

PED020420

Hacheur 4 quadrants Onduleur Monophasé



DIDALAB
5 Rue du Groupe Manoukian
78990 Elancourt
Tel: 01.30.66.08.88 / Fax: 01.30.66.72.20
ge@didalab.fr

TRAVAUX PRATIQUES

SOMMAIRE

CAHIER DES CHARGES	6
Fonction "hacheur quatre quadrants"	6
- Puissance	6
- Commande	6
Fonction "onduleur"	7
- Puissance	7
- Commande	7
TRAVAUX PRATIQUES SUR LES MONTAGES HACHEURS QUATRE QUADRANTS....	8
HACHEUR A TRANSISTOR : FONCTIONNEMENT DANS LES QUATRE QUADRANTS	8
I. CIRCUIT DE COMMANDE	8
II. CIRCUIT DE PUISSANCE	9
III. DEBIT SUR CHARGE PUREMENT RESISTIVE.....	10
IV. DEBIT SUR CHARGE INDUCTIVE.....	10
V. ALIMENTATION D'UNE MACHINE ELECTRIQUE.....	12
1° Manipulation préliminaire.....	12
2° Etude de la réversibilité en tension et en courant.....	15
3° Fonctionnement dans les quatre quadrants.....	15
TRAVAUX PRATIQUES SUR LES MONTAGES ONDULEURS AUTONOMES.....	18
A) ONDULEUR DE TENSION A COMMANDE SYMETRIQUE.....	18
I. PREPARATION	18
II. SCHEMA DE MONTAGE	19
III. EXPERIMENTATION	21
III.1. RECEPTEUR : CIRCUIT <i>RL</i>	21
III.2. RECEPTEUR : CIRCUIT <i>RLC</i> série.	21
III.3. APPLICATION : VARIATION DE LA VITESSE D'UN MOTEUR	22
III.4. ANALYSE SPECTRALE DE LA TENSION ET DU COURANT.	23
B) ONDULEUR A COMMANDE DECALEE.....	24
I. PREPARATION	24
II. SCHEMA DE MONTAGE	26
III. EXPERIMENTATION	27
III.1. RECEPTEUR : CIRCUIT <i>RL</i>	27
III.2. RECEPTEUR : CIRCUIT <i>RLC</i> série.	28
III.3. APPLICATION : VARIATION DE LA VITESSE D'UN MOTEUR	29
III.4. ANALYSE SPECTRALE DE LA TENSION ET DU COURANT.	30
C) ONDULEUR A COMMANDE A U/f CONSTANTE.....	32
I. SCHEMA DE MONTAGE	32
II. RAPPELS	33

III. EXPERIMENTATION	36
III.1. Charge <i>RL</i>	36
III.2. Variation de la vitesse d'un moteur	36
III.3. Analyse spectrale de la tension et de l'intensité du courant	37
D) ONDULEUR A MODULATION DE LARGEUR D'IMPULSIONS	38
I. PARTIE COMMANDE.....	39
II. PARTIE PUISSANCE.....	39
II.1. Charge <i>R</i>	40
II.2. Charge <i>RL</i>	41
II.3. Variation de la vitesse d'un moteur	42
II.4. Analyse spectrale de la tension et de l'intensité du courant.....	42
ANNEXES	
Annexe 1	44
Plan de la maquette HACHEUR/ONDULEUR	44
Annexe 2	46
Schéma de câblage de la maquette pour un fonctionnement en HACHEUR QUATRE QUADRANTS	46
Annexe 3	48
Schéma de câblage de la maquette pour un fonctionnement en ONDULEUR A COMMANDE DECALEE	48
Annexe 4	50
Schéma de câblage de la maquette pour un fonctionnement en ONDULEUR A <i>U/f</i> CONSTANTE.....	50
Annexe 5	52
Schéma de câblage de la maquette pour un fonctionnement en ONDULEUR A MODULATION DE LARGEUR D'IMPULSIONS	52

CAHIER DES CHARGES

Fonction "hacheur quatre quadrants"

- Puissance

Tension d'alimentation nominale : 30 V

Intensité nominale du courant de sortie : 2 A

Fréquence maximale de hachage : 2 kHz

- Commande

Commande linéaire du rapport cyclique par une tension continue variant de -10 V à +10 V

Fonction "onduleur"

- Puissance

Tension d'alimentation nominale : 30 V

Intensité nominale du courant de sortie : 2 A crête, 1,5 A efficace

Fréquence maximale : 100 Hz

- Commande

***Simple +E/-E* : variation de la fréquence de 0 Hz à 100 Hz par une tension continue variant de 0 V à 10 V**

***double 0/+E, 0/-E* : variation de la fréquence de 0 Hz à 100 Hz par une tension continue variant de 0 V à 10 V**

***Décalée* : - variation de la fréquence de 0 Hz à 100 Hz par une tension continue réglable de 0 V à 10 V,
- variation du rapport cyclique de 0 à 0,5 par une tension continue réglable de - 10 V à +10 V.**

***U/f constant* : commande en fréquence, de 0 Hz à 100 Hz, et en tension efficace, de 0 V à une valeur maximale (dépendant de la tension d'alimentation), par une tension continue réglable de 0 V à 10 V.**

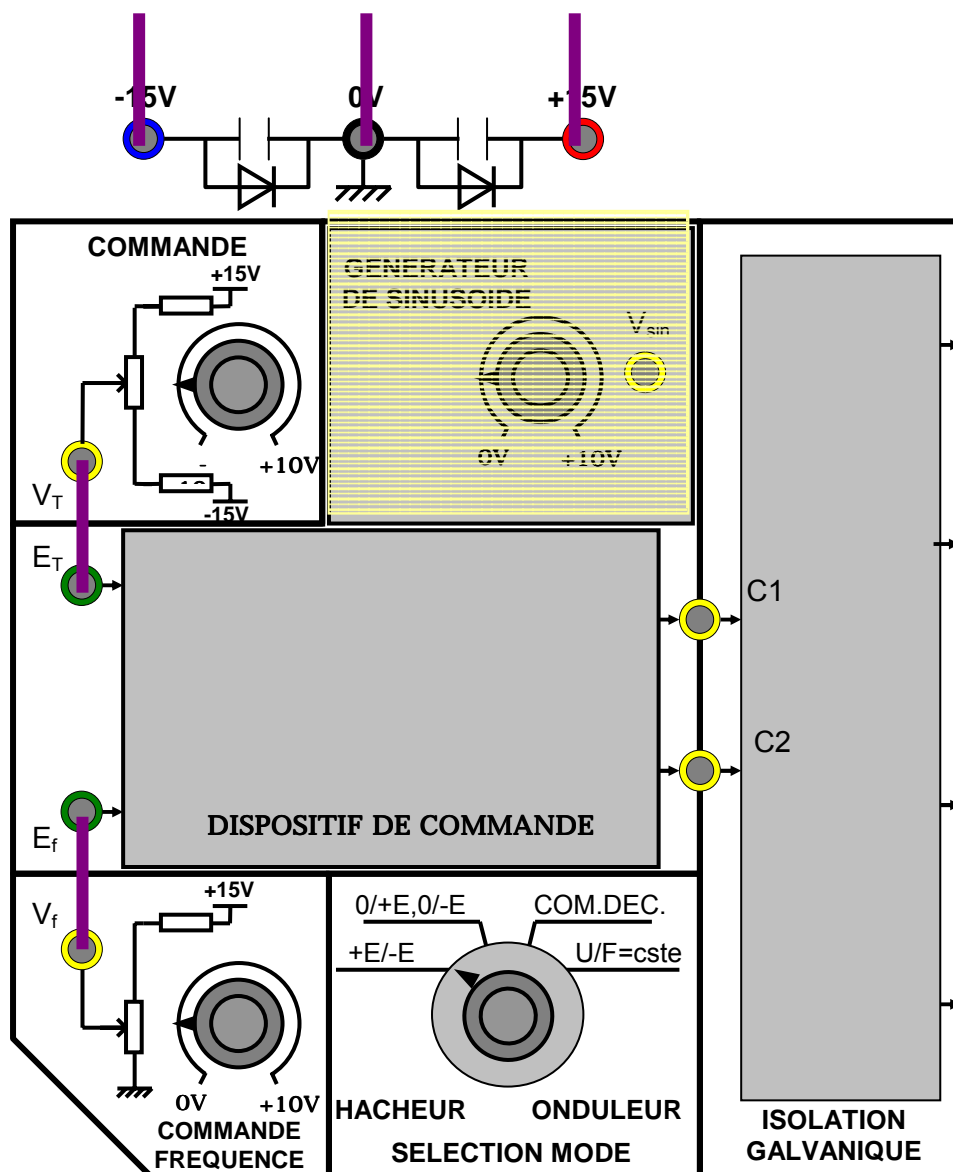
***Modulation de largeur d'impulsions* : commande par une tension sinusoïdale d'amplitude maximale de 10 V et de fréquence maximale de 100 Hz.**

TRAVAUX PRATIQUES SUR LES MONTAGES HACHEURS QUATRE QUADRANTS

HACHEUR A TRANSISTOR : FONCTIONNEMENT DANS LES QUATRE QUADRANTS

I. CIRCUIT DE COMMANDE

Réaliser le câblage du montage ci-après :



Alimenter la maquette en $\pm 15\text{ V}$ par une alimentation double ou par une alimentation simple associée à un symétriseur.

Sélectionner le mode +E/-E.

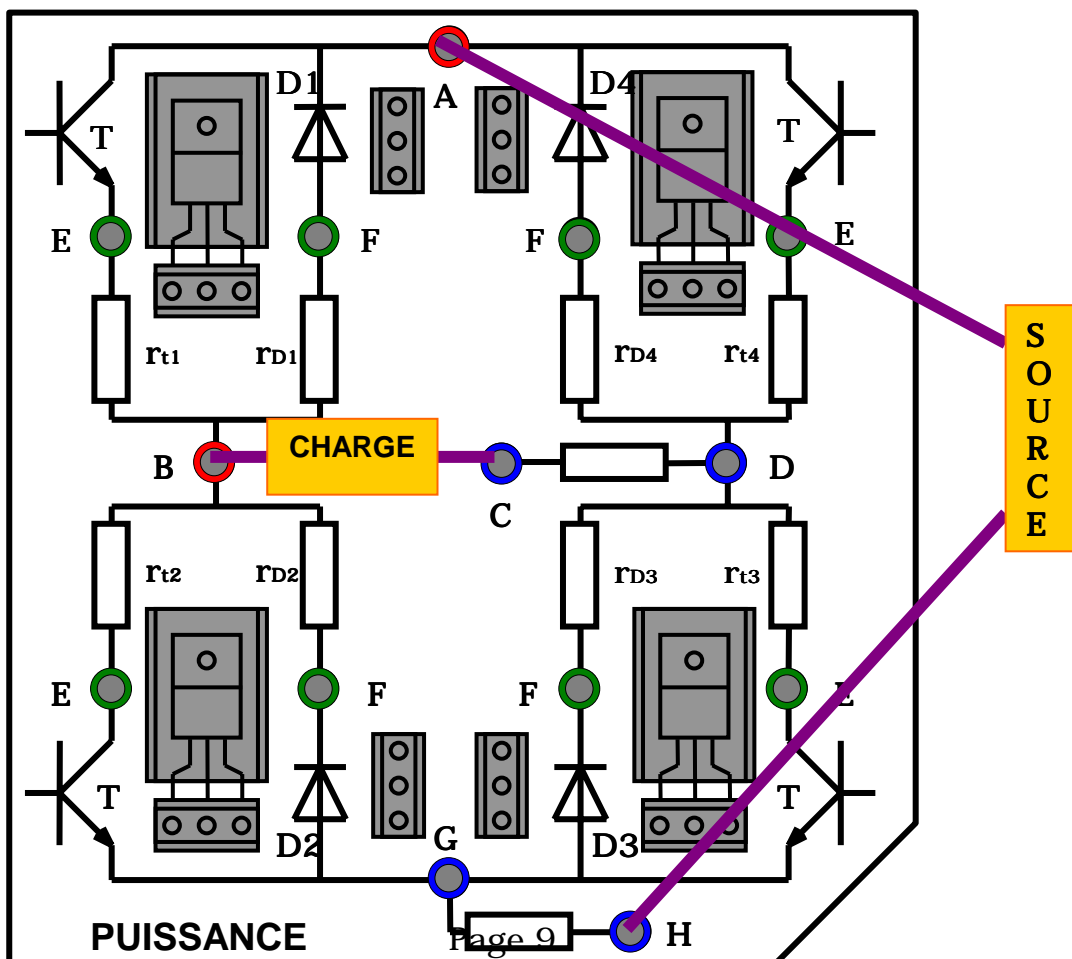
Remarque : Une étude semblable peut être menée avec le mode 0/+E,0/-E.

