

excessive de sa tension.

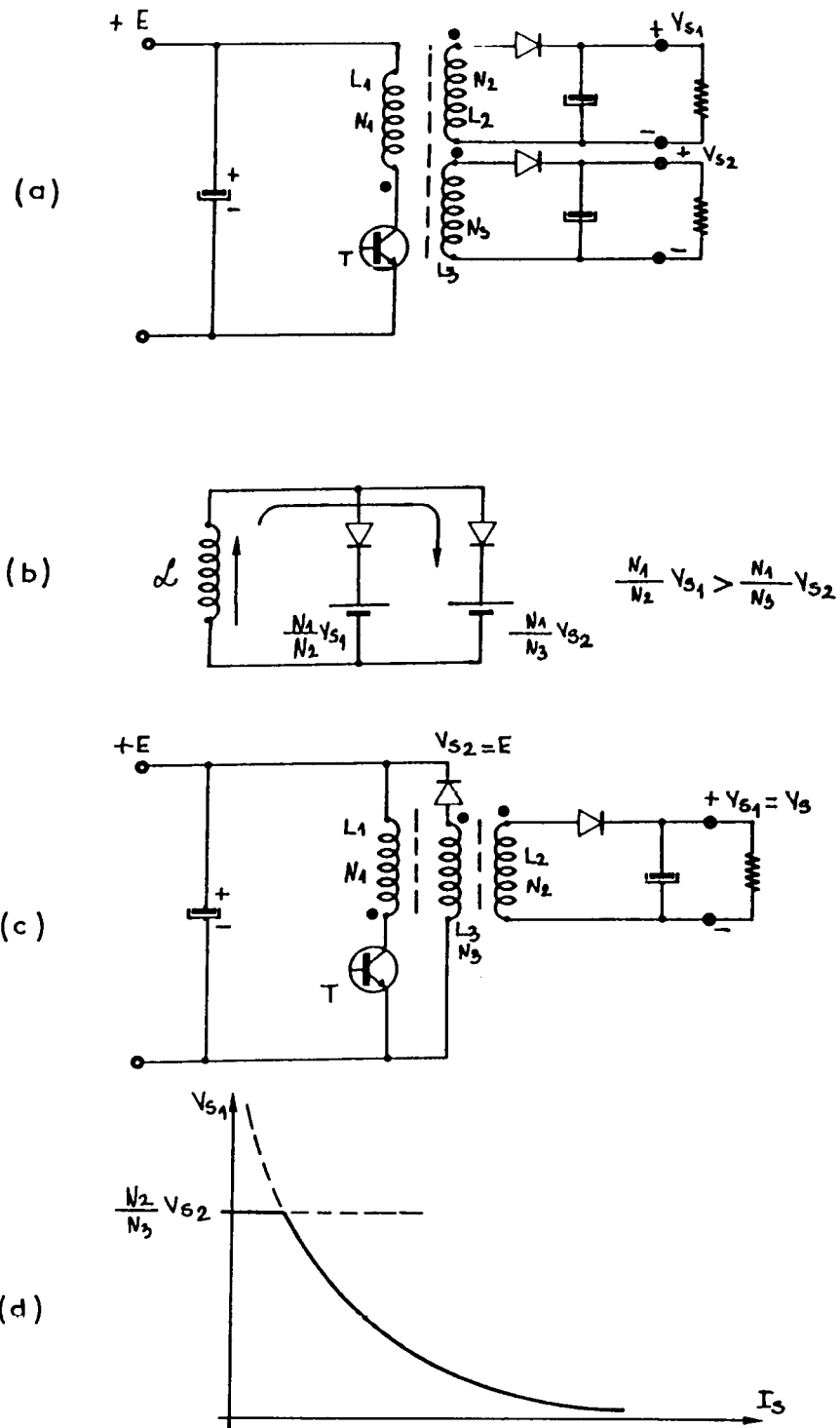


Figure 5 : Fly-Back à sorties multiples

3 - 4 / Fly-Back en demi-pont asymétrique

3 - 4 - 1/ Structure

Dans les structures vues jusqu'à présent, la tenue en tension du transistor doit être supérieure à E (2 fois E généralement). Ceci exclut, à l'heure actuelle, l'alimentation à partir du réseau alternatif 380 volts (soit 500 v. continu environ après redressement et filtrage, donc plus de 1000 volts de tenue en tension des transistors, compte tenu de la marge de sécurité).

