

Calculs des convertisseurs en l'Electronique de Puissance

Calculs de convertisseurs en Electronique de Puissance - Version 1.2

Fichier Aide

Fichier de configuration

Paramètre	Min.	Typ.	Max.	Commentaire
Vs en V	5,00 V	5,00 V	5,00 V	tension de sortie
Is en A	2,00 A	2,00 A	2,00 A	courant de sortie
Ve en V	12,00 V	12,00 V	12,00 V	tension d'entrée
Rd en %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	rendement
Fd en Hz	50,0 kHz	50,0 kHz	50,0 kHz	fréquence de découpage
dIL en %	50,0 %	50,0 %	50,0 %	ondulation du courant
dVs en %	1,0 %	1,0 %	1,0 %	ondulation de la tension
dVe en %	1,0 %	1,0 %	1,0 %	ondulation de la tension
KV	2,0	2,0	2,0	coefficient de surtension
KI	2,0	2,0	2,0	coefficient de surcourant
Delta en A/mm²	5,0 A/mm²	5,0 A/mm²	5,0 A/mm²	densité de courant
Tamb en °C	25 °C	25 °C	25 °C	température ambiante

FORWARD ONDULEUR PFC REDRESSEUR
 BUCK BOOST BUCKBOOST FLYBACK

Ps = Pe = Calculs Max.
 Ie = Alpha = Calculs Typ.
 Ce = Cs = Calculs Min.
 L1 = Imprime
 ILmoy = Efface
 dIL = ILeff = scu = Quitter
 ILmax = KIL = ThollL =

Projet : PROGRAMMATION 2

Date : 14 avril 2002

Auteur : Thierry LEQUEU

Sommaire

Chapitre 1 - Ressources générales	6
1.1 Présentation.....	6
1.2 Méthode de calculs	6
1.3 Cahier des charges	7
1.4 Caractéristiques des diodes	7
1.4.1 Caractéristique statique.....	7
1.4.2 Calcul du courant efficace I_{Deff}	8
1.4.3 Caractéristiques en mode bloquée - Quadrant 3.....	8
1.4.4 Pertes en commutations - Mise en conduction rapide.....	8
1.4.5 Equivalence Français–Anglais.....	10
1.4.6 Bilan des diodes	10
1.5 Caractéristiques des transistors	11
1.5.1 Le transistor bipolaire	11
1.5.2 Le transistor MOSFET.....	11
1.5.3 Le transistor IGBT	11
1.5.4 Calcul du courant efficace I_{Teff}	12
1.5.5 Bilan des transistors	13
Chapitre 2 - Hacheur abaisseur de type BUCK	14
2.1 Présentation du hacheur abaisseur de type BUCK	14
2.2 Caractéristiques du hacheur série de type BUCK.....	14
2.3 Caractéristiques des composants.....	14
2.3.1 L'inductance	14
2.3.2 Le transistor principal	14
2.3.3 La diode principale.....	15
2.3.4 Le condensateur de sortie.....	15
2.3.5 Le condensateur d'entrée.....	15
Chapitre 3 - Hacheur élévateur de type BOOST	16
3.1 Présentation du hacheur élévateur de type BOOST.....	16
3.1.1 Schéma simplifié.....	16
3.1.2 Bilan des grandeurs électriques.....	16
3.1.3 Calculs des grandeurs électriques	17
3.1.4 Ondulations du courant et de la tension	17
3.1.5 Contraintes sur les interrupteurs.....	17
3.1.6 Chronogrammes de fonctionnement - boost(10,2,24,100e-6,50e3,1e6,2).	18
3.2 Caractéristiques des composants.....	18
3.2.1 Caractéristiques de l'inductance L.....	18
3.2.2 Caractéristiques du transistor T principal.....	19
3.2.3 Caractéristiques de la diode D principale.....	19
3.2.4 Caractéristiques du condensateur Cs (sortie)	19
3.2.5 Caractéristiques du condensateur Ce (entrée)	19
Chapitre 4 - Hacheur inverseur de type BUCKBOOST.....	21
4.1 Présentation du hacheur abaisseur de type BUCK	21
4.2 Caractéristiques du hacheur série de type BUCK.....	21
4.3 Caractéristiques des composants.....	21
Chapitre 5 - Alimentation isolée de type FLYBACK.....	22
5.1 Présentation du hacheur abaisseur de type BUCK	22

5.2	Caractéristiques du hacheur série de type BUCK.....	22
5.3	Caractéristiques des composants.....	22
Chapitre 6 - Alimentation isolée de type FORWARD.....		23
6.1	Présentation du hacheur abaisseur de type BUCK	23
6.2	Caractéristiques du hacheur série de type BUCK.....	23
6.3	Caractéristiques des composants.....	23
Chapitre 7 - Alimentation isolée de type PUSH-PULL		24
7.1	Présentation du hacheur abaisseur de type BUCK	24
7.2	Caractéristiques du hacheur série de type BUCK.....	24
7.3	Caractéristiques des composants.....	24
Chapitre 8 - Correcteur de Facteur de Puissance PFC.....		25
8.1	Présentation du hacheur abaisseur de type BUCK	25
8.2	Caractéristiques du hacheur série de type BUCK.....	25
8.3	Caractéristiques des composants.....	25
Chapitre 9 - Transformateur + redresseur + régulateur linéaire		26
9.1	Présentation du redresseur capacitif.....	26
9.2	Caractéristiques du redresseur capacitif.....	26
9.3	Caractéristiques des composants.....	26
Chapitre 10 - Bibliographie.....		27
10.1	Sur les convertisseurs en Electronique de Puissance.....	27
10.2	Sur les redresseurs.....	27
10.3	Sur la commutation des transistors et des diodes.....	27
10.4	Sur le calcul des inductances	27
10.5	Sur le calcul des transformateurs	27
10.6	Sur le choix des condensateurs	27

Liste des figures :

Fig. 1.1. Environnement du programme principal.	6
Fig. 1.2. Schéma équivalent en statique (dessins\diodepin.drw).	7
Fig. 1.3. Courant et tension de la diode (dessins\h_serie1.drw).....	8
Fig. 1.4. Surtension à la mise en conduction (dessins\diodevfp.drw).....	9
Fig. 1.5. Schéma équivalent (dessins\igbt0.drw).	11
Fig. 1.6. Courant et tension du transistor (dessins\h_serie1.drw).	12
Fig. 2.1. Schéma complet du hacheur abaisseur de type BUCK.....	14
Fig. 3.1. Schéma complet du hacheur élévateur de type BOOST.....	16
Fig. 3.2. Hacheur élévateur (dessins\boost5.drw).	16
Fig. 3.3. V_s en fonction de α . (hacheurs.m).....	17
Fig. 3.4. Comparaison avec l'ondulation du courant du hacheur série (hacheurs.m).....	17
Fig. 3.5. Comparaison avec l'ondulation de tension du hacheur série (hacheurs.m).	17
Fig. 4.1. Schéma complet du hacheur abaisseur de type BUCK.....	21
Fig. 5.1. Schéma complet du hacheur abaisseur de type BUCK.....	22
Fig. 6.1. Schéma complet du hacheur abaisseur de type BUCK.....	23
Fig. 7.1. Schéma complet du hacheur abaisseur de type BUCK.....	24
Fig. 8.1. Schéma complet du hacheur abaisseur de type BUCK.....	25
Fig. 9.1. Schéma complet du redresseur capacitif (dessins\red_cr.drw).	26

