

## Chapitre 20

# Machine à bâtons – Variateur vitesse MCC

|   |          |
|---|----------|
| <b>INTRODUCTION</b>                     | <b>2</b> |
| <b>TRAVAIL PERSONNEL</b>                |          |
| 1. Principe du moteur à courant continu | 5        |
| 2. Synoptique et schéma fonctionnel     | 6        |
| 3. La carte de puissance                | 7        |
| 4. La carte de contrôle                 | 12       |
| <b>DOCUMENTS RESSOURCE</b>              |          |
| <b>AUTOCORRECTION</b>                   |          |
| 1. Principe du moteur à courant continu | 20       |
| 2. Synoptique et schéma fonctionnel     | 21       |
| 3. La carte de puissance                | 22       |
| 4. La carte de contrôle                 | 27       |

## INTRODUCTION

La machine à bâtons est un équipement automatique, maquette d'une installation réelle de traitement de crayons radioactifs ou bâtons, constituée d'un bâti en profilé aluminium 40x40.



Les crayons « radioactifs » sont retirés du réacteur nucléaire et stockés dans une piscine ou cuve dont l'eau constitue un écran naturel. Les crayons étant chauds, la température de l'eau est régulée.

Dans la réalité, les crayons radioactifs sont des tubes de 30 centimètres de diamètre et de 7 mètres de long. Ces crayons sont retirés du réacteur, déplacés vers la piscine et plongés dans l'eau pour y être refroidis et stockés.

La maquette reproduit à échelle réduite le cycle ci dessus.

Le système de pont roulant utilise 3 moteurs :

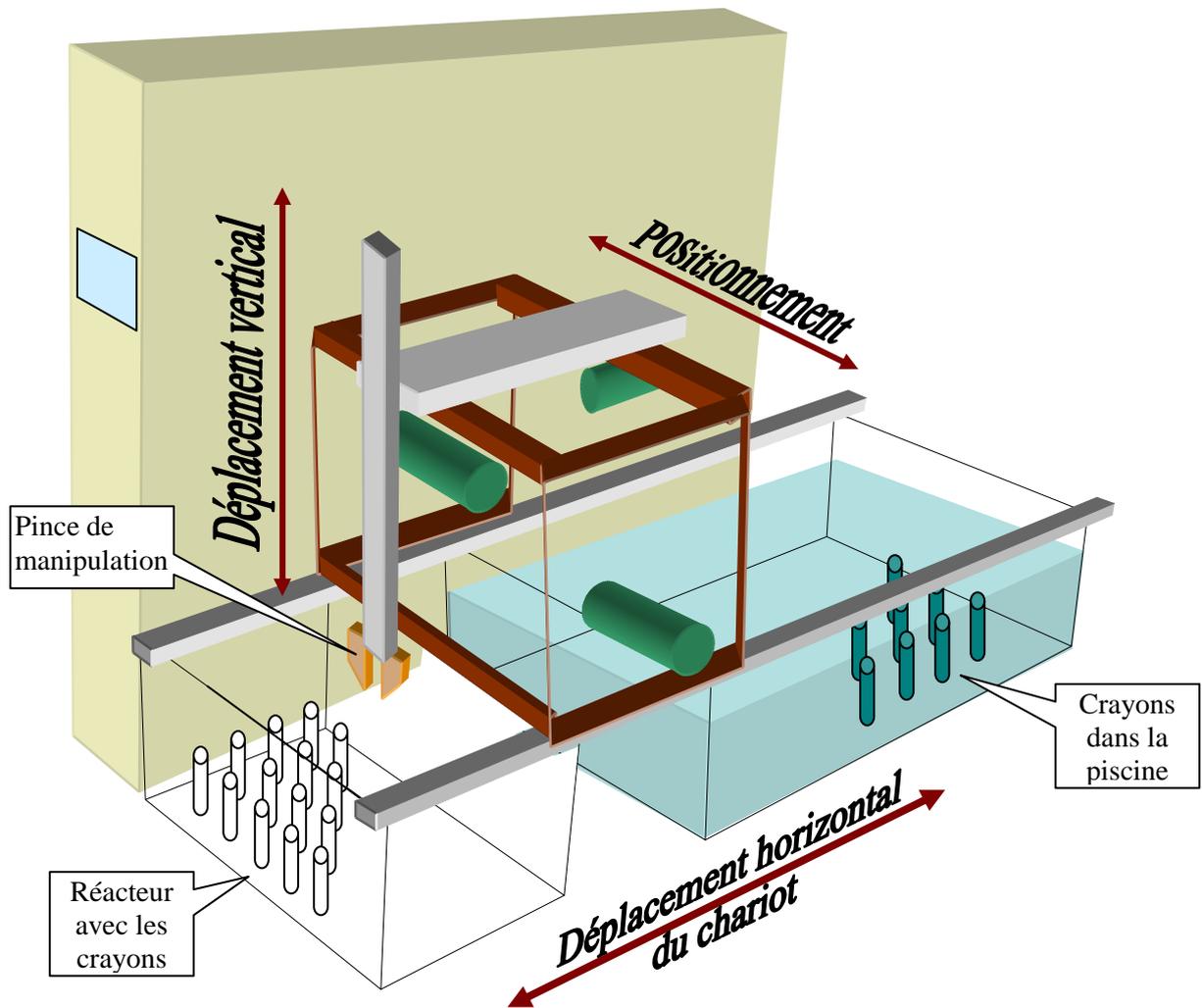
Un moteur asynchrone MAS utilisé pour les mouvements de montée et descente des crayons,

Un moteur à courant continu MCC utilisé pour le déplacement réacteur – piscine,

Un moteur brushless utilisé pour le positionnement.

Un système de régulation permet de maintenir constante la température de l'eau

L'interface opérateur est réalisé à partir d'un écran type XBT de Télémécanique.



- Le déplacement vertical de la pince est réalisé par un ensemble moteur asynchrone avec réducteur piloté par un variateur de vitesse.
- Le déplacement horizontal du chariot est assuré par un ensemble moteur à courant continu avec réducteur piloté par un variateur de vitesse.
- Le positionnement est géré par une commande de mouvement type Lexium de Télémécanique pilotant un moteur Brushless.

**Dans ce chapitre nous allons nous intéresser plus particulièrement au déplacement horizontal commandé par un variateur de vitesse de type Rectivar de Télémécanique.**

Les caractéristiques électriques du moteur de déplacement horizontal sont les suivantes :

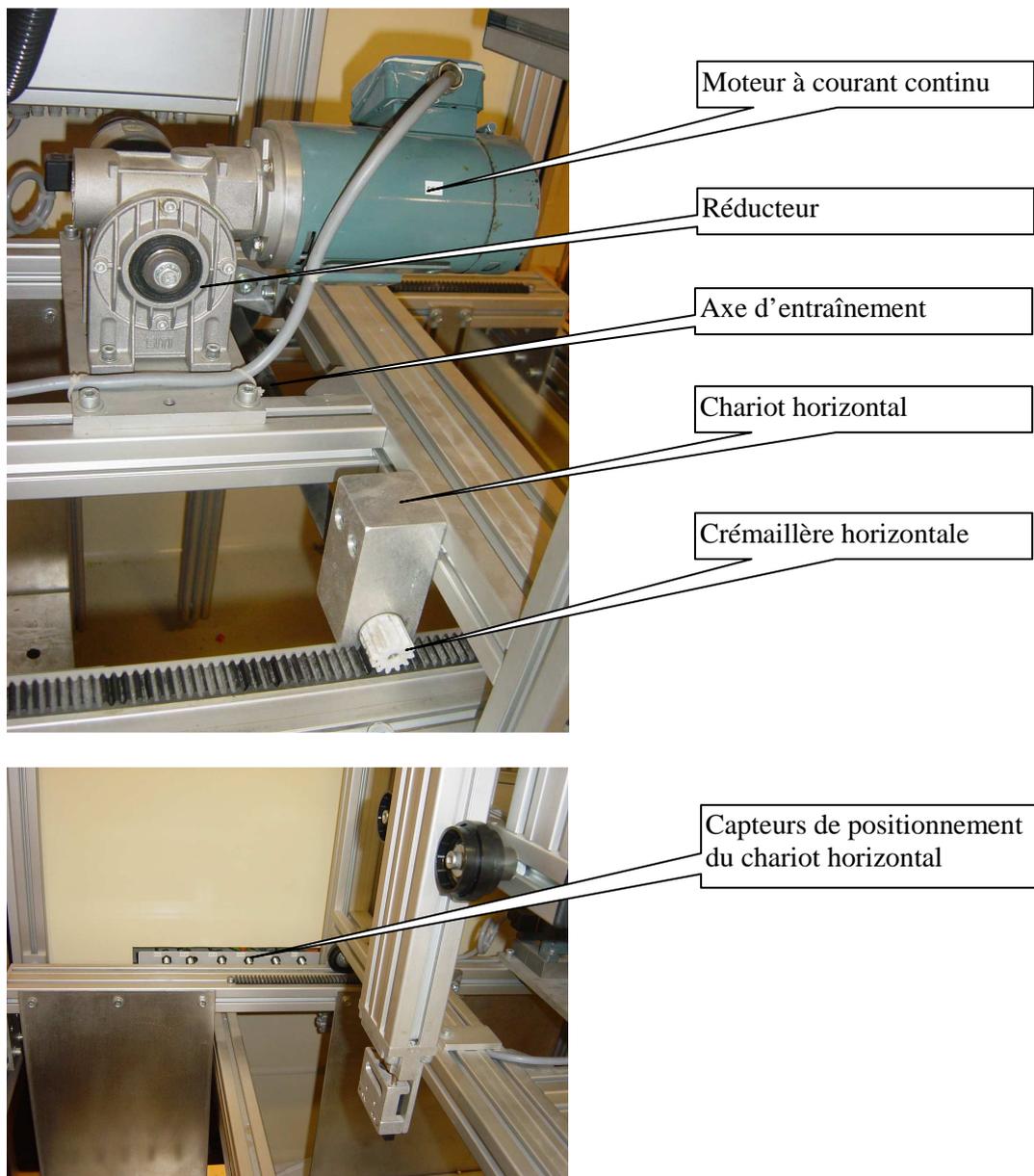
- Puissance utile : 0,122 KW
- Induit : 1,05 A – 170 V
- Inducteur : 0,13 A – 190 V
- Vitesse : 3000 tr/min

## Travail personnel



### Analyse du fonctionnement d'un variateur de vitesse pour la commande d'un moteur à courant continu.

Le déplacement horizontal des crayons est assuré par un ensemble moteur - réducteur piloté par un variateur de vitesse de type Rectivar RTV de marque Télémécanique. L'ensemble mécanique permet le déplacement horizontal du chariot supportant les moteurs. Des capteurs inductifs signalent à l'automate de commande l'emplacement des rangées de crayons.



## 1. Principe du moteur à courant continu

### 1.1. Constitution

Comme tout les moteurs, le moteur à courant continu est constitué de deux parties :

- Une partie fixe ou statique appelé le stator dans lequel on crée un champ magnétique,
- Une partie mobile en rotation appelé le rotor alimenté en courant continu à travers le collecteur solidaire du rotor sur lequel viennent frotter les charbons ou balais.

Ces deux éléments sont aussi appelés induit et inducteur de la machine :

Le stator du moteur à courant continu est : \_\_\_\_\_

Le rotor du moteur à courant continu est : \_\_\_\_\_

### 1.2. Fonctionnement

Le champ magnétique dans le stator est produit :

- soit par un aimant permanent dans le cas des petits moteurs à courant continu
- soit par un électroaimant, bobine alimentée par un courant continu dans le cas des moteurs à courant continu à excitation séparée. Le courant traversant le stator, appelé courant d'excitation, produit un champ magnétique  $B$  perpendiculaire aux bobines du rotor.

La quantité de champ magnétique traversant les spires est appelé flux magnétique  $\Phi$ .

Le rotor placé dans un champ magnétique  $B$  est lui-même alimenté sous une tension continue. Chacun des conducteurs du rotor de longueur  $L$ , parcouru par un courant continu  $I$  est alors soumis à des forces électromagnétiques telle que  $F = B.I.L$  appelées forces de \_\_\_\_\_

Une spire du rotor ayant ses deux conducteurs diamétralement opposés est sous l'effet d'un couple de force électromagnétique qui entraîne le moteur en rotation.

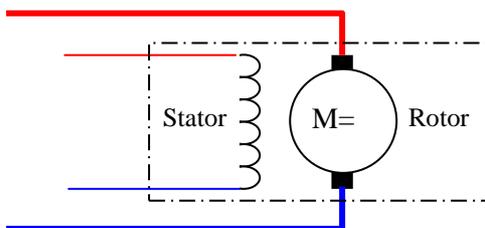
Dans le cas d'un moteur à excitation séparée, le champ magnétique et donc le flux magnétique peuvent être maintenu constant grâce au réglage du \_\_\_\_\_

Dans ce cas, la fréquence de rotation du moteur est proportionnel à \_\_\_\_\_

Et le couple électromécanique du moteur est proportionnel à \_\_\_\_\_

### 1.3. Schéma

Compléter le schéma d'alimentation ci dessous en faisant figurer le deux grandeurs fondamentales que sont le courant d'excitation  $I_e$  et la tension d'alimentation  $V$  du moteur :

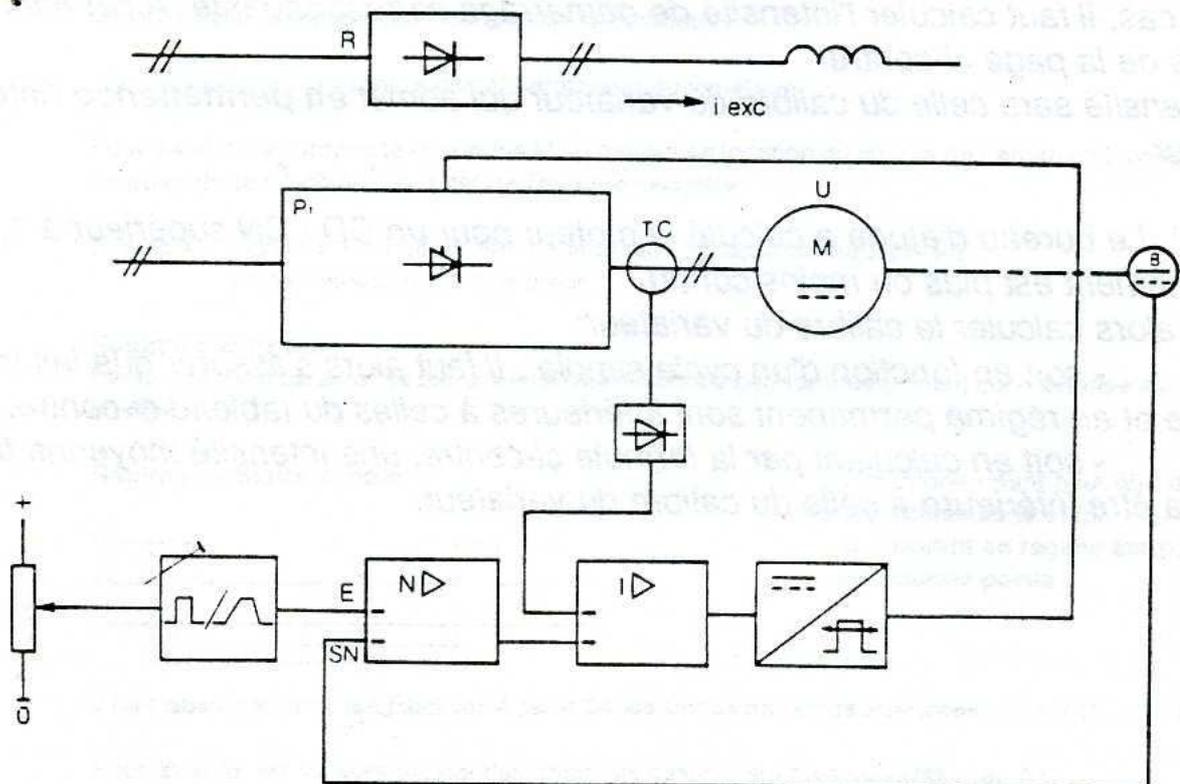


Dans la suite, l'alimentation du moteur à courant continu sera faite par un variateur de vitesse.

