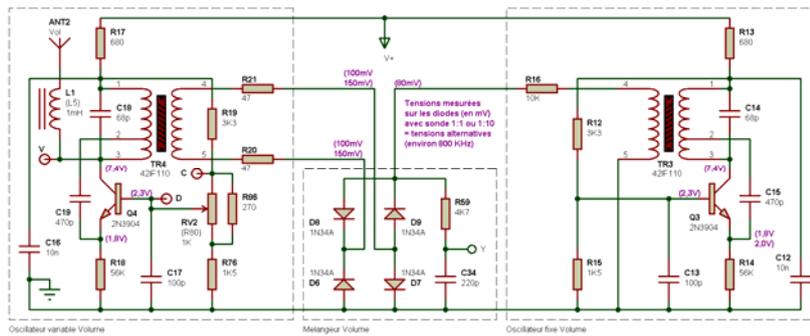


Systemes électroniques I

Chapitre 6

POUR ALIMENTATIONS À DÉCOUPAGE À TRANSFORMATEUR Exercices

Marc Correvon



1. MONTAGE FLYBACK

1.1 DONNÉE.

Circuit primaire

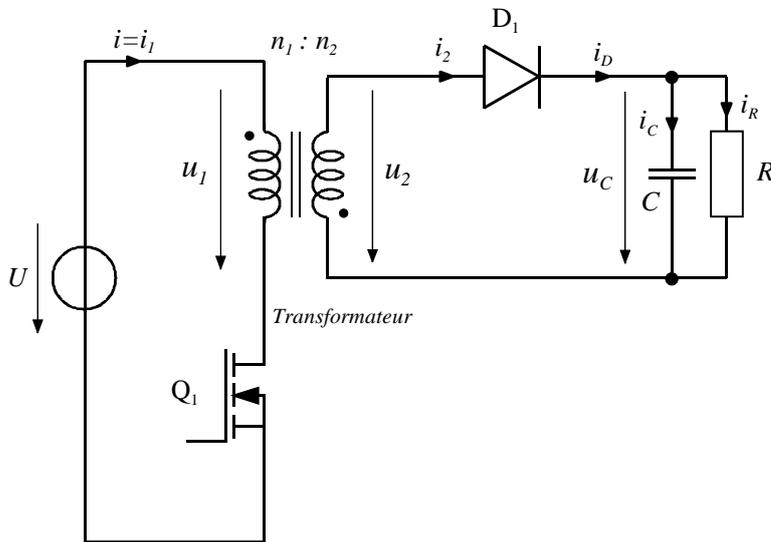
Source d'alimentation	: U	=	15
Fréquence de pulsation	: F_p	=	200kHz
Rapport cyclique	: D	=	0.75

Transformateur

Rapport de transformation	: $n=n_2/n_1$	=	$n_2=10$ spires, $n_1=90$ spires
Inductance magnétisante	: L_h	=	150uH

Circuit secondaire

Condensateur	: C	=	100uF
Charge	: R	=	



Rappel :

La fonction de conversion

$$\frac{U_C}{U} = \frac{n_2}{n_1} \frac{D}{1-D}$$

n'est valable qu'en conduction continue.

Cette alimentation est issue de l'alimentation à stockage inductif (Buck & Boost).

Hypothèses :

Les composants constituant cette alimentation sont considérés comme idéaux

1.2 QUESTIONS

On demande de calculer les points suivants :