Liste des tableaux :

Tableau 1.1. Equivalence Français–Anglais.	10
Tableau 1.2. Bilan des diodes.....	10
Tableau 1.3. Bilan pour les transistors.	13

Chapitre 1 - Ressources générales

1.1 Présentation

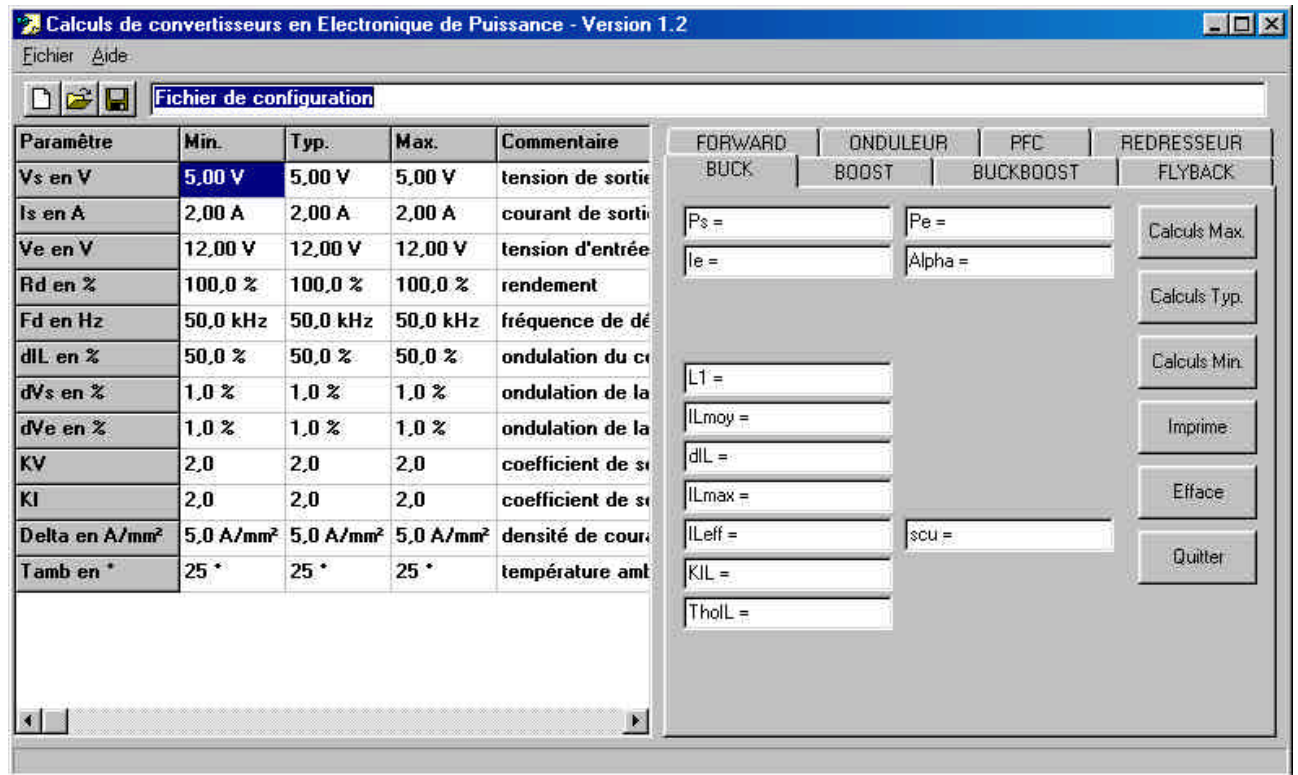


Fig. 1.1. Environnement du programme principal.

1.2 Méthode de calculs

L'analyse se fait par type de montage, avec dans l'ordre :

- 1) étude théorique (modèles des composants parfaits) ;
- 2) détermination des contraintes sur les composants (Diode Transistor, Condensateur, Circuit Magnétique) ;
- 3) choix des composants parmi une liste intégrés ;
- 4) Calculs des pertes, des radiateurs et du rendement ;
- 5) Re-bouclage du calcul : impact des schémas équivalents des composants sur les caractéristiques du convertisseur.

1.3 Cahier des charges

$V_s = 5,00$ V (tension de sortie).

$I_s = 2,00$ A (courant de sortie).

$V_e = 12,00$ V (tension d'entrée).

$R_d = 100$ % (rendement).

$F_d = 50,0$ kHz (fréquence de découpage).

$d_{IL} = 50,0$ % (ondulation du courant dans l'inductance).

$dV_s = 1,0$ % (ondulation de la tension de sortie).

$dV_e = 1,0$ % (ondulation de la tension d'entrée).

$KV = 2,0$ (coefficient de sécurité en tension).

$KI = 2,0$ (coefficient de sécurité en courant).

$D_t = 5,0$ (densité de courant Delta).

1.4 Caractéristiques des diodes

1.4.1 Caractéristique statique

Un premier schéma équivalent, représentant la caractéristique statique est donnée à la figure 1.2.

- la tension de seuil $V_{D0} = E_0$ paramètre de construction de la diode;
- la résistance dynamique r_D paramètre de construction de la diode;

La puissance dissipée dans la diode est donnée par :

$$P_{D_{cond}} = \langle v_D \cdot i_D \rangle = E_0 \cdot \langle i_D \rangle + r_D \cdot \langle i_D \rangle^2 = E_0 \cdot I_{D_{moy}} + r_D \cdot I_{D_{eff}}^2 \quad (1.1)$$

Le courant efficace $I_{D_{eff}}$ et le courant moyen $I_{D_{moy}}$ sont des limites de fonctionnement à calculer par l'utilisateur.

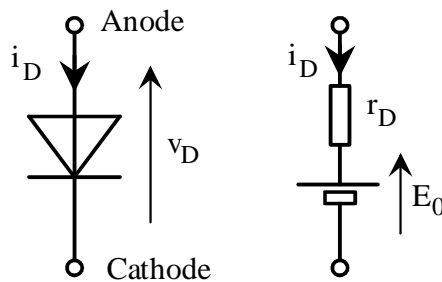


Fig. 1.2. Schéma équivalent en statique (dessins\diodepin.drw).

