

ALIMENTATIONS A DECOUPAGE

INTRODUCTION AUX ALIMENTATIONS A DECOUPAGE

Les alimentations à découpage sont des convertisseurs continu-continu alimentés à partir du réseau redressé et filtré; la sortie est souvent isolée galvaniquement de l'entrée grâce à un *transformateur d'isolement* (fonctionnant à fréquence relativement élevée de manière à réduire sa taille et à faciliter le filtrage). Ce transformateur peut également contribuer à abaisser ou élever la tension.

La tension de sortie délivrée par les convertisseurs continu-continu est généralement réglable et maintenue constante par un circuit de régulation que nous n'étudierons pas ici. Notons simplement que pour sauvegarder un éventuel isolement entre l'entrée et la sortie, la boucle de régulation doit elle-même comporter un dispositif d'isolement (photo-coupleur, transformateur...)

Les interrupteurs semiconducteurs utilisés dans les structures d'alimentation à découpage sont essentiellement le transistor de puissance et le MOS de puissance.

Les puissances des alimentations à découpage vont de quelques watts à quelques kilowatts.

Le chapitre H10 sera consacré à l'étude des alimentations à découpage non isolées, nous les appellerons, convertisseurs continu-continu non isolés ("dévolteur", "survolteur", "survolteur-dévolteur").

Ensuite comme introduction à l'étude des alimentations avec isolement, nous étudierons dans le chapitre H15, le fonctionnement du transformateur dans les conditions particulières de ces alimentations

Dans le chapitre H30, nous étudierons les convertisseurs continu-continu avec isolement.

CONVERTISSEURS CONTINU-CONTINU

NON ISOLEES

1/ INTRODUCTION

1-1/ Généralités

Les convertisseurs continu-continu permettent d'obtenir une tension continue fixe ou variable à partir d'une tension continue quelconque .

La tension continue de départ peut être par exemple une batterie d'accumulateurs, une batterie de cellules solaires ou encore le réseau alternatif redressé et filtré.

On distingue les convertisseurs continu-continu non isolés et les convertisseurs avec transformateur d'isolement.

Nous étudions dans ce chapitre les convertisseurs continu-continu non isolés.

1-2/ Hypothèses:

- la tension de sortie est supposée suffisamment bien filtrée pour pouvoir être considérée comme une tension continue malgré la présence d'une légère ondulation résiduelle que nous négligerons dans un premier temps.

- la tension d'alimentation à l'entrée sera supposée parfaitement continue et constante.
- les interrupteurs (semiconducteurs) sont supposés idéaux.

2/ STRUCTURES DE BASE DES CONVERTISSEURS CONTINU- CONTINU NON ISOLEES

Cahier des charges:

- la source à l'entrée du convertisseur est une source de tension continue E .

- la sortie est également considérée comme une source de tension continue V_S
- la charge est assimilable à une résistance R .
- on ne désire pas réaliser un convertisseur réversible

Pour obtenir effectivement une source de tension aux bornes de la charge, on place un condensateur C en parallèle sur R .

Pour respecter les règles de connexion entre sources il faut disposer une inductance L entre l'entrée et la sortie (Figure 1a).

La position de cette inductance va déterminer la structure du convertisseur :

- l'inductance L peut se trouver côté sortie, en aval des semiconducteurs : on transforme la sortie en une branche courant (figure 1b).
- elle peut se trouver à l'entrée, en amont des semiconducteurs : on transforme l'entrée en une branche courant (figure 1c).
- elle peut occuper une position intermédiaire, entre les semiconducteurs, faisant tampon entre l'entrée et la sortie (figure 1d).

