

6/87  
204

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم والبحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

BIBLIOTHEQUE  
المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE ELECTRIQUE

## PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention d'un diplôme d'ingénieur d'Etat

SUJET

# Démarrage du Moteur Synchroné Autopiloté

Proposé par :

A. MAAZI

Etudié par :

L. BOUCETTA  
M.S. BELKACEMI

Dirigé par :

A. MAAZI

PROMOTION : JANVIER 1987

E.N.P. 10, Avenue Hacén Badi - EL-HARRACH — ALGER



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم والبحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE ELECTRIQUE

## *PROJET DE FIN D'ETUDES*

En vue de l'obtention d'un diplôme d'ingénieur d'Etat

### SUJET

# **Démarrage du Moteur Synchrone Autopiloté**

Proposé par :

A. MAAZI

Etudié par :

L. BOUCETTA

M.S. BELKACEMI

Dirigé par :

A. MAAZI

PROMOTION : JANVIER 1987

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier notre promoteur A. MAAZI pour son aide et ses conseils qu'il nous a prodigués durant notre projet.

Nous tenons aussi à remercier Messieurs: O. TOUHANI — H. TAHMI — A. YAHYAGUI — M. REZIANI  
et al.

Les bons enseignements qui ont contribué à notre formation trouvent ici notre  
sincère gratitude.

DEDICACES

Je dedie ce modeste travail:

- A la memoire de mes chers et regrettés parents
- A ma grand-mère, ma grande sœur, mon cousin Ahmed BOUCETTA et ma marraine pour leurs soutiens moral et matériel.
- A mes frères et sœurs
- A tous les membres de ma famille
- A mes amis et tous ceux qui me sont chers

Lakhdar BOUCETTA

Je dedie ce modeste travail:

- A mes parents
- A tous les membres de ma famille
- A tous mes amis

Mohamed Sadok BELKADEMI

DEPARTEMENT: d'ELECTROTECHNIQUE

PROMOTEUR: A. MAAZI.....

ELEVES INGENIEURS: L. BOUCETTA. et  
 M. S. BELKACEMI

مصلحة الهندسة الكهربائية  
 موجه: ع. معزي  
 تلميذ مهندس: ل. بوسلح  
 م. ص. بلقاسمي

- الموضوع: اقلاع محرك متواقت ذو سرعة متغيرة  
 - الملخص: هذا المشروع ينص على اقلاع محرك متواقت ذو سرعة متغيرة بالتبديل المرغوم. ولهذا قمنا بإجراء:  
 - ملتحق الاوضاع  
 - جواز للتوجيه حيث يستلم الاشارات من ملتحق الاوضاع ثم يرسلها الى سبد التيار  
 - دائرة وقطع التيار لضمان التبديل المرغوم  
 \* علما بأن الجسرين قد اذجرا مسبقا في مشاريع اخرى.

OBJET: DEMARRAGE DU MOTEUR SYNCHRONÉ AUTOPILATÉ.....

RÉSUMÉ: Notre projet consiste à démarrer un moteur synchrone autopiloté en commutation forcée. Pour cela on a réalisé:  
 = Un capteur de position rotor. Stator  
 - Une commande de pilotage recevant les signaux du capteur pour les transmettre au commutateur de courant.  
 - Un circuit d'extinction pour assurer la commutation forcée  
 \* Les deux ponts antérieurs existent déjà, réalisés dans des projets précédents.

OBJECT: Starting of a self-control... synchronous machine.....

ABSTRACT: Our project consist of starting a self control synchronous machine in forced switching, for this we have designed:  
 - A position rotor-armature transducer.  
 - A controller receiving the signals from transducer to transmit them after processing to the interrupting device.  
 - A circuit of extinction to assure the forced switching  
 \* The two bridges have been already designed in the previous projects.