II. CIRCUIT DE PUISSANCE

Appliquer entre **A** et **H** la tension provenant d'une source de tension continue délivrant une tension de 30 V et susceptible de débiter un courant d'intensité de 2 A .

Le circuit de charge (entre **B** et **C**) sera successivement (ce ne sont que des exemples) :

- un rhéostat de résistance $R_h = 23\ \Omega$;
- puis un circuit R, L série formé du rhéostat précédent associé à une bobine d'inductance L réglable de $0,1\text{ H}$ à 1 H et de résistance $r = 10\ \Omega$;
- et enfin un banc de machines à courant continu.



III. DEBIT SUR CHARGE PUREMENT RESISTIVE

- La charge étant le rhéostat précédent réglé à la valeur maximale de résistance, alimenter le circuit de puissance.
- Agir sur le potentiomètre **P1** de commande en fréquence pour que la tension v_f (à la borne **Vf**) soit égale à 5 V environ.
- Visualiser la tension aux bornes du récepteur lorsque le potentiomètre **P2** est réglé de telle sorte que :
 - * $v_t = -10 \text{ V}$;
 - * $v_t = -5 \text{ V}$;
 - * $v_t = 0 \text{ V}$;
 - * $v_t = +5 \text{ V}$;
 - * $v_t = +10 \text{ V}$.
- Pour les valeurs précédentes de v_t :
 - * relever en concordance des temps, les chronogrammes de $u_{rt1}(t)$, $u_{rd1}(t)$ et $u_{ra}(t)$ (ra étant la résistance placée entre les bornes **H** et **G**),
 - * mesurer les valeurs moyennes de la tension aux bornes de la charge.
- Indiquer les différentes mailles de circulation du courant dans le circuit de charge.
- Ce montage est-il réversible en tension ?

IV. DEBIT SUR CHARGE INDUCTIVE

- Rajouter, en série avec le rhéostat précédent, une bobine d'inductance $L = 1 \text{ H}$ et de résistance $r = 10 \Omega$.
Ne pas modifier le réglage de **P1**.
- Visualiser la tension aux bornes du récepteur et l'intensité du courant qui le traverse lorsque le potentiomètre **P2** est réglé de telle sorte que :
 - * $v_t = -10 \text{ V}$;
 - * $v_t = -5 \text{ V}$;

- * $v_t = 0 \text{ V}$;
- * $v_t = +5 \text{ V}$;
- * $v_t = +10 \text{ V}$.

- Pour les valeurs précédentes de v_t :
 - * relever en concordance des temps, les chronogrammes de $u_{rt1}(t)$, $u_{rd1}(t)$, $u_{rc}(t)$ (r_c étant la résistance placée entre les bornes **H** et **G**) et $u_{ra}(t)$ (r_a étant la résistance placée entre les bornes **C** et **D**),
 - * mesurer les valeurs moyennes de la tension aux bornes de la charge et de l'intensité du courant qui le traverse.
- Indiquer les différentes mailles de circulation du courant dans le circuit de charge.
- En utilisant la maquette ampèremètre-voltmètre-wattmètre (réf.3804), visualiser à l'écran la puissance instantanée absorbée par la charge et mesurer la valeur moyenne de cette puissance.
- Ce montage est-il réversible en tension ?
- Ce montage est-il réversible en courant ?
- Recommencer l'ensemble des mesures précédentes pour une autre valeur de l'inductance $L = 0,1 \text{ H}$ par exemple.
- Remplacer le rhéostat de 23Ω par un rhéostat de 150Ω .
L'inductance étant toujours réglée à la valeur de $0,1 \text{ H}$, vérifier que pour certaines positions du potentiomètre **P₂**, l'intensité du courant traversant la charge n'est pas unidirectionnelle.
- Pour le type fonctionnement précédent ? relever en concordance des temps, les chronogrammes de $u_{rt1}(t)$, $u_{rd1}(t)$, $u_{rc}(t)$ (r_c étant la résistance placée entre les bornes **H** et **G**) et $u_{ra}(t)$ (r_a étant la résistance placée entre les bornes **C** et **D**),

Indiquer les différentes mailles de circulation du courant dans le circuit de charge.

V. ALIMENTATION D'UNE MACHINE ELECTRIQUE

- Entre **C** et **B**, brancher une machine **M₁** à courant continu associée à une charge **M₂** (le banc de machines réf.3758 muni de son adaptateur "mesure de vitesse" réf.3762 convient parfaitement).
- Utiliser un ampèremètre et un voltmètre numériques pour mesurer l'intensité du courant traversant la machine et la tension à ses bornes.
En utilisant un wattmètre numérique ou la maquette "Ampèremètre-Voltmètre-Wattmètre" (réf.3804), il est possible d'observer aisément dans quel sens se fait le transfert de puissance.

Remarque : Attention, le wattmètre indique la puissance moyenne $\langle ui \rangle$ (c'est la valeur moyenne du produit ui des valeurs instantanées) et non le produit des valeurs moyennes $\langle u \rangle \langle i \rangle$.

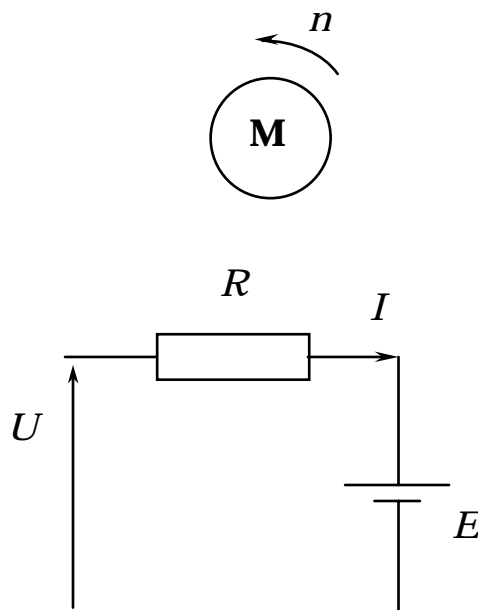
1° Manipulation préliminaire

Rappel :

Une machine tournante à deux régimes de fonctionnement :

- un fonctionnement en moteur,
- un fonctionnement en générateur.

- Fonctionnement en moteur :



La tension aux bornes de la machine s'écrit :

$$U = E + RI$$

E est la f.é.m. de la machine et R est la résistance de l'induit. Dans le cas d'une machine à aimant permanent le flux sous un pôle est considéré comme constant. Dans ces conditions, la f.é.m. de la machine est proportionnelle à la fréquence de rotation :

$$E = kn.$$

La tension U est supérieure à la f.é.m. E : $E = U - RI = kn.$

Soit :

$$n = \frac{U - RI}{k}$$

Dans le cas où $RI \ll U$, nous avons :

$$n \approx \frac{U}{k}$$

Pour inverser le sens de rotation du moteur, il faut donc inverser la tension d'alimentation.

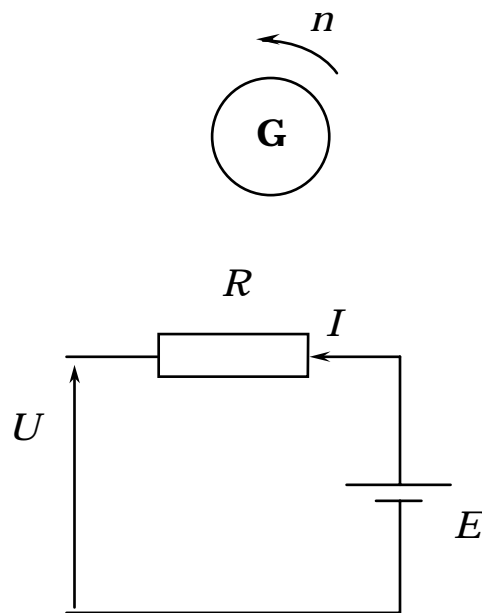
Le moment T_u du couple utile est égal à la différence entre le moment T du couple électromagnétique et le moment T_p du couple de pertes (pertes mécaniques et aux pertes magnétiques).

Par un essai à vide il est possible d'avoir l'ordre de grandeur de ce moment T_p ($T_p \Omega =$ puissance due aux pertes mécaniques et aux pertes magnétiques).

Donc :

$$T_u = T - T_p$$

- Fonctionnement en générateur :



La tension aux bornes de la machine s'écrit :

$$U = E - RI$$

Pour un fonctionnement en génératrice, il faut que la tension aux bornes du moteur soit inférieure à la f.é.m..

Le moment T_u du couple utile est égal à la somme du moment T du couple électromagnétique et du moment T_p du couple de pertes (pertes mécaniques et aux pertes magnétiques).

Donc :

$$T_u = T + T_p$$

A flux constant, le moment du couple électromagnétique est proportionnel à l'intensité du courant qui traverse le moteur.

A U constante, la caractéristique $T(n)$ ou $I(n)$ est une droite quasi-verticale.

Par un essai à vide, il est possible de déterminer la valeur approximative des pertes constantes.

2° Etude de la réversibilité en tension et en courant

L'alimentation de puissance est réglée à 30 V. Un ampèremètre et un voltmètre numérique indiquent respectivement l'intensité du courant traversant la charge et la tension à ses bornes.

- Dans un premier temps, le moteur est faiblement chargé.

En agissant sur le potentiomètre **P₂** observer :

- le sens de rotation du moteur au fur et à mesure de la rotation du potentiomètre ;
- les signes des indications de l'ampèremètre et du voltmètre.

Le montage est-il réversible en courant et en tension ?

- Choisir une valeur de la tension moyenne $\langle u \rangle$ aux bornes du moteur que l'on maintiendra fixe par la suite.

En chargeant le moteur, relever les valeurs de $\langle i \rangle$ et de la vitesse n .

Recommencer les relevés précédents pour d'autres valeurs de $\langle u \rangle$ (choisir des valeurs positives et négatives).

Tracer le réseau de caractéristiques $\langle i \rangle(n)$ correspondant.

En déduire une description d'un mode de variation de la vitesse du moteur associé à une charge de couple résistant de moment de la forme kn^2 .

3° Fonctionnement dans les quatre quadrants

Pour illustrer le fonctionnement dans les quatre quadrants, nous allons alimenter, par une autre alimentation, la machine **M₂** qui fonctionnait en génératrice : elle va pouvoir alors fonctionner soit en moteur, soit en génératrice.

En agissant sur le potentiomètre **P₂** et sur l'alimentation de la machine **M₂** montrer que le machine **M₁** peut fonctionner en génératrice.