D'autre part, l'influence de l'inductance de fuite du transformateur, que nous avons négligée jusqu'à présent, se traduit par une surtension aux bornes du transistor au moment du blocage ($v = L di/dt$) qui s'ajoute à la tension théorique.

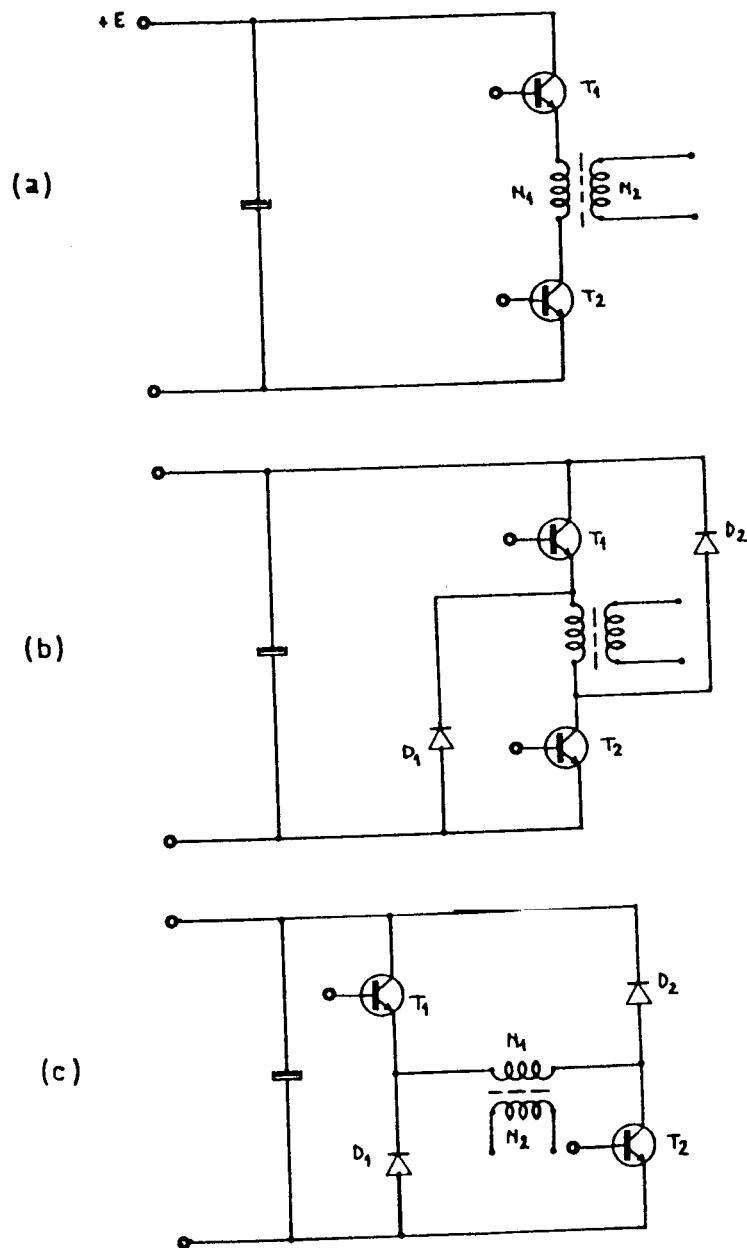


Figure 6 : Synthèse du Fly-Back en demi-pont asymétrique

Pour réduire la tenue en tension des transistors, on peut utiliser *deux transistors qui se partageront la tension lorsqu'ils seront bloqués*. Si la tension totale à supporter est égale à 2 fois E, chacun n'aura que E à supporter, en admettant que les deux transistors se partagent également cette tension. On aboutit ainsi au schéma de la figure 6a. En rajoutant deux diodes D_1 et D_2 comme indiqué sur la figure 6b, on interdit à toute tension supérieure à E d'apparaître aux bornes de chacun des 2 transistors (diodes d'écrêtage). En redessinant ce schéma conformément à la figure 6c, on obtient une sorte de pont dont une diagonale est constituée par les deux transistors et l'autre par les deux diodes. On appelle cette structure "demi-pont" asymétrique par analogie avec le demi-pont, du fait qu'elle ne comporte que deux interrupteurs commandés.

Cette structure est représentée sur la figure 7. Le circuit au secondaire est en tous points identique à celui du Fly-Back. Le pointage des enroulements est tel que D_3 soit bloquée quand les transistors conduisent.

Les diodes D_1 et D_2 empêchent toute tension supérieure à E d'apparaître aux bornes des transistors.