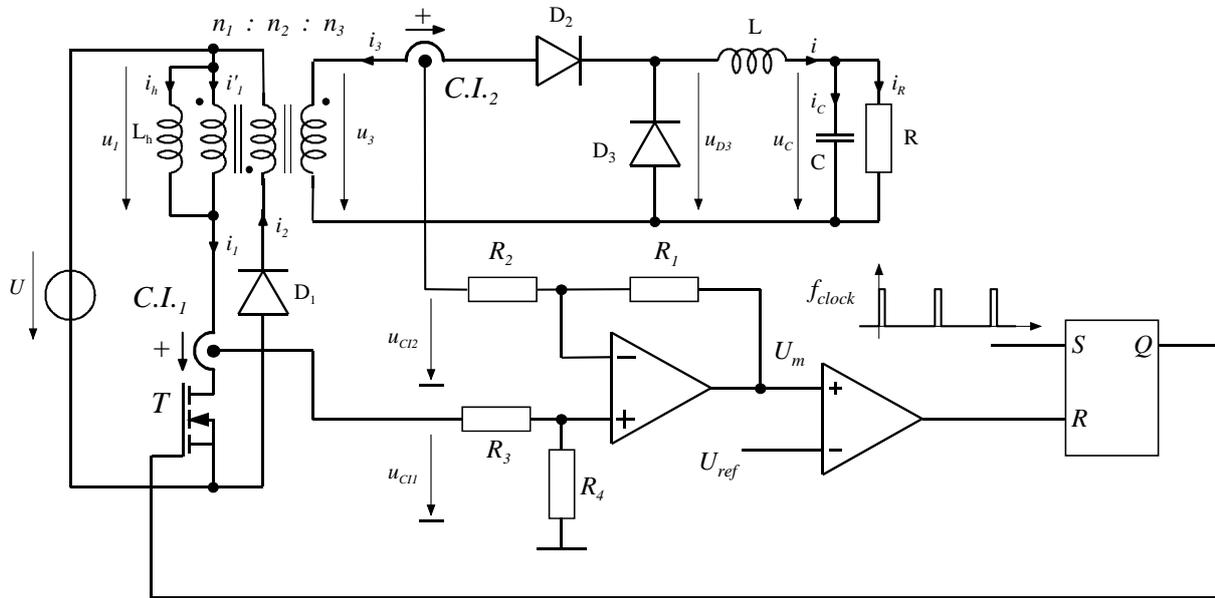
- 1.2.1 En transfert partiel d'énergie, déterminer la valeur de la tension de sortie U_C
- 1.2.2 En transfert partiel d'énergie, déterminer la tension aux bornes du transistor lorsque ce dernier est ouvert
- 1.2.3 Démontrer mathématiquement, quelle sera la valeur de la tension aux bornes du condensateur si on enlève la charge ($I_R \rightarrow 0A$ ou $R \rightarrow \infty$), ceci pour D et U constant. (Inspirez-vous de la démonstration de la conduction intermittente faites pour l'alimentation à stockage inductif). Il s'agit de calculer $U_C=f(U, T_p; L_h, I_R, D)$.
- 1.2.4 Déterminer la charge minimale (Résistance de charge maximale) assurant un transfert partiel d'énergie (conduction continue).

La limite de la conduction continue est définie comme $I_h = \frac{1}{2} \Delta I_h$

2. ALIMENTATION FORWARD

2.1 DONNÉE.

Soit le montage suivant :



Indication préliminaire

Les capteurs C.I.1 et C.I.2 mesurent un courant et donnent à leur sortie une tension. Ces deux capteurs sont rigoureusement identiques. Le gain (transrésistance) est de $K_{CI}=1V/A$. La tension de mesure est positive lorsque le courant va dans le sens de la flèche.

Fonctionnement du circuit.

A chaque impulsion sur l'entrée S (Set) de la bascule SR, la sortie Q passe à 5V ce qui provoque l'enclenchement du transistor T. Le montage différentiel permet de mesurer le courant magnétisant lorsque le transistor T est enclenché. En effet

$$u_m = (K_m \cdot i_1 + K_m \frac{n_1}{n_3} \cdot i_3) = K_m \cdot i_h$$

Lorsque la mesure du courant magnétisant u_m atteint la tension de référence U_{ref} , l'entrée R (Reset) de la bascule SR passe à 1. Dans ce cas la sortie Q passe à 0 et le transistor T est déclenché. Ce dernier reste dans cet état jusqu'à la prochaine impulsion sur l'entrée S de la bascule SR.

- L_h : 100uH Inductance magnétisante.
- n_2/n_1 : 1/3 Rapport de transformation pour le circuit d'extinction.
- n_3/n_1 : 6 Rapport de transformation bobinage principal.
- C : 750uF Condensateur de sortie.
- L : 250uH Inductance au circuit secondaire.
- R : 3Ω Résistance de charge nominale.
- U : 5V Tension d'alimentation nominale au primaire.
- F_{clock} : 100kHz Fréquence du clock.
- K_m : 10V/A Gain (transrésistance) de la chaîne de mesure du courant magnétisant.
- K_{CI} : 1 Gain (transrésistance) des capteurs de courant C.I.1 et C.I.2.

U_{ref} : 2.5V Tension de référence pour la comparaison.
 U_{QMAX} : 50V Tension maximale Drain-Source du transistor.