1.4.2 Calcul du courant efficace $I_{D\text{eff}}$

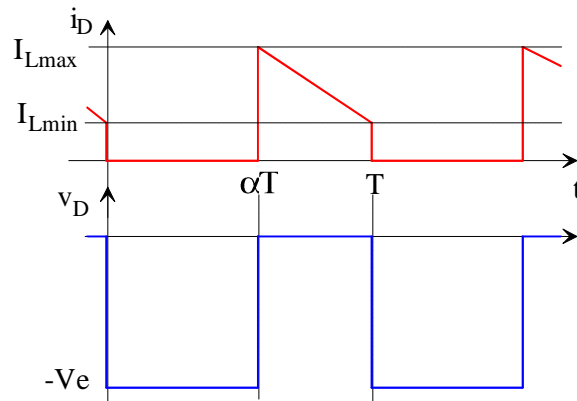


Fig. 1.3. Courant et tension de la diode (dessins\h_serie1.drw).

L'expression de i_D pour $t \in [\alpha T ; T]$ est : $i_D(t) = \left(I_s + \frac{\Delta I_L}{2} \right) - \Delta I_L \cdot \frac{(t - \alpha T)}{T - \alpha T}$. Donc i_D^2 vaut :

$$i_D^2(t) = \left(I_s + \frac{\Delta I_L}{2} \right)^2 + \left(\Delta I_L \frac{(t - \alpha T)}{T - \alpha T} \right)^2 - 2 \cdot \Delta I_L \frac{(t - \alpha T)}{T - \alpha T} \cdot \left(I_s + \frac{\Delta I_L}{2} \right) \quad (1.2)$$

La valeur efficace $I_{D\text{eff}}^2$ est égale à la valeur moyenne de i_D^2 , donc :

$$I_{D\text{eff}}^2 = \frac{1}{T} \left[\left(I_s + \frac{\Delta I_L}{2} \right)^2 (t - \alpha T) + \left(\frac{\Delta I_L}{T - \alpha T} \right)^2 \frac{(t - \alpha T)^3}{3} - \frac{2 \Delta I_L}{T - \alpha T} \left(I_s + \frac{\Delta I_L}{2} \right) \frac{(t - \alpha T)^2}{2} \right]_{\alpha T}^T$$

D'où l'expression de $I_{D\text{eff}}$ (cf iteff.m pour [1,0.6] par exemple):

$$I_{D\text{eff}} = \sqrt{\left[\left(I_s + \frac{\Delta I_L}{2} \right)^2 + \frac{\Delta I_L^3}{3} - \Delta I_L \left(I_s + \frac{\Delta I_L}{2} \right) \right] \cdot (1 - \alpha)} \quad (1.3)$$

Dans la cas où l'ondulation est faible $\frac{\Delta I_L}{I_s} \ll 1$, l'expression devient $I_{D\text{eff}} = I_s \sqrt{1 - \alpha}$.

Lorsque le hacheur travaille à $I_{L\text{min}} = 0$, $\Delta I_L = 2 I_s$ et $I_{D\text{eff}} = \Delta I_L \sqrt{\frac{(1 - \alpha)}{3}} \approx \Delta I_L 0,577 \sqrt{(1 - \alpha)}$.

1.4.3 Caractéristiques en mode bloquée - Quadrant 3

Les principaux paramètres de construction de la diode sont :

- la tension inverse max $V_{\text{DIM}} = V_{\text{RRM}}$;
- le courant de fuite correspondant I_{DIM} ;
- la tension zener / avalanche ?

Pour la tension inverse maximale V_{DIM} , le courant de fuite I_{DIM} permet de calculer une résistance équivalente de l'interrupteur ouvert.

1.4.4 Pertes en commutations - Mise en conduction rapide

[LIVRE015] Fig. 4.20 - BALIGA - page 154 et [LIVRE037] Fig. B.II.4 - DALMASSO - 66 et 67.

Dans le cas ou la mise en conduction se fait avec un fort $\left(\frac{di_D}{dt}\right)$, jusqu'à $500A/\mu s$, il apparaît, aux bornes de la diode PIN, une tension direct supérieure à V_{D0} qui peut atteindre plusieurs dizaine de volts. Elle est essentiellement due au comportement résistif de la zone centrale de la jonction. Sa résistivité initiale à l'état bloqué est élevée puis diminue rapidement avec l'arrivée des porteurs minoritaires injectés par le courant direct.

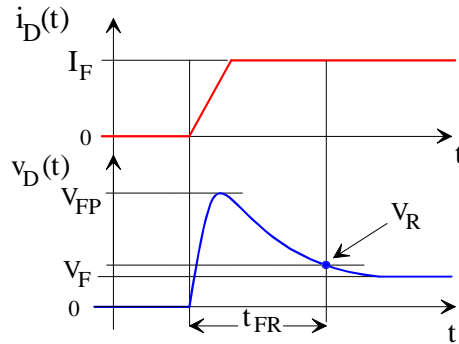


Fig. 1.4. Surtension à la mise en conduction (dessins\diodevfp.drw).

Le courant croît plus vite que la diffusion des porteurs minoritaire dans la zone N- (i) de la diode. La résistivité reste transitoirement élevée et une chute de tension directe supplémentaire apparaît.

Aux très grandes vitesses d'établissement de $i_D(t)$, les propriétés inductives du cristal de silicium, des connexions et du boîtiers participent aussi à la surtension de fermeture :

$$v_D(t) \approx R_{\text{total}} \cdot i_D(t) + L_{\text{eq}} \cdot \frac{di_D(t)}{dt} \quad (1.4)$$

Le temps de recouvrement direct t_{FR} est la durée entre l'application du courant d'attaque et le passage de $v_D(t)$ par une valeur de référence $V_R = V_F$. Cette tension de référence est soit définie par rapport à V_F , par exemple $V_R = 1,2 \cdot V_F$, soit fixée arbitrairement, 2 volts par exemple.

Cette surtension entraîne des pertes supplémentaire à la mise en conduction. Moyennant quelques simplification sur les formes d'ondes, à savoir une surtension triangulaire, avec une fréquence de commutation F , ces pertes supplémentaire valent :

$$\Delta P_D = \frac{1}{2} \cdot F \cdot t_{FR} \cdot I_F \cdot (V_{FP} - V_F) \quad (1.5)$$

1.4.5 Equivalence Français–Anglais

Tableau 1.1. Equivalence Français–Anglais.