## 2. Synoptique et schéma fonctionnel du variateur

Sur le schéma fonctionnel du variateur de vitesse pour moteur à courant continu ci dessous, Identifier et repérer chacune des fonctions suivantes :

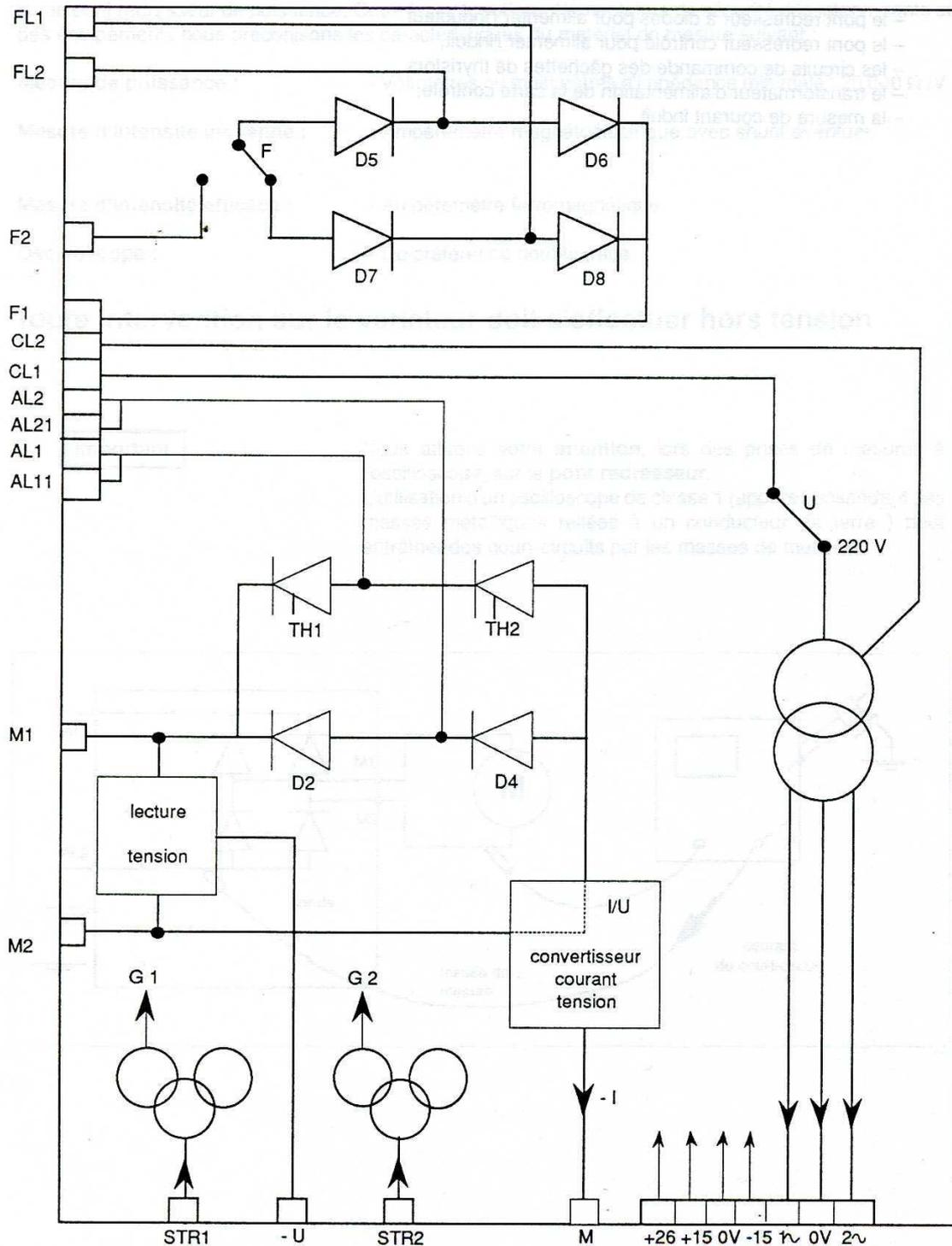
- ① L'alimentation de l'inducteur
- ② L'alimentation de l'induit
- ③ La mesure du courant moteur
- ④ La mesure de la vitesse du moteur
- ⑤ La consigne de vitesse
- ⑥ La rampe d'accélération
- ⑦ La régulation de vitesse
- ⑧ La régulation de courant
- ⑨ La commande d'allumage des thyristors



### 3. La carte de puissance

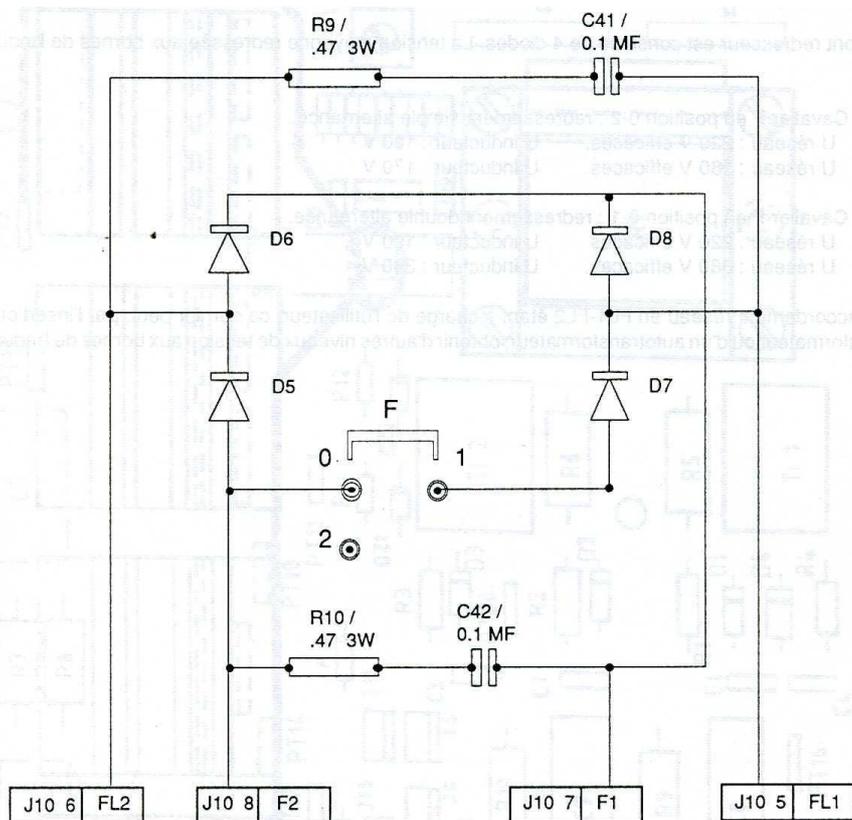
Sur la carte de puissance on trouve les fonctions suivantes :

- L'alimentation de l'inducteur
- L'alimentation de l'induit
- La mesure du courant d'induit
- Les différentes alimentations internes au variateur



### 3.1. L'alimentation de l'inducteur

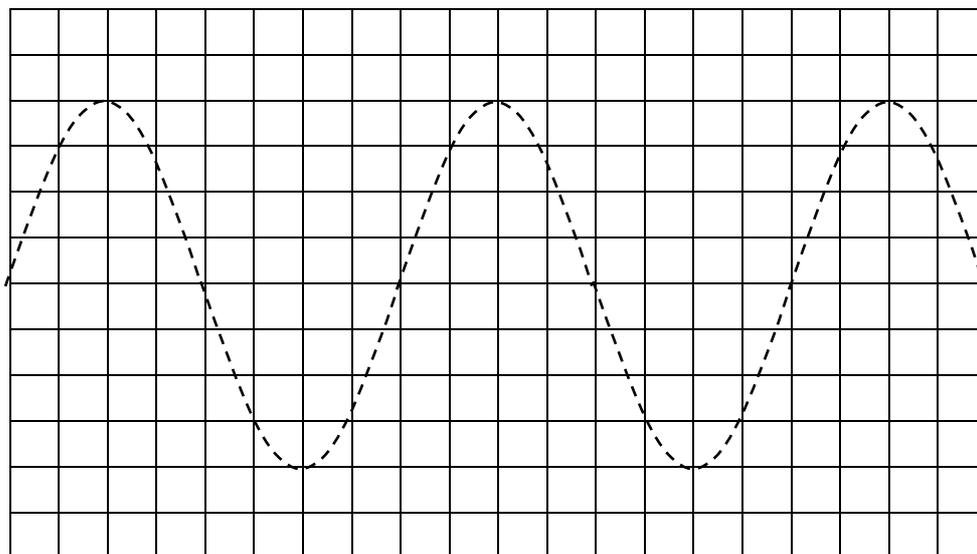
Voici le schéma de l'alimentation de l'inducteur :



Le réseau d'alimentation alternatif  $V = 230\text{ V}$   $50\text{ Hz}$  est raccordé sur les bornes FL1 et FL2, l'inducteur du moteur est branché entre les bornes F1 et F2.

Tracer sur le chronogramme ci dessous l'allure de la tension aux bornes de l'inducteur :

- dans le cas 1 où le cas cavalier F est placé entre les bornes 0 et 1
- dans le cas 2 où le cas cavalier F est placé entre les bornes 0 et 2

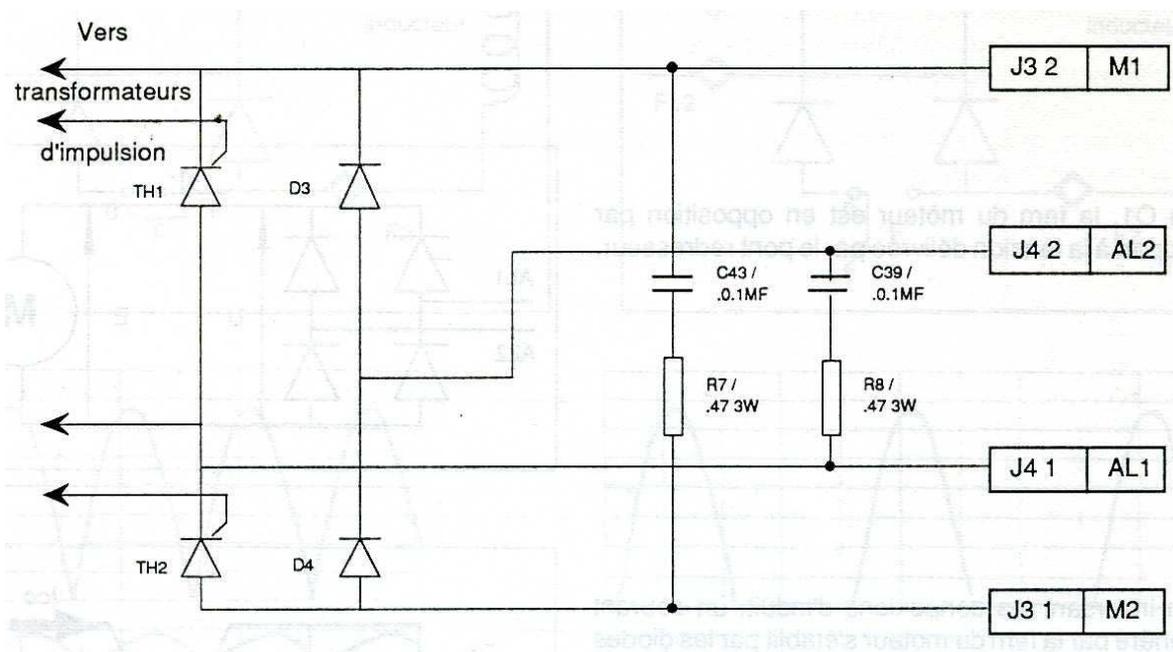


Sachant que la tension du réseau d'alimentation est 230 V quelle est la valeur maximale de la tension aux bornes de l'inducteur ?

quelle est la valeur moyenne de la tension aux bornes de l'inducteur dans le cas 1 et dans le cas 2 ?

### 3.2. L'alimentation de l'induit

Voici le schéma de l'alimentation de l'induit :



L'alimentation de l'induit se fait à l'aide d'un montage réalisé avec 2 thyristors et 2 diodes.  
Comment appelle-t-on ce montage ?