Pour cela on pourra observer les signes des valeurs moyennes $\langle i \rangle$ et $\langle u \rangle$ ainsi que le sens de rotation du groupe. En disposant de la maquette "Ampèremètre-Voltmètre-Wattmètre" (réf.3804), il est possible de mesurer précisément la puissance transmise et de voir aisément dans quel sens s'effectue ce transfert.

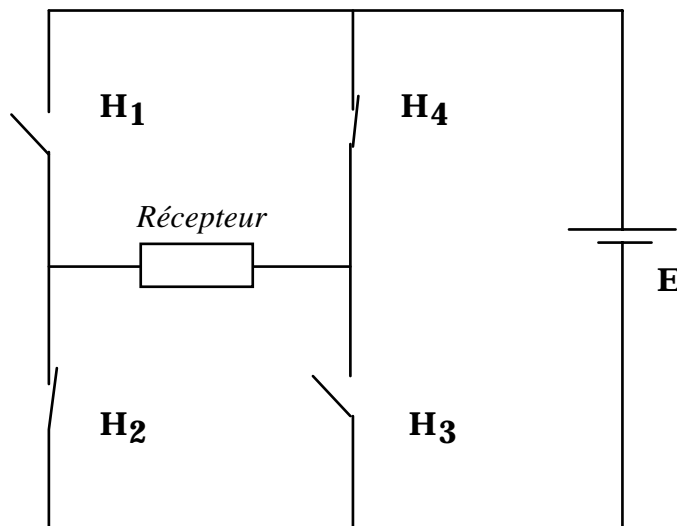
Montrer que ce transfert de puissance peut se faire soit de **M₁** vers **M₂**, soit de **M₂** vers **M₁** et dans les deux sens de rotation.
Justifier l'expression : "fonctionnement quatre quadrants".

TRAVAUX PRATIQUES SUR LES MONTAGES ONDULEURS AUTONOMES

A) ONDULEUR DE TENSION A COMMANDE SYMÉTRIQUE

I. PREPARATION

Le montage de principe est celui de la figure ci-après :



Les interrupteurs H₁, H₂, H₃ et H₄ sont des interrupteurs électroniques bidirectionnels tantôt ouverts, tantôt fermés.

Ils sont constitués, sur la maquette, par des transistors T₁, T₂, T₃ et T₄ munis respectivement des diodes D₁, D₂, D₃ et D₄.

Les interrupteurs d'une même branche ne peuvent être simultanément fermés (ou ouverts).

La commande de ces interrupteurs est telle que le rapport cyclique de la tension aux bornes du récepteur est en créneaux symétriques rectangulaires de rapport cyclique $\alpha = 0,5$.

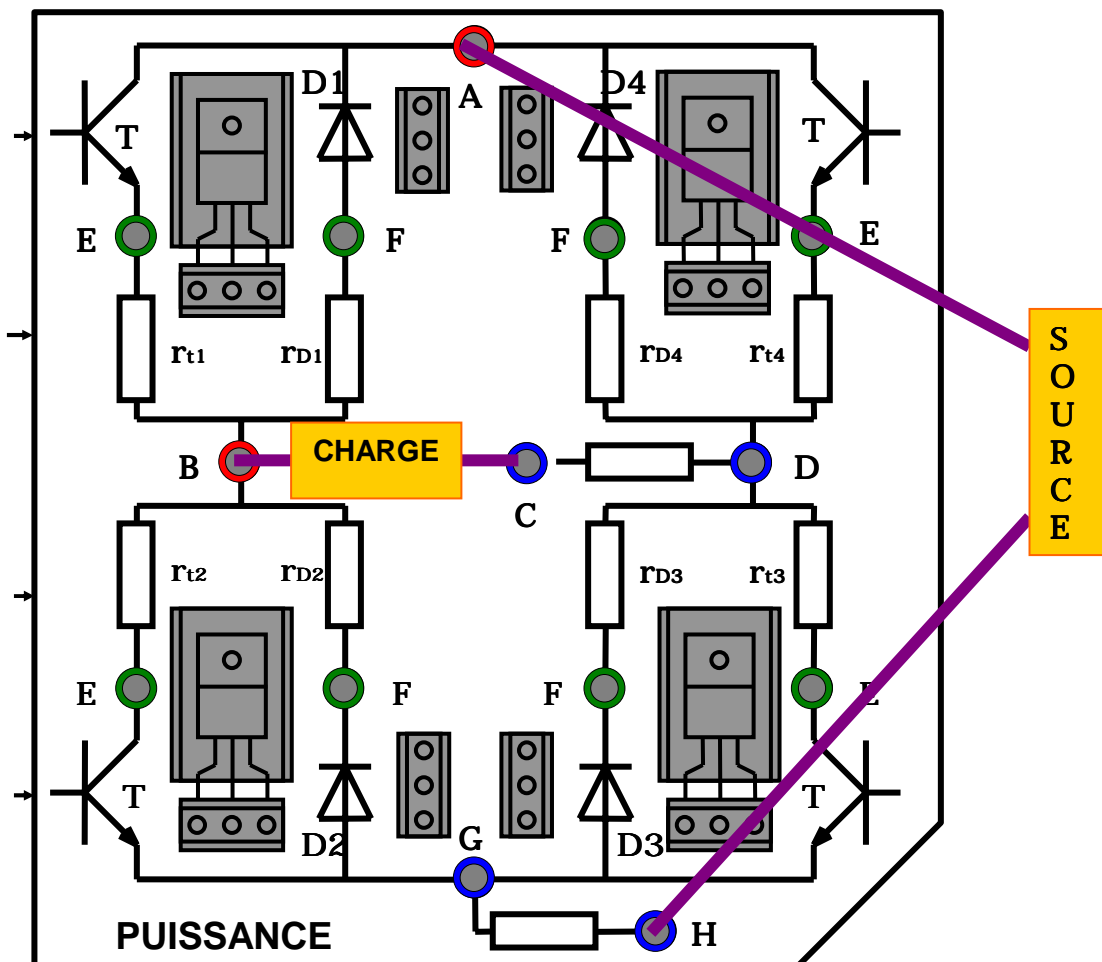
Quelle est l'allure de la tension instantanée u aux bornes du récepteur.

Donner l'allure de l'intensité instantanée i dans le cas d'un récepteur :

- purement résistif ;
- purement inductif ;
- purement capacitif ;
- inductif ;
- capacitif ;
- RLC série en résonance.

II. SCHEMA DE MONTAGE

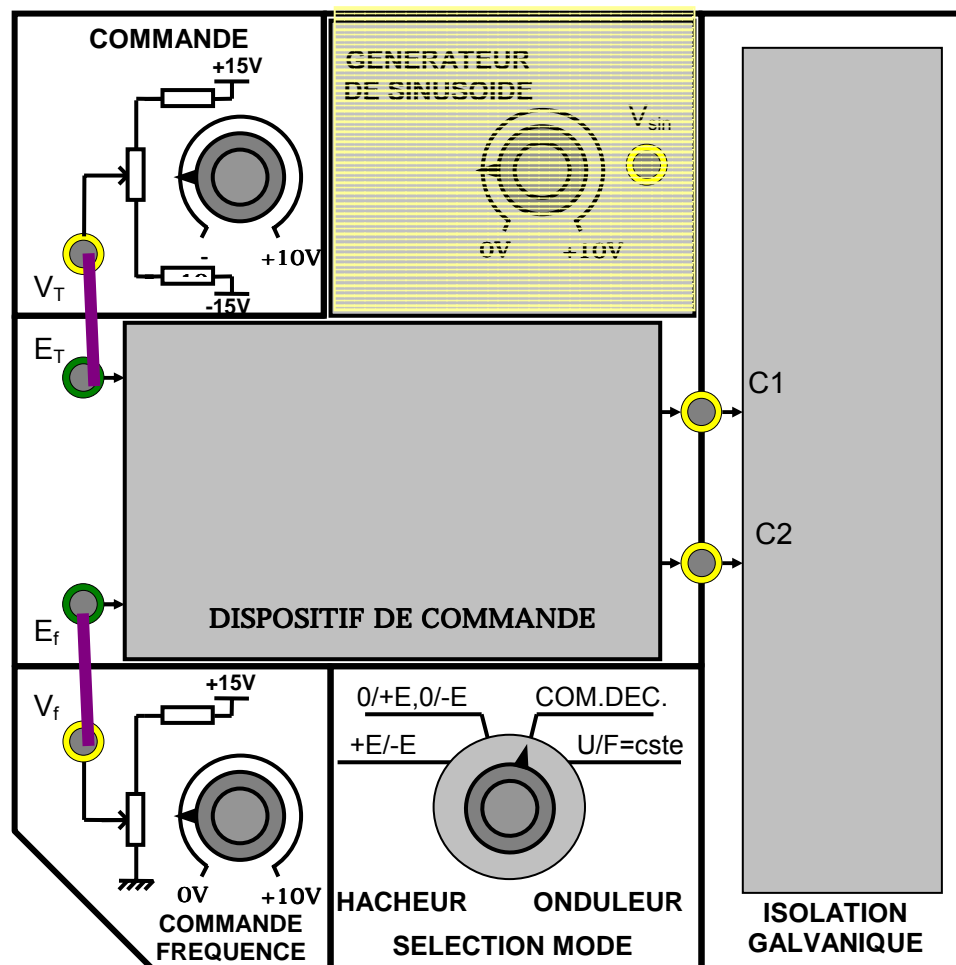
Montage du circuit de puissance



Brancher entre les bornes A et H une alimentation continue délivrant une tension $E = 20\text{ V}$.

Si la source utilisée n'admet pas les discontinuités de courant, placer entre ses bornes un condensateur électrochimique (attention aux polarités !) de capacité élevée (4700 $\mu\text{F}/30\text{ V}$ par exemple). Les résistances r_a , r_c , ... sont des résistances de visualisation du courant traversant les branches du circuits (elles n'ont aucun rôle quant au fonctionnement du circuit). Travaillant sous faible tension, les chutes de tension qu'elles génèrent ne sont pas négligeables.

Montage du circuit de commande



Réaliser le montage proposé ci-dessus.

III. EXPERIMENTATION

Régler le potentiomètre P_2 à une valeur permettant l'obtention d'un rapport cyclique de 0,5.

III.1. RECEPTEUR : CIRCUIT RL .

La fréquence de la tension de commande est réglée à 50 Hz. Le récepteur est constitué par une bobine d'inductance réglable (1 H – 10 Ω) en série avec une résistance (23 Ω - 15 W).

Relever la forme des courants et des tensions lorsque la charge est :

- faiblement inductive (L minimale : 0,1 H environ),
- fortement inductive (L maximale : 1 H environ).

Remarquer que plus le rapport L/R est grand, plus l'intensité du courant dans la charge tend vers un courant de forme triangulaire.

III.2. RECEPTEUR : CIRCUIT RLC série.

Ajouter en série au circuit de charge précédent, un condensateur de capacité $C = 20 \mu\text{F}$.

- Fonctionnement à fréquence fixe :

La fréquence de la tension de commande est réglée à 50 Hz.

Etudier l'influence de la valeur de l'inductance L de la bobine sur la forme du courant.

Pour quelle valeur L_0 de L , l'intensité i du courant dans la charge est pratiquement sinusoïdale ?

Quelle est alors la fréquence f_0 de l'intensité i .

Calculer la fréquence f_r de résonance du circuit RL_0C série. Comparer f_0 et f_r .

Justifier la forme de i en se rappelant qu'un signal carré symétrique $e(t)$ ondulant entre $-E$ et $+E$ est assimilable à une somme de fonctions sinusoïdales :

$$e(t) = \frac{4E}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots \right)$$

Mesurer la valeur maximale de la tension aux bornes du condensateur lorsque $L = L_0$.

