V_{SAT} à ses bornes quand il conduit. On peut dans ces conditions calculer le rendement :

$$h = \frac{V_S (V_E - V_{sat} + V_D)}{V_E (V_S + V_D)}$$

Avec cette équation on obtient des rendements de l'ordre de **80%** à **90%**, à comparer aux rendements des alimentations classiques de l'ordre de **50%**.

Courbe de transfert.



Ondulations de sorties.



Ondulation du courant dans l'inductance :

$$\Delta I_L = \frac{(1-a)a V_E}{LF}$$



Ondulation de la tension de sortie (ESR = 0 W)

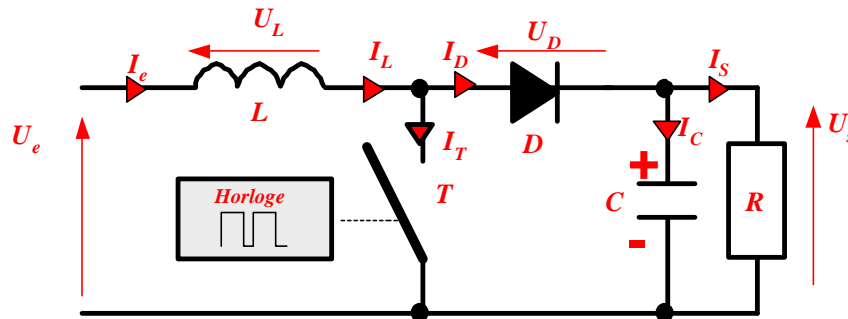
$$\Delta V_S = \frac{(1-a)a V_E}{8LCF^2}$$



LES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES.



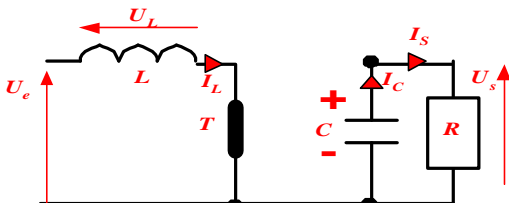
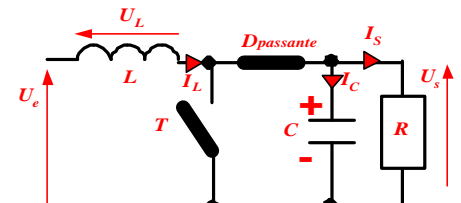
III.1.2) Convertisseur élévateur. → "BOOST"



$$V_s = \frac{1}{1-a} V_e \text{ avec } V_s > V_e$$

III.1.2.1) Principe de fonctionnement :

Le transistor **T** est commandé par une horloge **H**. Pendant ce temps haut de l'horloge (**PHASE N°1 de 0 à a T**), le transistor **T** est commandé et la bobine **L** emmagasine de l'énergie et le condensateur **C** restitue son énergie à la charge. Pendant le temps bas de l'horloge (**PHASE N°2 de a T à T**), le transistor est bloqué et la bobine **L** restitue l'énergie emmagasinée, la diode est passante donc **U_s** est supérieure à **U_e**.

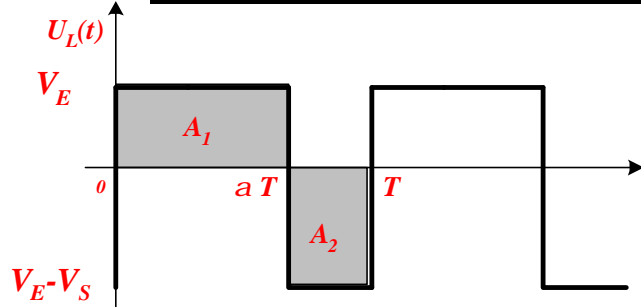
Phase N°1 (0 à a T)	Phase N°2 (a T à T)
<p>Explications : Le transistor est passant et la diode D est bloquée. Le condensateur restitue son énergie.</p>	<p>Explications : Le transistor est bloqué et c'est la bobine qui fournit l'énergie au montage, la diode D est passante.</p>
<p>Schéma équivalent :</p>	<p>Schéma équivalent :</p>
	
$U_L = U_E \text{ avec } U_S > U_E$	$U_S = U_E - U_L \text{ et } U_L = L \frac{d I_L}{dt}$
	<p>Comme le courant I_L diminue alors U_L < 0 en conséquence U_S > U_E</p>





III.1.2.2) Calcul de la fonction de transfert :

$$U_S = f(U_E)$$



$$A_1 = U_E aT$$

$$A_2 = (U_E - U_S)(T - aT)$$

La valeur moyenne de la tension aux bornes d'une bobine est toujours nulle :