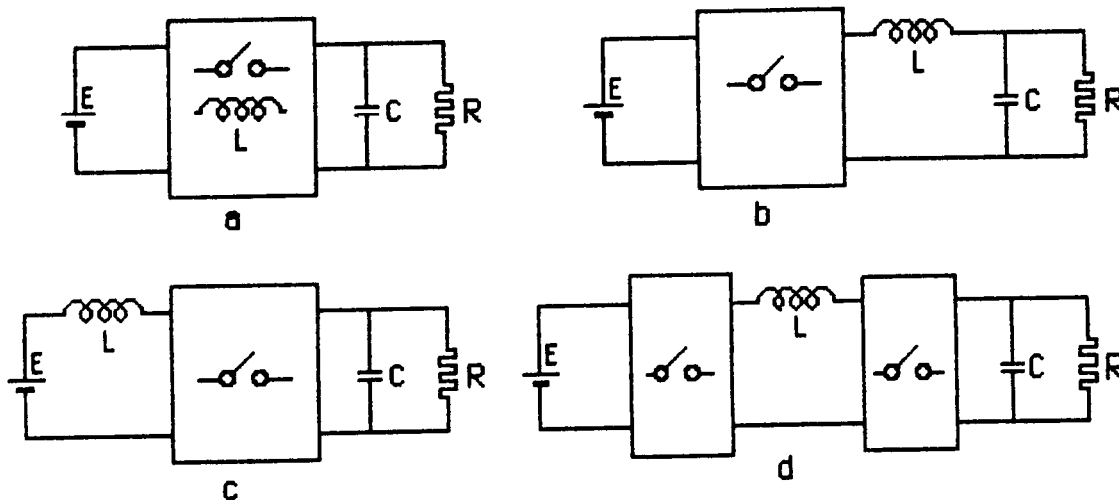


Figure 1 : Schéma de principe des alimentations continu-continu

Sachant par ailleurs que ces convertisseurs sont en général non réversibles, on peut effectuer la synthèse de ces trois structures, (voir le chapitre sur la synthèse des convertisseurs).

2- 1/Montage Dévolteur (Buck)

Il s'agit des convertisseurs dans lesquels l'inductance se trouve côté sortie (figure 1b). Le convertisseur élémentaire restant à déterminer est donc un convertisseur tension-courant non réversible. Il conduit au schéma de la figure 2, comportant un interrupteur commandé à l'amorçage et au blocage

(transistor, MOS ...) et un interrupteur à blocage et amorçage spontanés (diode)

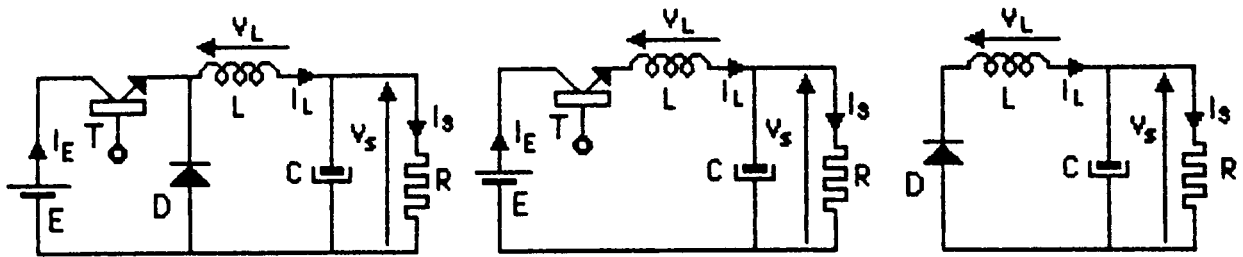


Figure 2: montage Dévolteur ou Buck

Pendant le temps t_f , temps de conduction de T, la source E alimente l'inductance L et la charge. Au bout du temps t_f , on bloque T et c'est alors la diode D qui conduit le courant. Nous verrons dans le paragraphe suivant que la tension de sortie V_s est inférieure à la tension d'entrée E, d'où le nom de ce montage.

2-2/ Montage Survolteur (Boost)

La synthèse du convertisseur courant-tension non réversible (continu-continu) de la figure 1c conduit au schéma de la figure 3, comprenant également un interrupteur commandé au blocage et à l'amorçage, et une diode.

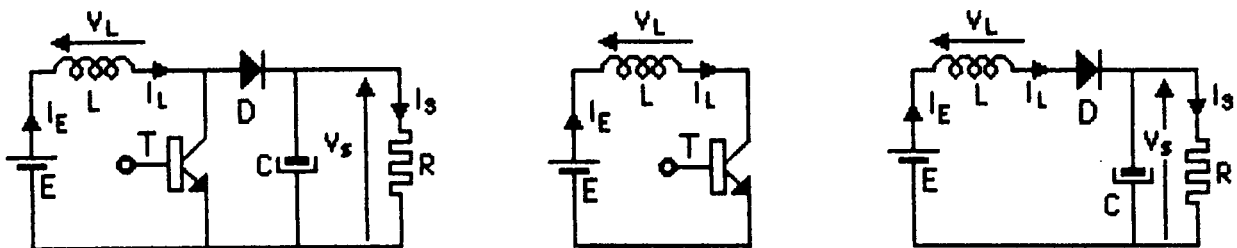


Figure 3: montage Survolteur ou Boost

L'interrupteur T conduit pendant le temps t_f , c'est le temps pendant lequel l'inductance L emmagasine de l'énergie. Au bout du temps t_f on bloque T pendant le temps t_0 . L'inductance L restitue alors son énergie à la charge. Elle le fait en étant en série avec la source E, ce qui permet d'avoir un montage survolteur.

