

## Systèmes Électroniques – Projet de simulation

J. Haggège & M. Ayadi

2<sup>ème</sup> année GE

### 1 Présentation du projet

Il s'agit d'étudier et de simuler à l'aide du logiciel PSPICE l'alimentation à découpage régulée à structure Forward dont le schéma de principe est donné par la figure 1.

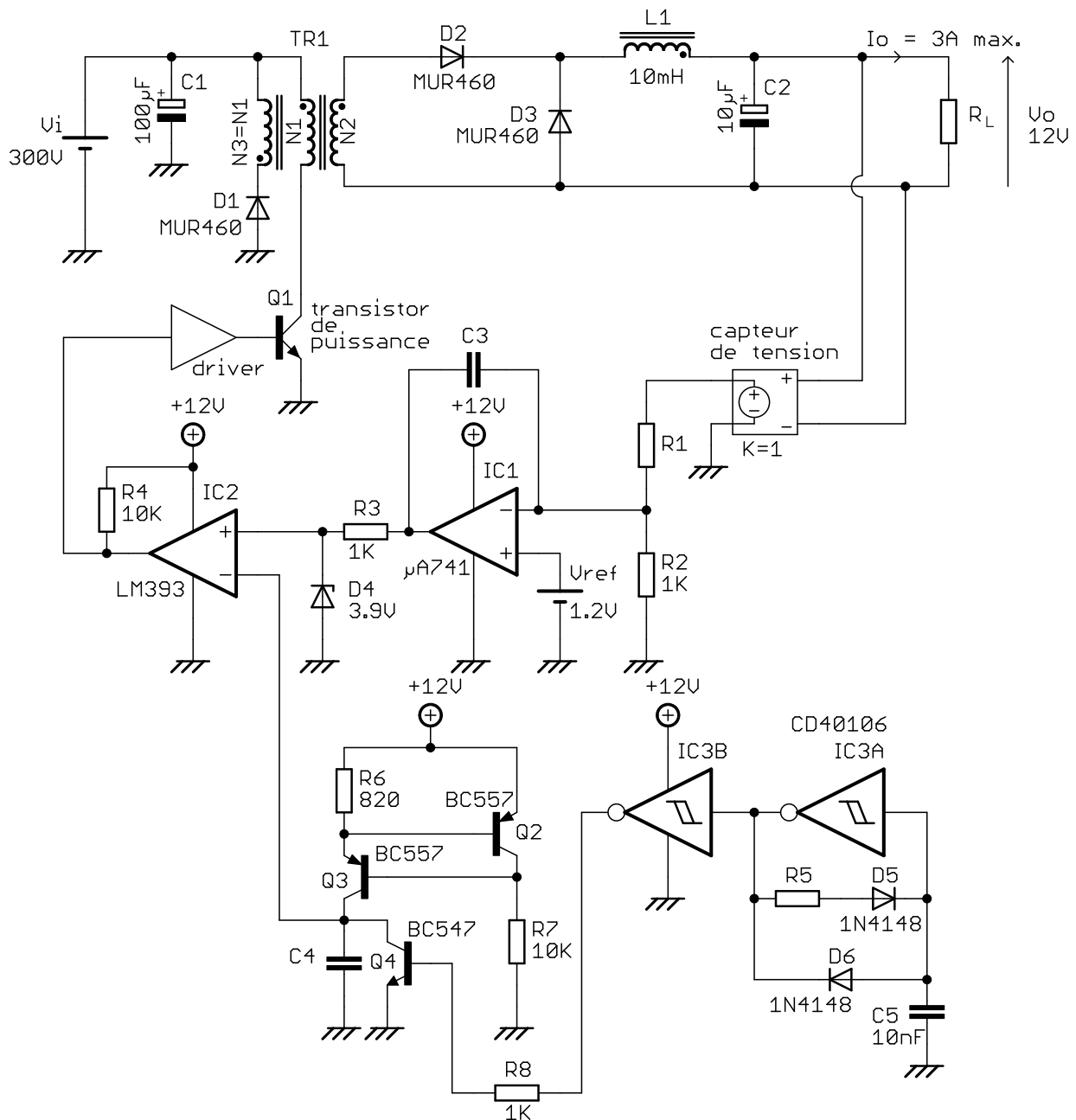


FIGURE 1 –

## 2 Étude préliminaire

### 2.1 Générateur d'impulsions

Le générateur d'impulsions permettant de fixer la fréquence de découpage utilisée dans l'alimentation est construit autour des inverseurs à trigger de Schmitt contenus dans le circuit intégré IC3. Les seuils de basculement de ces triggers sont tels que :  $V_{T+} = 7 \text{ V}$  et  $V_{T-} = 4,2 \text{ V}$  lorsqu'ils sont alimentés en 12 V.