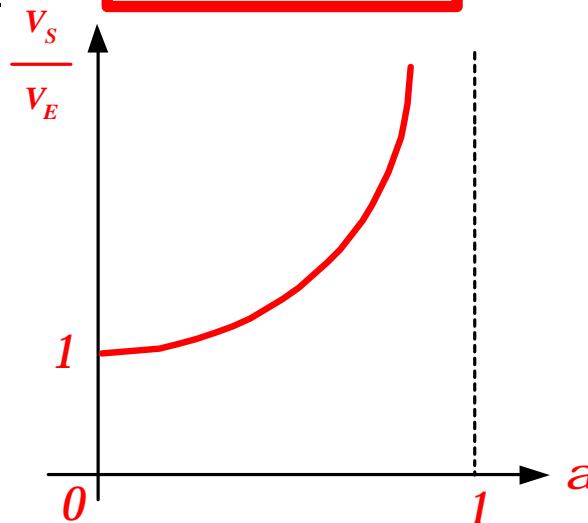
$$\langle U_L \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T U_L(t) dt = \frac{1}{T} [A_1 + A_2] = 0$$

$$U_E a + (U_E - U_S)(1 - a) = 0$$

$$\cancel{a} U_E + U_E - U_S - \cancel{a} U_E + a U_S = 0$$

$$U_S = \frac{U_E}{(1 - a)}$$

Courbe de transfert.



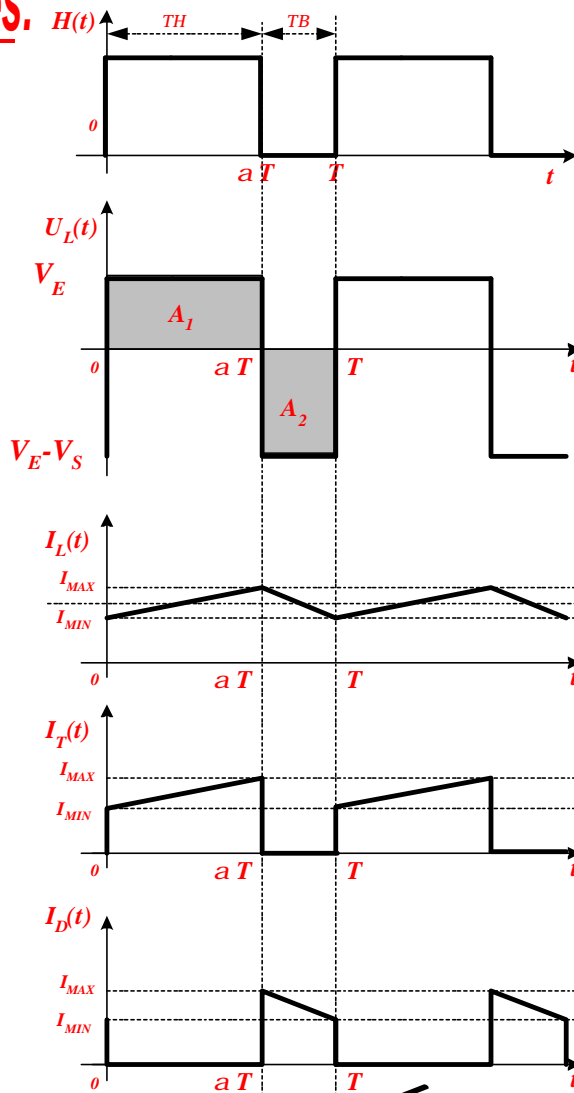
Les tensions élevées avec un rapport cyclique proche de 1 sont difficiles à atteindre à cause des imperfections des composants.

LES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES.

III.1.2.3) Etude des signaux:

Phase N°1 (0 à a T)	Phase N°2 (a T à T)
<p>1) I_L : Courant dans la bobine : Le courant dans la bobine augmente.</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 10px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $L \frac{di_L}{dt} = U_E$ $I_L(t) = \frac{U_E}{L} t + I_{\min}$ </div>	<p>1) I_L : Courant dans la bobine : Le courant dans la bobine diminue.</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 10px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $L \frac{di_L}{dt} = U_E - U_S$ $I_L(t) = -\frac{U_S - U_E}{L} t + I_{\max}$ </div>
<p>2) I_D : Courant dans la diode</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>La diode est bloquée : $I_D(t) = 0$</p> </div>	<p>3) I_D : Courant dans la diode</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>La diode est passante : $I_D(t) = I_L(t)$</p> </div>
<p>3) I_T : Courant dans le transistor</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>Le transistor est passant : $I_T(t) = I_L(t)$</p> </div>	<p>3) I_T : Courant dans le transistor</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>Le transistor est bloqué $I_T(t) = 0$</p> </div>

Les chronogrammes:



LES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES.