2-3/ Montage Survolteur-Dévolteur (Buck-Boost)

Si on place l'inductance L en tampon entre les interrupteurs (voir figure 1d), on constate que l'on doit réaliser :

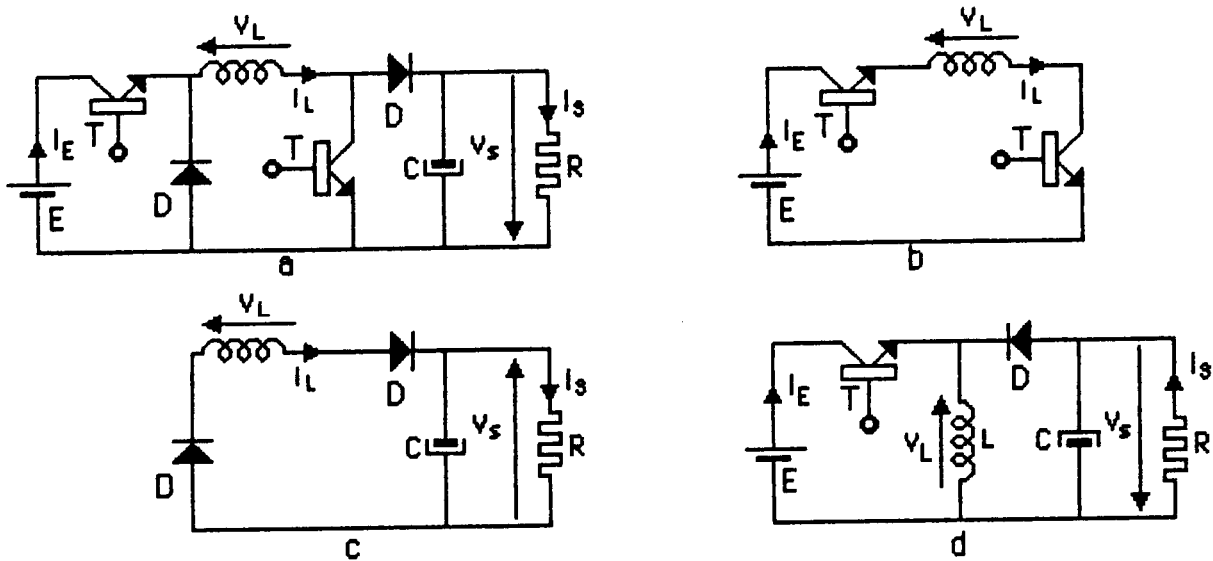


Figure 4 : Montage Survolteur-Dévolteur ou Buck-Boost

- côté entrée : un convertisseur tension-courant comme au § 2-1
- côté sortie : un convertisseur courant-tension comme au § 2-2

On obtient donc un convertisseur indirect tension-tension constitué des deux convertisseurs élémentaires précédemment synthétisés placés de part et d'autre de l'inductance L (figure 4a).

Ce nouveau convertisseur comporte donc deux interrupteurs commandés à l'amorçage et au blocage (ainsi que deux diodes).

Or, pour effectuer le contrôle de puissance, il n'est pas nécessaire de disposer de deux semi-conducteurs contrôlés indépendamment, donc T_1 et T_2 peuvent être commandés au synchronisme.

On peut alors chercher s'il n'est pas possible de réduire le nombre de composants. Pour cela, analysons les séquences de fonctionnement (fig 4b et 4c) :

- Séquence 1 : T_1 et T_2 sont conducteurs, D_1 et D_2 bloquées. Le circuit de la figure 4a se réduit à celui de la figure 4b. Un courant I circule à travers la maille E, T_1 , L et T_2 ; l'inductance L emmagasine une énergie $(1/2) LI^2$.

L est isolée de la sortie par D_2 bloquée.