3 -4 -2/ Fonctionnement

Les transistors T_1 et T_2 sont commandés en synchronisme. Le fonctionnement est celui du Fly-Back (alimentation à accumulation) en démagnétisation complète ou incomplète, avec possibilité de fonctionnement à vide.

- Lorsque T_1 et T_2 sont conducteurs, on stocke de l'énergie dans l'inductance magnétisante \mathcal{L} . (D_3 bloquée). La tension au primaire est égale à E.

- Lorsqu'on bloque T_1 et T_2 , l'énergie accumulée est transférée côté sortie à travers la diode D_3 ; la tension au secondaire devient égale à V_s , donc la tension au primaire devient égale à

$$V_s / k = (N_1 / N_2) V_s \quad \text{en valeur absolue (elle est en sens inverse de la première séquence).}$$

Remarque : pour que l'énergie soit effectivement envoyée au secondaire, il faut que V_s/k soit inférieur à E (voir le Fly-Back à enroulements multiples); si ce n'est pas le cas (marche à vide par exemple) l'énergie est renvoyée vers E à travers D_1 et D_2 . (récupération)

Les formes des courants et tensions (figure 7) sont les mêmes que pour le Fly-Back, excepté pour les tensions aux bornes des transistors qui sont divisées par deux, soit : $(E + V_s/k)/2$ en admettant qu'ils se partagent également la tension. Cette tension est inférieure à E puisque V_s/k est inférieur à E.

A cause des *inductances de fuite* du transformateur, on a une surtension au moment du blocage, et la tension réelle aux bornes des transistors devient supérieure à la tension théorique $(E + V_s/k)/2$.

Toutefois, grâce aux diodes D_1 et D_2 , la tension aux bornes de chacun des transistors ne peut pas

dépasser E (en négligeant la tension directe aux bornes des diodes lorsqu'elles s'amorcent). L'énergie emmagasinée dans les inductances de fuites est alors renvoyée vers la source E .

Les tensions de sortie ont la même expression que pour le Fly-Back. Notons simplement que le rapport cyclique doit rester inférieur à $1/2$ puisque la tension au primaire ne peut pas dépasser E lorsque les transistors sont bloqués.

Les avantages du Fly-Back en demi-pont asymétrique sont donc :

- fonctionnement possible à partir du réseau 220 v ou 380 v alternatif avec les transistors actuels.
- protection en tension des transistors
- possibilité de marche à vide.