Hypothèses :

Les composants constituant cette alimentation sont considérés comme idéaux

2.2 QUESTIONS

2.2.1 Transistor fermé

2.2.1.1 Déterminer le courant magnétisant maximum vu au primaire du transformateur ($i_{h\text{MAX}}$).

2.2.1.2 Déterminer le temps t_c d'enclenchement du transistor.

2.2.2 Point de fonctionnement

2.2.2.1 En conduction continue, la tension de sortie U_C est indépendante de la tension d'entrée U . Démontrer cette assertion en calculant $U_C=f(n_3/n_1, U_{\text{ref}}, K_m, L_h, F_{\text{clock}})$

2.2.2.2 Déterminer la tension d'entrée minimale admissible pour assurer le bon fonctionnement de cette alimentation (le courant magnétisant doit s'annuler avant la prochaine fermeture du transistor).

2.2.2.3 Déterminer la tension d'entrée maximale admissible pour assurer le bon fonctionnement de cette alimentation (la tension aux bornes du transistor atteint U_{QMAX} lorsque le circuit de récupération est actif).

2.2.3 Limite de la conduction continue

2.2.3.1 Déterminer la valeur maximale de la résistance de sortie pour assurer la conduction continue dans toute la plage $U_{\text{MIN}} < U < U_{\text{MAX}}$.

2.2.4 Phase d'extinction

2.2.4.1 En fonctionnement nominal ($U=5V$, $R=3\Omega$), calculer le courant maximum absorbé / débité par la source de tension U lors de la phase d'extinction du courant magnétisant.

2.2.5 Mesure du courant d'extinction

2.2.5.1 Déterminer la fonction de transfert (calcul littéral) liant les tensions de sorties des capteurs (u_{CI1} et u_{CI2}) à la tension u_m de comparaison avec U_{ref} .

2.2.5.2 Déterminer les valeurs des résistances pour avoir un gain (transrésistance) de la chaîne de mesure du courant magnétisant égale à $K_m=10V/A$.

1. MONTAGE FLYBACK

1.2 CORRECTION

1.2.1 Valeur de la tension de sortie U_C (conduction continue) :

$$U_C = \frac{D}{1-D} \frac{n_2}{n_1} U \quad 1.1$$

Application numérique : $U_C = 5V$

1.2.2 Tension aux bornes du transistor

$$U_Q^{[td]} = U + \frac{n_1}{n_2} U_C \Rightarrow U_Q^{[td]} = \frac{U}{1-D} \quad 1.2$$

Application numérique : $U_Q^{[td]} = 60V$

1.2.3 Tension aux bornes du transistor lorsque la charge est nulle ($R \rightarrow \infty$)

En conduction intermittente (alimentation Buck-Boost)

Tension moyenne aux bornes de l'inductance

$$U_L = U \cdot \frac{t_e}{T_p} - \frac{n_1}{n_2} U_C \cdot \frac{t'_d}{T_p} = 0 \quad 1.3$$

$$\Rightarrow t'_d = \frac{U}{U_C} \frac{n_2}{n_1} \cdot t_e \quad 1.4$$

Courant maximum dans l'inductance magnétisante

$$I_{hMAX} = \frac{U}{L_h} t_e \quad 1.5$$

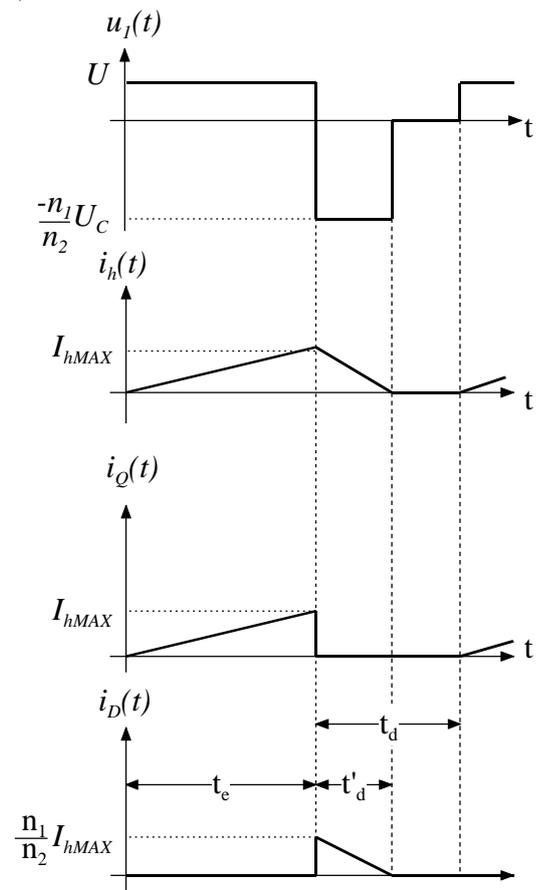
Courant maximum dans la diode

$$I_{DMAX} = \frac{n_1}{n_2} I_{hMAX} \quad 1.6$$

Le courant moyen dans la diode est égal au courant moyen dans la charge (courant moyen nul dans le condensateur)