**Représenter** l'allure des signaux aux bornes du condensateur C5 ainsi qu'à la sortie de IC3A et IC3B puis **calculer** la valeur de la résistance R5 afin d'obtenir un train d'impulsions de fréquence  $f = 32 \text{ kHz}$  sur la sortie de IC3B.

### 2.2 Générateur de dent de scie

Un signal en dent de scie est obtenu aux bornes du condensateur C4 en chargeant celui-ci à courant constant à l'aide de la source de courant réalisée autour des transistors Q2 et Q3, puis en le déchargeant brusquement à travers le transistor Q4 commandé en commutation par le train d'impulsions appliqué sur la base de ce transistor.

**Déterminer** la valeur du courant de charge du condensateur C4 et **en déduire** la capacité que doit avoir celui-ci afin d'obtenir à ses bornes un signal en dent de scie d'amplitude  $V_{\max} = 8 \text{ V}$ .

### 2.3 Circuit de régulation de la tension de sortie

La tension de sortie  $V_o$  de l'alimentation est régulée en mesurant cette tension à l'aide d'un capteur de tension assurant l'isolation galvanique entre le circuit de commande et le circuit de régulation de l'alimentation, puis en prélevant une fraction de cette tension à l'aide du pont diviseur R1/R2. L'amplificateur opérationnel IC1 élabore la tension d'erreur à partir de cette fraction de la tension de sortie et d'une tension de référence stabilisée  $V_{\text{ref}} = 1,2 \text{ V}$  de type Band Gap. Le condensateur C3 permet d'assurer la stabilité de la boucle de régulation.

**Calculer** la valeur de la résistance R1 permettant d'obtenir  $V_o = 12 \text{ V}$ .

### 2.4 Générateur de signal MLI

Le signal modulé en largeur d'impulsion (MLI) permettant de commander le circuit de puissance est élaboré à l'aide du comparateur IC2 aux entrées duquel sont appliquées la dent de scie et la tension d'erreur. Cette dernière traverse préalablement le circuit constitué par la résistance R3 et la diode Zener D4.

**Indiquer** le rôle de la diode Zener et **en déduire** la valeur maximale du rapport cyclique du signal MLI obtenu en sortie de IC3.

### 2.5 Circuit de puissance

Le circuit de puissance de l'alimentation est constitué d'un convertisseur d'énergie DC-DC à structure Forward, dérivée de celle du hacheur abaisseur Buck. Le lissage du courant et de la tension de sortie sont assurés respectivement par l'inductance L1 et le condensateur C2. Le transistor de puissance Q1 est commandé en commutation par le signal MLI appliqué sur sa base à travers un driver assurant l'isolation galvanique et l'apport de courant nécessaire à la saturation de Q1.

La tension d'entrée provient d'une source de tension continue  $V_i = 300 \text{ V}$  appliquée sur la borne pointée de l'enroulement primaire du transformateur TR1. Celui-ci possède trois enroulements bobinés sur un même circuit magnétique : le primaire comportant un nombre  $N_1$  de spires, le secondaire

constitué de  $N_2$  spires et un enroulement supplémentaire possédant le même nombre de spires que le primaire, permettant d'assurer la démagnétisation complète du circuit magnétique lors d'un cycle de commutation. On choisit un rapport de transformation  $m$  entre le primaire et le secondaire tel que :

$$m = \frac{N_2}{N_1} = 0,25 \quad (1)$$

En adoptant les notations de la figure 2 pour les tensions et les courants dans les enroulements du transformateur, celui-ci peut être modélisé par le schéma équivalent simplifié représenté sur la figure 3 où  $L_\mu$  est l'inductance magnétisante ramenée au primaire, parcourue par le courant magnétisant  $I_\mu$ , et les deux transformateurs qui y apparaissent sont parfaits, ce qui permet d'obtenir les équations suivantes qui caractérisent le transformateur TR1 :

$$\begin{cases} I_1 = I_\mu + mI_2 - I_3 \\ U_2 = mU_1 \\ U_3 = U_1 \end{cases} \quad (2)$$