- Séquence 2 : T_1 et T_2 bloqués, D_1 et D_2 conducteurs. Le circuit se réduit à celui de la figure 4c. L'inductance L se comportant comme une source de courant, le courant I qui la traversait se referme par D_1 et D_2 à travers V_s . L'énergie précédemment emmagasinée est envoyée à la sortie.

L est isolée de l'entrée par $TP1$ bloqué.

On constate donc que l'inductance L est connectée soit au circuit d'entrée, soit au circuit de sortie, mais jamais aux deux en même temps.

On voit aisément que les deux séquences précédentes : stockage d'énergie dans l'inductance et

restitution de cette énergie côté sortie, peuvent être obtenues à l'aide d'un seul interrupteur commandé et d'une seule diode conformément au schéma de la figure 4d.

T conducteur : stockage d'énergie. D conductrice : transfert d'énergie dans la charge.

Ce montage présente la particularité de pouvoir délivrer à la sortie une tension V_S inférieure ou supérieure à E selon les durées respectives des deux séquences : conduction et blocage de T.

On notera d'autre part que la tension de sortie est inversée par rapport à celle des montages précédents, aussi nous avons compté V_S en sens inverse.

3/ ETUDE DU FONCTIONNEMENT EN REGIME PERMANENT ET CONDUCTION CONTINUE

Pour effectuer cette étude, nous supposerons que l'ondulation résiduelle de la tension V_S est suffisamment faible, pour être négligée devant sa valeur moyenne et que L est une inductance pure.

Les grandeurs imposées par le cahier des charges sont en général : la tension de sortie V_S , le courant de charge I_S . Par ailleurs, le taux d'ondulation de courant ΔI_L dans l'inductance et le taux d'ondulation de tension ΔV_S conditionnent la détermination des éléments L et C . Il faudra donc nous intéresser à ces grandeurs dans les trois montages.

Pour le dimensionnement des semi-conducteurs, il sera aussi intéressant de connaître les formes d'onde du courant dans les interrupteurs et de la tension aux bornes.

Il nous faudra connaître aussi le courant I_E dans la source E , et le courant I_C .

Les variables d'état de ces montages sont : la tension V_S aux bornes du condensateur C , le courant I_L dans l'inductance. C'est donc, à partir de ces deux grandeurs que l'on pourra exprimer toutes les autres.

Pour le calcul de ces différentes grandeurs, nous utiliserons essentiellement les propriétés physiques suivantes :

- la tension moyenne aux bornes d'une inductance est nulle
- le courant moyen dans un condensateur est nul
- la puissance moyenne à l'entrée du convertisseur est égale à la puissance de sortie puisque nous avons supposé tous les éléments parfaits.

3- 1/ Montage Dévolteur

3- 1- 1/ Formes d'onde

T_p est conducteur pendant le temps t_p . Durant cette séquence, puisque la tension aux bornes de la charge est constante et égale à V_S , la tension aux bornes de l'inductance est $V_L = E - V_S$. Le courant I_L

dans l'inductance est donc linéaire .

Au blocage de T, la diode D devient conductrice, on a : $V_L = -V_S$, le courant I_L décroît pendant le temps t_0 .

La figure 5 donne les courbes $V_L(t)$ et $I_L(t)$. Elle donne aussi les courants dans les semi-conducteurs et dans la source E, et la tension aux bornes des semi-conducteurs.

3-1-2/ Calcul de V_S et schéma équivalent

On sait que la tension moyenne aux bornes d'une inductance est nulle, cela s'écrit ici :

$$(1/T) [(E - V_S) t_f - V_S t_0] = 0$$

d'où l'on déduit $E t_f = V_S T$ c'est à dire

$$V_S = \mathcal{R} E \text{ avec } \mathcal{R} = t_f / T$$

Puisque $\mathcal{R} < 1$ on a $V_S < E$, d'où le nom de montage dévolteur

On remarquera que la fonction remplie par les interrupteurs T et D permet une analogie avec le rapport de transformation d'un transformateur. Ici le rapport de transformation est égal à \mathcal{R} . Cela nous donne le schéma équivalent du convertisseur vis à vis des grandeurs continues et des valeurs moyennes représenté sur la figure 9.

3-1-3/ Calcul de I_S

Il est intéressant d'exprimer I_S en fonction de I_L .