$$I_R = \frac{1}{T_p} \int_{t_e}^{T_p} i_D(t) dt = \frac{1}{2} I_{DMAX} \frac{t'_d}{T_p} \quad 1.7$$

$$= \frac{1}{2} \frac{n_1}{n_2} \frac{U}{L_h} \frac{t_e t'_d}{T_p} = \frac{1}{2} \frac{U T_p}{L_h} \frac{U}{U_C} \left(\frac{t_e}{T_p} \right)^2$$



$$I_R = \frac{1}{2} \frac{UT_p}{L_h} \frac{U}{U_C} D^2 \quad 1.8$$

$$I_R = \frac{1}{T_p} \int_{t_e}^{T_p} i_D(t) dt = \frac{1}{2} I_{D_{MAX}} \frac{t_d}{T_p} = \frac{1}{2} \frac{n_1}{n_2} \frac{U}{L_h} \frac{t_e t_d}{T_p} = \frac{1}{2} \frac{UT_p}{L_h} \frac{U}{U_C} \left(\frac{t_e}{T_p} \right)^2 \quad 1.9$$

on peut donc écrire :

$$U_C = \frac{1}{2} \frac{U^2 T_p}{L_h} \frac{1}{I_R} D^2 \quad 1.10$$

Lorsque la diode conduit, la tension aux bornes du transistor vaut :

$$U_Q^{[t_d]} = U + \frac{n_1}{n_2} U_C = U \left(1 + \frac{1}{2} \frac{n_1}{n_2} \frac{UT_p}{L_h} \frac{1}{I_R} D^2 \right) \quad 1.11$$

On voit donc que pour U et D constants, si le courant s'annule, la tension aux bornes du transistor peut théoriquement être infinie.



1.2.4 Charge minimale pour avoir un transfert partiel d'énergie

Le courant moyen dans l'inductance doit être égal à la moitié de l'ondulation de courant :

$$I_{hLIM} = \frac{1}{2} \Delta I_h = \frac{1}{2} \frac{U}{L_h} t_e = \frac{1}{2} \frac{UT_p}{L_h} D \quad 1.12$$

Courant moyen dans la diode :

$$\begin{aligned} I_{RLIM} \underbrace{=}_{I_C=0} I_D &= \frac{n_1}{n_2} I_{hLIM} (1-D) = \frac{1}{2} \frac{n_1}{n_2} \frac{UT_p}{L_h} (1-D) D \\ &= \underbrace{\frac{1}{2} \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2}_{U_C = \frac{n_2}{n_1} \frac{D}{1-D} U} \frac{U_C T_p}{L_h} (1-D)^2 \end{aligned} \quad 1.13$$

La résistance maximale vaut donc :

$$R_{MAX} = \frac{U_C}{I_{RLIM}} = 2 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \frac{L_h}{T_p (1-D)^2} \quad 1.14$$

Application numérique : $R_{MAX} = 11.85 \Omega$

2. ALIMENTATION FORWARD

2.2 CORRECTION.

2.2.1 Transistor fermé

2.2.1.1 Courant magnétisant maximum vu au primaire du transformateur

$$I_{hMAX} = \frac{U_{ref}}{K_m} \quad 2.1$$

Application numérique : $I_{hMAX} = \frac{2.5}{10} = 250mA$

2.2.1.2 Temps d'enclenchement du transistor

$$t_e = \frac{I_{hMAX} L_h}{U} = \frac{U_{ref} L_h}{U \cdot K_m} \quad 2.2$$

Application numérique : $t_e = \frac{2.5 \cdot 100 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10} = 5 \mu s$

2.2.2 Point de fonctionnement

2.2.2.1 Détermination de la tension de sortie

$$U_C = D \cdot u_3 = t_e \cdot F_{clock} \frac{n_3}{n_1} U = \frac{n_3}{n_1} \frac{U_{ref} L_h}{K_m} \cdot F_{clock} \quad 2.3$$