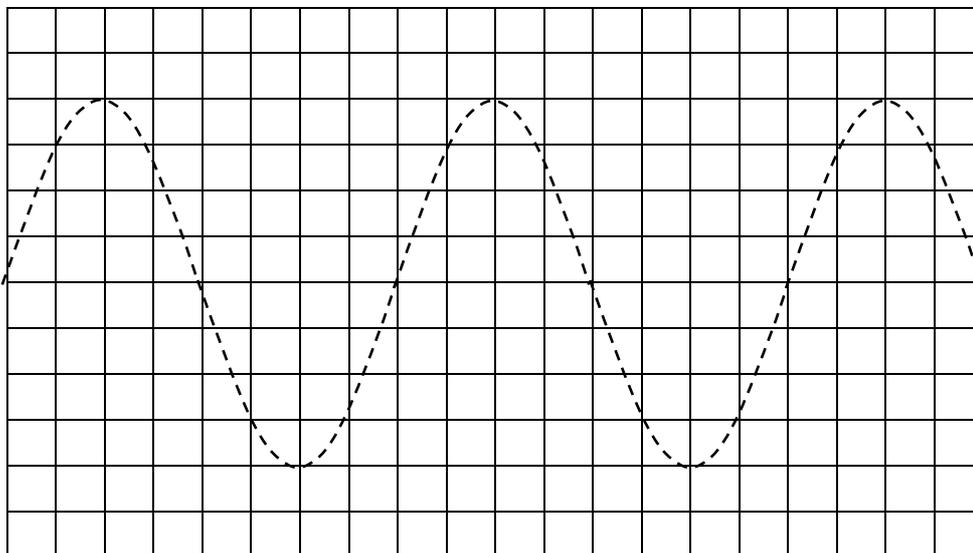
Quelles sont les conditions pour qu'un thyristor conduise ?

Qu'appelle-t-on angle d'amorçage d'un thyristor ou angle de retard à l'allumage ?

Tracer sur le chronogramme ci-dessous l'allure de la tension d'alimentation de l'induit :

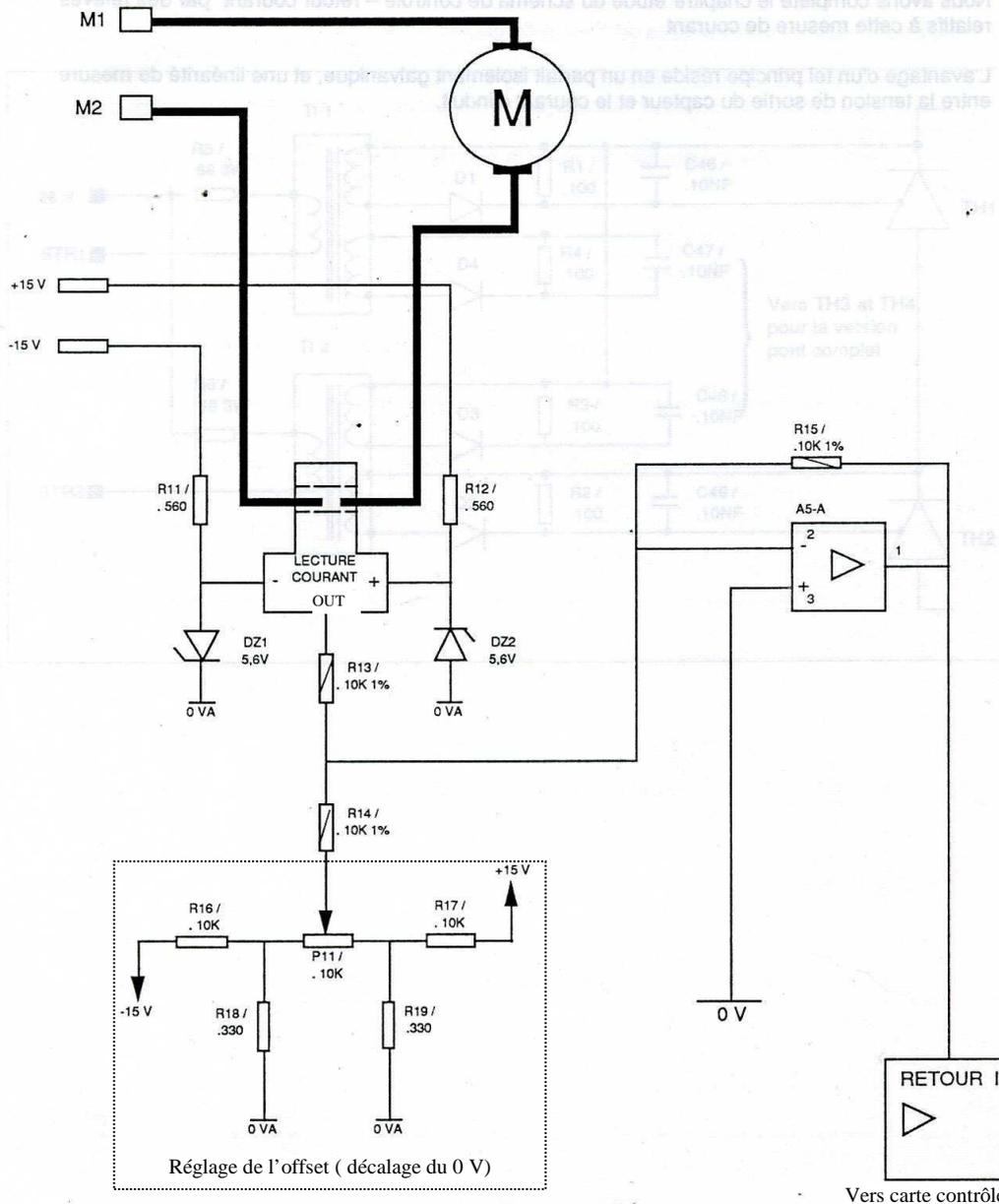
- dans le cas 1 où l'angle d'amorçage est  $\alpha = \pi / 2$
- dans le cas 2 où l'angle d'amorçage est  $\alpha = \pi / 4$
- dans le cas 3 où l'angle d'amorçage est  $\alpha = 3\pi / 4$

La tension d'alimentation du réseau est 230 V 50 Hz



Quelle est la valeur moyenne de la tension d'alimentation de l'induit dans les 3 cas ci-dessus ?

### 3.3. La mesure du courant d'induit



La mesure de l'intensité dans l'induit est faite avec un capteur de courant à effet Hall qui délivre une tension continue proportionnelle au flux dans le tore, flux créé par le courant dans l'induit.

Quelles sont les tensions d'alimentation du capteur à effet Hall ?

### Capteurs de courant en sortie tension

Honeywell

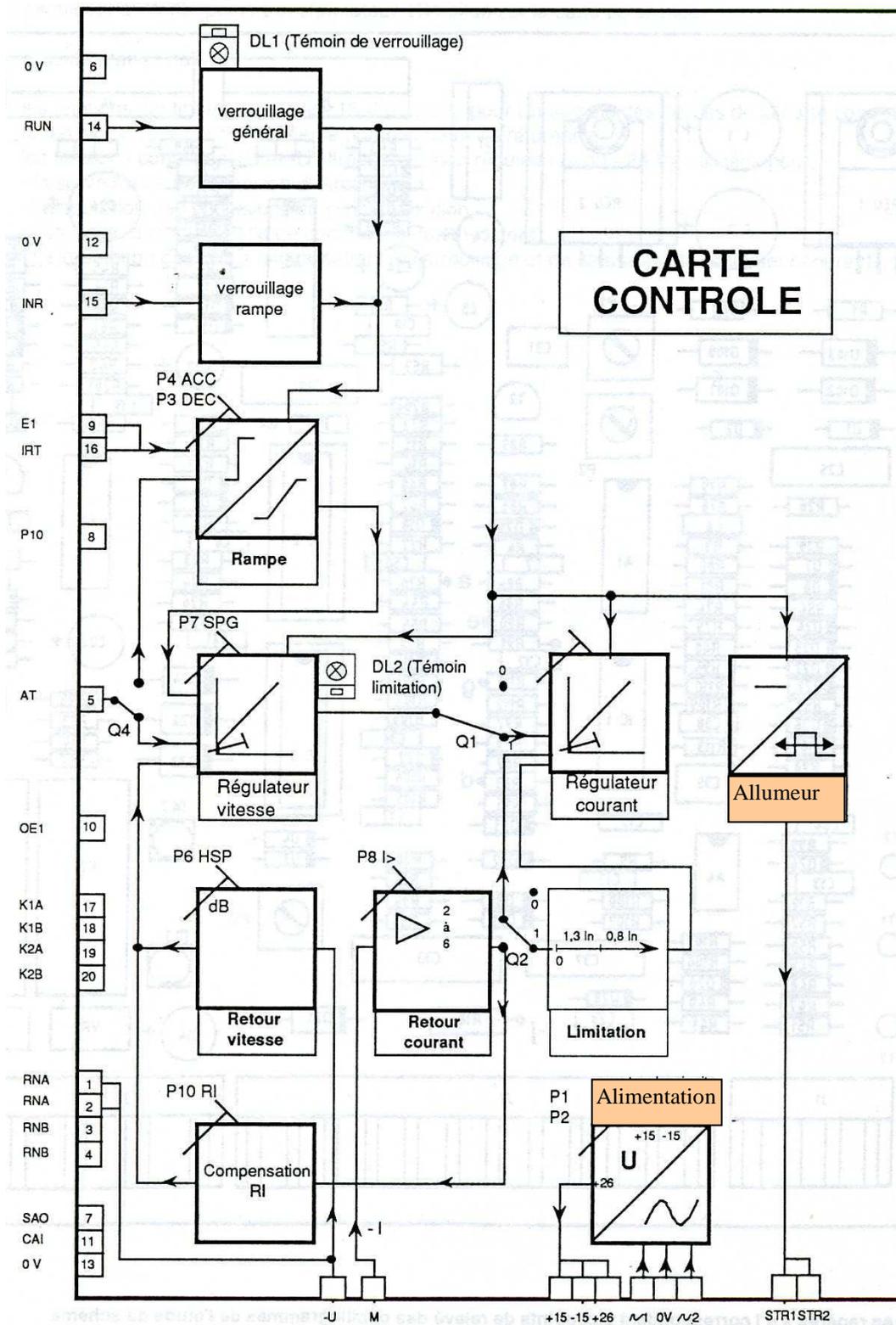


- ▶ Ces capteurs mesurent des courants alternatifs et des courants continus.
- ▶ Tension de sortie isolée de l'alimentation d'entrée.
- ▶ Faible temps de réponse.
- ▶ Dissipation minimum d'énergie.

#### 4. La carte de contrôle

La carte de contrôle est alimentée en tensions continues + 15 V et - 15 V réalisées à l'aide de redresseur et de régulateurs intégrés à partir d'un transformateur situé sur la carte de puissance.

La carte de contrôle regroupe les fonctions suivantes :

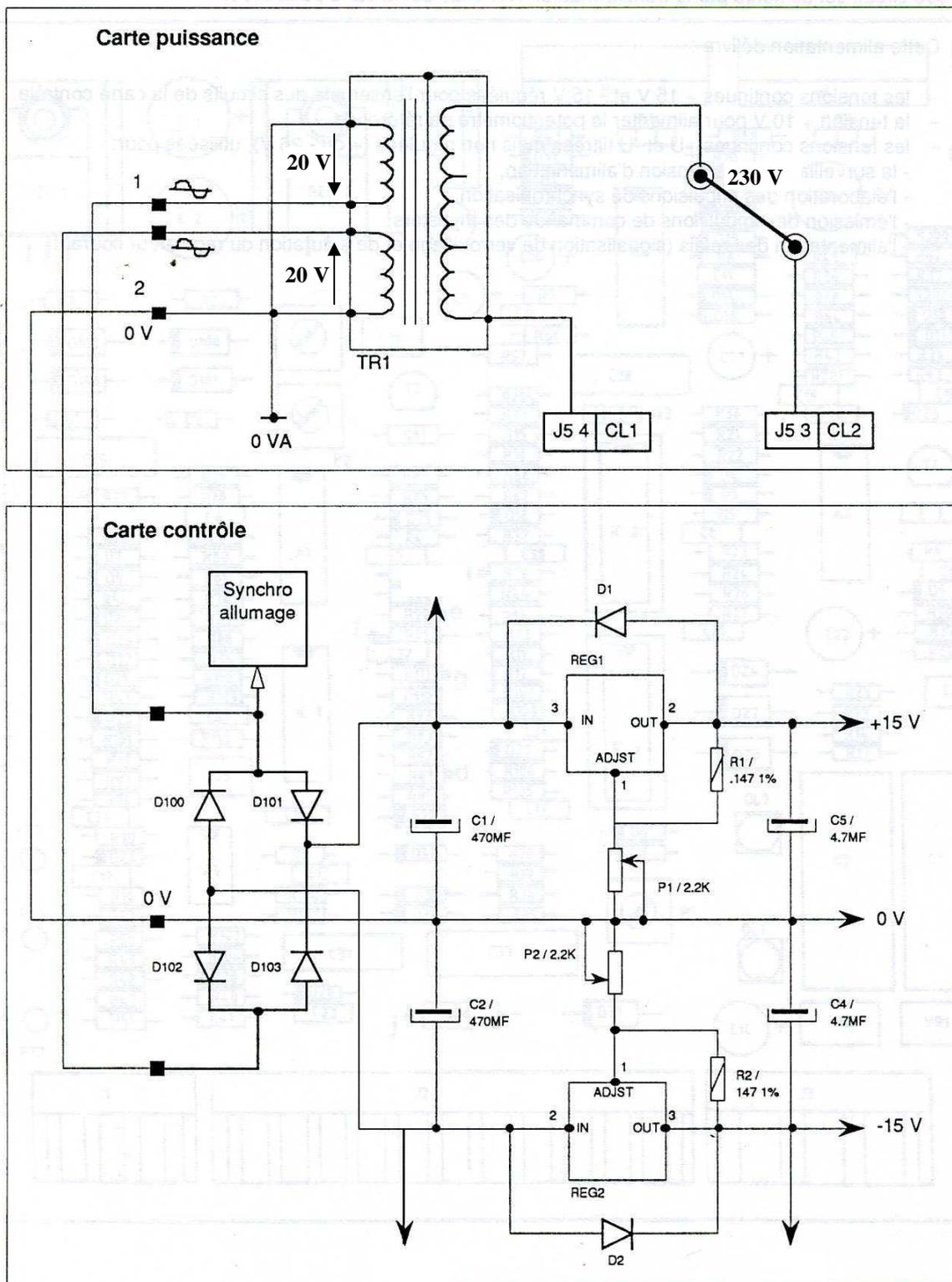


Nous allons nous intéresser plus particulièrement à :

- L'alimentation
- L'allumeur ou commande d'allumage des thyristors

#### 4.1. L'alimentation

Voici le schéma de l'alimentation fournissant les tensions continues à la carte de contrôle :

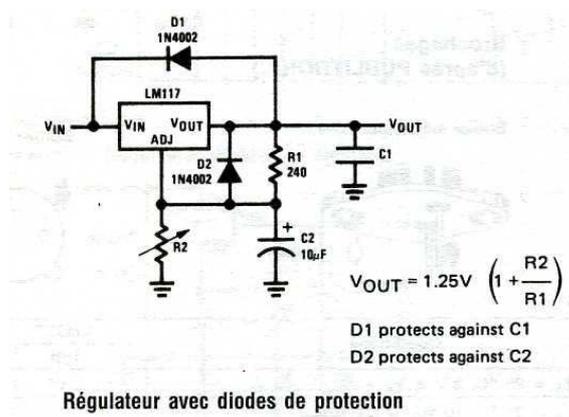


Le transformateur TR1 , alimenté au primaire en 230 V 50 Hz , fournit au secondaire deux fois 20 V  
En tenant compte d'une chute de tension de 0,7 V dans les diodes de redressement ;

quelle sont les tensions présentes sur les entrées 3 (IN) des deux régulateurs REG1 et REG2 ?  
Les régulateurs ont pour référence LM317 , document ressource fourni.