III.1.2.4) Choix des composants.

III.1.2.4.1) La bobine.

$$L = \frac{(1-a) a V_s}{\Delta I_L F}$$

F : Fréquence de travail du convertisseur, ΔI_L Ondulation crête à crête du courant dans la bobine.

Critères technologiques :

Les selfs utilisées dans les alimentations à découpage doivent en outre supporter les hautes fréquences (jusqu'à 100KHz). Il faut toujours choisir les modèles préconisés par les constructeurs.

III.1.2.4.2) Le condensateur.

$$C = \frac{a I_s}{F \Delta V_s}$$

ΔV_s Ondulation crête à crête de la tension de sortie.

Critères technologiques :

Les condensateurs utilisés dans les alimentations à découpage doivent avoir une faible résistance série (**ESR Effective Serie Resistor**).

III.1.2.4.3) Choix de la diode et du transistor T.

Le principal critère de choix de la diode doit être la rapidité, en effet les convertisseurs à découpage fonctionnent à des fréquences de l'ordre de la dizaine de kilohertz. On choisit par conséquent des diodes rapides comme les diodes **schottky**.

Pour le transistor, il doit posséder une faible résistance et commuter rapidement, on utilise souvent des transistors **MOS**.

III.1.2.5) Performances.

Rendement : Si on considère des composants parfaits ($V_{SAT}=0V$ et $V_{seuil}=0V$) le rendement est de **100%**, c'est-à-dire que l'on ne perd pas d'énergie ! !

En réalité la diode a une tension de seuil V_D et le transistor une tension V_{SAT} à ses bornes quand il conduit. On peut dans ces conditions calculer le rendement :

$$h = \frac{V_s (V_E - V_{sat})}{V_E (V_s + V_D - V_{sat})}$$

Avec cette équation on obtient des rendements de l'ordre de **80%** à **90%**, à comparer aux rendements des alimentations classiques de l'ordre de **50%**.

Ondulations de sorties.



Ondulation du courant dans l'inductance :



$$\Delta I_L = \frac{a V_E}{L F}$$



Ondulation de la tension de sortie (ESR = 0W):



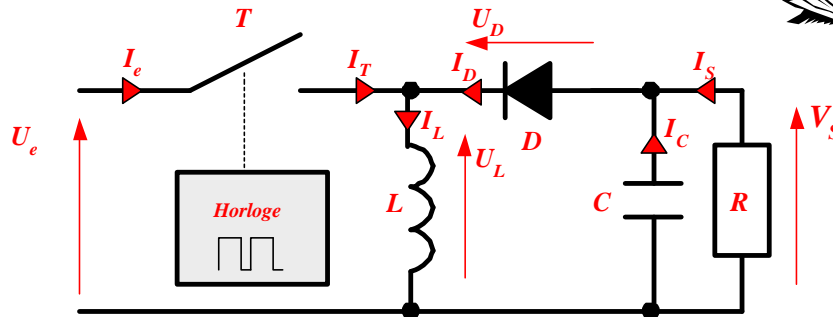
$$\Delta V_s = \frac{I_s a}{C F}$$



LES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES.



III.1.3) Convertisseur inverseur « BUCK - BOOST ».



$$V_s = -\frac{a}{1-a} V_e \text{ avec } V_s < 0$$

III.1.3.1) Principe de fonctionnement :

Le transistor **T** est commandé par une horloge **H**. Pendant le temps haut de l'horloge (**PHASE N°1 de 0 à a T**), le transistor **T** est commandé, la bobine **L** emmagasine de l'énergie et le condensateur **C** restitue son énergie à la charge. Pendant le temps bas de l'horloge (**PHASE N°2 de a T à T**), le transistor est bloqué et la bobine **L** restitue l'énergie emmagasinée, la diode est passante, le courant **I_L** diminue donc **U_L** change de signe et devient négative et par conséquent **U_s**.