Comparer la valeur obtenue à $\frac{4QE}{\pi}$, Q étant le facteur de qualité du circuit.

Mesurer les valeurs efficaces U et I respectivement de la tension $u(t)$ et de l'intensité $i(t)$.

Tracer la courbe représentative de $U(I)$ en faisant varier R . Interpréter les résultats obtenus.

- Fonctionnement à fréquence variable :

L'intensité $i(t)$ est pratiquement sinusoïdale.

Qu'observe-t-on lorsque la fréquence f de l'onduleur devient supérieure à f_0 puis inférieure à f_0 ? Interpréter.

III.3. APPLICATION : VARIATION DE LA VITESSE D'UN MOTEUR .

La charge est constituée :

- soit d'un moteur à courant alternatif 24 V/50 Hz de faible puissance (30 W environ) ;

- soit par l'enroulement basse tension d'un transformateur 24 V-220 V/50 Hz, l'enroulement haute tension alimentant un moteur à courant alternatif de faible puissance 220 V/50 Hz (moteur de programmateur d'un lave-linge ou d'un lave-vaisselle par exemple).

Observer l'intensité $i(t)$ du courant traversant le moteur. Décrire le fonctionnement de celui-ci lorsque la fréquence varie de 30 Hz à 100 Hz.

Pour quelle fréquence, le moteur cale-t-il ? Augmenter E , il se met à tourner. Interpréter ces observations en se rappelant que le moment du couple utile d'un moteur est proportionnel au flux utile et que la f.é.m. est de la forme kNn (relation de Boucherot).

Réaliser une commande en vitesse en maintenant le rapport $E/f = \text{cste}$. Que constate-t-on ?

III.4.ANALYSE SPECTRALE DE LA TENSION ET DU COURANT.

La tension disponible aux bornes de la charge est de la forme :

$$u(t) = \frac{4E}{\pi} (\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots)$$

En utilisant un analyseur de spectres, effectuer l'analyse spectrale de la tension u aux bornes de la charge.

Pour cela on déterminera plus particulièrement l'amplitude des cinq premiers harmoniques ainsi que leur fréquence.

Effectuer ensuite l'analyse spectrale de l'intensité i du courant traversant la charge.

Pour cela on prélève la tension aux bornes de la résistance de $0,5 \Omega$ placée en série avec la charge (résistance r_C). Cette tension est appliquée à l'entrée de l'analyseur.

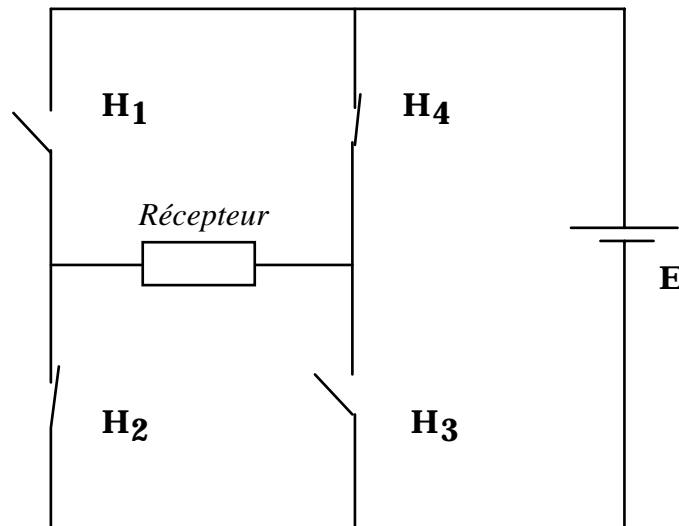
Ces analyses peuvent être réalisées pour différentes charges. On pourra par exemple commencer par une charge résistive, puis inductive, puis résonnante.

Justifier l'expression : " une inductance étouffe les harmoniques de courant".

B) ONDULEUR A COMMANDE DECALEE

I. PREPARATION

Le montage de principe est celui de la figure ci-après :



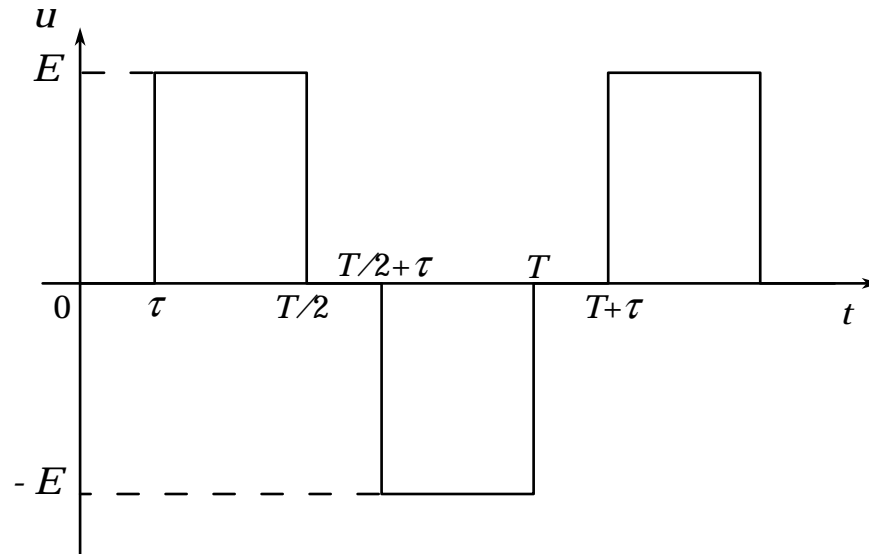
Les interrupteurs H_1 , H_2 , H_3 et H_4 sont des interrupteurs électroniques bidirectionnels tantôt ouverts, tantôt fermés.

Ils sont constitués, sur la maquette, par des transistors T_1 , T_2 , T_3 et T_4 munis respectivement des diodes D_1 , D_2 , D_3 et D_4 .

Lorsque H_1 s'ouvre, H_2 se ferme et réciproquement lorsque H_1 se ferme, H_2 s'ouvre.

Il en est de même pour les interrupteurs H_3 et H_4 . Le fonctionnement des interrupteurs H_1 , H_2 est décalé dans le temps d'une durée τ par rapport à celui des interrupteurs H_3 et H_4 .

•Expliquer le fonctionnement du montage de principe pour que l'on ait une tension u aux bornes du récepteur de la forme :



On pourra préciser les intervalles de conduction des interrupteurs H_1 , H_2 , H_3 et H_4 .

Montrer que la valeur efficace U de la tension u est proportionnelle à :

$$\sqrt{\left(1 - \frac{2\tau}{T}\right)}$$

Quelle est la constante de proportionnalité ?

• L'analyse de Fourier de la tension u montre que cette tension peut s'écrire sous la forme suivante :

$$u(t) = \frac{4E}{\pi} \left[\cos\frac{\omega\tau}{2} \sin\left(\omega t - \frac{\omega\tau}{2}\right) + \frac{\cos\frac{3\omega\tau}{2}}{3} \sin 3\left(\omega t - \frac{\omega\tau}{2}\right) + \frac{\cos\frac{5\omega\tau}{2}}{5} \sin 5\left(\omega t - \frac{\omega\tau}{2}\right) + \dots \right]$$

L'amplitude des harmoniques décroît rapidement au fur et à mesure que l'on s'éloigne du fondamental. Pour privilégier le fondamental, il suffit de supprimer les premiers harmoniques.

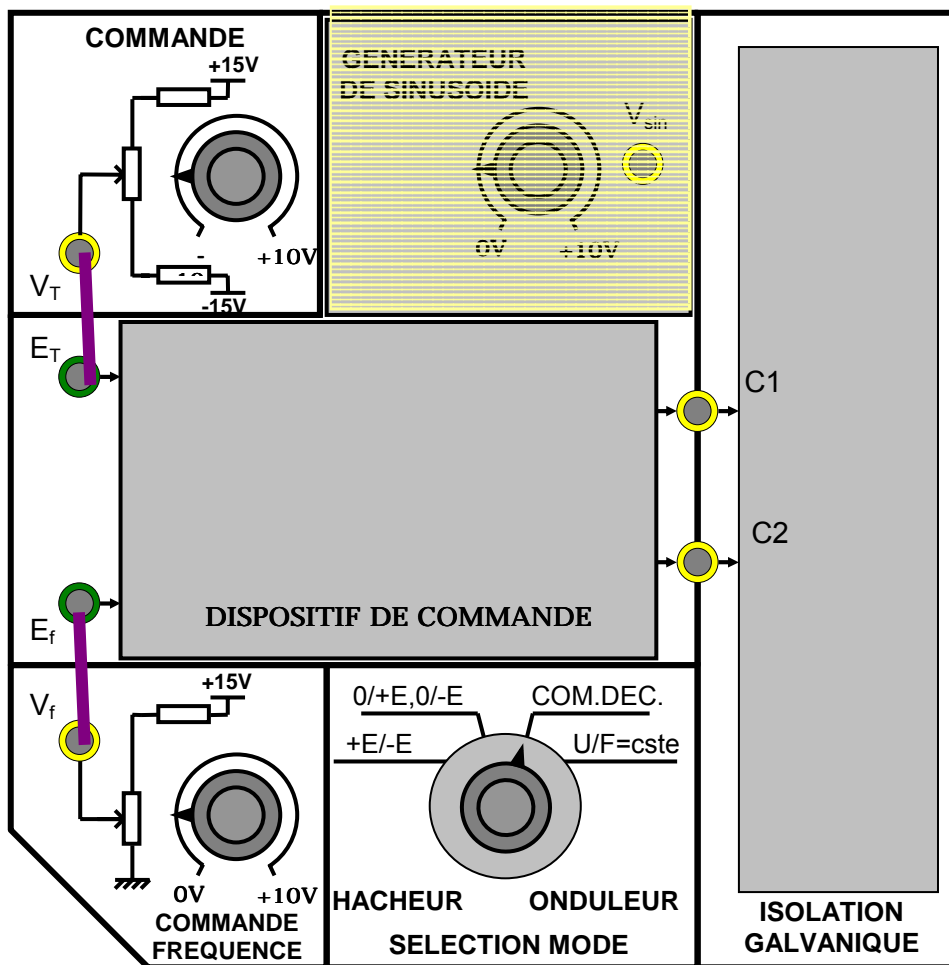
On désire éliminer les harmoniques de rang 3 et de rang 5.

Déterminer les décalages horaires τ permettant l'élimination de ces harmoniques (exprimer τ en fonction T).

En déduire les rapports cycliques permettant la suppression de l'un de ces harmoniques. Est-il préférable de supprimer l'harmonique de rang 3 ou l'harmonique de rang 5 ?