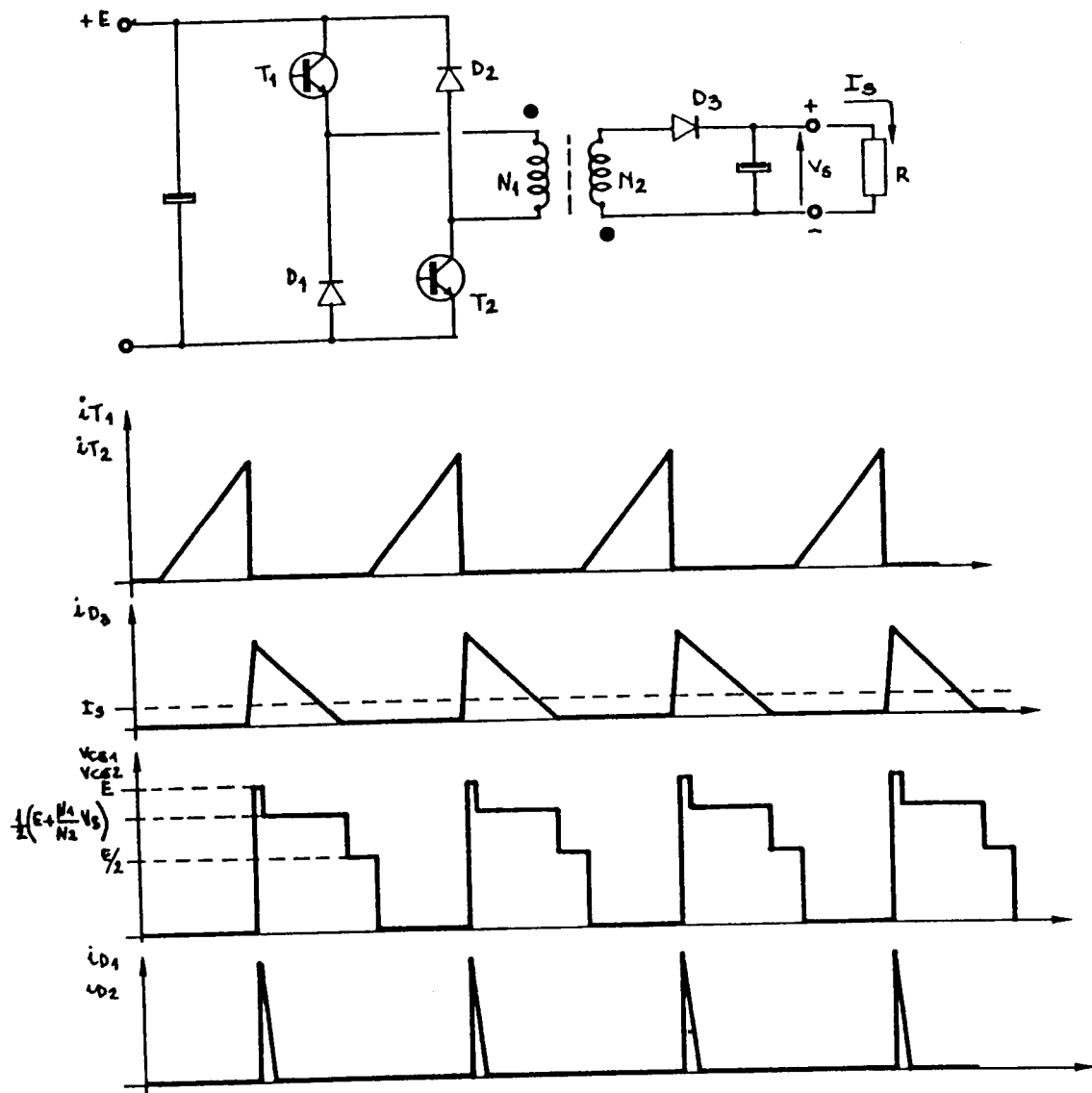


Figure 7 : Fly-Back en demi-pont asymétrique

3-5/ Conclusion sur le Fly-Back

En conclusion sur ces différents montages Fly-Back nous pouvons dire qu'ils mettent en jeu un nombre minimal de composants actifs mais qu'on leur préférera d'autres solutions pour les raisons suivantes :

- le circuit magnétique du transformateur doit avoir un volume lui permettant de stocker l'énergie W demandée par la charge. A puissance égale, il est plus volumineux qu'un transformateur d'alimentation directe utilisé dans le Forward que nous allons étudier
- l'ondulation de courant dans les diodes et le condensateur de filtrage est élevée avec des flancs raides et les composants sont très sollicités
- il y a nécessité d'une protection en courant

4 /ALIMENTATION DIRECTE (FORWARD)

4 - 1/ Structure du Forward

Considérons le schéma du convertisseur continu-continu dévolteur ("buck") de la figure 8a. Nous avons vu dans un précédent chapitre qu'il s'agit en réalité, du point de vue de la structure, d'un convertisseur tension-courant (entrée: source de tension E ; sortie: branche courant L ; L et C constituent un filtre permettant d'obtenir aux bornes de R une tension continue, égale à la tension moyenne de sortie). Le *transfert d'énergie est direct* (pas d'élément de stockage)

Nous pouvons donc envisager d'insérer un transformateur *transparent*. (pointage des enroulements tel que primaire et secondaire conduisent ensemble)

Etant donné que le transformateur ne peut fonctionner qu'en alternatif, le seul endroit où nous pouvons insérer le primaire se trouve entre le transistor et L (existence d'une tension variable sur l'émetteur de T).

Envisageons le schéma de la figure 8 b: nous trouvons alors une diode en parallèle sur le primaire; or cette configuration est interdite.

Envisageons le schéma de la figure 8c: la diode se trouve en parallèle sur le secondaire; cette configuration est également interdite. Notons toutefois que cette diode qui a pour rôle d'assurer la continuité du courant circulant dans l'inductance (diode de "roue-libre") peut être isolée du secondaire par une seconde diode (figure 8d): la diode de roue-libre n'impose plus alors $V_2 = 0$ pendant sa conduction.

N.B. La diode d'isolement ne permet la circulation d'un courant que vers la charge, mais nous ne cherchons pas de réversibilité.