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I/ PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU MOTEUR SYNCHROME AUTOPILOTE	2
I.1/ Le moteur synchrone triphasé	2
I.2/ Analogie avec la machine à courant continu	7
I.3/ Principe de fonctionnement du moteur synchrone autopiloté	10
CHAPITRE II/ ETUDE ET REALISATION	16
II.1/ Capteur de position	17
II.2/ Etude de la commande	22
II.2.1: Comparateur 1	22
II.2.2: Differentiateur 1	26
II.2.3: Doubleur d'impulsions	29
II.2.4: Interface doubleur-aiguilleur	32
II.2.5: Aiguilleur d'impulsions	33
II.2.6: Comparateur 2	37
II.2.7: Monostable 1	40
II.2.8: Differentiateur 2	43
II.2.9: Monostable 2	46
II.2.10: Circuit d'extinction	49
CHAPITRE III/ DEMARRAGE DU MOTEUR SYNCHROME AUTOPILOTE	50
CONCLUSION	53
BIBLIOGRAPHIE	54

## INTRODUCTION

Dans les entraînements à vitesses variables ; les moteurs à courant continu sont les plus utilisés car leurs caractéristiques sont bien adaptées à l'entraînement à vitesses variables et le réglage de la vitesse est relativement simple (par rapport à celui de la machine à courant alternatif) .

Cependant le collecteur interdit à la machine à ( à courant continu ) certains domaines d'application :

- vitesses trop élevées ( terme mécanique du collecteur )
- tension d'alimentation trop élevée ( isolement entre lames )
- très forte puissance ( risque de flash au collecteur )

Ces limitations de vitesse et puissance ont motivé le développement de l'entraînement à vitesses variables , en faisant appel à l'utilisation des machines à courant alternatif alimentées par convertisseurs statiques .

Les commandes et les convertisseurs ont pour performances :

- prix de revient bas ( par rapport au groupe tel que le Ward-Leonard )
- nécessitent pas une grande maintenance ( n'ayant pas d'organe mécanique )
- faciles à commander

Notre travail a pour objectif de réaliser un capteur de position rotor-stator et une commande de pilotage du convertisseur statique ( redresseur-onduleur ) à partir des signaux du capteur en vue de faire tourner une machine synchrone autopilotée

CHAPITRE I

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT  
DU MOTEUR SYNCHROME TRIPHASE

1.1.1. LE MOTEUR SYNCHROME TRIPHASE

1.1.1. Principe: Le moteur synchrone est formé d'un stator portant un bobinage triphasé à  $2p$  pôles liés à la source de tension.

Le rotor (ou inducteur) porte un bobinage alimenté par un courant continu qui crée  $2p$  pôles successivement nord sud liés au rotor aux pôles.

Les courants de fréquence  $f$  fournis par la source triphasée créent dans l'entrefer une force magnétique tournant à la vitesse synchrone, :  $N_s = 60 f / p$  (tr/mn)

Les pôles du stator tirent les pôles du rotor et font tourner celui-ci à la vitesse synchrone, d'où le nom de moteur synchrone.

1.1.2. Diagramme, puissance, couple:

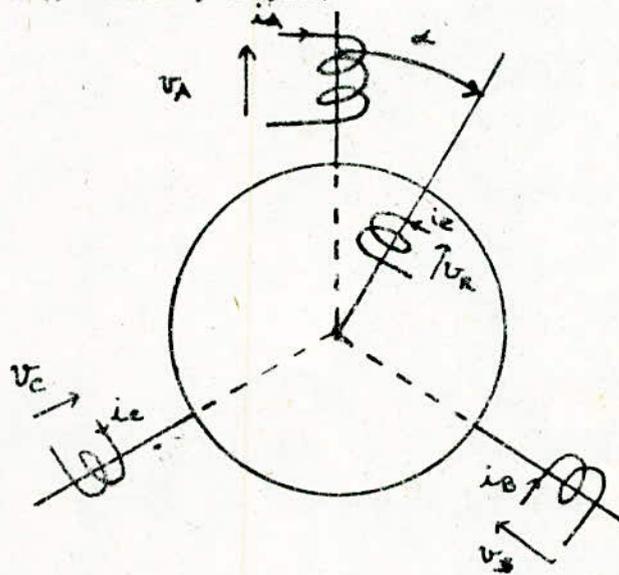


fig-1-

En fonctionnement moteur l'équation électrique par phase est:

$$V = E + Z I$$

$E$  : f e a m

$V$  : tension d'alimentation

$Z$  : impédance statorique

$I$  : courant statorique

$$\bar{E} = -j \frac{M_w I_r}{\sqrt{2}} \text{EXP}(j\alpha_r) = \frac{M_w I_r}{\sqrt{2}} \text{EXP}(\alpha_r - \frac{\pi}{2}) = E \text{EXP}(j\theta)$$

$\theta$  : angle interne de la machine ( moteur )

$$\bar{Z} = R_s + j(L_s - M_s) \omega = R_s + jL \omega = R_s + jX$$

$R_s$  : resistance d'une phase statorique

$L$  : inductance cyclique du stator

$$R_s \neq 0$$

$$\bar{V} = \bar{E} + jX \bar{I} \quad (3)$$

De l'équation (3) on a le schéma équivalent suivant:

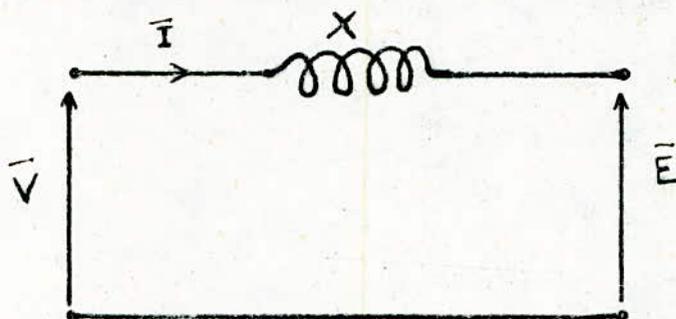


fig 2

Diagramme vectoriel

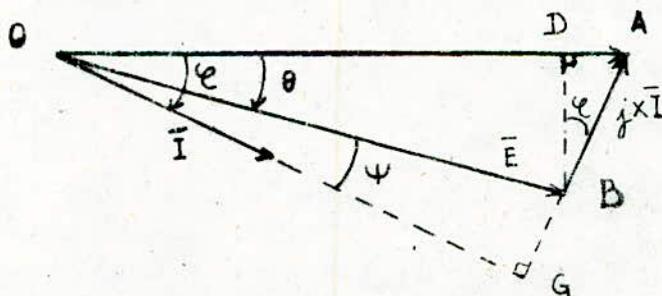


fig. 3

$$\overline{OA} = \bar{V}$$

$$\overline{OB} = \bar{E}$$

$$\overline{BA} = jX \bar{I}$$

$\varphi$  : déphasage de  $I$  par rapport à  $V$

$\theta$  : déphasage entre  $E$  et  $V$ , appelé angle de décalage interne

$\psi$  : déphasage entre  $I$  et  $E$  permettant de repérer la position du rotor par rapport au stator

$$E = \frac{N p w}{\sqrt{2}} I_r = k N \phi$$

N : vitesse

k : coefficient de proportionnalité

$\phi$  : flux inducteur

La puissance absorbée par le moteur est :

$$P = 3 \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Le couple  $C$  a pour expression :

$$C = P / \Omega = \frac{3 \cdot p \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi}{w}$$