Nous pouvons écrire la loi des noeuds : $I_L = I_C + I_S$

Nous voyons sur la figure 5 que I_L est la somme d'une composante continue $I_L(\text{moy})$ et d'une composante

alternative $I_L(\text{alt})$:

$$I_L = I_L(\text{moy}) + I_L(\text{alt})$$

soit $I_L(\text{moy}) + I_L(\text{alt}) = I_C + I_S$

On sait que $I_C(\text{moy}) = 0$

D'autre part, comme l'on a supposé que la tension V_S était constante, I_S n'a pas de composante alternative. Il vient donc :

$$I_S = I_L(\text{moy})$$

$$I_C = I_L(\text{alt})$$

Si l'on veut exprimer I_S en fonction des grandeurs d'entrée, c'est-à-dire I_E , on peut écrire :

$$E I_E(\text{moy}) = V_S I_S \text{ d'où } I_E = \mathcal{R} I_S$$

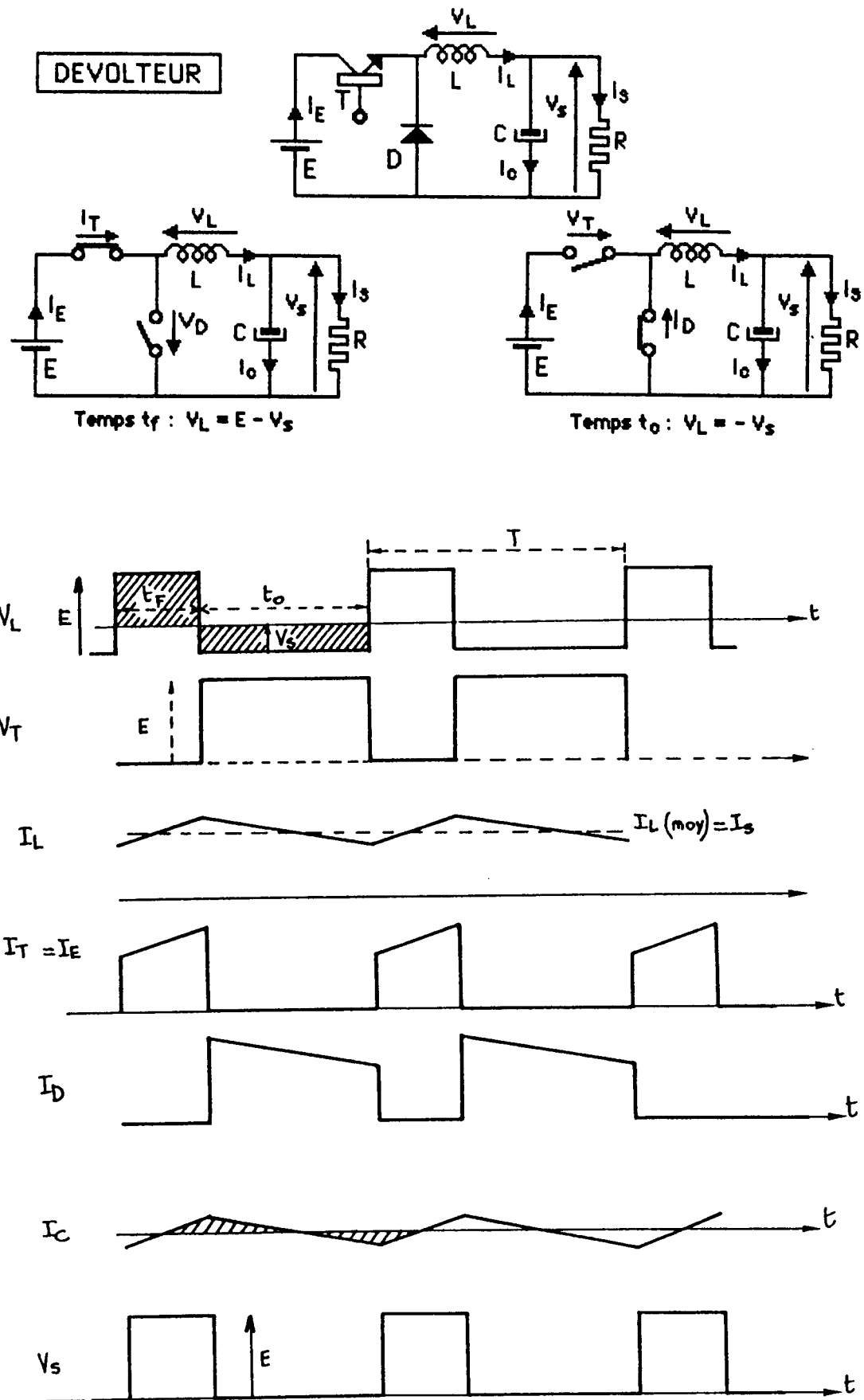


Figure 5 : Montage Dévolteur en conduction continue

3-1-4/ Ondulation de courant ΔI_L

Pour calculer l'ondulation de courant ΔI_L dans l'inductance on utilise l'expression