Ceci ne suffit pas pour résoudre le problème de la démagnétisation: en effet le blocage de T va entraîner simultanément (figure 8e):

- ouverture de l'enroulement primaire

- ouverture de l'enroulement secondaire (le sens de V_2 entraîne le blocage de la diode d'isolement)
- amorçage de la diode de roue-libre (continuité de I_L)

Le primaire et le secondaire étant ouverts, il n'y a aucun chemin assurant la continuité du courant magnétisant. Or, le flux et l'énergie magnétisante stockée dans le noyau ne doivent pas subir de discontinuité. Il faut donc créer ce chemin en fermant une maille supplémentaire aux bornes de l'inductance magnétisante \mathcal{L} lorsque les circuits primaire et secondaire s'ouvrent (amorçage de D_3 , figure 8f). En outre, pour que la tension moyenne aux bornes de \mathcal{L} puisse être nulle, cette maille devra comporter une source de tension E_C de signe opposé à E . (force contre-électromotrice E_C)

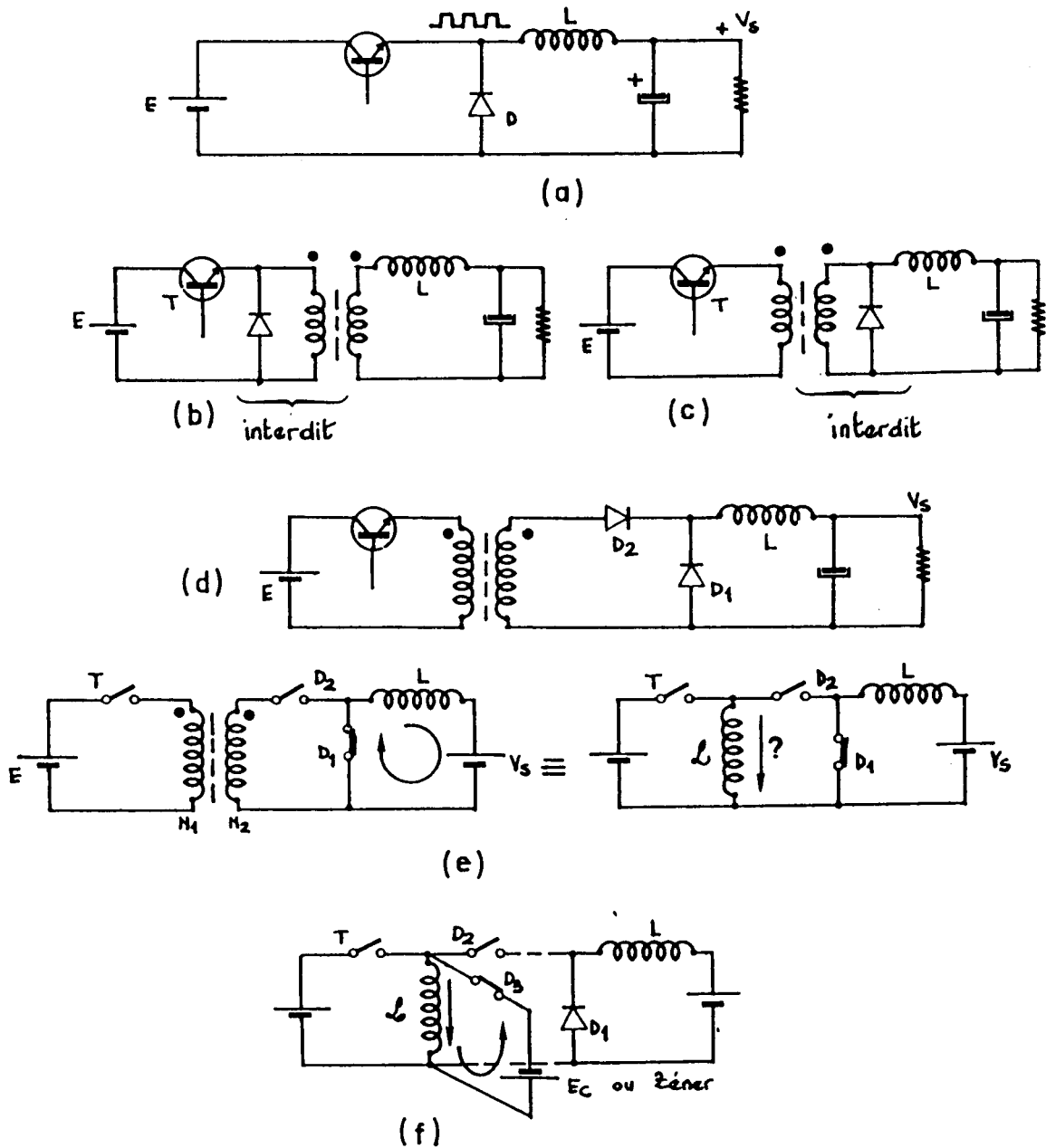


Figure 8 : Synthèse du convertisseur direct (Forward)

Pour les faibles puissances, on peut utiliser comme force contre-électromotrice E_c une diode Zener, qui doit être capable de dissiper l'énergie $\mathcal{L} I_m^2 / 2$ stockée dans \mathcal{L} (figure 9a).