Symbol	Parameter	Symbole	Paramètre
V_R or V_{RSM}	Continuous reverse voltage	V_{Dinv}	Tension inverse permanente
V_{RRM}	Repetitive peak reverse voltage	$V_{Dinv\ max}$	Tension inverse maximale
V_{BRR}			
I_R	Reverse current	I_{Dinv}	Courant inverse
I_F	Continuous forward current	I_D	Courant continu permanent
$I_{F(RMS)}$	RMS forward current	I_{Deff}	Courant direct efficace
$I_{F(AV)}$	Average forward current	I_{Dmoy}	Courant direct moyen
I_{FRM}	Repetitive peak forward current	$I_{Dmax\ rep}$	Courant de pointe répétitif
I_{FSM}	Surge peak forward current	$I_{Dmax\ cc}$	Courant maximal occasionnel
V_F	Forward voltage	V_D	Tension direct
V_{FR}	Forward recovery voltage	V_{FP}	Surtension à la fermeture
P_{tot}	Total power dissipation	P_D	Puissance dissipée dans la diode
T_j	Junction temperature	T_j	Température de jonction
$R_{TH\ J-A}$	Thermal resistance from junction to ambient	$R_{TH\ J-A}$	Résistance thermique jonction-ambient
C_D	Diode capacitance	C_D	Capacité de diffusion
t_{rr}	Reverse recovery time	t_{rr}	Temps de recouvrement inverse
Q_{rr}	Recovery charge	Q_{rr}	Charge de recouvrement
C	Turn-off over voltage coefficient	C	Coefficient de surtension

1.4.6 Bilan des diodes

Tableau 1.2. Bilan des diodes.

Chute de tension à l'état passant	$v_D = E_0 + r_D \cdot i_D$
Pertes statiques	$P_{Dcond} = E_0 \cdot I_{Dmoy} + r_D \cdot I_{Deff}^2$
Pertes dynamiques à la commutation ON	
Pertes dynamiques à la commutation OFF	

1.5 Caractéristiques des transistors

1.5.1 Le transistor bipolaire

1.5.2 Le transistor MOSFET

La résistance $R_{\text{DS(on)}}$ engendre une chute de tension $V_{\text{GSON}} = R_{\text{DS(on)}} \cdot I_{\text{DS}}$ et des pertes en conduction $P_{\text{DS(on)}} = R_{\text{DS(on)}} \cdot I_{\text{DS}}^2$.

1.5.3 Le transistor IGBT

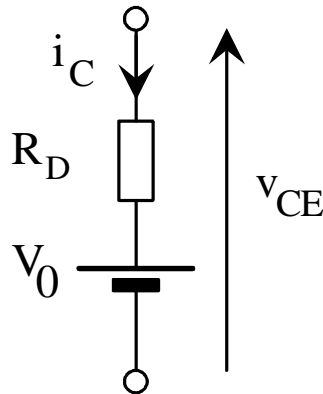


Fig. 1.5. Schéma équivalent (dessins\igbt0.drw).

Dans le fonctionnement en interrupteurs, on n'exploite à l'état passant que la partie des caractéristiques située en dessous de la tension de pincement V_p (figure **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**b).

En traits interrompus est représenté l'allure des caractéristiques d'un MOSFET de mêmes dimensions pour montrer les effets de l'addition de la zone P+ du côté collecteur :

- i_C ne s'écarte de zéro qu'au delà d'un seuil V_0 de v_{CE} ;
- mais i_C augmente ensuite beaucoup plus vite : la chute de tension augmente très peu en fonction du courant ;
- à v_{GS} donné, le courant maximum est plus grand dans l'IGBT, car au courant d'électrons qui passe par les canaux s'ajoute le courant de trous.

Si l'on détaille la zone à faibles valeurs de v_{CE} , qui caractérise l'état passant du composant, on note que la jonction P⁺N⁻ entraîne l'existence d'un seuil dans la chute de tension à l'état passant. On peut donc grossièrement utiliser un schéma équivalent similaire à celui d'une diode pour déterminer la chute de tension et les pertes statiques en conduction, avec une tension de seuil constante V_0 et une résistance dynamique R_D .

$$\begin{cases} v_{\text{CE}} \approx V_0 + R_D \cdot i_C \\ P_{\text{ON}} \approx V_0 \cdot I_{\text{C moy}} + R_D \cdot I_{\text{C eff}}^2 \end{cases} \quad (1.6)$$

1.5.4 Calcul du courant efficace I_{Teff}

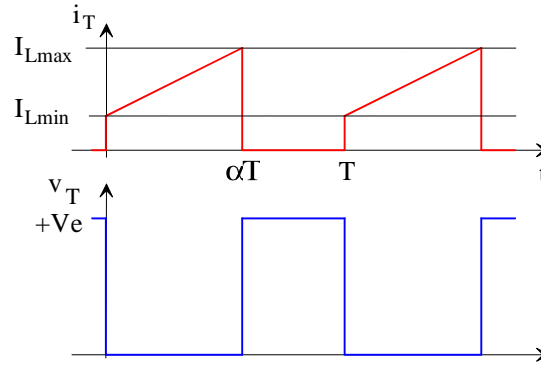


Fig. 1.6. Courant et tension du transistor (dessins\h_serie1.drw).

L'expression de i_T pour $t \in [0 ; \alpha T]$ est : $i_T(t) = \left(I_s - \frac{\Delta I_L}{2} \right) + \Delta I_L \cdot \frac{t}{\alpha T}$. Donc i_T^2 vaut :

$$i_T^2(t) = \left(I_s - \frac{\Delta I_L}{2} \right)^2 + \left(\Delta I_L \frac{t}{\alpha T} \right)^2 + 2 \cdot \Delta I_L \frac{t}{\alpha T} \cdot \left(I_s - \frac{\Delta I_L}{2} \right) \quad (1.7)$$

La valeur efficace I_{Teff}^2 est égale à la valeur moyenne de i_T^2 , donc :

$$I_{Teff}^2 = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} i_T^2(t) dt = \frac{1}{T} \left[\left(I_s - \frac{\Delta I_L}{2} \right)^2 t + \left(\frac{\Delta I_L}{\alpha T} \right)^2 \frac{t^3}{3} + \frac{2 \Delta I_L}{\alpha T} \left(I_s - \frac{\Delta I_L}{2} \right) \frac{t^2}{2} \right]_0^{\alpha T}$$

D'où l'expression de I_{Teff} (cf iteff.m pour [1,0.6] par exemple):

$$I_{Teff} = \sqrt{\left[\left(I_s - \frac{\Delta I_L}{2} \right)^2 + \frac{\Delta I_L^3}{3} + \Delta I_L \left(I_s - \frac{\Delta I_L}{2} \right) \right] \cdot \alpha} \quad (1.8)$$

Dans la cas où l'ondulation est faible $\frac{\Delta I_L}{I_s} \ll 1$, l'expression devient $I_{Teff} = I_s \sqrt{\alpha}$.

Lorsque le hacheur travail à $I_{Lmin} = 0$, $\Delta I_L = 2 I_s$ et $I_{Teff} = \Delta I_L \sqrt{\frac{\alpha}{3}} \approx \Delta I_L 0,577 \sqrt{\alpha}$.