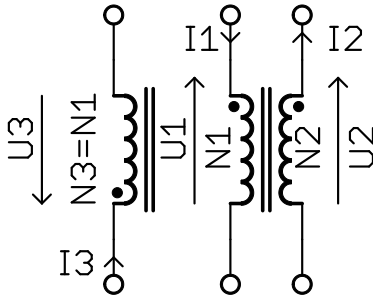


FIGURE 2 –

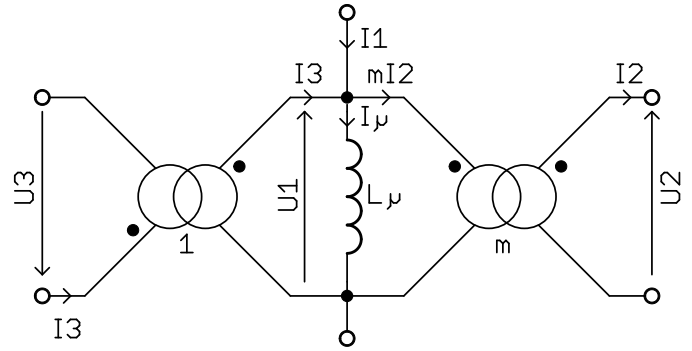


FIGURE 3 –

**Représenter** l'allure du courant magnétisant  $I_\mu$  durant un cycle de commutation du transistor de puissance Q1 et **en déduire** la valeur minimale que doit prendre l'inductance magnétisante  $L_\mu$  du transformateur TR1 afin que  $I_\mu$  ne dépasse pas 1 A au maximum.

### 3 Simulation sous Pspice

Le transistor de puissance Q1 et son driver seront modélisés à l'aide d'un switch commandé en tension (composant S de PSPICE). Le transformateur sera modélisé par son schéma équivalent, figure 3, en implémentant les équations (2) au moyen de sources de tension contrôlées en tension et de sources de courant contrôlées en courant (composants E et F de PSPICE). Le capteur de tension sera également modélisé par une source de tension contrôlée en tension (composant E de PSPICE).

**Travail demandé :**

- **Simuler** individuellement sous PSPICE chacune des fonctions électroniques qui constituent le schéma de la figure 1 et **ajuster** éventuellement les valeurs des composants calculés lors de l'étude préliminaire. **Représenter** les signaux caractéristiques de chaque fonction modélisée.
- **Assembler** tous les éléments de l'alimentation en un seul schéma et **effectuer** un test en boucle ouverte afin d'obtenir la réponse indicielle à une variation en échelon du rapport cyclique, de 0 à 25 %. On prendra pour cela une charge résistive  $R_L$  telle que le courant de sortie  $I_o$  soit égal à 1,2 A.

- **Réaliser** un test en boucle fermée en l'absence du condensateur C3. **Que peut-on dire** du comportement en régime permanent de la tension de sortie  $V_o$  de l'alimentation ? **Justifier** qualitativement ce comportement. À l'aide d'essais par simulation, **déterminer** la plus petite valeur de la capacité du condensateur C3 permettant d'obtenir une réponse indicielle amortie.
- **Imposer** une variation du courant de sortie  $I_o$  en modifiant brusquement la valeur de  $R_L$  de manière à ce que le courant  $I_o$  passe de 1,2 à 2,7 A, la tension  $V_i$  restant constante, égale à 300 V. **Représenter** alors l'évolution de la tension de sortie  $V_o$  et **en déduire** la valeur du coefficient de régulation en charge  $R_o$  dans ces conditions.
- Le courant de sortie  $I_o$  étant constant, égal à 1,2 A, **imposer** une variation brusque de la tension d'entrée  $V_i$ , de 300 à 270 V. **Représenter** alors l'évolution de la tension de sortie  $V_o$  et **en déduire** la valeur du coefficient de régulation de ligne  $S_v$  dans ces conditions.

**Recommandation importante :** en cas de problème de convergence avec le simulateur de PSPICE, il convient éventuellement de modifier les valeurs par défaut des paramètres RELTOL, VNTOL, ABSTOL et ITL1. Pour plus de détails concernant ces paramètres, lire la documentation de PSPICE.

## Références

- [1] Marty Brown. *Practical Switching Power Supply Design*. Motorola, Series in Solid State Electronics. Academic Press, Inc., U.S.A, 1990.
- [2] Keith BILLINGS and Taylor MOREY. *Switchmode Power Supply Handbook*. McGraw-Hill, New York, 3<sup>rd</sup> edition, 2011.
- [3] Robert W. ERICKSON and Dragan MAKSIMOVIĆ. *Fundamentals of Power Electronics*. Kluwer Academic Publishers, New York, 2<sup>nd</sup> edition, 2004.
- [4] Henri FOCH et al. Alimentations à découpage – Convertisseurs continu-continu isolés. In *Techniques de l'Ingénieur : Traité Génie Électrique*, volume D3 165. Techniques de l'Ingénieur, Paris, 2001.
- [5] Henri FOCH et al. Alimentations à découpage – Le transformateur. In *Techniques de l'Ingénieur : Traité Génie Électrique*, volume D3 164. Techniques de l'Ingénieur, Paris, 2001.
- [6] Abraham I. PRESSMAN, Keith BILLINGS, and Taylor MOREY. *Switching Power Supply Design*. McGraw-Hill, New York, 3<sup>rd</sup> edition, 2009.
- [7] Muhammad H. RASHID and Hasan M. RASHID. *SPICE for Power Electronics and Electric Power*. CRC Press, Taylor & Francis, Florida, U.S.A, 2<sup>nd</sup> edition, 2006.