ETUDE DU HACHEUR SERIE

1. Problématique

On veut transférer de la puissance électrique depuis un générateur de tension constante E vers un récepteur de résistance R avec les contraintes suivantes :

- La tension u_R aux bornes de R est continue
- Sa valeur moyenne est facilement réglable
- Les fluctuations autour de la valeur moyenne sont les plus faibles possibles
- Le convertisseur de puissance ne consomme pas d'énergie.

On va utiliser pour cela un **hacheur.** C'est un **convertisseur continu-continu statique** permettant d'alimenter une charge (par exemple un moteur à courant continu) sous une tension continue réglable, à partir d'une source de tension continue constante E. On va dans ce TP l'étudier sur une charge constituée d'une résistance et d'une inductance en série, dite charge R-L.

La figure 1 rappelle la constitution du **hacheur série direct (**en grisé).

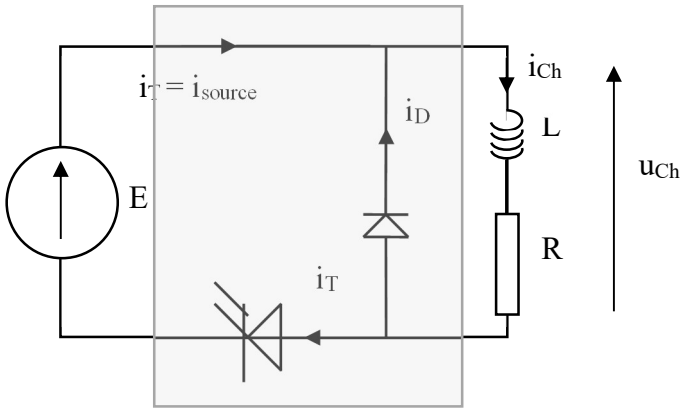


Figure 1

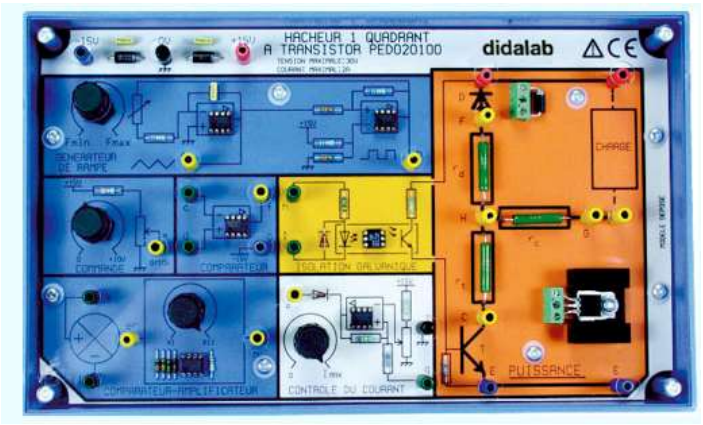


Figure 2

2. Matériel

Vous disposez de :

- Maquette hacheur ; Alimentation +/- 15 V
- Bobine à noyau 0,15 – 1,5 H ; Rhéostat 100 Ω
- Oscilloscope ; Alimentation continue 0-30 V
- 2 multimètres ; Fils de sécurité pour la partie puissance

3. Préparation : rappel du principe de fonctionnement

Q1. Représenter le circuit pour $0 < t < \alpha T$ lorsque la source est connectée à la charge, ainsi que pour $\alpha T < t < T$. Dans chaque cas, on précisera l'état des interrupteurs (ouvert ou fermé).
Q2.En déduire que $\langle u_{Ch}(t) \rangle = U_{Ch} = \alpha E$ et que $\langle i_{Ch}(t) \rangle = I_{Ch} = \alpha E / R$.
Q3. Montrer que, si on néglige R, $i_{Ch}(t)$ est croissante pour $0 < t < \alpha T$.
Q4. Soient $I_{min} > 0$ et I_{MAX} les valeurs respectivement minimales et maximales de $i_{Ch}(t)$ sur cet intervalle. Pourquoi la fonction $i_{Ch}(t)$ est-elle continue ?
Q5. Quel est forcément son sens de variation pour $\alpha T < t < T$?
Q6. Représenter l'allure de $i_{Ch}(t)$ sur deux périodes en concordance de temps avec $u_{Ch}(t)$.
Q7. Définir l'ondulation Δi de $i_{Ch}(t)$.

4. Description de la maquette utilisée

Elle se compose de deux parties (figure 2) :

- le circuit de commande destiné à générer la tension de commande u(t) du transistor : générateur de rampe, commande et comparateur ; c'est un circuit électronique : les courants, les tensions et les puissances restent faibles ; (en bleu sur la plaquette)
- la partie puissance, composée de la charge à commander (ici représentée par l'association R,L, en général il s'agit d'un moteur) et de son alimentation, associées à une diode et à un transistor. Les courants et les puissances peuvent atteindre des valeurs importantes, on utilisera des fils appropriés pour cabler la partie puissance. (en orange sur la plaquette)

Les parties commande et puissance sont reliées par un circuit d'isolation évitant tout contact électrique (en jaune sur la plaquette)

Alimenter le circuit de commande en ± 15 V.