Sur le schéma de l'alimentation, préciser le rôle des diodes D1 et D2 :

A l'aide du schéma d'application ci après,  
Déterminer la valeur de réglage du potentiomètre P1 pour obtenir +15 V en sortie de REG1  
et du potentiomètre P2 pour obtenir - 15 V en sortie de REG2



#### 4.2. L'allumeur

L'allumeur envoie les signaux de commande sur la gâchette des deux thyristors permettant ainsi leur conduction à un instant précis correspondant à un manque d'intensité dans le moteur.

Cette commande intervient à un instant bien défini avec un angle de retard bien précis par rapport à la tension sinusoïdale du réseau et prenant en compte l'information de retour du courant.

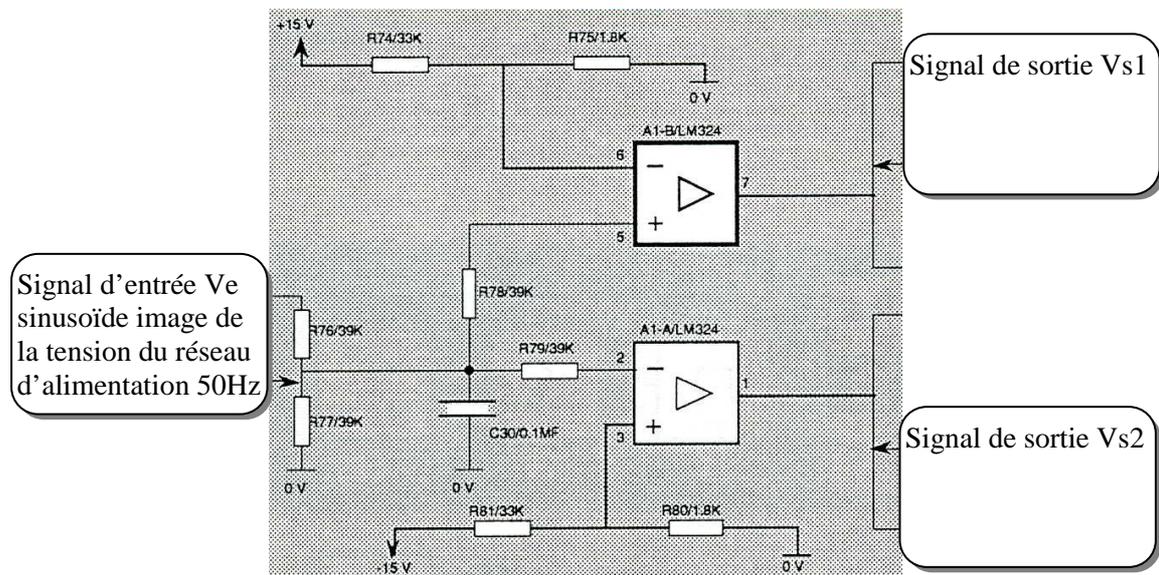
La commande doit donc :

- être synchronisée sur la fréquence du réseau,
- tenir compte de l'évolution du temps sur une alternance,
- prendre en compte la référence donnée par le retour courant.

❖ La synchronisation sur la fréquence du réseau

Le circuit intégré LM324 est joint en document ressource.

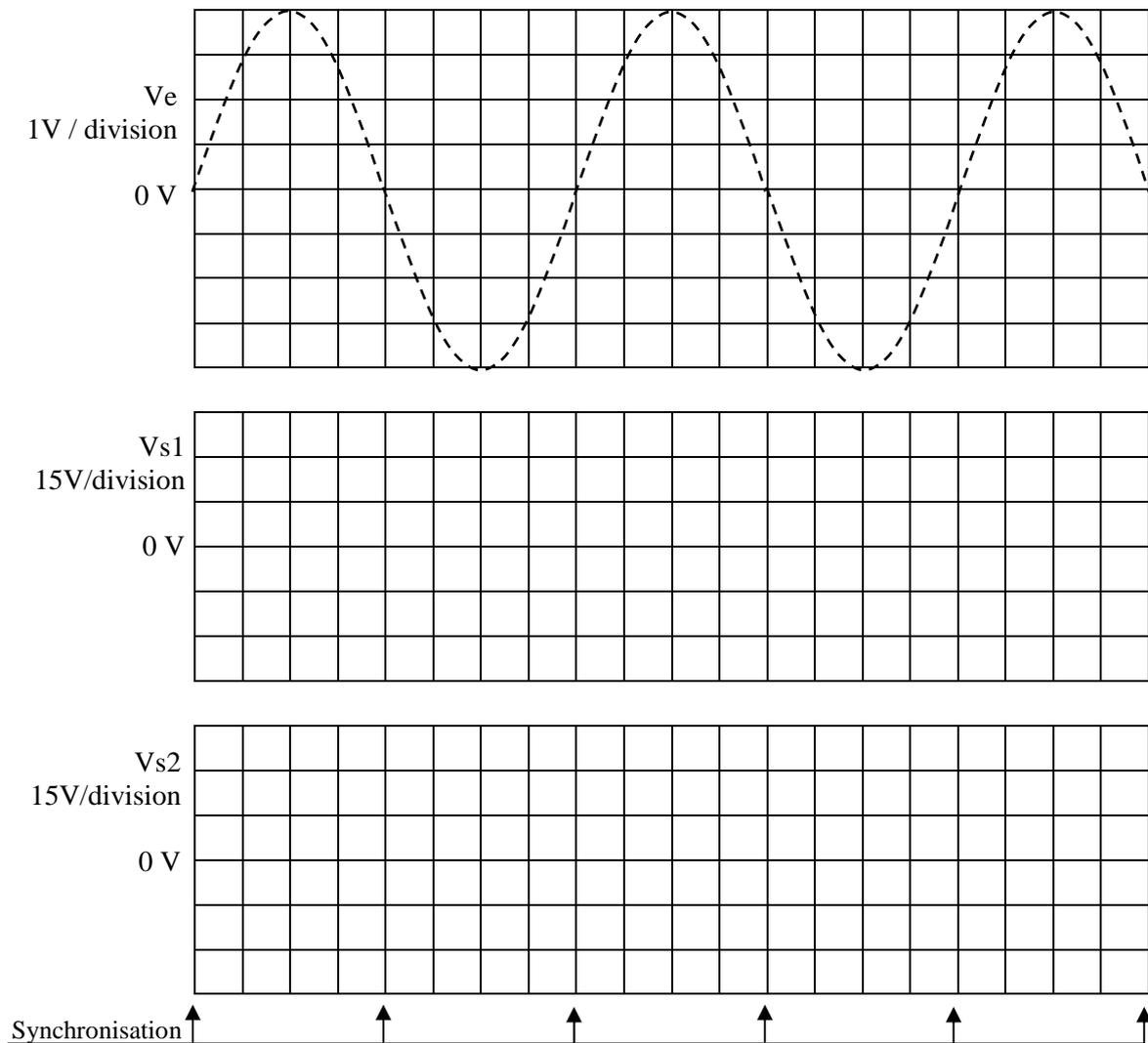
Le LM324 est alimenté entre +15 V et -15 V.



Quelle est la fonction des deux circuits LM324 ?

Quelle est la valeur du potentiel sur la patte 6 et sur la patte 3 du LM324 ?

On vous donne l'allure du signal d'entrée  $V_e$ , tracer les signaux  $V_{s1}$  et  $V_{s2}$  :



❖ L'intégration sur une alternance

Son rôle est de fournir une tension dont la valeur dépend du temps dans l'alternance. Pour chaque alternance, le montage intégrateur prendra en compte soit  $V_{s1}$  soit  $V_{s2}$  et sa sortie sera remise à 0 à chaque top de synchronisation.

Donner le schéma de principe d'un additionneur intégrateur à amplificateur opérationnel :

Donner l'allure du signal  $V_i$  en sortie du montage intégrateur :

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

❖ La comparaison

Son rôle est de comparer le signal de sortie  $V_i$  de l'intégrateur et le signal de référence  $V_r$  provenant de la mesure du courant et de fournir le signal pour la commande des thyristors.

Donner le schéma de principe du comparateur à amplificateur opérationnel :

Donner l'allure du signal en sortie du montage comparateur  
pour la référence  $V_{r1}$  égale à  $1/4$  de  $V_i$  max :  
pour la référence  $V_{r2}$  égale à  $3/4$  de  $V_i$  max :

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Que peut-on en conclure sur le temps de conduction des thyristors ?

Document ressource : LM317

RÉGULATEUR DE TENSION VARIABLE POSITIF 1,5 A

## LM117/LM217/LM317

d'après National Semiconductor

**DESCRIPTION :**  
 Les LM117 sont des régulateurs de tension positive à 3 broches pouvant débiter 1,5 A sous une tension de sortie allant de 1,2 V à 37 V. Ils ne nécessitent que deux résistances externes. Ces circuits offrent une protection contre les surcharges (même si les circuits de réglage sont débranchés).

**Valeurs limites**

|   |                    |
|---|--------------------|
| Puissance dissipée                                  | Limitation interne |
| Tension différentielle entre l'entrée et la sortie  | 40 V               |
| Plage de températures de jonction en fonctionnement | 0 °C à +125 °C     |
| Température de stockage                             | -65 °C à +150 °C   |
| Température d'une broche (soudage, 10 s)            | 300 °C             |

**Boîtier TO-220**

Réglage  
(boîtier)

**Boîtier TO-202**

Réglage  
(boîtier)

**Boîtier métallique TO-3**

Attention: la sortie est reliée au boîtier

**Boîtier TO-39**  
(vu de dessous)

Réglage  
(boîtier)

**Brochages (d'après PUBLITRONIC)**

**Caractéristiques électriques**

| Paramètres   | Conditions  | LM317      |                      |           | Unités   |
|--|---|------------|----------------------|-----------|--|
|  |   | Min.       | Typ.                 | Max.      |  |
| Régulation de ligne  | $T_A = 25\text{ °C}, 3\text{ V} \leq V_{in} - V_{out} \leq 40\text{ V}$   |            | 0,01                 | 0,04      | %/V  |
| Régulation en charge   | $T_A = 25\text{ °C}, 10\text{ mA} \leq I_{out} \leq I_{max.}$<br>$V_{out} \leq 5\text{ V}$<br>$V_{out} \geq 5\text{ V}$                         |            | 5<br>0,1             | 25<br>0,5 | mV<br>%  |
| Régulation thermique   | $T_A = 25\text{ °C}, \text{Pulsation } 20\text{ ms}$  |            | 0,04                 | 0,07      | %/W  |
| Courant de la broche de réglage<br>Dérive du courant de la broche de réglage | $10\text{ mA} \leq I_L \leq I_{max.}$<br>$2,5\text{ V} \leq (V_{in} - V_{out}) \leq 40\text{ V}$  |            | 50<br>0,2            | 100<br>5  | $\mu\text{A}$<br>$\mu\text{A}$   |
| Tension de référence   | $3 \leq (V_{in} - V_{out}) \leq 40\text{ V}$<br>$10\text{ mA} \leq I_{out} \leq I_{max.}, P \leq P_{max.}$                                      | 1,20       | 1,25                 | 1,30      | V  |
| Régulation de ligne  | $3\text{ V} \leq V_{in} - V_{out} \leq 40\text{ V}$   |            | 0,02                 | 0,07      | %/V  |
| Régulation en charge   | $10\text{ mA} \leq I_{out} \leq I_{max.}$<br>$V_{out} \leq 5\text{ V}$<br>$V_{out} \geq 5\text{ V}$   |            | 20<br>0,3            | 70<br>1,5 | mV<br>%  |
| Stabilité en température   | $T_{min.} \leq T_j \leq T_{max.}$   |            | 1                    |           | %  |
| Courant de charge minimal  | $V_{in} - V_{out} = 40\text{ V}$  |            | 3,5                  | 10        | mA   |
| Courant maximal  | $V_{in} - V_{out} \leq 15\text{ V}$<br>boîtier K et T<br>boîtier H et P<br>$V_{in} - V_{out} = 40\text{ V}$<br>boîtier K et T<br>boîtier H et P | 1,5<br>0,5 | 2,2<br>0,8           |           | A<br>A<br>A<br>A   |
| Tension de bruit RMS en % de $V_{out}$                                       | $T_A = 25\text{ °C}, 10\text{ Hz} \leq f \leq 10\text{ kHz}$  |            | 0,003                |           | %  |
| Taux de réjection de l'ondulation résiduelle                                 | $V_{out} = 10\text{ V}, f = 120\text{ Hz}$<br>$C_{ADJ} = 10\text{ }\mu\text{F}$   | 65<br>66   | 80                   |           | dB<br>dB   |
| Stabilité à long terme   | $T_A = 125\text{ °C}$   |            | 0,3                  | 1         | %  |
| Résistance thermique de la jonction par rapport au boîtier                   | Boîtier H<br>Boîtier K<br>Boîtier T<br>Boîtier P  |            | 12<br>2,3<br>4<br>12 | 15<br>3   | $^{\circ}\text{C/W}$<br>$^{\circ}\text{C/W}$<br>$^{\circ}\text{C/W}$<br>$^{\circ}\text{C/W}$ |