Pour les puissances plus élevées, le problème peut être résolu par l'adjonction d'un troisième enroulement (*enroulement de démagnétisation*) qui devra conduire dès l'ouverture du primaire et du secondaire et assurer ainsi la continuité du flux pendant toute la durée du blocage de T (amorçage de la diode D_3).

L'enroulement de démagnétisation, étant le seul à conduire, se comporte comme une inductance ; il doit donc se refermer sur une source de tension (force contre-électromotrice E_c). En inversant le sens du troisième enroulement, on peut utiliser comme force contre-électromotrice, soit la source de tension à l'entrée E, soit la source de tension à la sortie V_s .

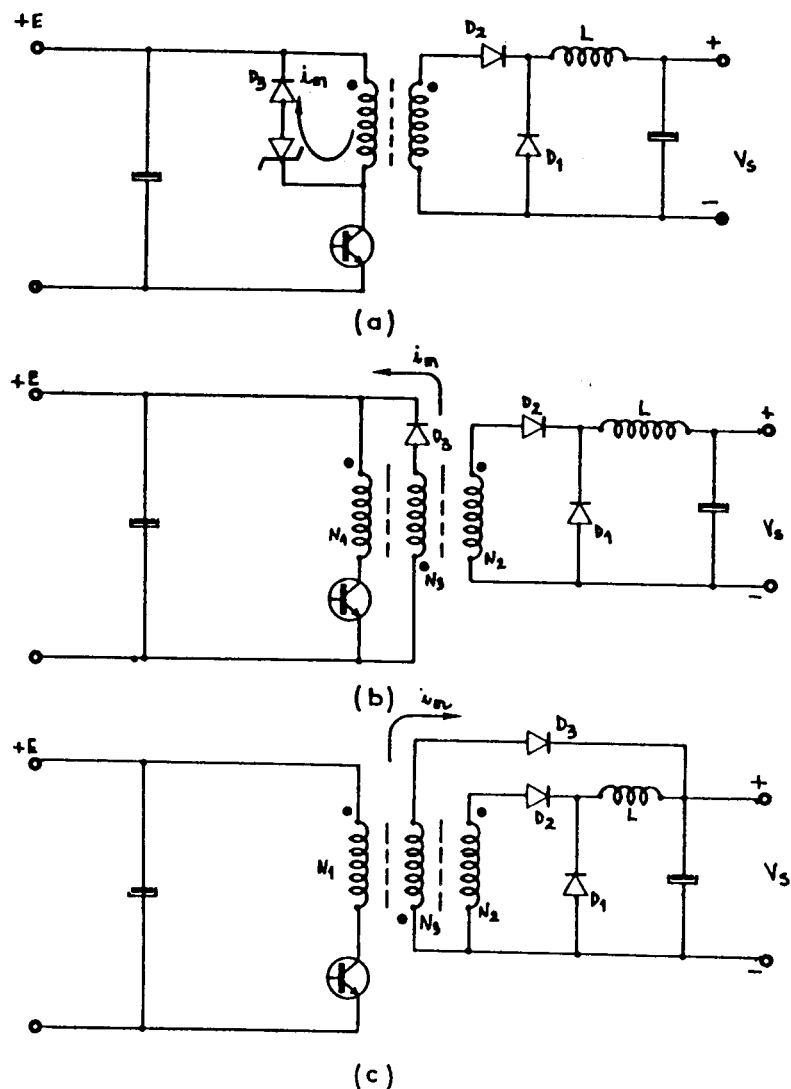


Figure 9 : Schémas réels de convertisseurs directs (Forward)

Ceci correspond aux schémas de la figure 9. Sur cette figure, les transistors ont été représentés avec leur émetteur connecté à la masse (borne - de la source E), ce qui correspond aux montages réels, de manière à ce que le circuit électronique de commande de base ait sa référence à la masse. Le pointage du troisième enroulement est tel que la diode D_3 soit bloquée lors de la conduction de T (primaire et secondaire conduisant) et conduise pendant le blocage de T.