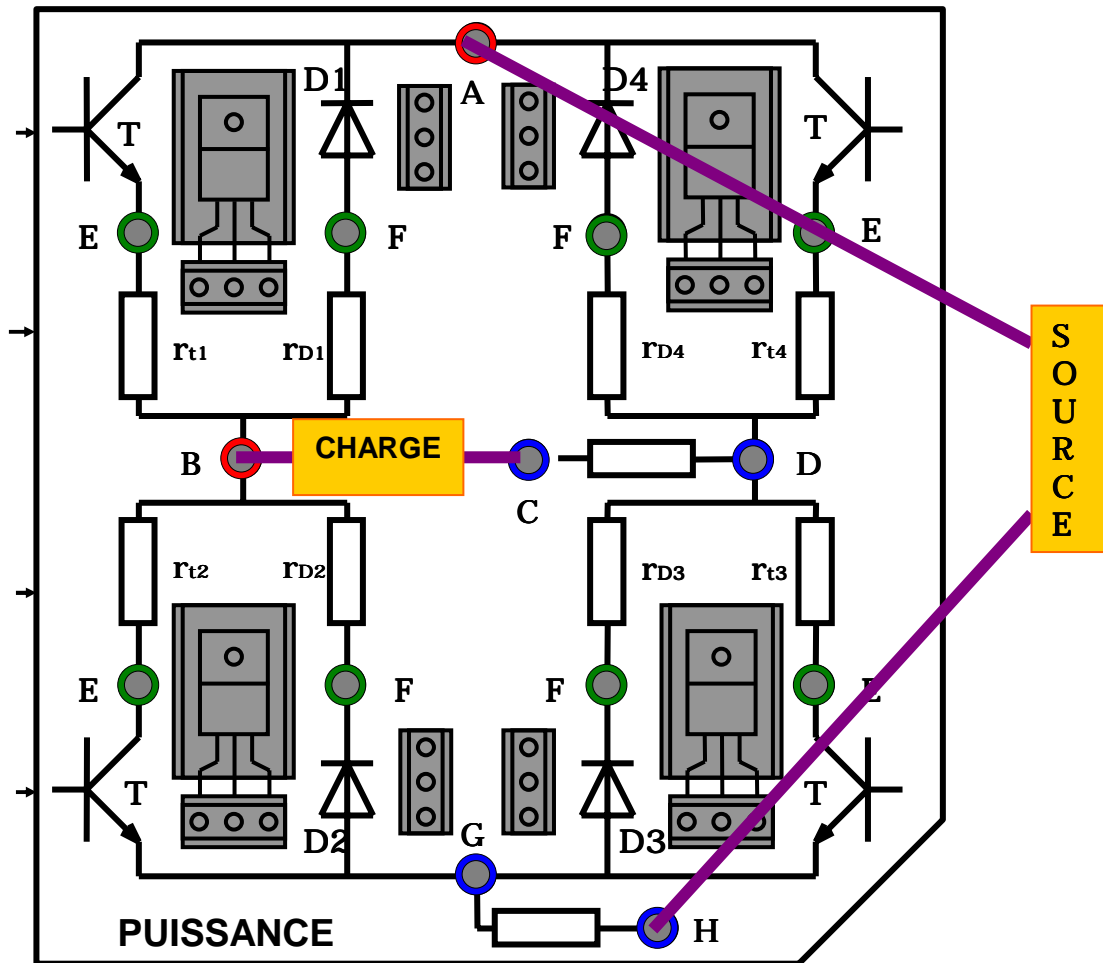
II. SCHEMA DE MONTAGE

Montage du circuit de commande



Réaliser le montage proposé.

Montage du circuit de puissance



Alimenter la maquette entre **A** et **H** par une source de tension continue pouvant délivrer une tension de 30 V et admettant les discontinuités de courant. Si la source utilisée n'admet pas les discontinuités de courant, placer entre ses bornes un condensateur électrochimique (attention aux polarités !) de capacité élevée (4700 μ F/30 V par exemple).

III. EXPERIMENTATION

III.1. RECEPTEUR : CIRCUIT *RL*.

Le récepteur est constitué par une bobine d'inductance réglable (1 H - 10 Ω) en série avec une résistance (23 Ω - 15 W).

- La fréquence de la tension de commande est réglée à 50 Hz.

- Régler le potentiomètre P_2 à une valeur permettant l'obtention d'un décalage $\tau = T/6$.
- Relever la forme des courants et des tensions lorsque la charge est :
 - faiblement inductive (L minimale : 0,1 H environ),
 - fortement inductive (L maximale : 1 H environ).
- Indiquer suivant les intervalles de temps considérés les mailles de circulation du courant.

Pour cela il serait judicieux de vérifier à l'oscilloscope les intervalles de conduction de chacun des composants.

- Justifier la forme du courant traversant la charge.
- Les diodes en parallèle inverse sur chaque transistor sont-elles nécessaires ?

III.2. RECEPTEUR : CIRCUIT *RLC* série.

Ajouter en série au circuit de charge précédent, un condensateur de capacité $C = 20 \mu\text{F}$.

- Fonctionnement à fréquence fixe :

La fréquence de la tension de commande est réglée à 50 Hz.

* Régler le potentiomètre P_2 à une valeur permettant l'obtention d'un décalage $\tau = T/6$.

Etudier l'influence de la valeur de l'inductance L de la bobine sur la forme du courant.

Pour quelle valeur L_0 de L , l'intensité i du courant dans la charge est pratiquement sinusoïdale ?

Quelle est alors la fréquence f_0 de l'intensité i ?

Calculer la fréquence f_r de résonance du circuit RL_0C série. Comparer f_0 et f_r .

Mesurer les valeurs efficaces U et I respectivement de la tension $u(t)$ et de l'intensité $i(t)$.

Tracer la courbe représentative de $U(I)$ en faisant varier R . Interpréter les résultats obtenus.

* Recommencer les mesures précédentes pour une autre valeur du décalage τ .

Comparer les résultats obtenus pour les deux valeurs différentes de τ .

• Fonctionnement à fréquence variable :

L'intensité $i(t)$ est pratiquement sinusoïdale.

Qu'observe-t-on lorsque la fréquence f de l'onduleur devient supérieure à f_0 puis inférieure à f_0 ? Interpréter.

III.3. APPLICATION : VARIATION DE LA VITESSE D'UN MOTEUR .

La charge est constituée :

- soit d'un moteur à courant alternatif 24 V/50 Hz de faible puissance (30 W environ) ;

- soit par l'enroulement basse tension d'un transformateur 24 V-220 V/50 Hz, l'enroulement haute tension alimentant un moteur à courant alternatif de faible puissance 220 V/50 Hz : moteur de programmateur d'un lave-linge (ou d'un lave-vaisselle) ou moteur de ventilateur d'un système informatique (qui sont généralement des moteurs asynchrones monophasés à spire de Frager).

Observer l'intensité $i(t)$ du courant traversant le moteur. Décrire le fonctionnement de celui-ci lorsque la fréquence varie de 30 Hz à 100 Hz.

Maintenir la fréquence fixe (50 Hz par exemple) et faire varier le décalage τ en agissant sur le potentiomètre P_2 .

Qu'observez-vous quant à la vitesse du moteur ?

III.4.ANALYSE SPECTRALE DE LA TENSION ET DU COURANT.

Remplacer le moteur par le circuit RL du III.1. ($L = 1$ H et $R = 23 \Omega$).

Avec le module "AMPEREMETRE-VOLTMETRE-WATTMETRE" (réf.3804) mesurer l'intensité du courant traversant la charge, la tension à ses bornes et la puissance reçue. Visualiser à l'oscilloscope la puissance instantanée.

En utilisant un analyseur de spectres, effectuer l'analyse spectrale de la tension u aux bornes de la charge pour un décalage τ le plus faible possible.

Pour cela on déterminera plus particulièrement l'amplitude des trois premiers harmoniques ainsi que leur fréquence.

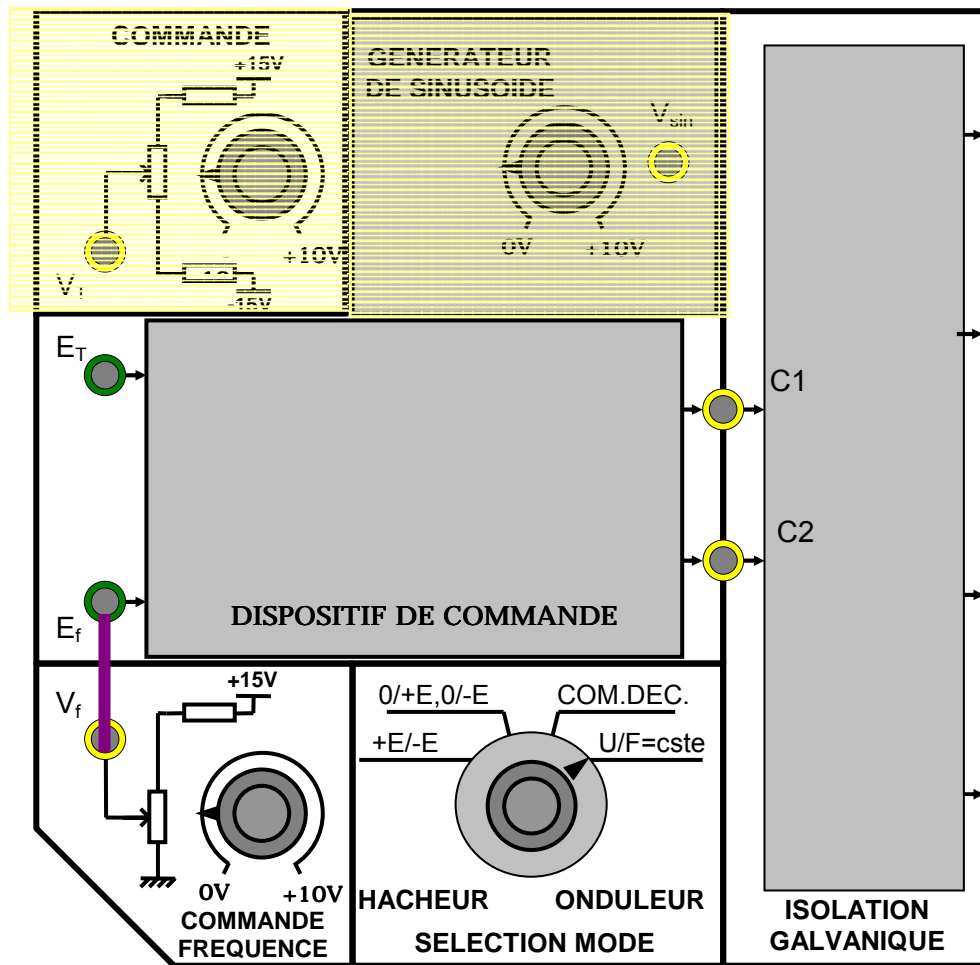
Agir sur le potentiomètre P_2 pour modifier le décalage τ . Régler ce décalage pour éliminer l'harmonique de rang trois. Ce résultat est-il conforme avec celui prévu dans la préparation ?

Effectuer une analyse qualitative du transfert de puissance.

C) ONDULEUR A COMMANDE A U/f CONSTANTE

I. SCHEMA DE MONTAGE

Montage du circuit de commande



Réaliser le montage proposé.

Montage du circuit de puissance

L'expression du moment du couple électromagnétique pour une machine triphasée est :

$$T = 3 \frac{P}{2s f} \frac{\frac{R}{g}}{\left(\frac{R}{g}\right)^2 + X_p^2} U^2$$

p est le nombre de paires de pôles,

U est la tension efficace aux bornes de chacun des enroulements,

f est la fréquence de la tension d'alimentation,

X_p est la réactance de fuite ramenée au stator,

R est la résistance ramenée au stator,

g est le glissement.

La valeur maximale du moment du couple est obtenue pour :

$$\frac{R}{g} = X_p$$

Ce qui donne pour l'expression de ce moment maximum :

$$\hat{T} = 3 \frac{P}{4s f} \frac{U^2}{X_p}$$

Comme $X_p = 2\pi L f$, l'expression de ce moment s'écrit :

$$\hat{T} = 3 \frac{P}{8s^2 L} \frac{U^2}{f^2}$$

Le couple maximal est proportionnel au rapport U/f .

La f.é.m. disponible par phase statorique est donnée par la formule de Kapp :

$$E = 2,22 K_b f N \hat{\Phi}$$

K_b est le coefficient de bobinage,

N est le nombre de conducteurs statoriques,

$\hat{\Phi}$ est le flux maximum sous un pôle.