$$V_L = L (di_L) / dt \text{ qui donne durant le temps } t_f \quad \Delta I_L = t_f (E - V_S) / L$$

qui s'écrit aussi $\Delta I_L = \mathcal{R} (\mathcal{R} - 1) (E / f L)$

Cette ondulation est maximale pour $\mathcal{R}=1/2$ et égale à $E/4Lf$

3-1-5/ Ondulation de tension ΔV_S

Jusqu'ici nous avons négligé l'ondulation de tension ΔV_S . En fait, cette ondulation est faible mais elle existe, car le courant $i_C = i_L$ (alt) provoque, dans le cas où la résistance du condensateur est nulle, une chute de tension qui se réduit à

$$V_C = \frac{1}{C} \int i_C dt$$

Nous voyons sur la figure 6 que $\Delta V_S = \Delta V_{s1} + \Delta V_{s2}$ avec

$$\Delta V_{s1} = \frac{1}{C} \int_0^{\frac{t_f}{2}} \frac{\Delta I_L}{t_f} t dt$$

et

$$\Delta V_{s2} = \frac{1}{C} \int_0^{\frac{t_o}{2}} \frac{\Delta I_L}{t_o} t dt$$

ce qui nous donne

$$\Delta V_S = \frac{\Delta I_L}{8fC}$$

Nous verrons plus loin ce que devient cette ondulation lorsque la résistance du condensateur est grande.

3-2/ Montage Survolteur

La figure 7 donne les formes d'onde des grandeurs intéressantes pour ce montage.

a/ De V_L , tension aux bornes de l'inductance L, on déduit :