Dans le triangle OAB du diagramme vectoriel ( fig. 3 ) on a :

$$\sin \theta = \frac{BD}{E} \quad (4)$$

$$\widehat{OAG} + \varphi = 90^\circ \quad (5)$$

$$\widehat{OAG} + \widehat{ABD} = 90^\circ \quad (6)$$

De (5) et (6) on a  $\widehat{ABD} = \varphi$

$$\cos \varphi = \frac{BD}{X I} \quad (7)$$

De (4) et (7) on a  $\frac{X I}{\sin \theta} = \frac{E}{\cos \varphi}$

Ce qui donne  $P = \frac{3 \cdot V \cdot E}{X} \sin \theta$

$$C = \frac{3 \cdot p \cdot V \cdot E}{X w} \sin \theta$$

- A V = cte, f = cte et à excitation donnée le couple est proportionnel à sin  $\theta$   
 C est maximum pour  $\theta = \pi/2$ , si le couple dépasse ce maximum le moteur décroche et s'arrête.

Les projections des vecteurs V et E sur la direction du courant donnent:

$$V \cos \psi = E \cos \psi$$

La puissance et le couple peuvent s'écrire :

$$P = 3 \cdot E \cdot I \cdot \cos \psi$$

$$C = \frac{3 \cdot p}{w} E \cdot I \cdot \cos \psi$$

- A courant dans l'induit et l'inducteur donnés:

P et C sont maximum quand  $\psi = 0$

Si la vitesse varie,  $E$  lui étant proportionnel, le couple maximum que le moteur peut développer est constant.

- A tension  $V$ , fréquence  $f$  et puissance  $P$  données par action sur le courant d'excitation on peut faire varier le courant  $I$  dans l'induit.

La hauteur  $BD$  du triangle  $AOB$  étant égale à  $X I \cos \varphi$ , la puissance  $P$  peut s'écrire  $P = 3 \cdot V \cdot BD / X$

Si l'on fait varier  $E$ , le point  $B$  se déplace sur une parallèle à  $V$  (voir fig. 4)

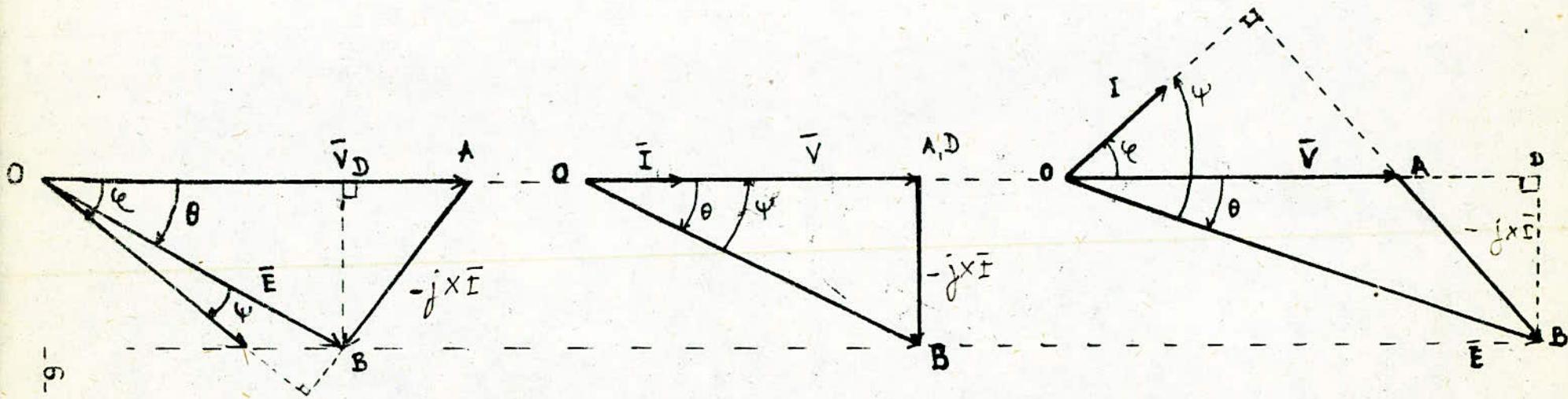


fig - 4-

1. . ANALOGIE AVEC LA MACHINE A COURANT CONTINU A EXCITATION SEPARÉE

Considérons une machine à courant continu à deux pôles qui ne comporte que trois lames au collecteur.