Comme l'on a sensiblement :

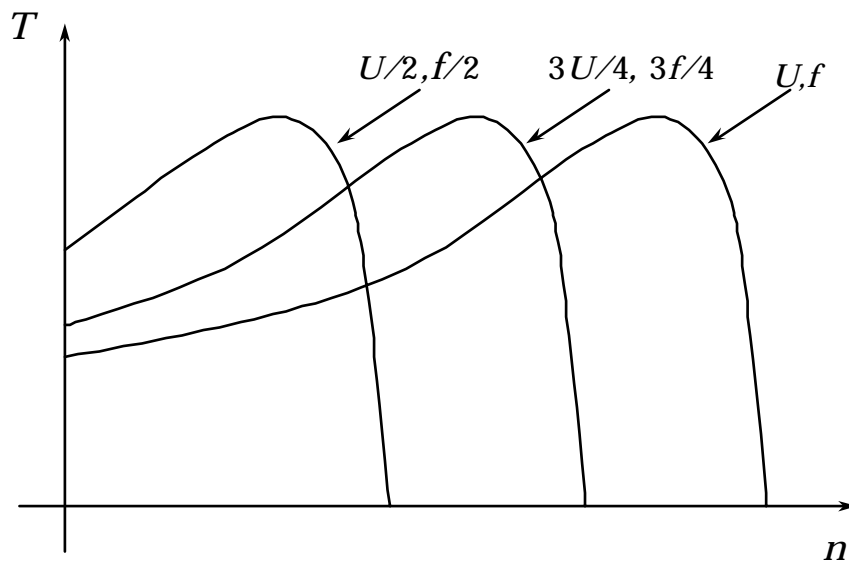
$$U \approx E$$

Nous en déduisons que :

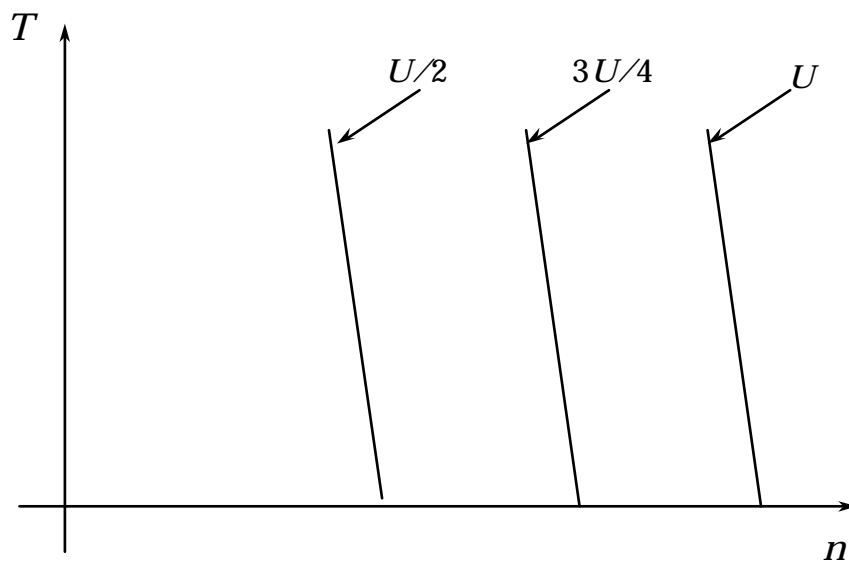
$$\frac{U}{f} = 2,22 K_b N \widehat{\Phi} = k \widehat{\Phi}$$

Un fonctionnement à $U/f = \text{constante}$ implique que la machine fonctionne à flux maximal constant.

Le réseau des caractéristiques $T(n)$ d'un moteur asynchrone fonctionnant à $U/f = \text{constante}$ est le suivant :



En ne tenant compte que de la partie utile de ces caractéristiques, on obtient un réseau semblable à celui d'un moteur à courant continu alimenté sous tension d'induit variable :



III. EXPERIMENTATION

III.1. Charge RL

- La charge est initialement un circuit R,L série. On pourra choisir par exemple une bobine à noyau mobile d'inductance réglable de 0,1 H à 1 H et de résistance 10 Ω associée à un rhéostat de 23 Ω .
- Visualiser à l'oscilloscope, la tension u disponible aux bornes de la charge ainsi que l'intensité i du courant qui la traverse.
- Placer aux bornes de la charge un voltmètre permettant la mesure de la valeur efficace U de u .
- Pour différentes positions du potentiomètre P_1 , relever la fréquence f et la tension efficace U de la tension u .
- Tracer la caractéristique $U(f)$. Conclure.

III.2. Variation de la vitesse d'un moteur

La charge est constituée :

- soit d'un moteur à courant alternatif 24 V/50 Hz de faible puissance (30 W environ) ;
- soit par l'enroulement basse tension d'un transformateur 24 V-220 V/50 Hz, l'enroulement haute tension alimentant un moteur à courant alternatif 220 V/50 Hz de faible puissance : moteur de programmateur d'un lave-linge (ou d'un lave-vaisselle) ou moteur de ventilateur d'un système informatique (qui sont généralement des moteurs asynchrones monophasés à spire de Frager).

Observer l'intensité $i(t)$ du courant traversant le moteur. Décrire le fonctionnement de celui-ci lorsque la fréquence varie de 30 Hz à 100 Hz.

Qu'observez-vous quant à la vitesse du moteur ?

III.3. Analyse spectrale de la tension et de l'intensité du courant

Remplacer le moteur par le circuit RL du III.1. ($L = 1 \text{ H}$ et $R = 23 \Omega$).

Avec le module "AMPEREMETRE-VOLTMETRE-WATTMETRE" (réf.3804) mesurer l'intensité du courant traversant la charge, la tension à ses bornes et la puissance reçue. Visualiser à l'oscilloscope la puissance instantanée.

En utilisant un analyseur de spectre, effectuer l'analyse spectrale de la tension u aux bornes de la charge pour un décalage τ le plus faible possible.

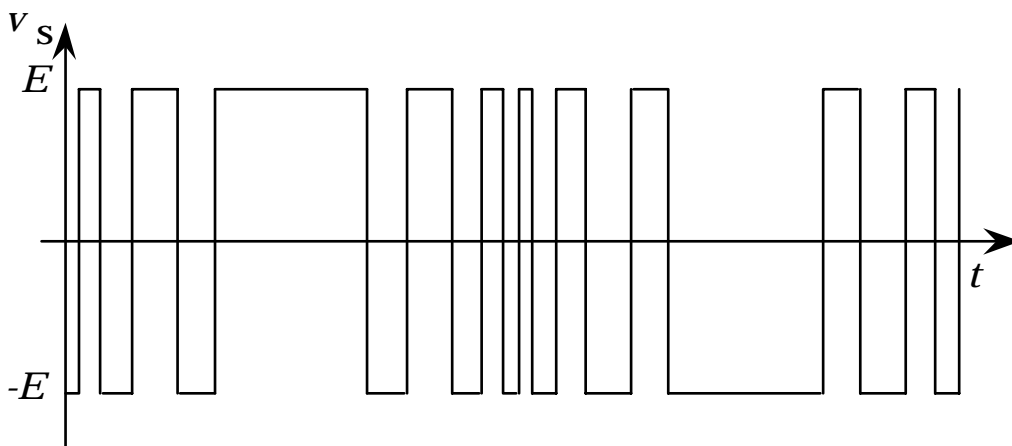
Pour cela on déterminera plus particulièrement l'amplitude des trois premiers harmoniques ainsi que leur fréquence.

Effectuer une analyse qualitative du transfert de puissance.

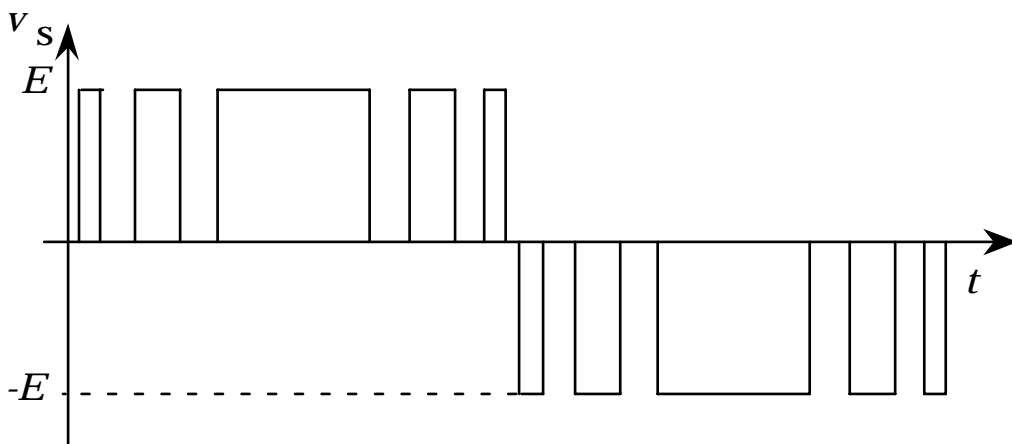
D) ONDULEUR A MODULATION DE LARGEUR D'IMPULSIONS

Un onduleur à modulation de largeur d'impulsions génère une tension en créneaux évoluant :

- soit entre $+E$ et $-E$:

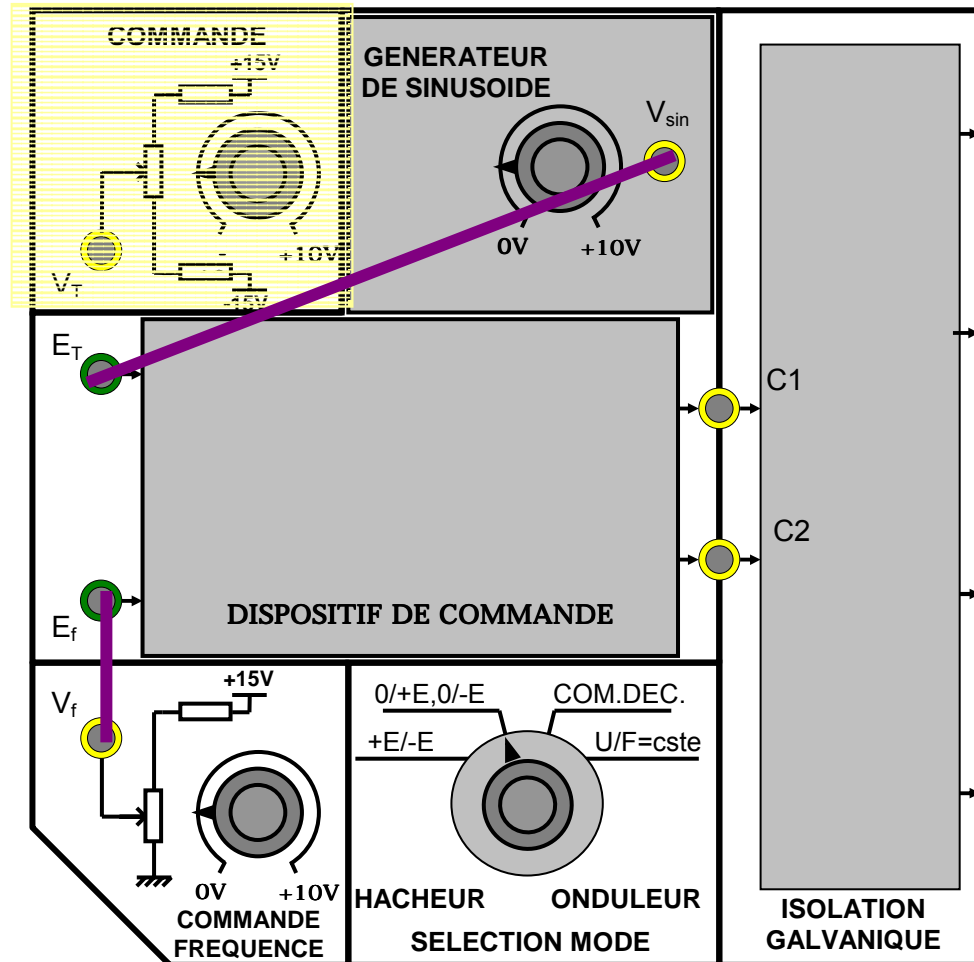


- soit entre $+E$, 0 et $-E$:



I. PARTIE COMMANDE

Réaliser le montage proposé.