5. Etude rapide de la commande (partie bleue de la maquette)

Connecter les bornes ac, ed, fh et gi comme indiqué sur la figure 3, en fin de TP.
Visualiser à l'oscilloscope la tension de sortie du comparateur, entre f et la masse. C'est cette tension qui commande l'ouverture et la fermeture du transistor.
Agir sur le potentiomètre de commande. Comment évolue la tension de sortie ?
Agir sur la résistance réglable du générateur de rampe. Comment évolue la tension de sortie ?

6. Etude du circuit de puissance sur charge RL

6.1.Montage

La charge est un circuit RL : une bobine d'inductance L pouvant varier de 0,1 à 1,1 H de résistance interne r = 12 Ω en série avec un rhéostat 100 Ω de résistance réglable.
La tension moyenne U_{Ch} aux bornes de la charge et l'intensité moyenne I_{Ch} la traversant sont mesurées à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre, en montage courte dérivation.
La tension u_{Ch} aux bornes de la charge ainsi que l'intensité i_{Ch} du courant traversant la charge (à l'aide du rhéostat) sont visualisées à l'aide d'un oscilloscope.
Dessiner le schéma du montage avec les appareils de mesure.
Le voltmètre et l'ampèremètre seront-ils utilisés en AC ou en DC ?

Placer sur ce schéma, les points A, E, G et H notés sur la figure 1, en fin du TP.

Placer un générateur délivrant une tension de 30 V entre les bornes A (+) et E (-).
Réaliser le montage décrit ci-dessus avec tous les appareils de mesure

Remarque : le point E n'est pas relié au 0 de l'alimentation de la maquette; la masse du circuit peut en conséquence être positionnée en tout point du circuit de puissance, l'observation des courants dans la diode et le transistor se faisant grâce à des résistances de 1 Ω.

6.2.Manipulations

a) Oscillogrammes et mesures de R et L

Pour $\alpha = 0{,}75$, L = 0,15 H, la position du rhéostat en milieu de course, relever, en notant les calibres utilisés, les oscillogrammes de :

- $u_{Ch}(t)$, tension aux bornes de la charge ;
- $i_{Ch}(t)$, courant circulant dans la charge ;

On tracera ces oscillogrammes les uns sous les autres en concordance de temps.

Mesurer au voltmètre $U_{Ch} = <u(t)>$.
Mesurer à l'ampèremètre $I_{Ch} = <i_{Ch}(t)> = \alpha E / R = U_{Ch} / R$, en déduire R, puis la résistance du rhéostat sachant que la bobine a une résistance de 12 Ω.
A partir de l'oscillogramme donnant la tension proportionnelle à $i_{Ch}(t)$, déterminer l'ondulation Δi.
Sachant que $\Delta i \approx E.T.\alpha.(1-\alpha) / L = U_{Ch}.T.(1-\alpha) /L$, en déduire un ordre de grandeur de L. Comparer à la valeur donnée sur la bobine.

b) Etude qualitative

Remplir le tableau suivant à partir des résultats obtenus expérimentalement, en faisant varier les paramètres les uns après les autres.
Pour chaque grandeur mesurée, on notera dans le tableau la valeur initiale et la valeur finale, afin de vérifier la pertinence de la variation.

Sens de variation de / Grandeur qui augmente	$U_{Ch} = <u_{Ch}(t)>$	$I_{Ch} = <i_{Ch}(t)>$	Ondulation Δi
Rapport cyclique α			
Fréquence $f = 1/T$			
R			
L			

Ces résultats sont-ils cohérents ?

c) Etude quantitative

Mesurer U_{Ch} , I_{Ch} et l'ondulation Δi en fonction de α. Tracer U_{Ch} , I_{Ch} et Δi en fonction de α.
Pour quelle valeur de α l'ondulation est-elle maximale ? Quelle est alors sa valeur ?

d) Courants dans les interrupteurs

Où doit-on placer l'oscilloscope pour observer simultanément $i_D(t)$, courant circulant dans la diode, et $i_T(t)$, courant circulant dans le transistor ? Vérifier que l'on mesure $- i_D(t)$ et $- i_T(t)$.
Relever ces deux oscillogrammes. Que vaut $i_D(t) + i_T(t)$?
Expliquer qualitativement l'allure de chaque courbe.