La machine est entraînée par un moteur auxiliaire à la vitesse  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot N$ .

La f.e.m maximale est obtenue quand les balais sont calés sur la ligne neutre.

Cette f.e.m a pour valeur  $E_0 = N n \Phi$ ;  $N$  : vitesse (tr/s),  $n$  : le nombre de brins actifs,  $\Phi$  : le flux utile par pôle, c'est le flux maximum qui traverse une spire formée par deux brins diamétraux. Cette f.e.m diminue quand on décale les balais d'un angle  $\alpha$  par rapport à la ligne neutre et a pour valeur  $E = E_0 \cos \alpha$

La figure 5 nous représente les f.e.m dans les différents phases.

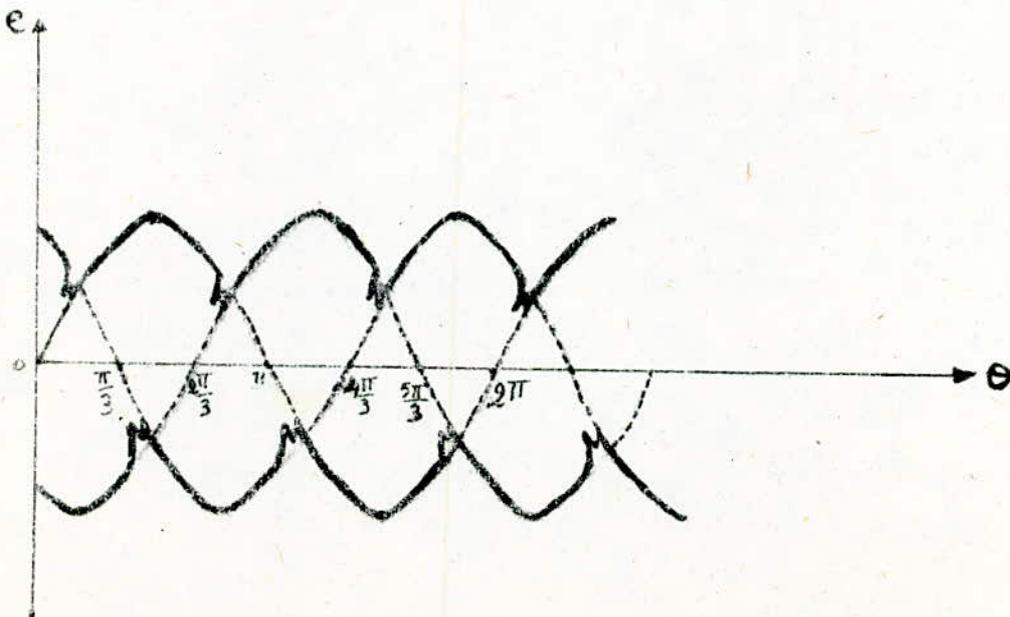
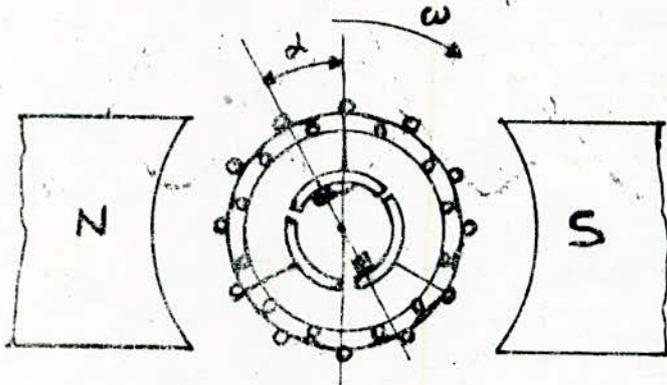


fig -5-

Les  $f$  et  $m$  induites constituent un système triphasé. La tension recueillie est la différence entre l'enveloppe inférieure et l'enveloppe supérieure :

Par ailleurs il existe un décrochage qui est dû au phénomène d'ampîtement lors du passage des balais d'une lame du collecteur à une autre .