Document ressource : LM324

**LM124/LM224/LM324**  
**LM124A/LM224A/LM324A**



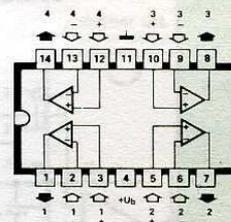
**DESCRIPTION :**

Les LM124 comportent quatre amplificateurs opérationnels à gain élevé et à compensation en fréquence interne. Ils peuvent fonctionner directement sous 5 V.  
 — Gain 100 dB - bande passante 1 MHz (G = 0dB) - courant d'alimentation 800  $\mu$ A.  
 — Courant de polarisation d'entrée 45 nA - Tension de décalage d'entrée 2 mV.  
 — Courant de décalage d'entrée 5 nA - Excursion de la tension de sortie  $O_v$  à ( $V_{\pm} \pm 1,5$  V)

**Valeurs limites**

|  |  |
|--|--|
| — Tension d'alimentation                                       | 32 V ou $\pm 16$ V   |
| — Puissance d'entrée différentielle                            | 32 V   |
| — Tension d'entrée   | - 0,3 V à + 26 V   |
| — Puissance dissipée   | boîtier moule DIP 570 mW<br>boîtier cavity DIP 900 mW<br>boîtier extra-plat 800 mW |
| — Court-circuit à la masse<br>$V^+ \leq 15$ V et $T_A = 25$ °C | continu  |

**Brochage (d'après PUBLITRONIC)**



**Caractéristiques électriques ( $V^+ = 5$  V)**

**AMPLIFICATEUR  
OPÉRATIONNEL  
GRAND GAIN**

| Paramètres                                    | Conditions  | LM224A |            |          | LM324A      |            |          | LM124/LM224 |            |           | LM324       |            |           | Unités       |
|---|---|--------|------------|----------|-------------|------------|----------|-------------|------------|-----------|-------------|------------|-----------|--------------|
|   |   | Min.   | Typ.       | Max.     | Min.        | Typ.       | Max.     | Min.        | Typ.       | Max.      | Min.        | Typ.       | Max.      |              |
| Tension de décalage d'entrée                  | $T_A = 25$ °C   |        | 1          | 3        |             | 2          | 3        |             | $\pm 2$    | $\pm 5$   |             | $\pm 2$    | $\pm 7$   | mVDC         |
| Courant de polarisation d'entrée              | $I_{N(+)}$ ou $I_{N(-)}$ = 25 °C  |        | 40         | 80       |             | 45         | 100      |             | 45         | 150       |             | 45         | 250       | nADC         |
| Courant de décalage d'entrée                  | $I_{N(+)} - I_{N(-)}$ , $T_A = 25$ °C   |        | 2          | 15       |             | 5          | 30       |             | $\pm 3$    | $\pm 30$  |             | $\pm 5$    | $\pm 50$  | nADC         |
| Plage de tensions d'entrée en mode commun     | $V^+ = 30$ VDC, $T_A = 25$ °C   |        | 0          |          | $V^+ - 1,5$ | 0          |          | $V^+ - 1,5$ | 0          |           | $V^+ - 1,5$ | 0          |           | VDC          |
| Courant d'alimentation                        | $R_L = \infty$ , $V_{CC} = 30$ V, (LM2902 $V_{CC} = 26$ V)<br>$R_L = \infty$ pour tous les amplificateurs opérationnels   |        | 1,5<br>0,7 | 3<br>1,2 |             | 1,5<br>0,7 | 3<br>1,2 |             | 1,5<br>0,7 | 3<br>1,2  |             | 1,5<br>0,7 | 3<br>1,2  | mADC<br>mADC |
| Gain en tension (signaux forts)               | $V^+ = 15$ VDC (pour une excursion importante de la tension de sortie $V_O$ ),<br>$R_L \geq 2$ k $\Omega$ , $T_A = 25$ °C |        | 50         | 100      |             | 25         | 100      |             | 50         | 100       |             | 25         | 100       | V/mV         |
| Amplitude de la tension de sortie             | $R_L = 2$ k $\Omega$ , $T_A = 25$ °C (LM2902 $R_L \geq 10$ k $\Omega$ )   |        | 0          |          | $V^+ - 1,5$ | 0          |          | $V^+ - 1,5$ | 0          |           | $V^+ - 1,5$ | 0          |           | VDC          |
| Taux de réjection en mode commun              | DC, $T_A = 25$ °C   |        | 70         | 85       |             | 65         | 85       |             | 70         | 85        |             | 65         | 70        | dB           |
| Taux de réjection à la tension d'alimentation | DC, $T_A = 25$ °C   |        | 65         | 100      |             | 65         | 100      |             | 65         | 100       |             | 65         | 100       | dB           |
| Couplage entre deux amplificateurs            | $f = 1$ kHz à 20 kHz, $T_A = 25$ °C<br>Par rapport à une entrée   |        | -120       |          | -120        |            | -120     |             | -120       |           |             | -120       |           | dB           |
| Courant de sortie source                      | $V_{IN}^+ = 1$ VDC, $V_{IN}^- = 0$ VDC<br>$V^+ = 15$ VDC, $T_A = 25$ °C   |        | 20         | 40       |             | 20         | 40       |             | 20         | 40        |             | 20         | 40        | mADC         |
| charge  | $V_{IN}^- = 1$ VDC, $V_{IN}^+ = 0$ VDC<br>$V^+ = 15$ VDC, $T_A = 25$ °C   |        | 10         | 20       |             | 10         | 20       |             | 10         | 20        |             | 10         | 20        | mADC         |
|   | $V_{IN}^- = 1$ VDC, $V_{IN}^+ = 0$ VDC<br>$T_A = 25$ °C, $V_O = 200$ mVDC   |        | 12         | 50       |             | 12         | 50       |             | 12         | 50        |             | 12         | 50        | $\mu$ ADC    |
| Court-circuit à la masse                      | $T_A = 25$ °C   |        | 40         | 60       |             | 40         | 60       |             | 40         | 60        |             | 40         | 60        | mADC         |
| Tension de décalage d'entrée                  |   |        |            | 4        |             |            | 5        |             |            | $\pm 7$   |             |            | $\pm 9$   | mVDC         |
| Dérive de la tension de décalage d'entrée     | $R_S = 0$ $\Omega$  |        | 7          | 20       |             | 7          | 30       |             | 7          |           |             | 7          |           | $\mu$ V/°C   |
| Courant de décalage d'entrée                  | $I_{N(+)} - I_{N(-)}$   |        |            | 30       |             |            | 75       |             |            | $\pm 100$ |             |            | $\pm 150$ | nADC         |
| Dérive du courant de décalage d'entrée        |   |        |            | 10       |             |            | 200      |             |            | 10        |             |            | 10        | pADC/°C      |
| Courant de polarisation d'entrée              | $I_{N(+)}$ ou $I_{N(-)}$  |        |            | 40       |             |            | 100      |             |            | 40        |             |            | 300       | nADC         |
| Plage de tensions d'entrée en mode commun     | $V^+ = 30$ VDC  |        | 0          |          | $V^+ - 2$   | 0          |          | $V^+ - 2$   | 0          |           | $V^+ - 2$   | 0          |           | VDC          |
| Gain en tension (signaux forts)               | $V^+ = + 15$ VDC (pour une excursion importante de la tension de sortie $V_O$ )<br>$R_L \geq 2$ k $\Omega$                |        | 25         |          | 15          |            |          | 25          |            |           | 15          |            |           | V/mV         |
| Amplitude de la tension de sortie $V_{OH}$    | $V^+ = + 30$ VDC, $R_L = 2$ k $\Omega$<br>$R_L \geq 10$ k $\Omega$  |        | 26<br>27   |          | 26<br>27    |            | 26<br>27 |             | 26<br>27   |           | 26<br>27    |            | 26<br>27  | VDC<br>VDC   |
| $V_{OL}$                                      | $V^+ = 5$ VDC, $R_L \leq 10$ k $\Omega$   |        | 28<br>5    | 20       | 28<br>5     | 20         | 28<br>5  | 20          | 28<br>5    | 20        | 28<br>5     | 20         | 28<br>5   | mVDC         |
| Courant de sortie source                      | $V_{IN}^+ = + 1$ VDC, $V_{IN}^- = 0$ VDC, $V^+ = 15$ VDC  |        | 10         | 20       |             | 10         | 20       |             | 10         | 20        |             | 10         | 20        | mADC         |
| charge  | $V_{IN}^- = + 1$ VDC, $V_{IN}^+ = 0$ VDC, $V^+ = 15$ VDC  |        | 5          | 8        |             | 5          | 8        |             | 5          | 8         |             | 5          | 8         | mADC         |
| Tension d'entrée différentielle               |   |        |            | 32       |             |            | 32       |             |            | 32        |             |            | 32        | VDC          |

# Autocorrection

## 1. Principe du moteur à courant continu

### 1.1. Constitution

Ces deux éléments sont aussi appelés induit et inducteur de la machine :

Le stator du moteur à courant continu est : l'inducteur ( créateur de champ)

Le rotor du moteur à courant continu est : L'induit

### 1.2. Fonctionnement

Le rotor placé dans un champ magnétique  $B$  est lui-même alimenté sous une tension continue. Chacun des conducteurs du rotor de longueur  $L$ , parcouru par un courant continu  $I$  est alors soumis à des forces électromagnétiques telle que  $F = B.I.L$  appelées forces de Laplace

Une spire du rotor ayant ses deux conducteurs diamétralement opposés est sous l'effet d'un couple de force électromagnétique qui entraîne le moteur en rotation.

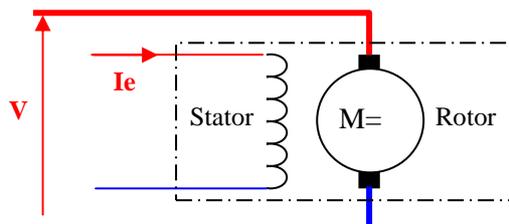
Dans le cas d'un moteur à excitation séparée, le champ magnétique et donc le flux magnétique peuvent être maintenu constant grâce au réglage du courant d'excitation de l'inducteur

Dans ce cas, la fréquence de rotation du moteur est proportionnel à la tension d'alimentation de l'induit

Et le couple électromécanique du moteur est proportionnel à l'intensité du courant dans l'induit  
(Voir cours Etude d'un ouvrage chapitre 13)

### 1.3. Schéma

Compléter le schéma d'alimentation ci dessous en faisant figurer le deux grandeurs fondamentales que sont le courant d'excitation  $I_e$  et la tension d'alimentation  $V$  du moteur :

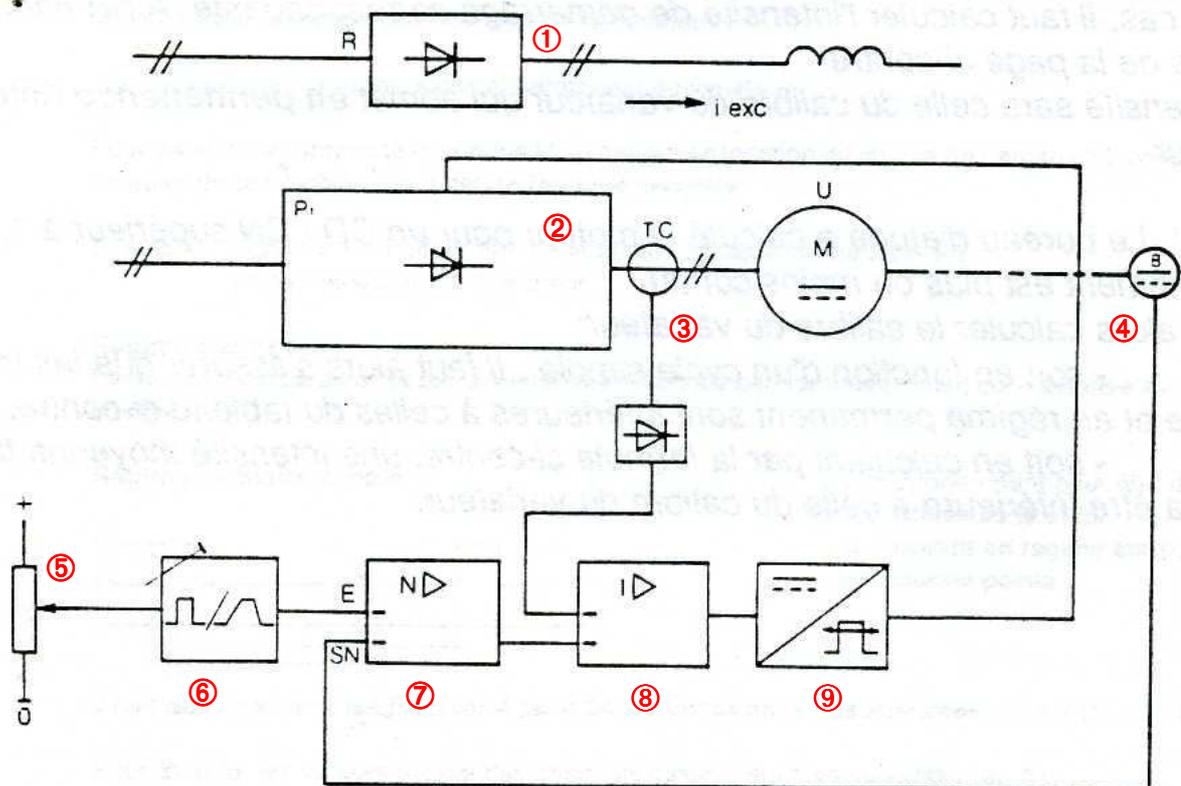


Dans la suite, l'alimentation du moteur à courant continu sera faite par un variateur de vitesse.