7. Détermination théorique de l'ondulation de courant

Pour ce faire, il faut écrire les équations différentielles dont est solution i(t) pour chaque intervalle de temps.
On appelle $I_{min} = i_{Ch}(t=0)$ et $I_{Max} = i_{Ch}(t=\alpha T)$.

a) Déterminer $i_{Ch}(t)$ pour $0 < t < \alpha T$ en fonction de E, R, α, $\tau = L/R$ et I_{min}. En déduire une expression de I_{Max} en fonction de I_{min}, α, T et τ.
b) Déterminer $i_{Ch}(t)$ pour $\alpha T < t < T$, en fonction de I_{Max}, T, α et τ. En déduire une expression de I_{min} en fonction de I_{Max}, α, T et τ, puis en fonction de E, R, α, τ et T.
c) Déterminer l'ondulation de courant définie par $\Delta I = I_{max} - I_{min}$.
d) Montrer que lorsque la fréquence de hachage est élevée, c'est à dire $\tau = L/R >> T$, une expression approchée de Δi est $E.T.\alpha(1-\alpha)/ L$. Tracer l'allure de l'ondulation en fonction de α.
e) Pour quelle valeur de α cette ondulation est-elle maximale ? Quelle est alors sa valeur ?

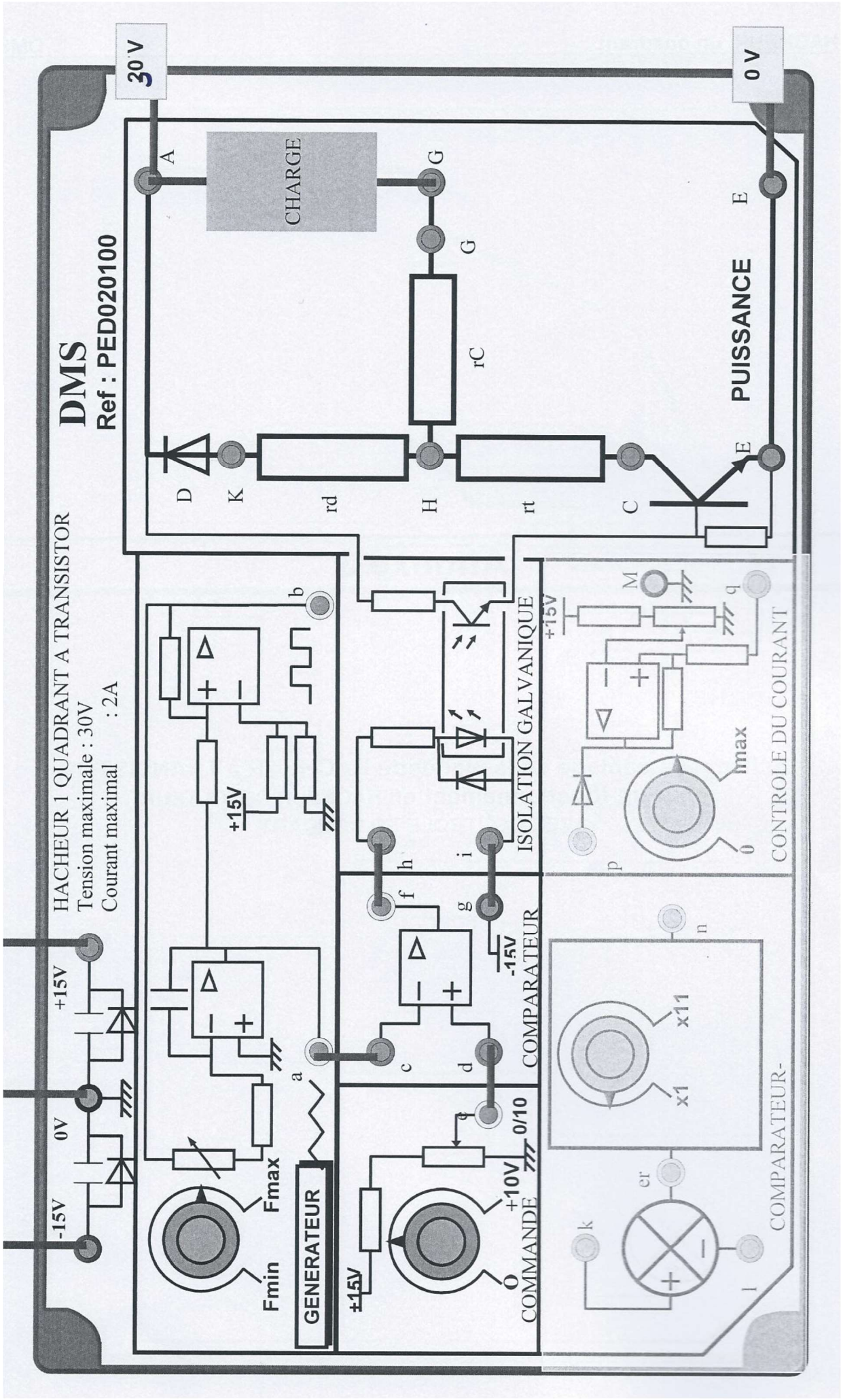

DMS
Ref : PED020100
HACHEUR 1 QUADRANT A TRANSISTOR
Tension maximale : 30V
Courant maximal : 2A
30 V
0 V
CHARGE
PUISSANCE
rC
rd
rt
GENERATEUR
COMMANDE
COMPARATEUR
ISOLATION GALVANIQUE
CONTROLE DU COURANT
COMPARATEUR-
+15V
-15V
0V
Fmin
Fmax
+10V
0/10
±15V
x1
x11
max

Figure 3