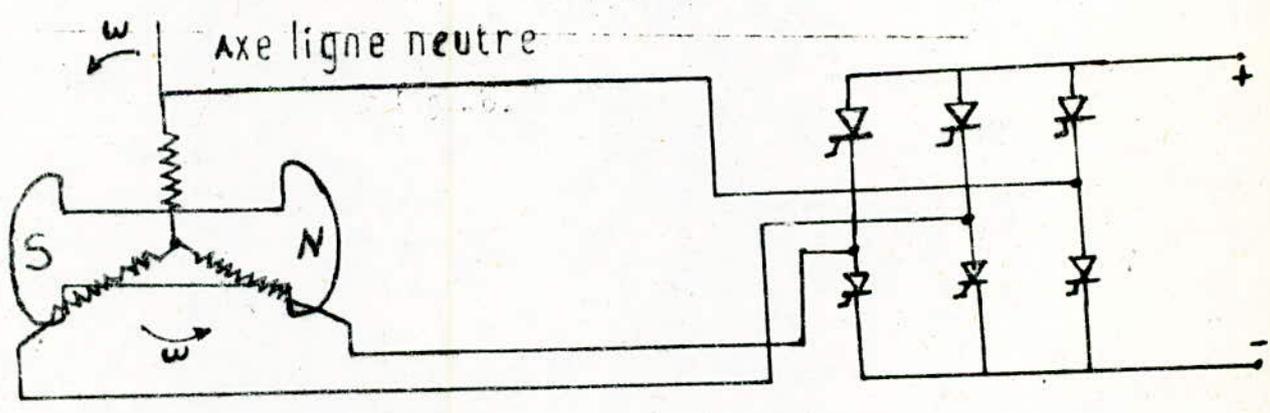
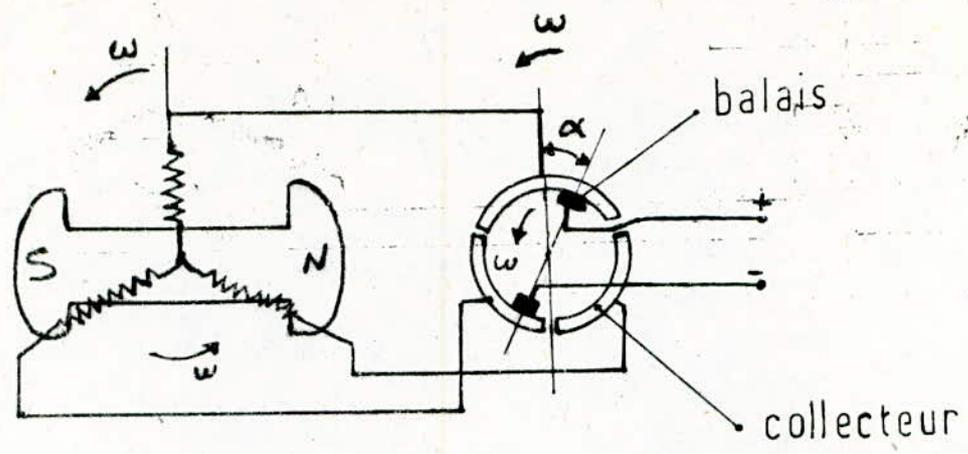
Les courants induits dans la dynamo sont des courants alternatifs, courants qui sont redressés par l'artifice du collecteur :

On obtient le même résultat si cet induit est fixe et les deux pôles tournant en sens inverse au précédent .