## 2. Synoptique et schéma fonctionnel du variateur

Sur le schéma fonctionnel du variateur de vitesse pour moteur à courant continu ci dessous, Identifier et repérer chacune des fonctions suivantes :

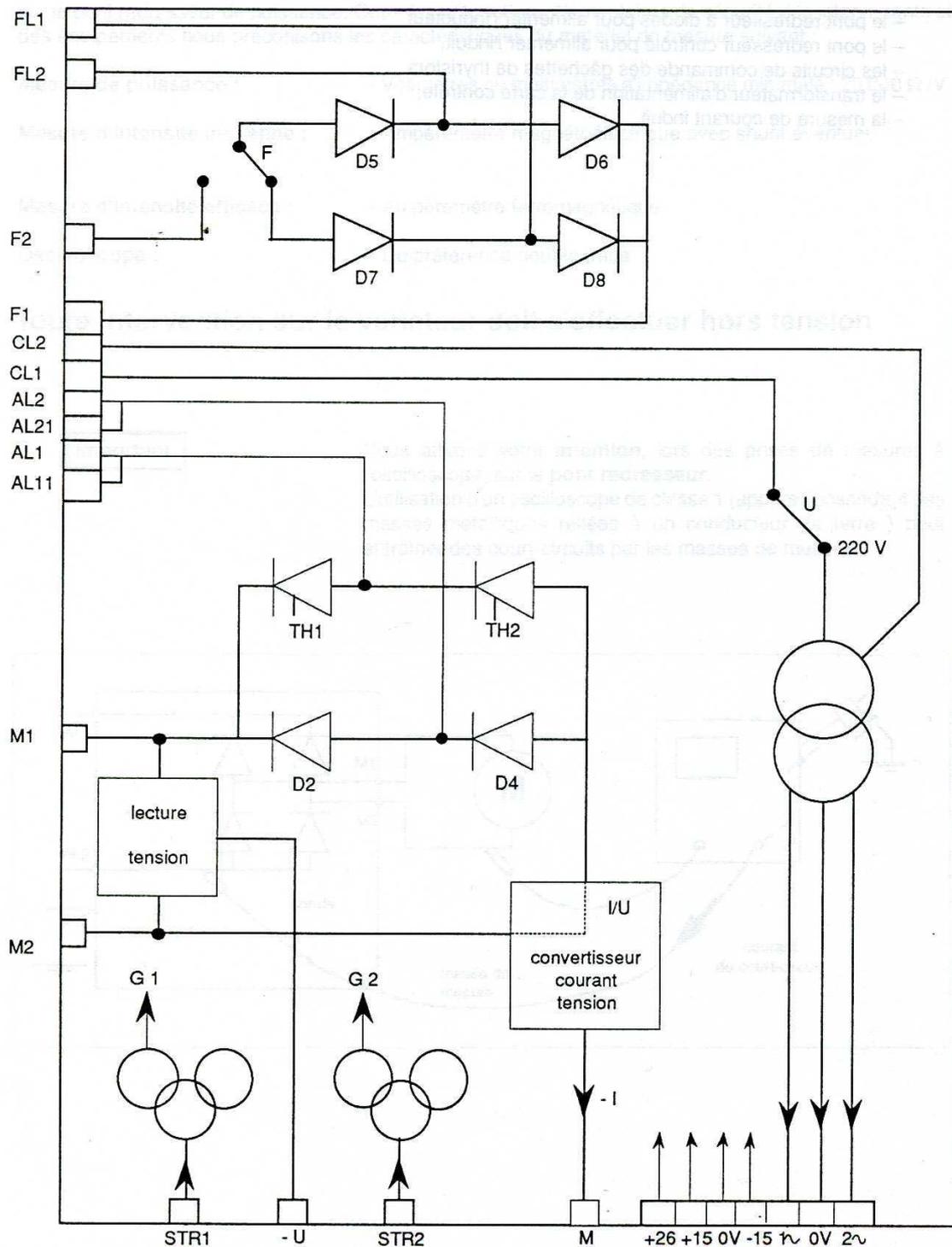
- ① L'alimentation de l'inducteur
- ② L'alimentation de l'induit
- ③ La mesure du courant moteur
- ④ La mesure de la vitesse du moteur
- ⑤ La consigne de vitesse
- ⑥ La rampe d'accélération
- ⑦ La régulation de vitesse
- ⑧ La régulation de courant
- ⑨ La commande d'allumage des thyristors



### 3. La carte de puissance

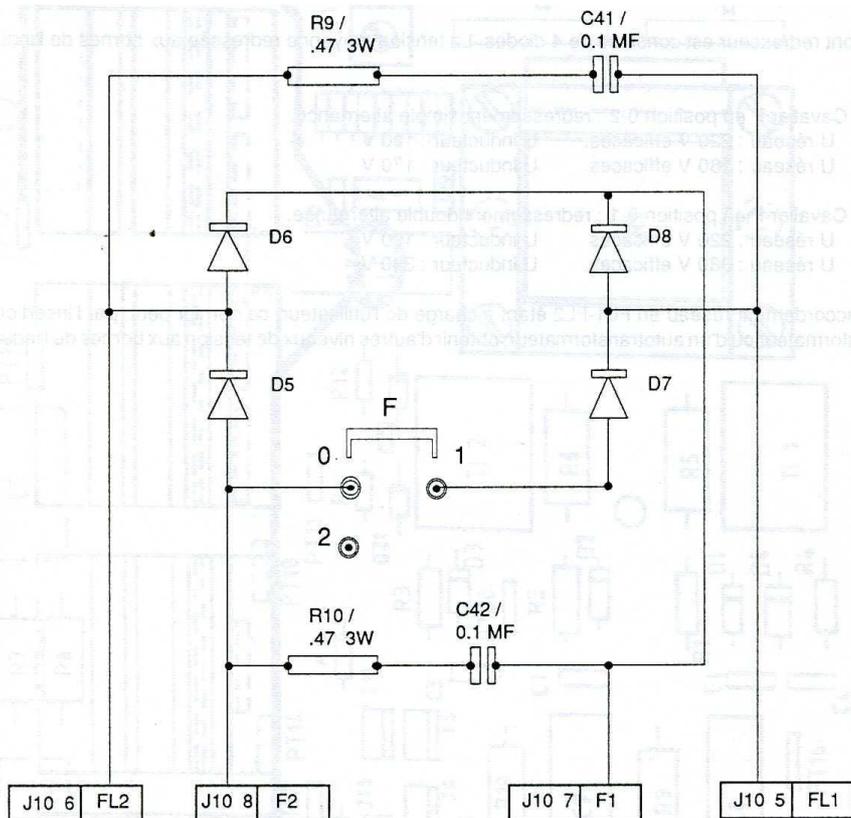
Sur la carte de puissance on trouve les fonctions suivantes :

- L'alimentation de l'inducteur
- L'alimentation de l'induit
- La mesure du courant d'induit
- Les différentes alimentations internes au variateur



### 3.1. L'alimentation de l'inducteur

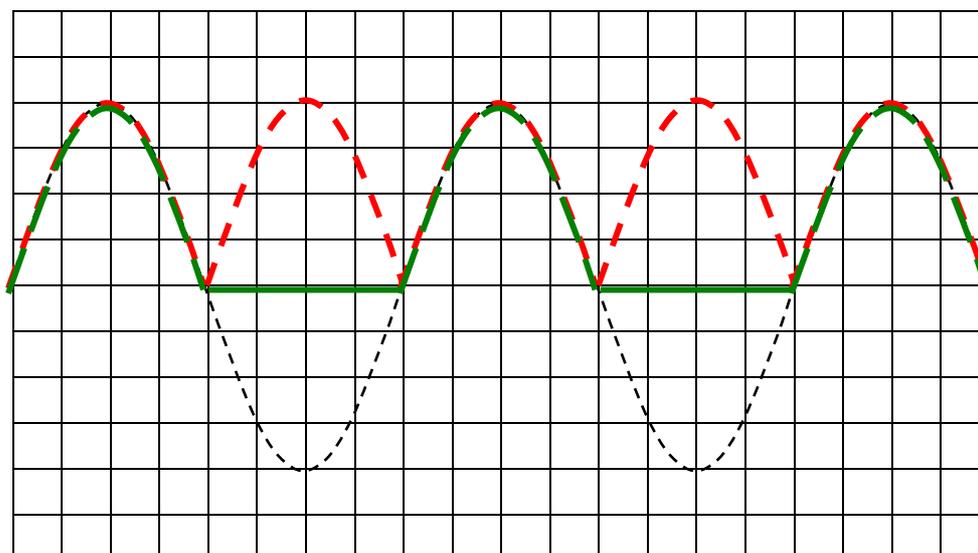
Voici le schéma de l'alimentation de l'inducteur :



Le réseau d'alimentation alternatif  $V = 230\text{ V } 50\text{ Hz}$  est raccordé sur les bornes FL1 et FL2, l'inducteur du moteur est branché entre les bornes F1 et F2.

Tracer sur le chronogramme ci dessous l'allure de la tension aux bornes de l'inducteur :

- dans le cas 1 où le cas cavalier F est placé entre les bornes 0 et 1
- dans le cas 2 où le cas cavalier F est placé entre les bornes 0 et 2



Cas n°1 redressement  
double alternance

Cas n°2 redressement  
simple alternance

Sachant que la tension du réseau d'alimentation est 230 V quelle est la valeur maximale de la tension aux bornes de l'inducteur ?

La tension maximale de la tension aux bornes de l'inducteur est  $230 \times 1,414 = 325 \text{ V}$

quelle est la valeur moyenne de la tension aux bornes de l'inducteur dans le cas 1 et dans le cas 2 ?

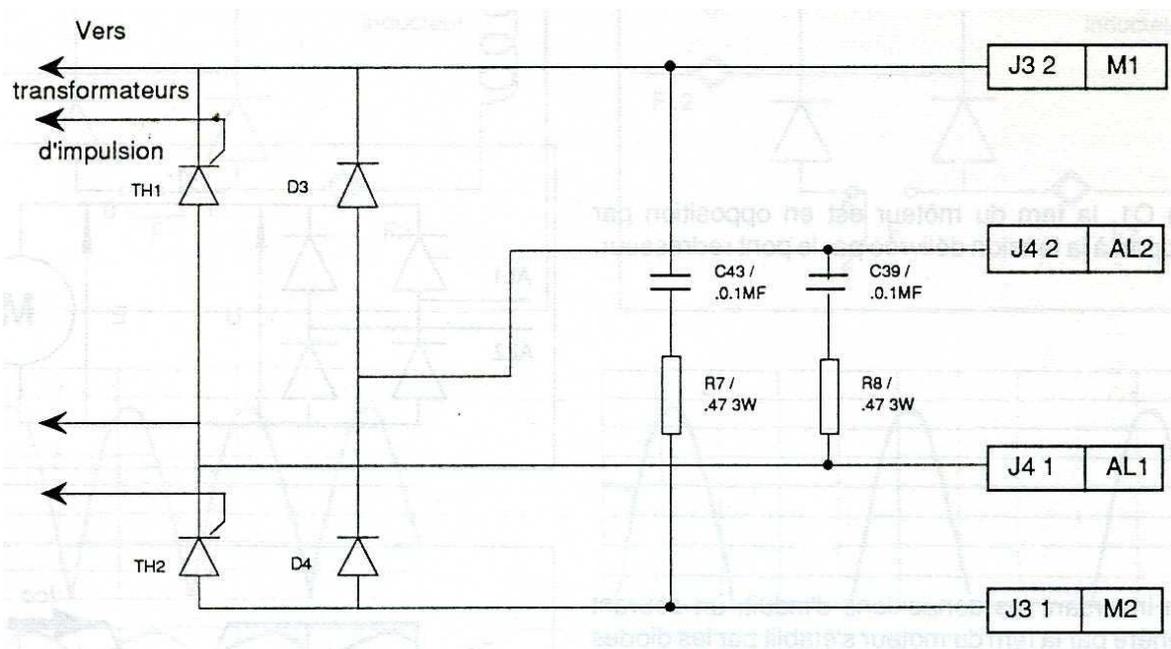
La valeur moyenne de la tension aux bornes de l'inducteur est :

Dans le cas n°1 : double alternance  $V_{\text{moy}} = 2 \times V_{\text{max}} / \pi = 2 \times 325 / \pi = 206 \text{ V}$

Dans le cas n°2 : simple alternance  $V_{\text{moy}} = V_{\text{max}} / \pi = 325 / \pi = 103 \text{ V}$

### 3.2. L'alimentation de l'induit

Voici le schéma de l'alimentation de l'induit :



L'alimentation de l'induit se fait à l'aide d'un montage réalisé avec 2 thyristors et 2 diodes. Comment appelle-t-on ce montage ?

Il s'agit d'un pont redresseur commandé ou contrôlé mixte asymétrique

Quelles sont les conditions pour qu'un thyristor conduise ?

Il faut deux conditions :

Le potentiel anode - cathode supérieur à 1 V

Et une impulsion sur la gâchette de commande

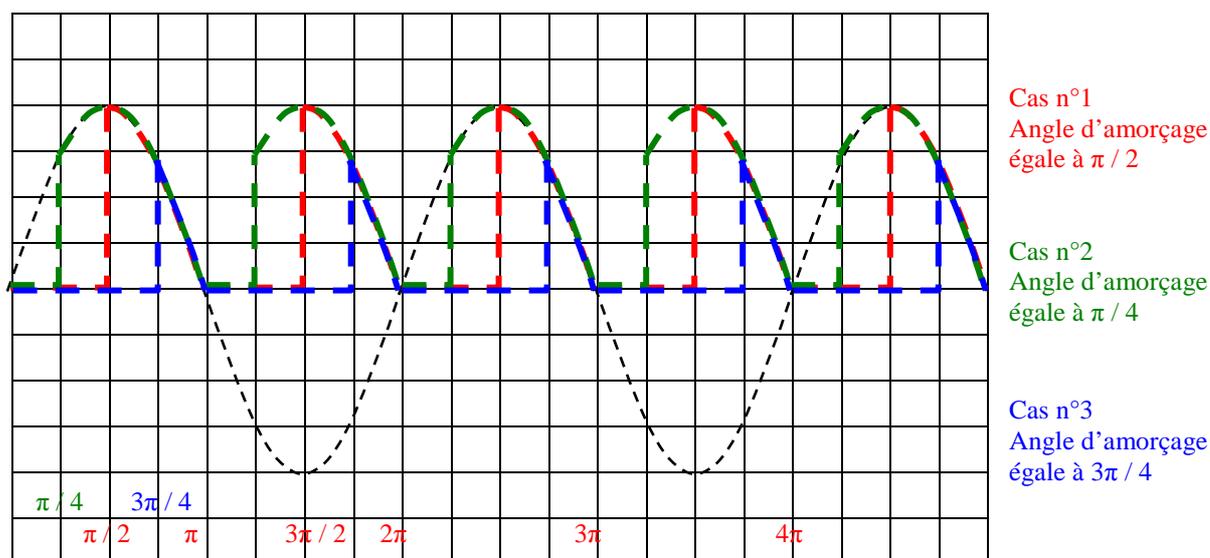
Qu'appelle-t-on angle d'amorçage d'un thyristor ou angle de retard à l'allumage ?