1.5.5 Bilan des transistors*Tableau 1.3. Bilan pour les transistors.*

Chute de tension à l'état passant	$v_{CE} = V_0 + R_D \cdot i_C$
Pertes statiques	$P_{Tcond} = V_0 \cdot I_{Tmoy} + R_D \cdot I_{Teff}^2$
Pertes dynamiques à la commutation ON	
Pertes dynamiques à la commutation OFF	

Chapitre 2 - Hacheur abaisseur de type BUCK

2.1 Présentation du hacheur abaisseur de type BUCK

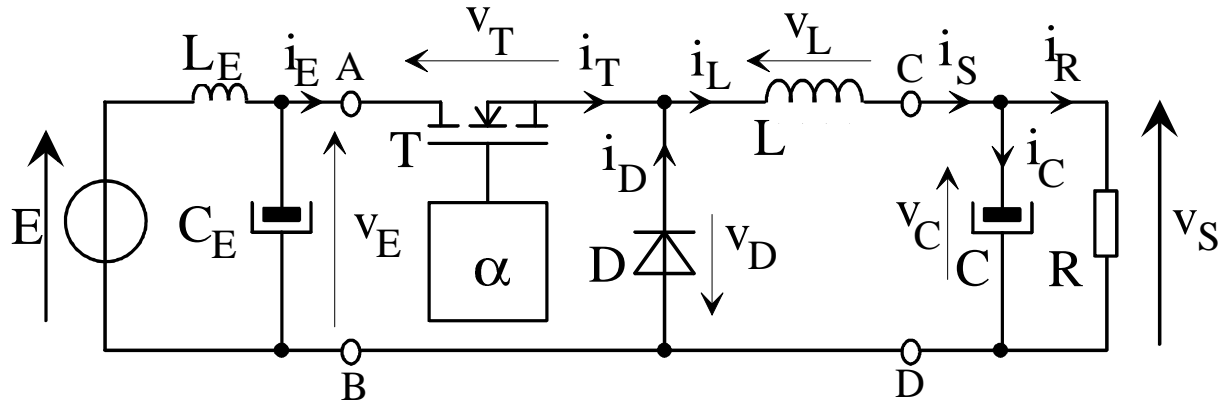


Fig. 2.1. Schéma complet du hacheur abaisseur de type BUCK.

2.2 Caractéristiques du hacheur série de type BUCK

$P_s = 10,0$ W (puissance de sortie).

$P_e = 10,0$ W (puissance d'entrée).

$I_e = 833,33$ m A (courant d'entrée).

$a = 42$ % (rapport cyclique).

$C_s = 50,00$ μ F (condensateur de sortie).

$C_e = 166,67$ μ F (condensateur de sortie).

2.3 Caractéristiques des composants

2.3.1 L'inductance

$L_1 = 58,33$ μ H (valeur de l'inductance du hacheur BUCK).

$I_{Lmoy} = 2,00$ A (courant moyen dans l'inductance).

$dI_L = 1,00$ A (Ondulation du courant de l'inductance).

$I_{Lmax} = 2,50$ A (courant maximal dans l'inductance).

$I_{Leff} = 2,02$ A (courant efficace de inductance).

$K_{IL} = 1,24$ (facteur de forme du courant : I_{Lmax}/I_{Leff}).

$Th_{oIL} = 50,0$ % (taux d'ondulation du courant : dI_L/I_{Lmoy}).

$scu = 0,404$ mm² (section de cuivre d'un fils).

2.3.2 Le transistor principal

$V_{Tmax} = 24,00$ V. (tension maximale aux bornes du transistor).

$I_{Tmax} = 2,50$ A. (courant maximal dans le transistor).

$I_{Tmoy} = 833,33$ mA. (courant moyen dans le transistor).

$I_{Teff} = 1,30$ A. (courant efficace dans le transistor).

$F_d(\text{réel}) = 6,00$. (facteur de dimensionnement réel : $V_{Tmax} * I_{Tmax}$).

$F_d(\text{thé.}) = 2,40$. (facteur de dimensionnement théorique).

2.3.3 La diode principale

$V_{RRM} = 24,00$ V. (tension inverse maximale aux bornes de la diode).

$I_{D(MAX)} = 2,50$ A. (courant maximal dans la diode).

$I_{D(AV)} = 1,17$ A. (courant moyen dans la diode).

$I_{D(RMS)} = 1,54$ A. (courant efficace dans la diode).

$F_d(\text{réel}) = 2,80$. (facteur de dimensionnement réel : $V_{RRM} * I_{D(AV)}$).

$F_d(\text{thé.}) = 1,40$. (facteur de dimensionnement théorique).

2.3.4 Le condensateur de sortie

2.3.5 Le condensateur d'entrée

Chapitre 3 - Hacheur élévateur de type BOOST

3.1 Présentation du hacheur élévateur de type BOOST

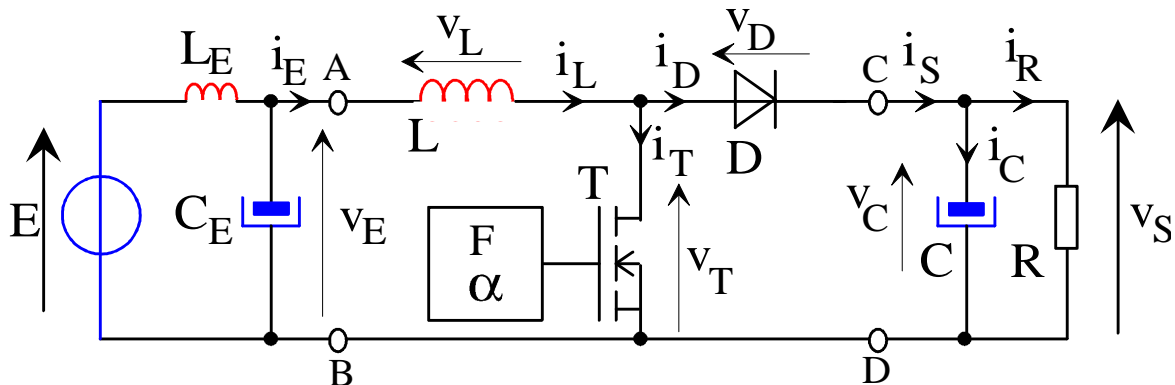


Fig. 3.1. Schéma complet du hacheur élévateur de type BOOST.

3.1.1 Schéma simplifié

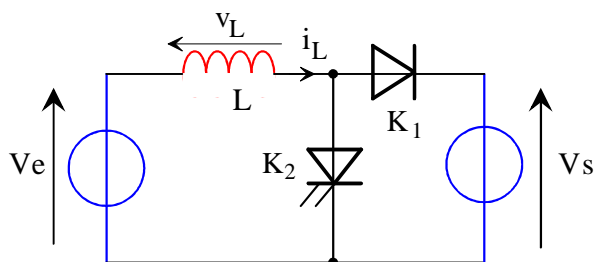
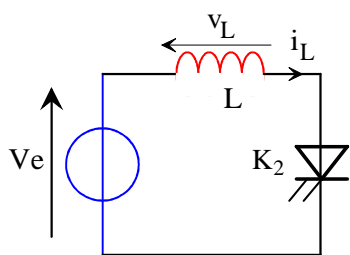


Fig. 3.2. Hacheur élévateur (dessins\boost5.drw).