Cet enroulement fonctionne donc exactement comme un fly-back.

Il faut noter que si on veut utiliser la source à l'entrée E, celle-ci doit être capable de récupérer l'énergie magnétisante (condensateur de filtrage de valeur suffisante).

La structure d'alimentation ainsi obtenue, porte le nom d'*alimentation directe* (transfert d'énergie sans stockage) ou "*forward*".

4 - 2 / Fonctionnement du Forward

Le schéma le plus fréquent est celui de la figure 10 (démagnétisation sur E); on choisit usuellement $N_3 = N_1$ et on se place dans l'hypothèse d'une conduction continue dans L.

Les allures des différents courants et tension sont représentés sur la figure 10.

Analyse des séquences:

1) T est conducteur pendant un temps t_f . D_2 est conductrice, D_1 et D_3 bloquées. Le primaire est soumis à une tension E, le secondaire à kE , le troisième enroulement à E ($N_3 = N_1$).

Le courant magnétisant i_m croît linéairement avec une pente $di/dt = E / \mathcal{L} = E / L_1$.

La tension aux bornes de L est égale à $kE - V_s$. Le courant dans L croît linéairement avec une pente

$$di/dt = (kE - V_s) / L.$$

Le courant au primaire (donc dans le transistor) est la somme de i_L , ramené au primaire, et du courant magnétisant:

$$i_1 = i_T = k i_L + i_m$$

2) T est bloqué pendant un temps t_0 . D_2 est bloquée, D_1 et D_3 conduisent. Le courant magnétisant se referme, à travers D_3 , par le troisième enroulement, soumis à la tension $-E$; il décroît linéairement avec une pente:

$$di/dt = -E / L_3 = -E / L_1 \quad (\text{cas où } N_3 = N_1)$$

égale et opposée à celle qu'il avait durant la première séquence. Il s'annule donc au bout d'un temps égal à t_f . On voit ici la nécessité que la durée du blocage soit supérieure (à la limite égale) au temps de conduction. En d'autres termes, *le rapport cyclique doit être égal ou inférieur à 1/2* (si $N_3 = N_1$)