L'angle d'amorçage est l'angle de retard à l'allumage c'est à dire le temps écoulé entre le moment où la tension VAK devient supérieur à 1V et le moment où l'on donne l'impulsion de commande.

Tracer sur le chronogramme ci dessous l'allure de la tension d'alimentation de l'induit :

- dans le cas 1 où l'angle d'amorçage est  $\alpha = \pi / 2$
- dans le cas 2 où l'angle d'amorçage est  $\alpha = \pi / 4$
- dans le cas 3 où l'angle d'amorçage est  $\alpha = 3\pi / 4$

La tension d'alimentation du réseau est 230 V 50 Hz



Quelle est la valeur moyenne de la tension d'alimentation de l'induit dans les 3 cas ci dessus ?

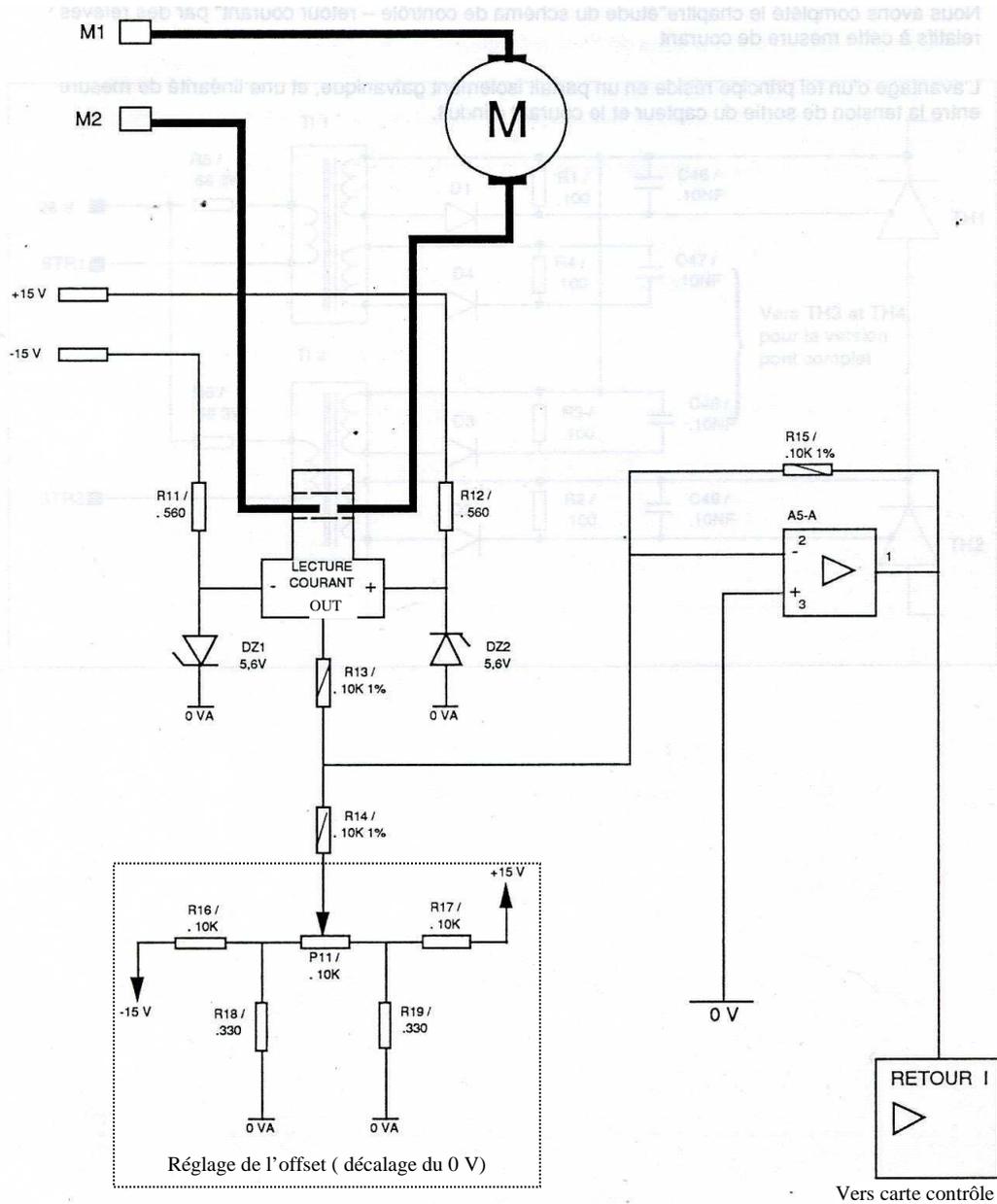
Si l'angle d'amorçage  $\alpha = 0$ , la valeur moyenne de la tension d'alimentation de l'induit est égale à celle d'un pont redresseur double alternance c'est à dire  $2 V_{\max} / \pi = 2 \times 325 / \pi = 206 \text{ V}$

$$\text{Dans le cas n°1 : Angle d'amorçage } \alpha = \pi / 2 \quad V_{\text{moy}} = (1 + \cos \alpha) \times V_{\max} / \pi \\ = (1 + 0) \times 325 / \pi = 103 \text{ V}$$

$$\text{Dans le cas n°2 : Angle d'amorçage } \alpha = \pi / 4 \quad V_{\text{moy}} = (1 + \cos \alpha) \times V_{\max} / \pi \\ = (1 + 0,7) \times 325 / \pi = 176 \text{ V}$$

$$\text{Dans le cas n°3 : Angle d'amorçage } \alpha = 3\pi / 4 \quad V_{\text{moy}} = (1 + \cos \alpha) \times V_{\max} / \pi \\ = (1 - 0,7) \times 325 / \pi = 31 \text{ V}$$

### 3.3. La mesure du courant d'induit



La mesure de l'intensité dans l'induit est faite avec un capteur de courant à effet Hall qui délivre une tension continue proportionnelle au flux dans le tore, flux créé par le courant dans l'induit.

Quelles sont les tensions d'alimentation du capteur à effet Hall ?

Les tensions d'alimentation sont données par les diodes zener  
**V+ = 5,6 V**  
**V- = - 5,6 V**

### Capteurs de courant en sortie tension

Honeywell

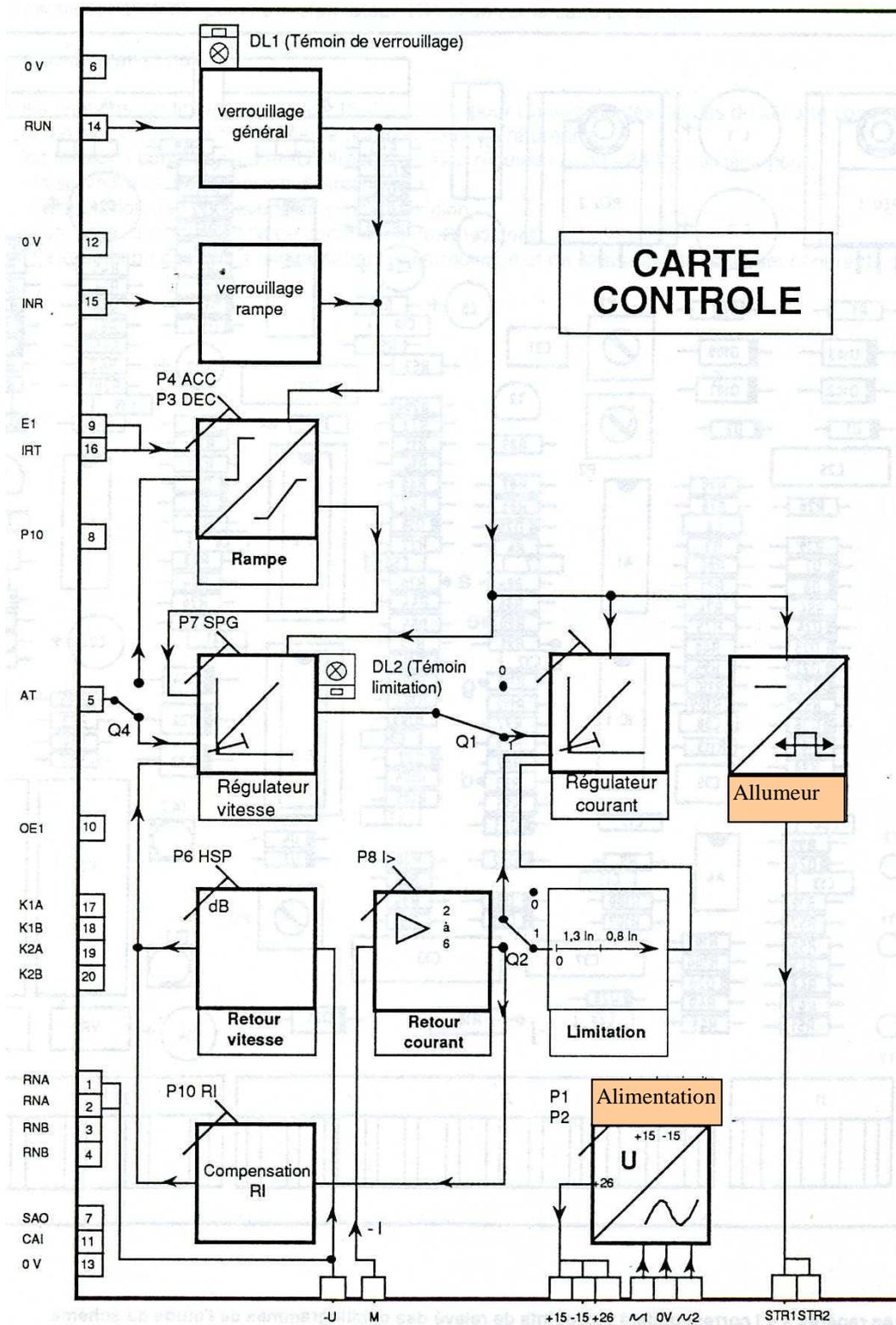


- ▶ Ces capteurs mesurent des courants alternatifs et des courants continus.
- ▶ Tension de sortie isolée de l'alimentation d'entrée.
- ▶ Faible temps de réponse.
- ▶ Dissipation minimum d'énergie.

#### 4. La carte de contrôle

La carte de contrôle est alimentée en tensions continues + 15 V et – 15 V réalisées à l'aide de redresseur et de régulateurs intégrés à partir d'un transformateur situé sur la carte de puissance.

La carte de contrôle regroupe les fonctions suivantes :

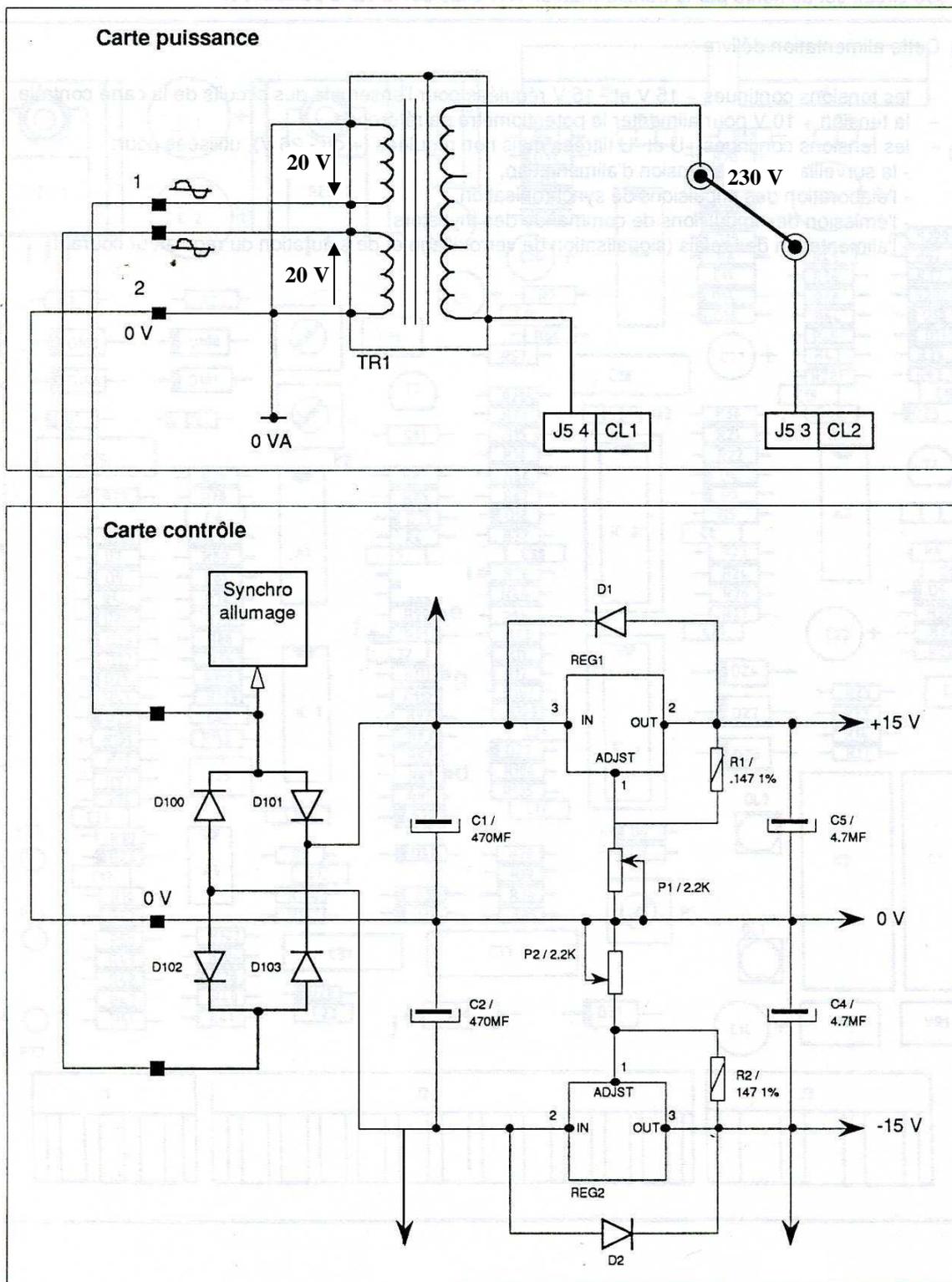


Nous allons nous intéresser plus particulièrement à :

- L'alimentation
- L'allumeur ou commande d'allumage des thyristors

#### 4.1. L'alimentation

Voici le schéma de l'alimentation fournissant les tensions continues à la carte de contrôle :



Le transformateur TR1 , alimenté au primaire en 230 V 50 Hz , fournit au secondaire deux fois 20 V  
En tenant compte d'une chute de tension de 0,7 V dans les diodes de redressement ;

quelle sont les tensions présentes sur les entrées 3 (IN) des deux régulateurs REG1 et REG2 ?  
Les régulateurs ont pour référence LM317 , document ressource fourni.