3.1.2 Bilan des grandeurs électriques

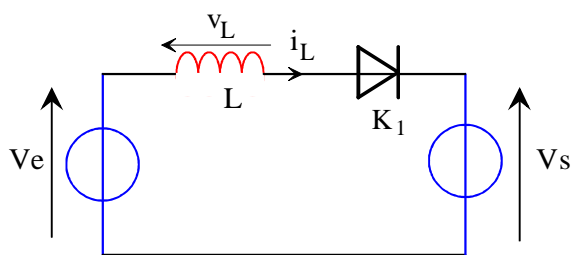
Pour $t \in [0 ; \alpha T]$, le transistor T est fermé (T ON).



L'inductance se charge sous +Ve ($V_e > 0$).

$$\begin{cases} v_E = +V_e & \begin{cases} v_D = v_T - v_s \\ i_D = 0 \end{cases} \\ i_E = +i_L & \\ v_T \approx 0 & \begin{cases} v_s = +V_s \\ i_s = 0 \end{cases} \\ i_T = +i_L & \\ \begin{cases} v_L = v_E - v_T \\ i_L = \text{inconnu} \end{cases} & v_L = +L \frac{di_L}{dt} \end{cases}$$

Pour $t \in [\alpha T ; T]$, T est ouvert (T OFF).



L'inductance se décharge sous $V_e - V_s$ ($V_s > V_e$).

$$\begin{cases} v_E = +V_e & \begin{cases} v_D \approx 0 \\ i_D = +i_L \end{cases} \\ i_E = 0 & \\ v_T = v_s - v_D & \begin{cases} v_s = +V_s \\ i_s = +i_L \end{cases} \\ i_T = 0 & \\ \begin{cases} v_L = v_E - v_s - v_D \\ i_L = \text{inconnu} \end{cases} & v_L = +L \frac{di_L}{dt} \end{cases}$$

3.1.3 Calculs des grandeurs électriques

Pour $t \in [0 ; \alpha T]$, $i_L(t) = I_{Lmin} + \frac{V_e}{L}(t - 0)$ et pour $t \in [\alpha T ; T]$, $i_L(t) = I_{Lmax} + \frac{V_e - V_s}{L}(t - \alpha T)$.

$$\begin{aligned} \langle v_L \rangle &= \frac{1}{T} \int_0^T v_L(t) \cdot dt \\ &= \frac{1}{T} [V_e \times \alpha T + (V_e - V_s) \times (T - \alpha T)] \\ &= \alpha V_e + V_e(1 - \alpha) - V_s(1 - \alpha) \end{aligned}$$

En régime permanent $\langle v_L \rangle = 0$ donc :

$$V_s = V_e \frac{1}{1 - \alpha}$$

Exemple ci-contre pour $V_e = 10V$ et $\alpha \in [0 ; 1]$.

Pour avoir $V_s = +24 V$ il faut $\alpha = 0,5833$.

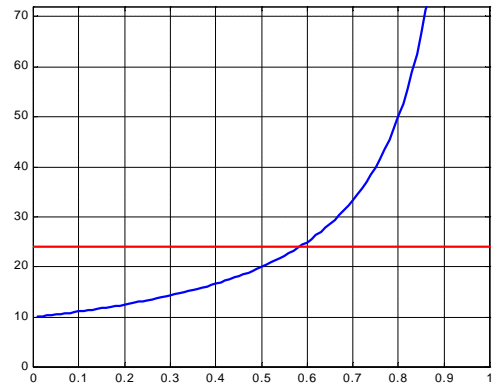


Fig. 3.3. V_s en fonction de α . (hacheurs.m)

3.1.4 Ondulations du courant et de la tension

$$\Delta I_L = \frac{V_e}{LF} \alpha \text{ pour } L = 100 \mu H \text{ et } F = 50 \text{ kHz.}$$

$$\Delta V_C = \frac{\alpha V_e}{(1 - \alpha)RCF} \text{ pour } C = 100 \mu F \text{ et } R = 12 \Omega.$$

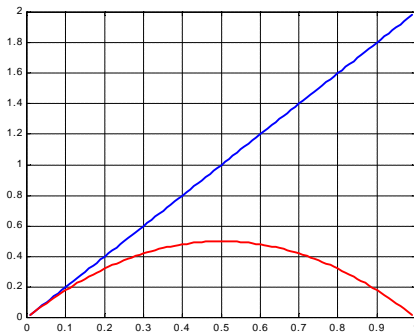


Fig. 3.4. Comparaison avec l'ondulation du courant du hacheur série (hacheurs.m).

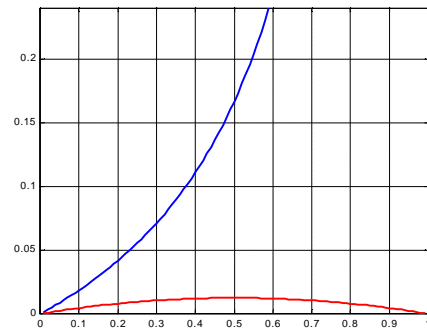


Fig. 3.5. Comparaison avec l'ondulation de tension du hacheur série (hacheurs.m).