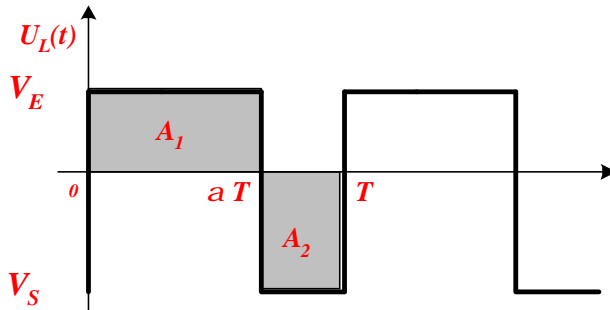
Phase N°1 (0 à a T)	Phase N°2 (a T à T)
<p>Explications : Le transistor est passant et la diode D est bloquée. Le condensateur restitue son énergie.</p>	<p>Explications : Le transistor est bloqué et c'est la bobine qui fournit l'énergie au montage, la diode D est passante.</p>
<p><u>Schéma équivalent :</u></p>	<p><u>Schéma équivalent :</u></p>
$U_L = U_E \text{ avec } U_S < U_E$	$U_S = -U_L \text{ et } U_L = L \frac{d I_L}{dt}$
	<p>comme le courant I_L diminue alors U_L < 0 en conséquence U_s > U_E</p>



LES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES.

III.1.3.2) Calcul de la fonction de transfert :

$$U_S = f(U_E)$$



$$A_1 = U_E aT$$

$$A_2 = U_S (T - aT)$$

La valeur moyenne de la tension aux bornes d'une bobine est toujours nulle :

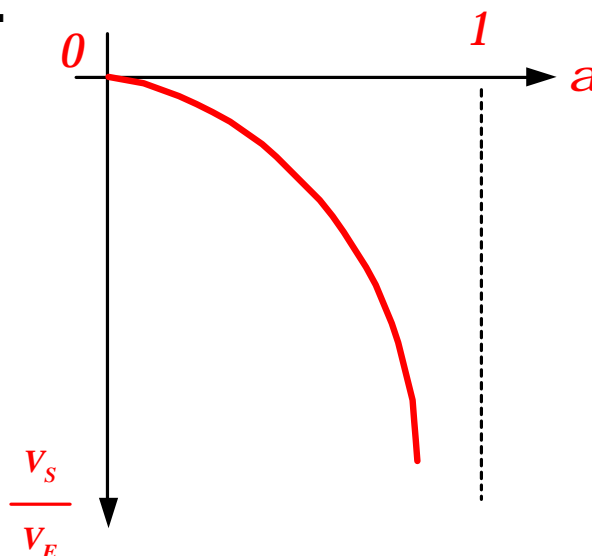
$$\langle U_L \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T U_L(t) dt = \frac{1}{T} [A_1 + A_2] = 0$$

$$U_E a + U_S (1 - a) = 0$$

$$a U_E + U_S - a U_S = 0$$

$$U_S = - \frac{a U_E}{(1 - a)}$$

Courbe de transfert.



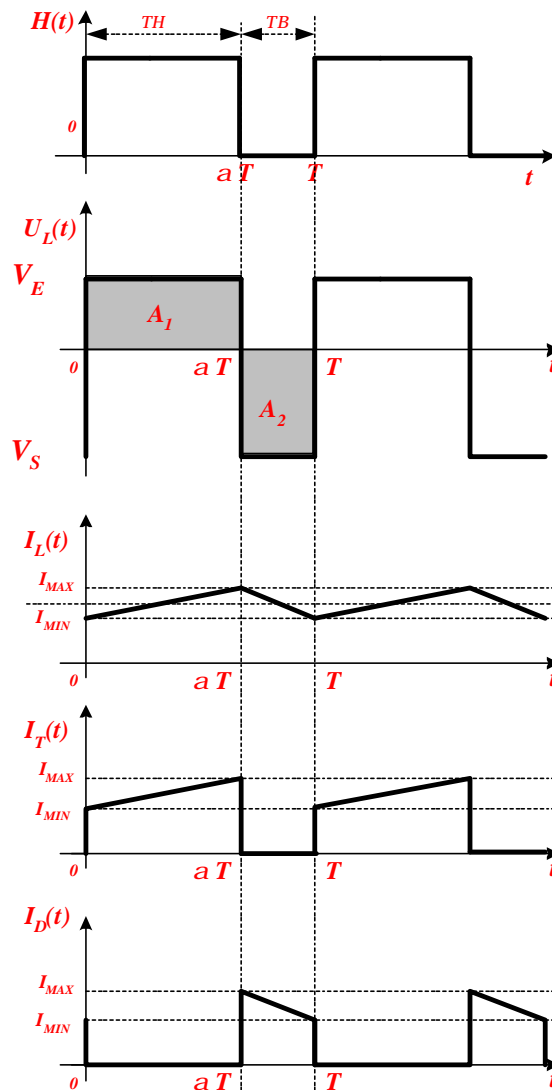
Les tensions élevées avec un rapport cyclique proche de **1** sont difficiles à atteindre à cause des imperfections des composants.