La tension présente sur les entrées des régulateurs est égale  $V_{max} - 2 V_d$

$$V_{max} = 1,414 \times V_{eff} = 28,2 \text{ V}$$

$$V_d = 0,7 \text{ V}$$

$$V_{in} = 28,2 - (2 \times 0,7) = \mathbf{26,8 \text{ V}}$$

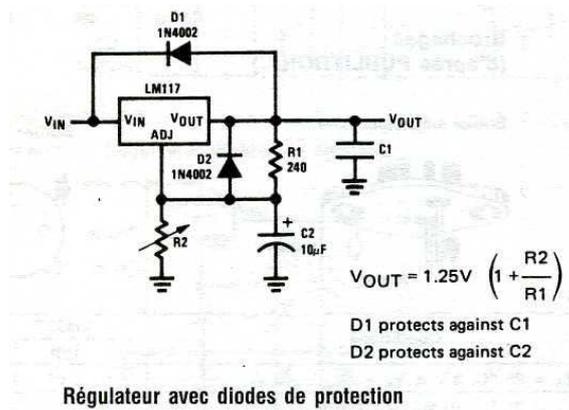
Sur le schéma de l'alimentation, préciser le rôle des diodes D1 et D2 :

La diode D1 protège le régulateur REG1 contre les surtensions dues au condensateurs C5

La diode D2 protège le régulateur REG2 contre les surtensions dues au condensateurs C4

A l'aide du schéma d'application ci après,

Déterminer la valeur de réglage du potentiomètre P1 pour obtenir +15 V en sortie de REG1  
et du potentiomètre P2 pour obtenir - 15 V en sortie de REG2



La tension de sortie est donnée par la relation  $V_{out} = 1,25 \times ( 1 + R2/R1)$

Dans le montage , pour le régulateur REG1, la relation devient :  $V_{out} = 1,25 \times ( 1 + P1/R1)$

Comme on souhaite que  $V_{out} = 15V \rightarrow P1 = R1 \times [(V_{out}/1,25) - 1 ]$

$$P1 = 147 \times [(15/1,25) - 1 ]$$

$$P1 = 147 \times 11 = 1617 \text{ ohm}$$

$$\mathbf{P1 = 1617 \text{ ohm}}$$

De même pour le régulateur REG2  $\rightarrow \mathbf{P2 = 1617 \text{ ohm}}$

## 4.2. L'allumeur

L'allumeur envoie les signaux de commande sur la gâchette des deux thyristors permettant ainsi leur conduction à un instant précis correspondant à un manque d'intensité dans le moteur.

Cette commande intervient à un instant bien défini avec un angle de retard bien précis par rapport à la tension sinusoïdale du réseau et prenant en compte l'information de retour du courant.

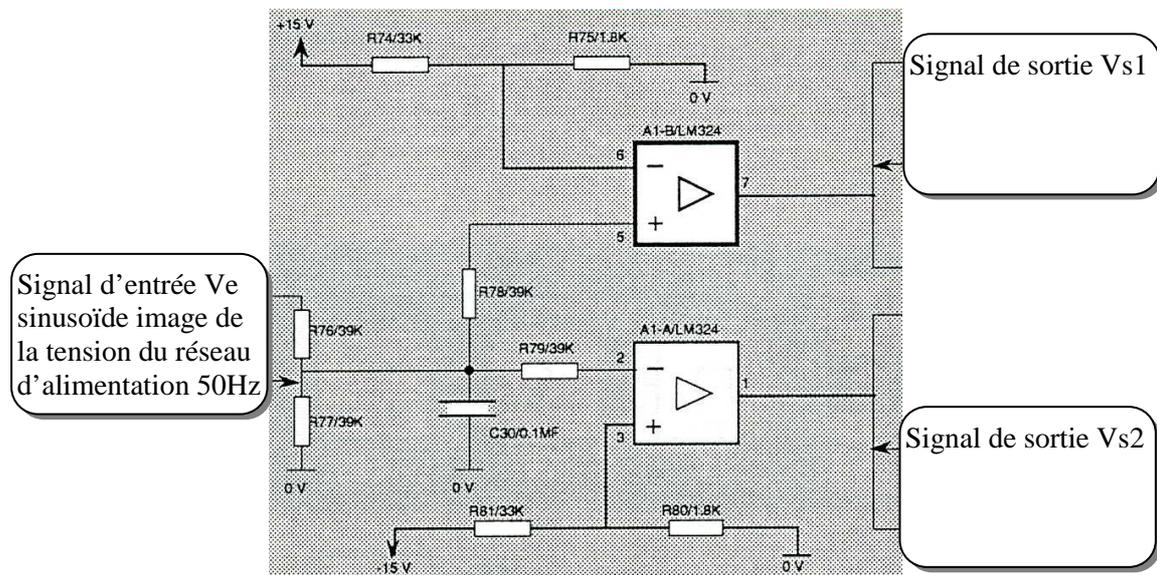
La commande doit donc :

- être synchronisée sur la fréquence du réseau,
- tenir compte de l'évolution du temps sur une alternance,
- prendre en compte la référence donnée par le retour courant.

❖ La synchronisation sur la fréquence du réseau

Le circuit intégré LM324 est joint en document ressource.

Le LM324 est alimenté entre +15 V et -15 V.



Quelle est la fonction des deux circuits LM324 ?

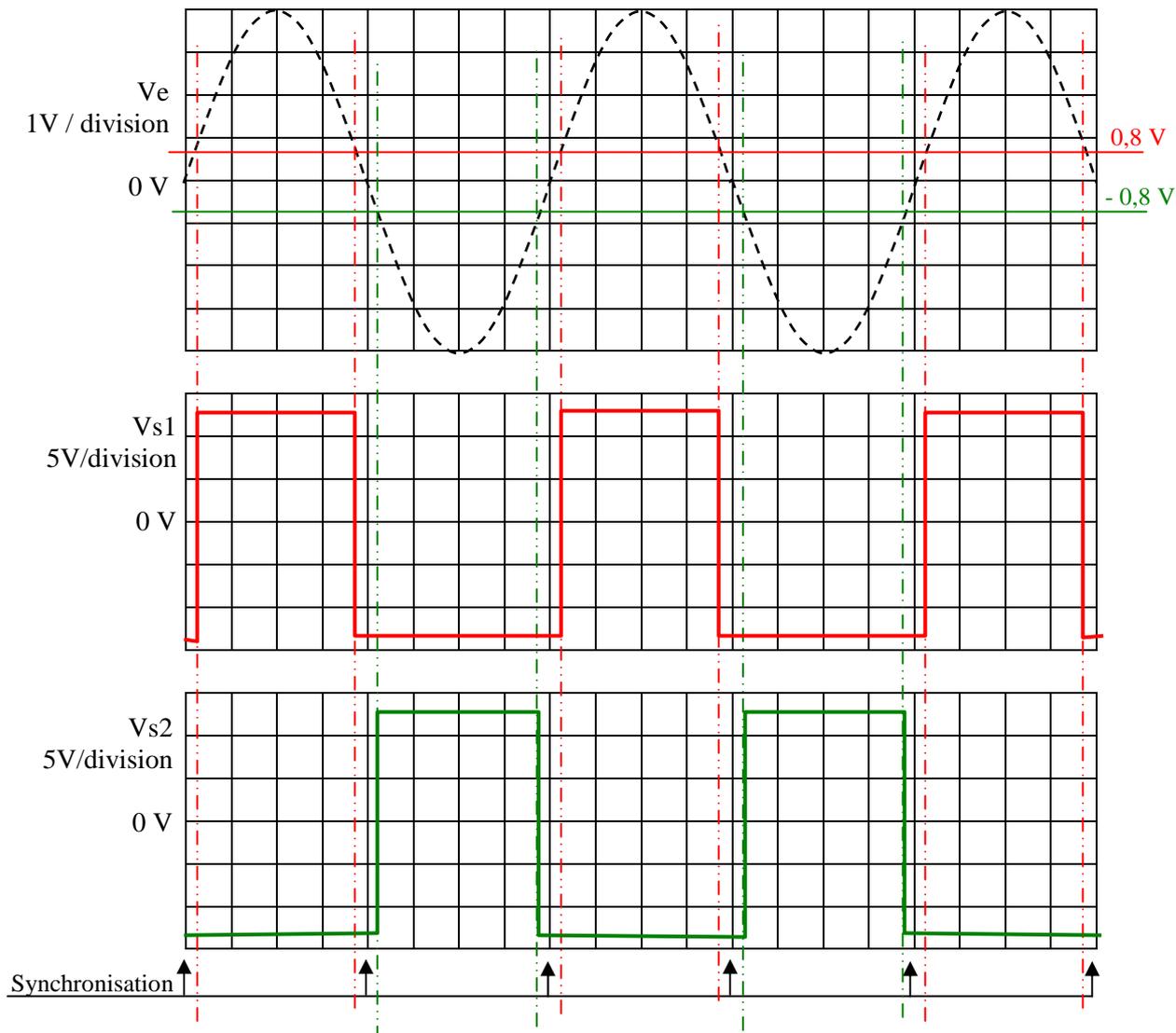
Les deux circuits LM324 sont des amplificateurs opérationnels montés en comparateurs  
 A1 compare les tensions présentes sur les pattes 5 et 6 et positionne la sortie 7  
 A2 compare les tensions présentes sur les pattes 2 et 3 et positionne la sortie 1

Quelle est la valeur du potentiel sur la patte 6 et sur la patte 3 du LM324 ?

Le potentiel sur la patte 6 est donné par le pont diviseur R74 et R75  
 $V_6 = R75 \times 15 / (R74 + R75) \rightarrow V_6 = 15 \times 1,8 / (1,8 + 33)$   
 **$V_6 = 0,8 \text{ V}$**

Le potentiel sur la patte 3 est donné par le pont diviseur R80 et R81  
 $V_3 = R80 \times (-15) / (R80 + R81) \rightarrow V_3 = -15 \times 1,8 / (1,8 + 33)$   
 **$V_3 = -0,8 \text{ V}$**

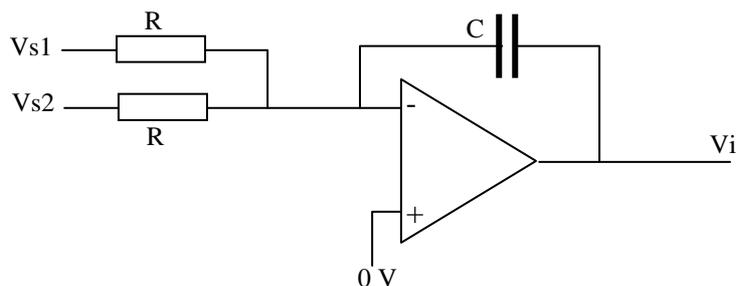
On vous donne l'allure du signal d'entrée  $V_e$ , tracer les signaux  $V_{s1}$  et  $V_{s2}$  :



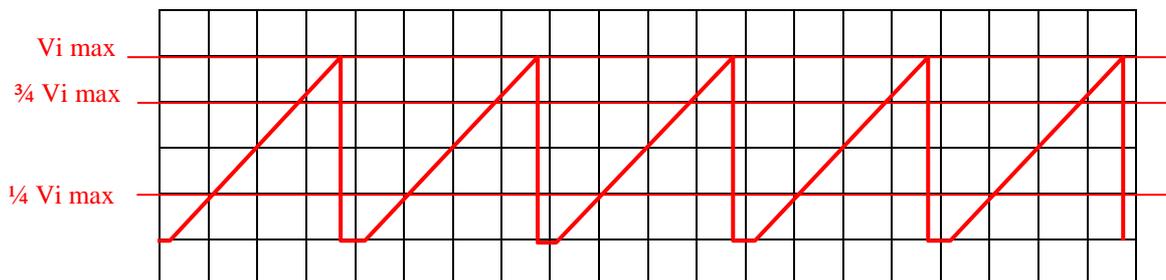
❖ L'intégration sur une alternance

Son rôle est de fournir une tension dont la valeur dépend du temps dans l'alternance. Pour chaque alternance, le montage intégrateur prendra en compte soit  $V_{s1}$  soit  $V_{s2}$  et sa sortie sera remise à 0 à chaque top de synchronisation.

Donner le schéma de principe d'un additionneur intégrateur à amplificateur opérationnel :



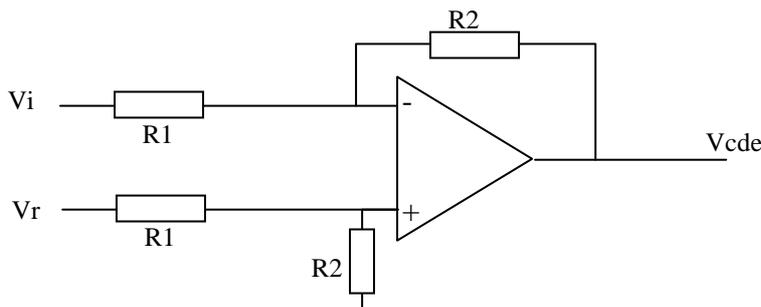
Donner l'allure du signal  $V_i$  en sortie du montage intégrateur :



❖ La comparaison

Son rôle est de comparer le signal de sortie  $V_i$  de l'intégrateur et le signal de référence  $V_r$  provenant de la mesure du courant et de fournir le signal pour la commande des thyristors.

Donner le schéma de principe du comparateur à amplificateur opérationnel :



Donner l'allure du signal en sortie du montage comparateur pour la référence  $V_{r1}$  égale à  $1/4$  de  $V_i$  max :  
pour la référence  $V_{r2}$  égale à  $3/4$  de  $V_i$  max :



Que peut-on en conclure sur le temps de conduction des thyristors ?

Plus la référence de retour courant est faible plus le thyristor est commandé longtemps  
Et inversement si la référence est élevée l'impulsion est brève.