3.1.5 Contraintes sur les interrupteurs

Diode : $I_{Dmoy} = I_s$

$V_{Dinv\ max} = V_s$

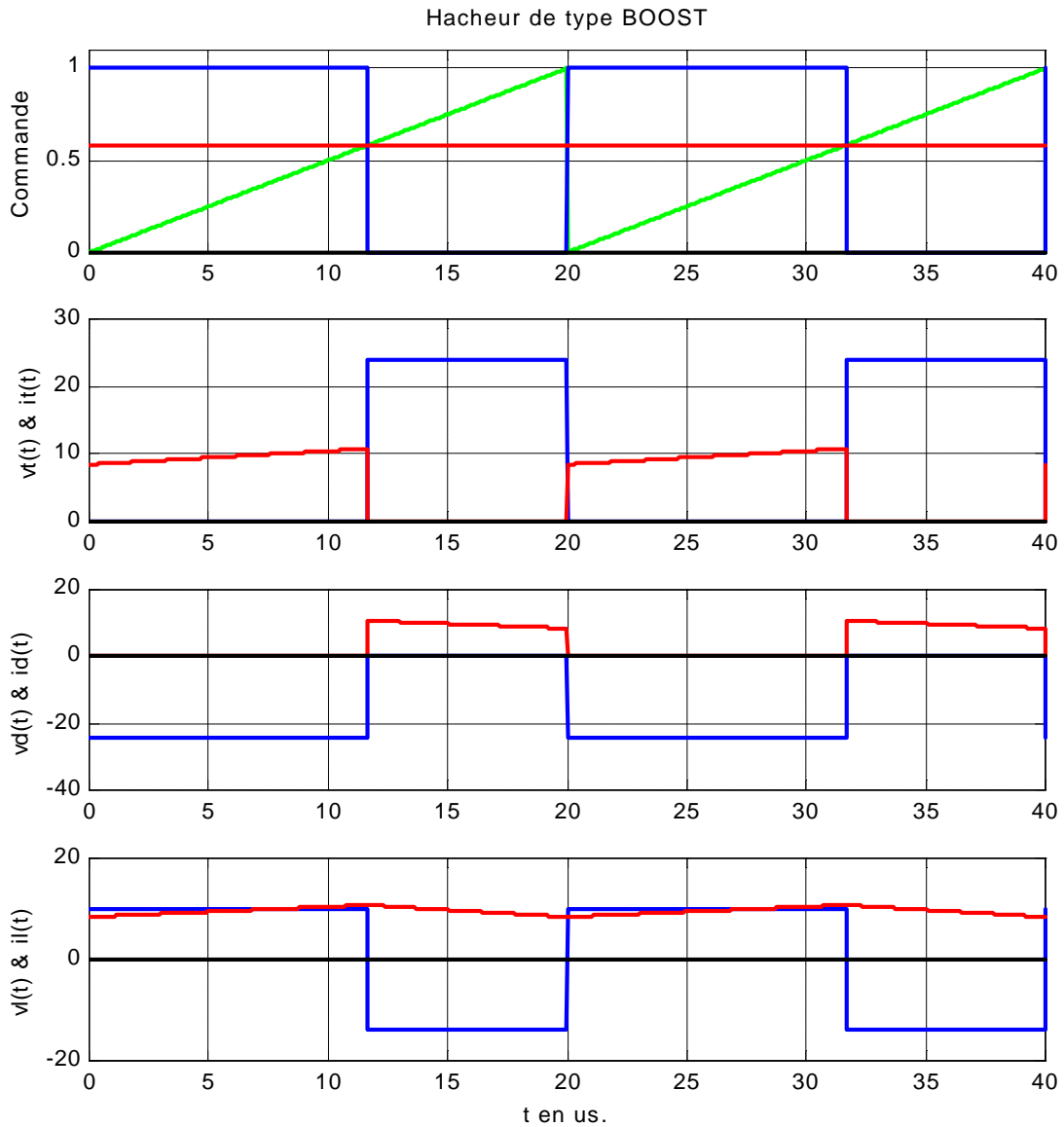
$$Fd = \frac{V_{DImax} \cdot I_{Dmoy}}{P} \approx 1$$

Transistor : $I_{Tmax} = I_{Lmax} = \frac{I_s}{1 - \alpha} + \frac{\Delta I_L}{2}$

$V_{Tmax} = V_s$

$$Fd = \frac{V_{Tmax} \cdot I_{Tmax}}{P} \approx \frac{1}{1 - \alpha}$$

3.1.6 Chronogrammes de fonctionnement - boost(10,2,24,100e-6,50e3,1e6,2).



3.2 Caractéristiques des composants

3.2.1 Caractéristiques de l'inductance L

A partir de l'ondulation du courant $\Delta I_L = \frac{V_e}{LF} \alpha = \frac{\Delta I_L}{I_{L \text{ moy}}} \times I_{e \text{ moy}}$, et de la valeur de α donnée par la relation

$V_s = V_e \frac{1}{1-\alpha} \Leftrightarrow \alpha = 1 - \frac{V_e}{V_s}$, on calcul la valeur de l'inductance :

$$L = \frac{V_e}{\Delta I_L \cdot F} \left(1 - \frac{V_e}{V_s} \right) \quad (3.1)$$

$L_1 = 56,12 \mu\text{H}$. (valeur de l'inductance).

$I_{L \text{ moy}} = 33,60 \text{ A}$. (courant moyen dans l'inductance).

$d_{IL} = 3,36$ A. (ondulation du courant dans l'inductance).
 $I_{Lmax} = 35,28$ A. (courant maximale dans l'inductance). (3.2)
 $I_{Leff} = 33,61$ A. (courant efficace dans l'inductance).
 $K_{IL} = 1,05$. (facteur de forme du courant).
 $Th_{oIL} = 10,0$ % . (taux d'ondulation).
 $s_{cu} = 6,723$ mm². (section de cuivre).
 $W_{em} = 34,9$ mJ. (energie électromagnétique).
 $T_{amb} = 25,0$ ° . (température ambiante).

3.2.2 Caractéristiques du transistor T principal

$V_{Tmax} = 112,00$ V. (tension maximale aux bornes du transistor).
 $I_{Tmax} = 35,28$ A. (courant maximal dans le transistor).
 $I_{Tmoy} = 26,40$ A. (courant moyen dans le transistor).
 $I_{Teff} = 6,44$ A. (courant efficace dans le transistor).
 $F_d(\text{réel}) = 9,80$. (facteur de dimensionnement réel : $V_{Tmax} * I_{Tmax}$).
 $F_d(\text{thé.}) = 4,67$. (facteur de dimensionnement théorique).

3.2.3 Caractéristiques de la diode D principale

$V_{RRM} = 112,00$ V. (tension inverse maximale aux bornes de la diode).
 $I_{D(MAX)} = 35,28$ A. (courant maximal dans la diode).
 $I_{D(AV)} = 7,20$ A. (courant moyen dans la diode).
 $I_{D(RMS)} = 3,36$ A. (courant efficace dans la diode).
 $F_d(\text{réel}) = 2,00$. (facteur de dimensionnement réel : $V_{RRM} * I_{D(AV)}$).
 $F_d(\text{thé.}) = 1,00$. (facteur de dimensionnement théorique).

3.2.4 Caractéristiques du condensateur Cs (sortie)

$C_{min} = 202,04$ µF. (valuer minimale du condensateur).
 $V_{Cmax} = 24,00$ V. (tension maximale aux bornes du condensateur).
 $V_{Cmoy} = 56,00$ V. (tension moyenne aux bornes du condensateur).
 $dV_c = 560,00$ mV. (ondulation de tension du condensateur).
 $I_{Ceff} = 3,36$ A. (courant efficace dans le condensateur).
 $ESR = 0,00$ pOhms. (Equivalent Serial Resistor).
 $F_0 = 500,00$ kHz. (Fréquence de coupure $> 10 \times F_d$).

3.2.5 Caractéristiques du condensateur Ce (entrée)

$C_{min} = 560,00$ µF. (valuer minimale du condensateur).
 $V_{Cmax} = 24,00$ V. (tension maximale aux bornes du condensateur).
 $V_{Cmoy} = 12,00$ V. (tension moyenne aux bornes du condensateur).
 $dV_c = 120,00$ mV. (ondulation de tension du condensateur).
 $I_{Ceff} = 33,60$ A. (courant efficace dans le condensateur).