L'idée de la machine synchrone autopilotée vient de l'étude des propriétés du collecteur. Dans une machine à courant continu, le collecteur assure la fonction de changement de fréquence de manière à maintenir l'égalité de fréquence de rotation mécanique et de courant dans l'induit. Il assure la conversion de la fréquence du courant de la source en fréquence du champ induit et inducteur, pratiquement pour la machine synchrone autopilotée le système balais-collecteur est remplacé par un convertisseur de fréquence.

Cette analogie avec le moteur à courant continu vaut parfois le nom de moteur sans collecteur.

Une dynamo à courant continu peut être remplacée par un ensemble qui comporte : un dispositif de commutation et un moteur et un capteur de position. Elle peut fonctionner soit comme génératrice à courant continu soit comme un moteur à courant continu alimenté par redresseur.



ANALOGIES ENTRE LE MOTEUR CONTINU  
ET LE MOTEUR SYNCHRONE

fig -6-

1. 3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU MOTEUR SYNCHROME AUTOPILOTE

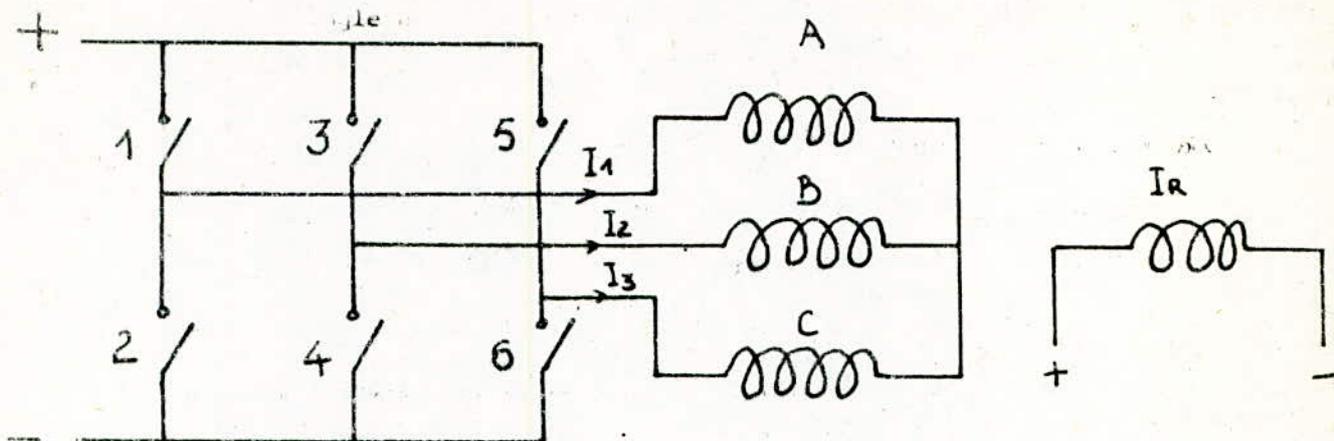


fig. 7

on réalise le montage ci-dessus

La fermeture des interrupteurs deux à deux et dans l'ordre suivant :

1-4 2-4 3-6 3-2 5-2 5-4 1-4 permet au rotor de tourner dans un seul sens. L'angle de rotation d'une commutation à une autre vaut  $\frac{\pi}{p q}$  degré mécanique ( $30^\circ$  dans la cas de notre machine,  $p = 2$  paires de pôles ).