$$t_f E = t_o (V_S - E) \text{ d'où l'on tire}$$

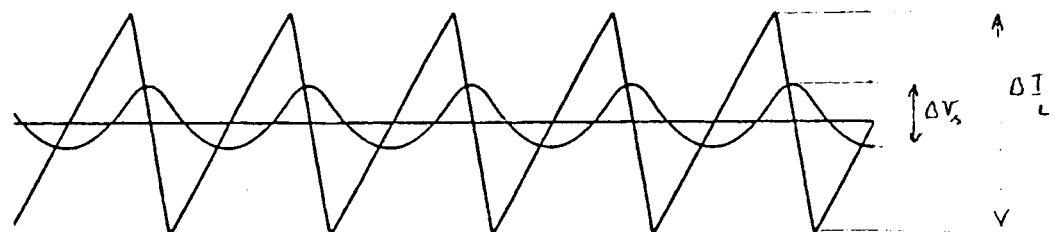


Figure 6

SURVOLTEUR

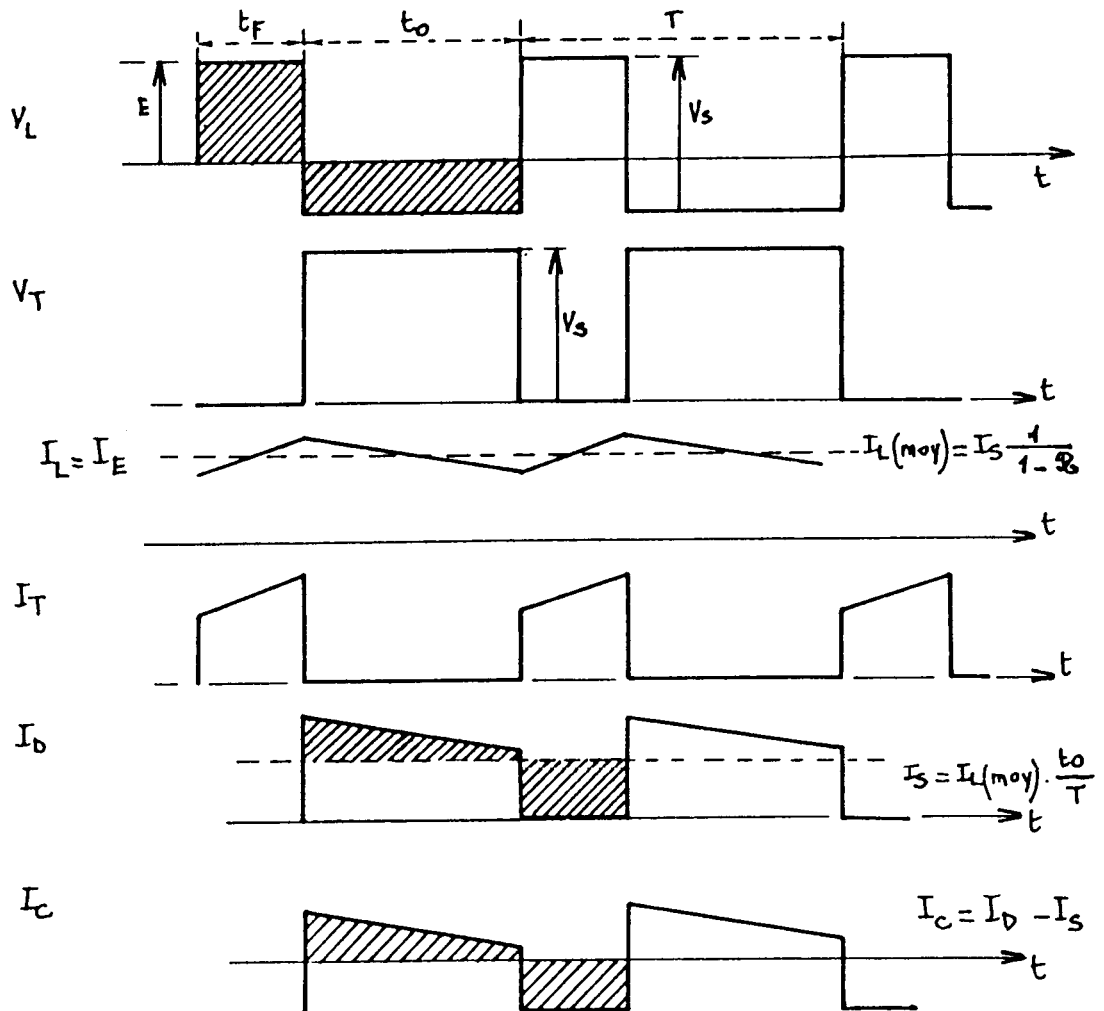
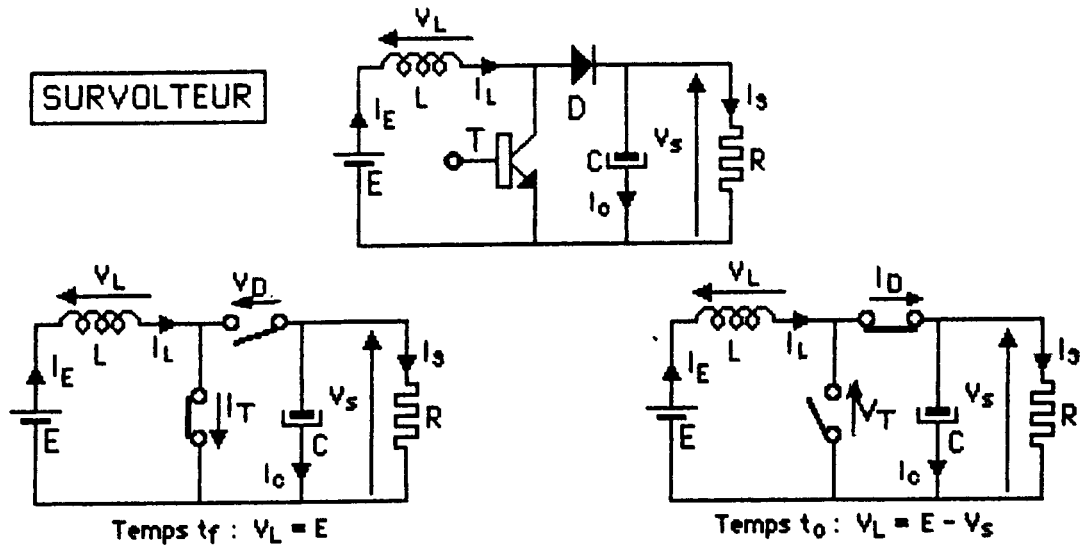


Figure 7 : Montage survolteur en conduction continue