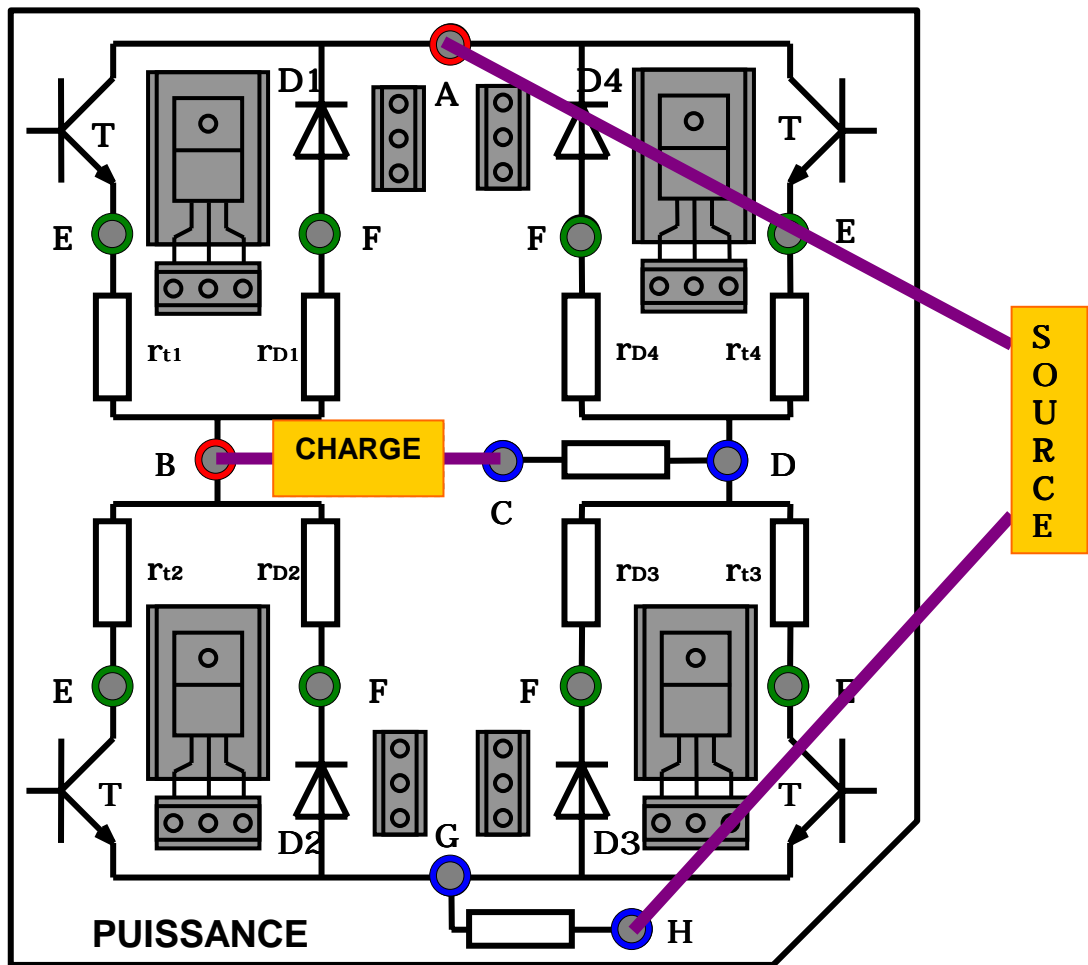


Choisir une tension sinusoïdale de fréquence voisine de 50 Hz.

II. PARTIE PUISSANCE

Alimenter la maquette entre **A** et **H** par une source de tension continue pouvant délivrer une tension de 30 V et admettant les discontinuités de courant.

Si la source utilisée n'admet pas les discontinuités de courant, placer entre ses bornes un condensateur électrochimique (attention aux polarités !) de capacité élevée (4700 μF /30 V par exemple).



II.1. Charge R

La charge est initialement un rhéostat de 120Ω .

- La tension sinusoïdale est réglée à 50 Hz.
- Placer aux bornes de la charge un voltmètre permettant la mesure de la valeur efficace U de u .
- Visualiser la tension u aux bornes de la charge.

Pour une synchronisation correcte de l'oscilloscope, il est souhaitable de se placer sur la synchronisation extérieure et d'utiliser le signal provenant du générateur de tension sinusoïdale comme signal de synchronisation.

- Augmenter la fréquence de la tension triangulaire ;

comment évolue :

* la forme de la tension aux bornes de la charge ainsi que sa fréquence ?

* la valeur efficace de la tension U ?

- Diminuer la fréquence de la tension sinusoïdale ;

comment évolue :

* la forme de la tension aux bornes de la charge ainsi que sa fréquence ?

* la valeur efficace de la tension U ?

II.2. Charge RL

- La charge est un circuit R,L série. On pourra choisir par exemple une bobine à noyau mobile d'inductance réglable de 0,1 H à 1 H et de résistance 10 Ω associée à un rhéostat de 23 Ω .

- Visualiser à l'oscilloscope, la tension u disponible aux bornes de la charge ainsi que l'intensité i du courant qui la traverse.

- Décrire l'évolution de la tension u et de l'intensité i du courant lorsque, pour une fréquence du signal sinusoïdal de 50 Hz, on modifie les positions du potentiomètre P_1 .

- Effectuer les réglages permettant l'obtention d'un courant pratiquement sinusoïdal.

Comment se comporte le circuit R,L pour l'intensité du courant i ?

II.3. Variation de la vitesse d'un moteur

La charge est constituée :

- soit d'un moteur à courant alternatif 24 V/50 Hz de faible puissance (30 W environ) ;

- soit par l'enroulement basse tension d'un transformateur 24 V-220 V/50 Hz, l'enroulement haute tension alimentant un moteur à courant alternatif 220 V/50 Hz de faible puissance : moteur de programmateur d'un lave-linge (ou d'un lave-vaisselle) ou moteur de ventilateur d'un système informatique (qui sont généralement des moteurs asynchrones monophasés à spire de Frager).

Observer l'intensité $i(t)$ du courant traversant le moteur. Décrire le fonctionnement de celui-ci lorsque la fréquence varie de 10 Hz à 100 Hz.

Qu'observez-vous quant à la vitesse du moteur ?

II.4. Analyse spectrale de la tension et de l'intensité du courant

Remplacer le moteur par le circuit RL du II.2. ($L = 1$ H et $R = 23 \Omega$).

Avec le module "AMPEREMETRE-VOLTMETRE-WATTMETRE" (réf.3804) mesurer l'intensité du courant traversant la charge, la tension à ses bornes et la puissance reçue. Visualiser à l'oscilloscope la puissance instantanée.

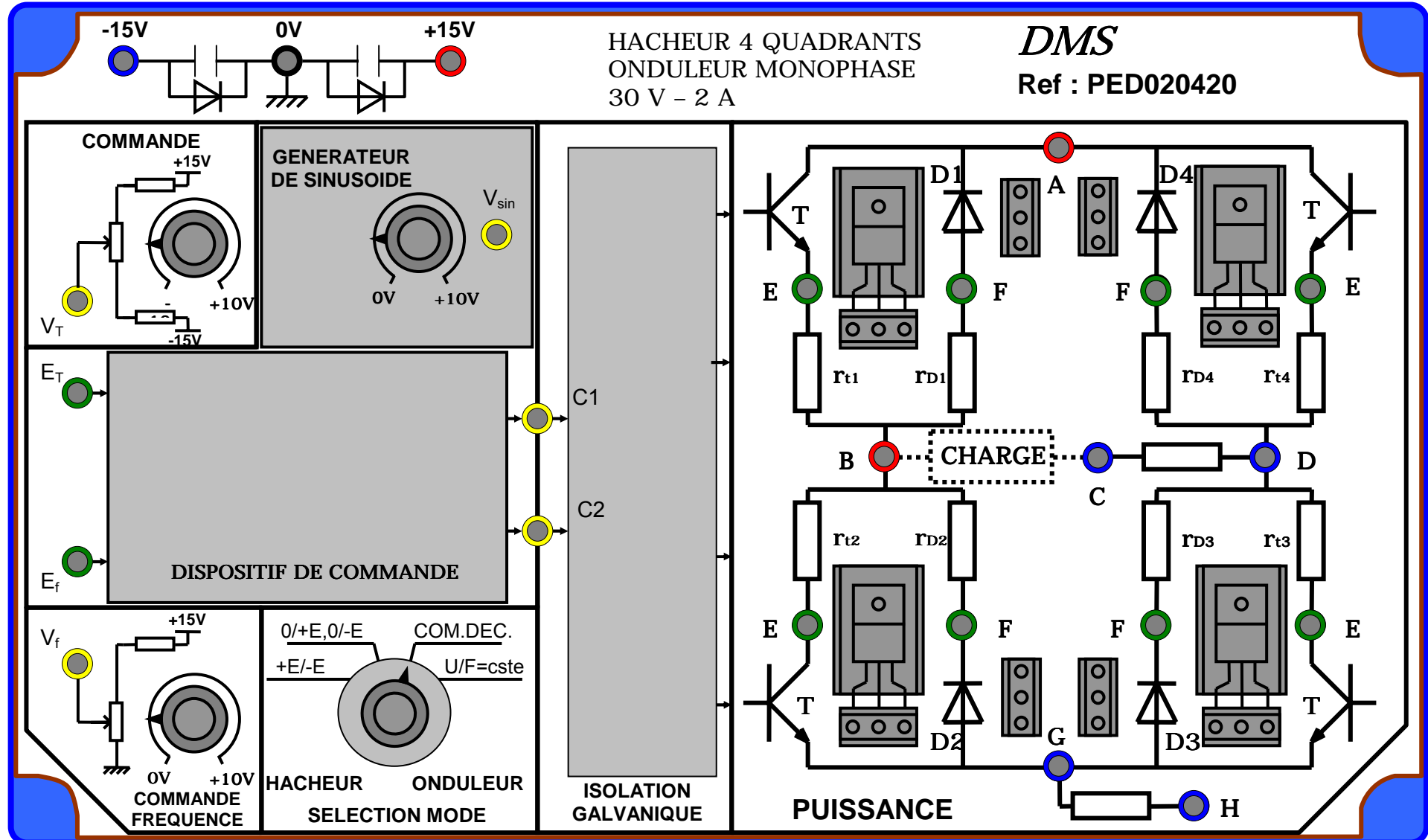
En utilisant un analyseur de spectre effectuer l'analyse spectrale de la tension u aux bornes de la charge.

Pour cela on déterminera plus particulièrement l'amplitude des trois premiers harmoniques ainsi que leur fréquence.

Effectuer une analyse qualitative du transfert de puissance.