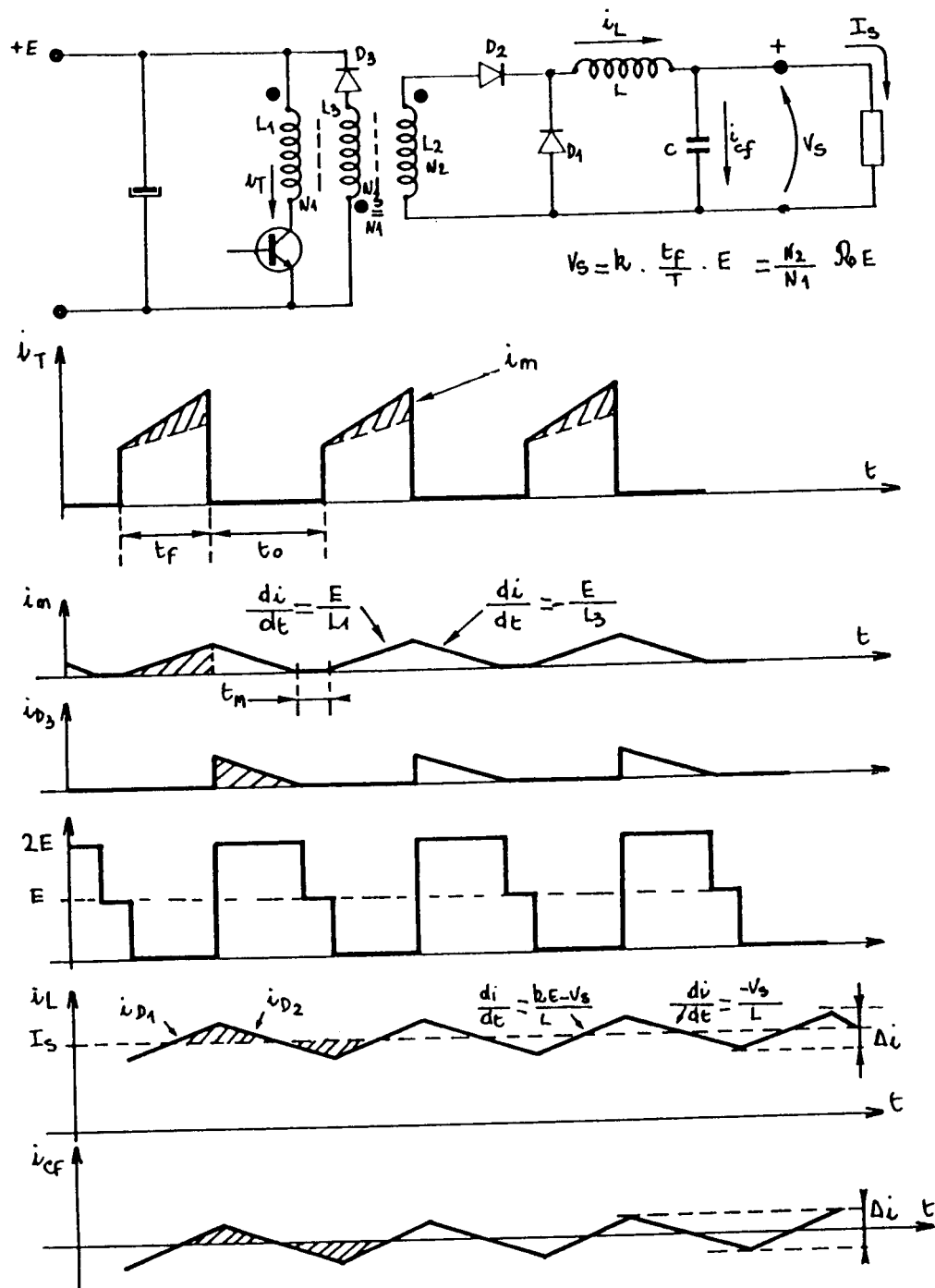


Figure 10 : Formes d'onde du convertisseur direct (Forward) pour $N_3 = N_1$

Tant que D_3 conduit, la tension aux bornes du primaire est égale à $-E$ (puisque $N_1 = N_3$) et la tension aux bornes du transistor est donc égale à $2E$. Lorsque le courant magnétisant s'annule, D_3 se bloque; il n'y a plus de courant dans aucun des enroulements; la tension aux bornes du transistor tombe à E .

Durant toute cette séquence, l'inductance de filtrage L est soumise à une tension égale à $-V_S$ et le courant dans L décroît avec une pente di/dt égale à $-V_S / L$.

Tension de sortie:

Ecrivons que la tension moyenne aux bornes de L est nulle:

$$(kE - V_S) \cdot t_f = V_S \cdot t_o \quad (\text{avec } k = N_2/N_1)$$

soit: $V_S = (N_2/N_1) \cdot \mathcal{R} \cdot E$

Influence de l'inductance de fuites

Comme dans le cas du Fly-Back, l'inductance de fuites du transformateur va être à l'origine d'une surtension qui va s'ajouter à la tension théorique; étant donné que la tenue en tension théorique des transistors est déterminée par le rapport de transformation entre l'enroulement primaire et le troisième enroulement, on a intérêt à réaliser un couplage très serré entre ces deux enroulements, de manière à minimiser les fuites; à cette fin, on utilise généralement pour les bobiner la technique "deux fils en mains".

Notons que la structure en "demi-pont asymétrique" permet, comme dans le cas du Fly-Back, d'éliminer complètement le problème des surtensions, au prix de deux interrupteurs commandés.

Comparaison du Forward et du Fly-Back

Citons quelques avantages du "forward" sur le fly-back :

- c'est une véritable source de tension
- transformateur plus petit (mais plus complexe)
- fonctionnement à vide possible même si la régulation n'intervient pas instantanément (toutefois la tension de sortie, aux bornes du condensateur de filtrage, va monter à k fois E, alors qu'en fonctionnement en charge elle est limitée à k fois E/2 pour un rapport cyclique maximal égal à 1/2
- possibilité de tenue au court-circuit à la sortie si on protège le transistor
- ondulation de courant dans L et C plus faible (filtrage plus facile)

4 - 3 / Forward en demi-pont asymétrique

Comme dans le cas du Fly-Back, on peut utiliser une structure en demi-pont asymétrique (où deux transistors se partagent la tension et où deux diodes écrètent les surtensions) de manière à ce que la tension aux bornes des transistors soit limitée à E (écrêtage des surtensions dues aux inductances de fuites, possibilité de fonctionner à partir du réseau 380 v alternatif).

4 - 3 - 1/ Structure:

La structure est représentée figure 11.