Application numérique : $U_C = 6 \cdot \frac{2.5 \cdot 100 \cdot 10^{-6}}{10} \cdot 100 \cdot 10^3 = 15V$

2.2.2.2 Tension d'entrée minimale admissible

Pour assurer l'extinction du courant magnétisant avant la prochaine période de pulsation, il existe une condition sur les temps d'enclenchement et de déclenchement du transistor

$$T_{clock} > t_e + t_d = \frac{U_{ref} L_h}{K_m U} + \frac{I_{hMAX} L_h}{U \frac{n_1}{n_2}} = \frac{U_{ref} L_h}{K_m U} \left(1 + \frac{n_2}{n_1} \right) \quad 2.4$$

$$U_{MIN} > \frac{U_{ref} L_h}{K_m} F_{clock} \left(1 + \frac{n_2}{n_1} \right) \quad 2.5$$

Application numérique : $U_{MIN} > \frac{2.5 \cdot 100 \cdot 10^{-6}}{10} \cdot 100 \cdot 10^3 \left(1 + \frac{1}{3} \right) = 3.3\bar{3}V$

2.2.2.3 Tension d'entrée maximale admissible

La tension d'entrée maximale est fixée par la tension maximale admissible pour le transistor

$$u_{Q_{MAX}} < U + \frac{n_1}{n_2}U = U \left(1 + \frac{n_1}{n_2} \right) \quad 2.6$$

$$U_{MAX} < \frac{U_{Q_{MAX}}}{\left(1 + \frac{n_1}{n_2} \right)} \quad 2.7$$

Application numérique : $U_{MAX} < \frac{50}{(1+3)} = 12.5V$

2.2.3 Limite de la conduction continue

2.2.3.1 Calcul de la résistance de charge maximum admissible

$$D_{MIN} = t_{e_{MIN}} F_{clock} = \frac{U_{ref} L_h}{K_m U_{MAX}} F_{clock} \quad 2.8$$

$$D_{MAX} = t_{e_{MAX}} F_{clock} = \frac{U_{ref} L_h}{K_m U_{MIN}} F_{clock}$$

Application numérique :

$$\begin{cases} D_{MIN} = \frac{2.5 \cdot 100 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 12.5} 100 \cdot 10^3 = 0.2 \\ D_{MAX} = \frac{2.5 \cdot 100 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 3.33} 100 \cdot 10^3 = 0.75 \end{cases}$$

$$\Delta I_L = \frac{U T_{clock}}{L} D(1-D) = \frac{U_c T_{clock}}{L} (1-D) \quad 2.9$$

Le pire cas est atteint pour $D=D_{MIN}$

$$I_{R_{MIN}} = \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{U_c T_{clock}}{2L} (1-D_{MIN}) \quad 2.10$$

$$R_{MAX} = \frac{U_c}{I_{R_{MIN}}} = \frac{2L}{(1-D_{MIN})} F_{clock} \quad 2.11$$

Application numérique : $R_{MAX} = \frac{2 \cdot 250 \cdot 10^{-6}}{(1-0.2)} 100 \cdot 10^3 = 62.5\Omega$

2.2.4 Phase d'extinction

2.2.4.1 Courant maximum dans la source en phase d'extinction

$$I_{MAX} = -I_{h_{MAX}} \frac{n_1}{n_2} = -\frac{U_{ref}}{K_m} \frac{n_1}{n_2} \quad 2.12$$

Application numérique : $I_{MAX} = -\frac{2.5}{10} 3 = -750mA$

2.2.5 Mesure du courant d'extinction*2.2.5.1 Fonction de transfert de la chaîne de mesure*

$$u_m = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \frac{R_1 + R_2}{R_2} K_{Cl} \cdot i_1 + \frac{R_1}{R_2} K_{Cl} \cdot i_3 \quad 2.13$$

$$i_1 = i_1' + i_h = -\frac{n_3}{n_1} i_3 + i_h \Rightarrow i_h = i_1 + \frac{n_3}{n_1} i_3 \quad 2.14$$

$$u_m = K_m \cdot i_h = K_m i_1 + K_m \frac{n_3}{n_1} i_3 \quad 2.15$$

2.2.5.2 Valeur des composants

Par identification, on obtient :

$$K_m = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right) K_{Cl} \quad 2.16$$

$$K_m \frac{n_3}{n_1} = \frac{R_1}{R_2} K_{Cl} \quad 2.17$$

Application numérique : $\frac{R_1}{R_2} = 60$, $\frac{R_3}{R_4} = 5.1$