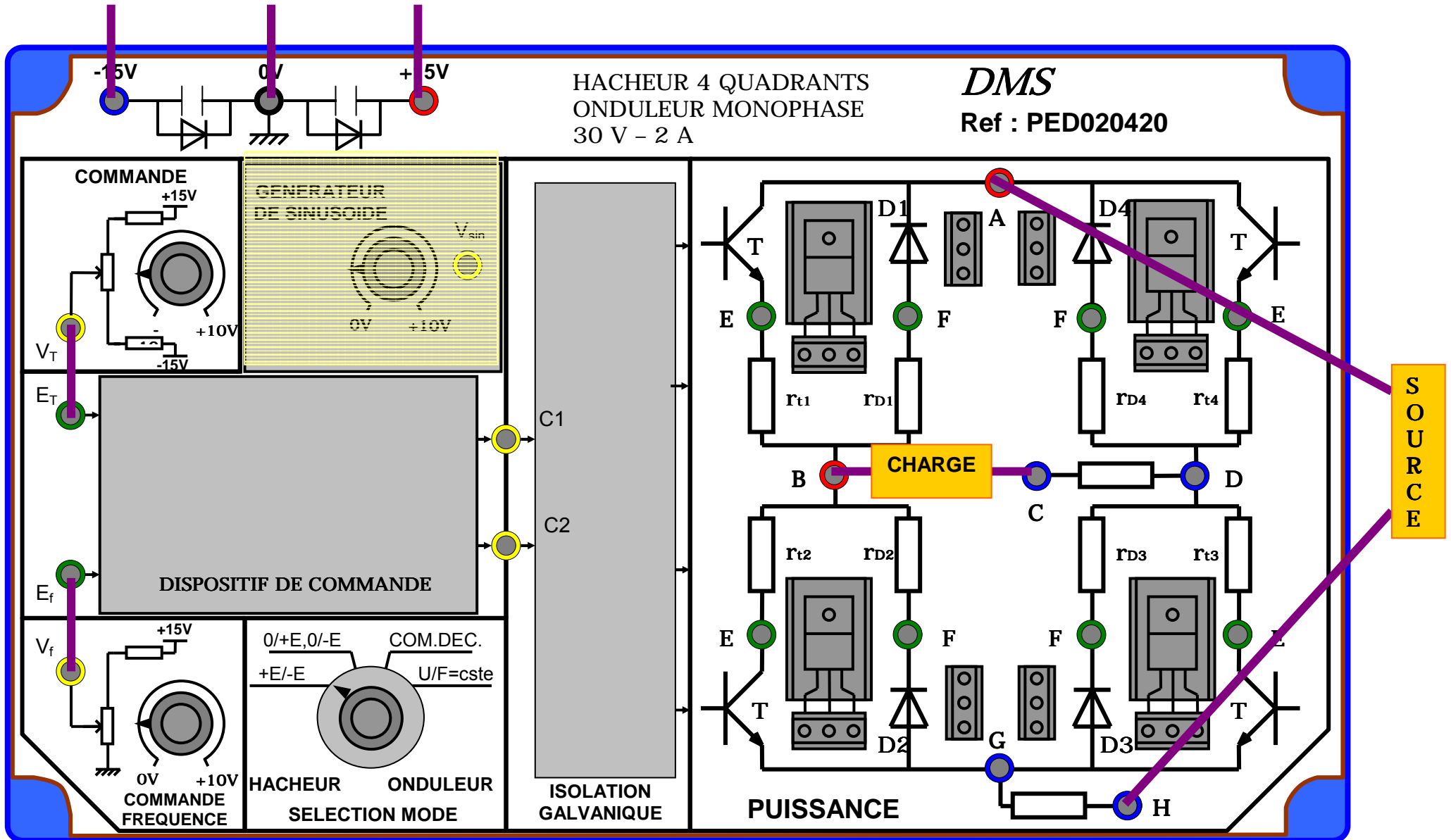
Annexe 1

Plan de la maquette HACHEUR/ONDULEUR



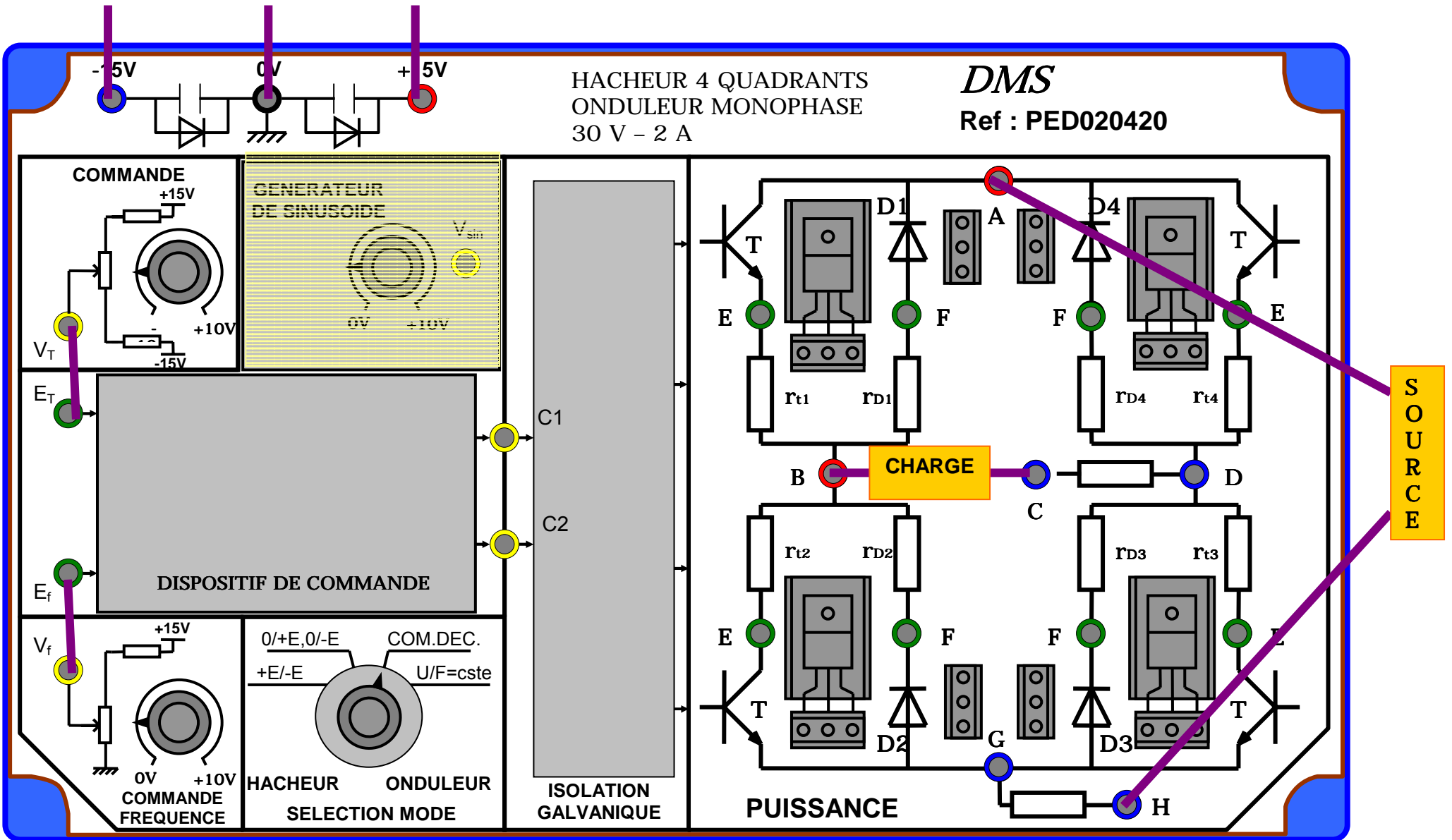
Annexe 2

**Schéma de câblage de la maquette pour un fonctionnement en HACHEUR
QUATRE QUADRANTS**



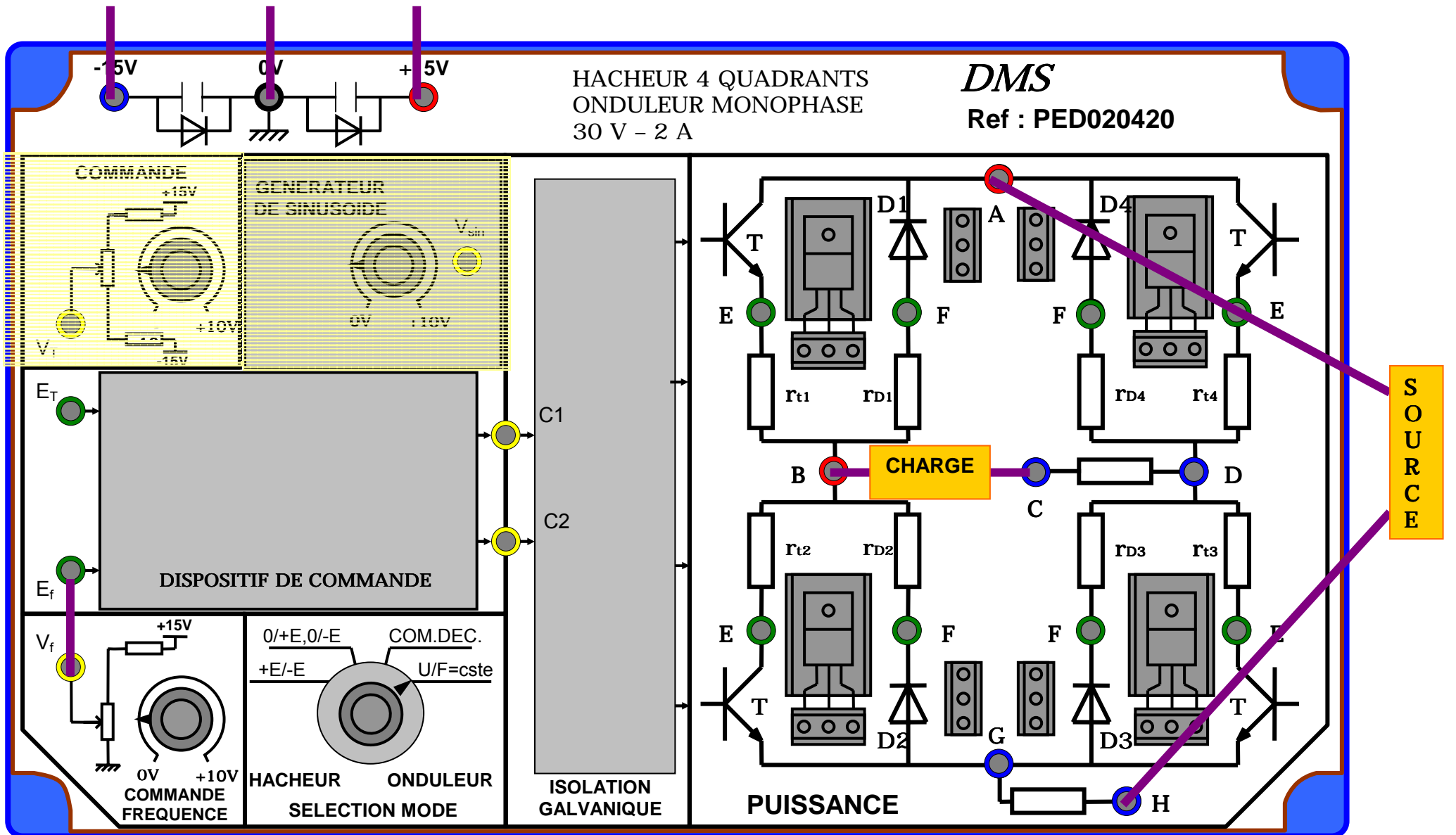
Annexe 3

**Schéma de câblage de la maquette pour un fonctionnement en ONDULEUR
A COMMANDE DECALEE**



Annexe 4

**Schéma de câblage de la maquette pour un fonctionnement en ONDULEUR
A U/f CONSTANTE**



Annexe 5

**Schéma de câblage de la maquette pour un fonctionnement en ONDULEUR
A MODULATION DE LARGEUR D'IMPULSIONS**