ESR = 0,00 pOhms. (Equivalent Serial Resistor).

F0 = 500,00 kHz. (Fréquence de coupure > 10 x Fd).

Chapitre 4 - Hacheur inverseur de type BUCKBOOST

4.1 Présentation du hacheur abaisseur de type BUCK

Fig. 4.1. Schéma complet du hacheur abaisseur de type BUCK.

4.2 Caractéristiques du hacheur série de type BUCK

4.3 Caractéristiques des composants

Chapitre 5 - Alimentation isolée de type FLYBACK

5.1 Présentation du hacheur abaisseur de type BUCK

Fig. 5.1. Schéma complet du hacheur abaisseur de type BUCK.

5.2 Caractéristiques du hacheur série de type BUCK

5.3 Caractéristiques des composants

Chapitre 6 - Alimentation isolée de type FORWARD

6.1 Présentation du hacheur abaisseur de type BUCK

Fig. 6.1. Schéma complet du hacheur abaisseur de type BUCK.

6.2 Caractéristiques du hacheur série de type BUCK

6.3 Caractéristiques des composants

Chapitre 7 - Alimentation isolée de type PUSH-PULL

7.1 Présentation du hacheur abaisseur de type BUCK

Fig. 7.1. Schéma complet du hacheur abaisseur de type BUCK.

7.2 Caractéristiques du hacheur série de type BUCK

7.3 Caractéristiques des composants

Chapitre 8 - Correcteur de Facteur de Puissance PFC

8.1 Présentation du hacheur abaisseur de type BUCK

Fig. 8.1. Schéma complet du hacheur abaisseur de type BUCK.

8.2 Caractéristiques du hacheur série de type BUCK

8.3 Caractéristiques des composants

Chapitre 9 - Transformateur + redresseur + régulateur linéaire

9.1 Présentation du redresseur capacitif

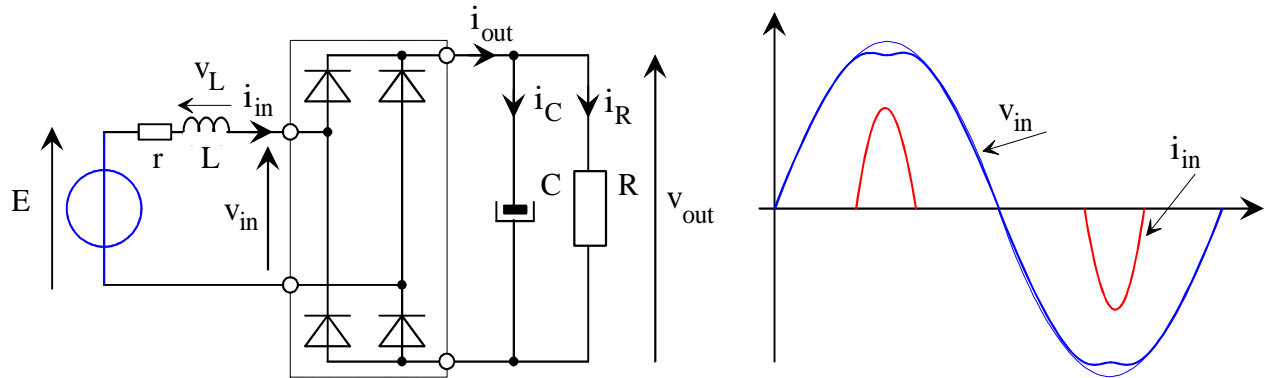


Fig. 9.1. Schéma complet du redresseur capacitif (dessins/red_cr.drw).

9.2 Caractéristiques du redresseur capacitif

9.3 Caractéristiques des composants

Chapitre 10 - Bibliographie

10.1 Sur les convertisseurs en Electronique de Puissance

- [LIVRE122] J.-P. FERRIEUX, F. FOREST, *Alimentations à découpage - Convertisseurs à résonance*, 3e édition revue et augmentée, 1999.
- [DATA032] Recherche sur les mots clés REDRESSEUR* + DECOUPAGE*
- [DATA193] Recherche sur les PFC, Power Factor Controller.

10.2 Sur les redresseurs

- [LIVRE023] C. ROMBAUT, G. SEGUIER, *Volume 2 : La conversion alternatif-alternatif*, Lavoisier TEC & DOC, 2° édition, septembre 1991, 363 pages.
- [LIVRE122] J.-P. FERRIEUX, F. FOREST, *Alimentations à découpage - Convertisseurs à résonance*, 3e édition revue et augmentée, 1999.
- [99DIV060] Recherche sur les REDRESSEURS, août 1999.

10.3 Sur la commutation des transistors et des diodes

- [LIVRE015] B.J. BALIGA, *Power Semiconductor devices*, 1996.
- [LIVRE037] J.-L. DALMASSO, *L'électronique de puissance - commutation*, édition DIA Technique Supérieur, 1987.

10.4 Sur le calcul des inductances

- [99DIV120] T. LEQUEU, *Annexe 03 - Calculs des inductances et des transformateurs*, cours d'Electronique de Puissance, mars 2002.
- [DIV143] T. LEQUEU, *Informations diverses sur les ferrites et les circuits magnétiques*, septembre 2001.
- [LIVRE122] J.-P. FERRIEUX, F. FOREST, *Alimentations à découpage - Convertisseurs à résonance*, 3e édition revue et augmentée, 1999.
- [DIV035] B. MULTON, *Composants Passifs de la conversion Statique de l'Energie Electrique*, photocopié de cours, ENS de CACHAN, 30 pages.

10.5 Sur le calcul des transformateurs

- [99DIV120] T. LEQUEU, *Annexe 03 - Calculs des inductances et des transformateurs*, cours d'Electronique de Puissance, mars 2002.
- [DIV143] T. LEQUEU, *Informations diverses sur les ferrites et les circuits magnétiques*, septembre 2001.
- [LIVRE122] J.-P. FERRIEUX, F. FOREST, *Alimentations à découpage - Convertisseurs à résonance*, 3e édition revue et augmentée, 1999.
- [DIV035] B. MULTON, *Composants Passifs de la conversion Statique de l'Energie Electrique*, photocopié de cours, ENS de CACHAN, 30 pages.

10.6 Sur le choix des condensateurs

- [DATA205] Informations diverses sur les CONDENSATEURS en l'Electronique de Puissance, mars 2002.

- [LIVRE122] J.-P. FERRIEUX, F. FOREST, *Alimentations à découpage - Convertisseurs à résonance*, 3e édition revue et augmentée, 1999.
- [DIV035] B. MULTON, *Composants Passifs de la conversion Statique de l'Energie Electrique*, polycopié de cours, ENS de CACHAN, 30 pages.