LES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES.

III.1.3.3) Etude des signaux

Phase N°1 (0 à a T)	Phase N°2 (a T à T)
<p>1) I_L : Courant dans la bobine : Le courant dans la bobine augmente.</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 10px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $L \frac{di_L}{dt} = U_E$ $I_L(t) = \frac{U_E}{L}t + I_{\min}$ </div>	<p>1) I_L : Courant dans la bobine : Le courant dans la bobine diminue.</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 10px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $L \frac{di_L}{dt} = U_S$ $I_L(t) = \frac{U_S}{L}t + I_{\max}$ </div>
<p>2) I_D : Courant dans la diode</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>La diode est bloquée : $I_D(t) = 0$</p> </div>	<p>4) I_D : Courant dans la diode</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>La diode est passante : $I_D(t) = I_L(t)$</p> </div>
<p>3) I_T : Courant dans le transistor</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>Le transistor est passant : $I_T(t) = I_L(t)$</p> </div>	<p>3) I_T : Courant dans le transistor</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>Le transistor est bloqué $I_T(t) = 0$</p> </div>

Les chronogrammes:





LES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES.

III.1.3.4) Choix des composants.

III.1.3.4.1) La bobine.

$$L = \frac{(1-a)|V_s|}{\Delta I_L F}$$

F : Fréquence de travail du convertisseur.

ΔI_L Ondulation crête à crête du courant dans la bobine.

Critères technologiques :

Les selfs utilisées dans les alimentations à découpage doivent en outre supporter les hautes fréquences (jusqu'à 100KHz). Il faut toujours choisir les modèles préconisés par les constructeurs.

III.1.3.4.2) Le condensateur.

$$C = \frac{a I_s}{F \Delta V_s}$$

ΔV_s Ondulation crête à crête de la tension de sortie.

Critères technologiques :

Les condensateurs utilisés dans les alimentations à découpage doivent avoir une faible résistance série (**ESR Effective Serie Resistor**). En effet l'ondulation de la tension de sortie est proportionnelle aux variations de courant du condensateur.

III.1.3.4.3) Choix de la diode et du transistor T.

Le principal critère de choix de la diode doit être la rapidité, en effet les convertisseurs à découpage fonctionnent à des fréquences de l'ordre de la dizaine de kilohertz. On choisit par conséquent des diodes rapides comme les diodes **schottky**.

Pour le transistor, il doit posséder une faible résistance et commuter rapidement, on utilise souvent des transistors **MOS**.

III.1.3.5) Performances.

Rendement : Si on considère des composants parfaits ($V_{SAT}=0V$ et $V_{seuil}=0V$) le rendement est de **100%**, c'est-à-dire que l'on ne perd pas d'énergie ! !

En réalité la diode a une tension de seuil V_D et le transistor une tension V_{SAT} à ses bornes quand il conduit. On peut dans ces conditions calculer le rendement :

$$h = \frac{V_s (V_E - V_{sat})}{V_E (V_s + V_D)}$$

Avec cette équation on obtient des rendements de l'ordre de **80%** à **90%**, à comparer aux rendements des alimentations classiques de l'ordre de **50%**.

Ondulations de sorties.

➤ **Ondulation du courant dans l'inductance :**

$$\Delta I_L = \frac{a V_E}{L F}$$

➤ **Ondulation de la tension de sortie (ESR = 0W):**

$$\Delta V_s = \frac{I_s a}{C F}$$



LES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES.



IV) Bibliographie.

- ✓ **Alimentations à découpage** Michel GIRARD DUNOD.
- ✓ **Alimentations linéaires** Michel GIRARD _DUNOD.
- ✓ **Les alimentations électroniques** Pierre Mayé -DUNOD.
- ✓ **Les alimentations électroniques.** R. DAMAYE
- ✓ **Documents Techniques "constructeurs".**
- ✓ **Mes cours "Electronique technique Industrielle du C.N.A.M "**
- ✓ **Internet.**

 **elektor**
magazine



Ce document est la propriété intellectuelle de son auteur.

Sciences de l'Ingénieur

Labo Electronique / Robotique.



page 44 / 44

La fin de ce poly !

Richard KOWAL !



'Electronique !



Notes personnelles...



Document de travail





ELECTRONIQUE / ROBOTIQUE.

l'Electronique !



Notes personnelles...



Document de travail