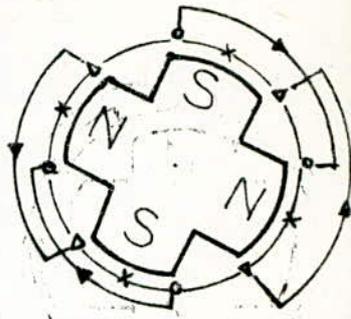
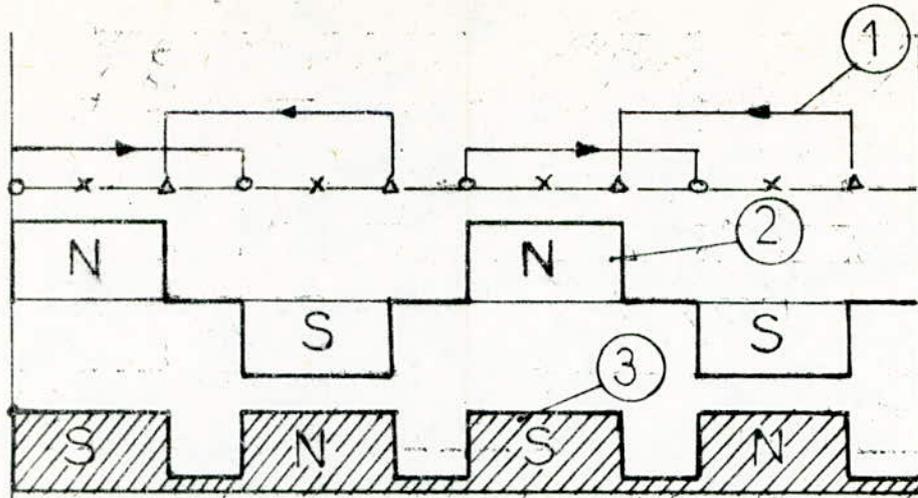
Pour changer le sens de rotation, on a procédé de deux manières différentes : Soit on intervertissant deux phases statoriques, soit en agissant sur les interrupteurs dans le sens opposé au premier , c'est à dire dans l'ordre suivant :

1-4 5-4 5-2 3-2 3-6 1-6 1-4

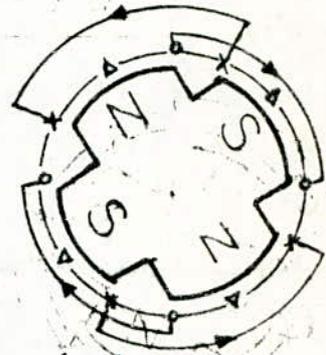
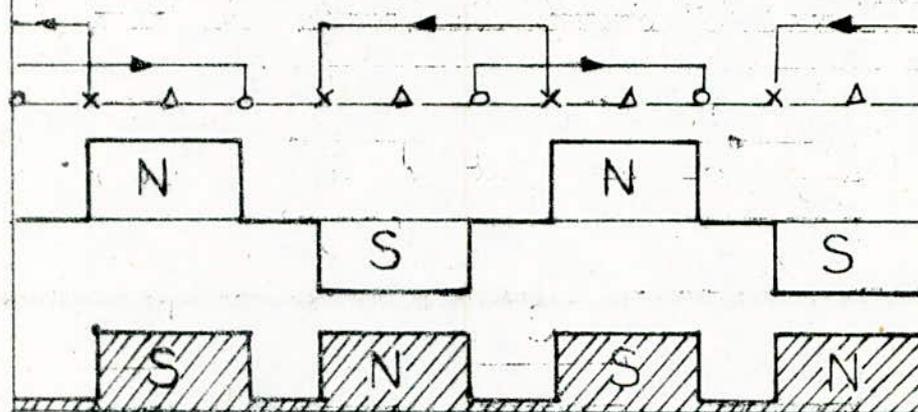
La position du rotor après chaque commutation, est donnée par la figure 8

Pour faire tourner le moteur selon ce principe, les interrupteurs seront remplacés par un commutateur, et seront assurés par une commande de pilotage.

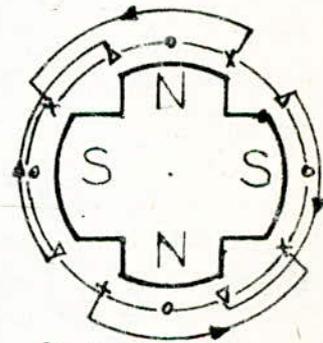
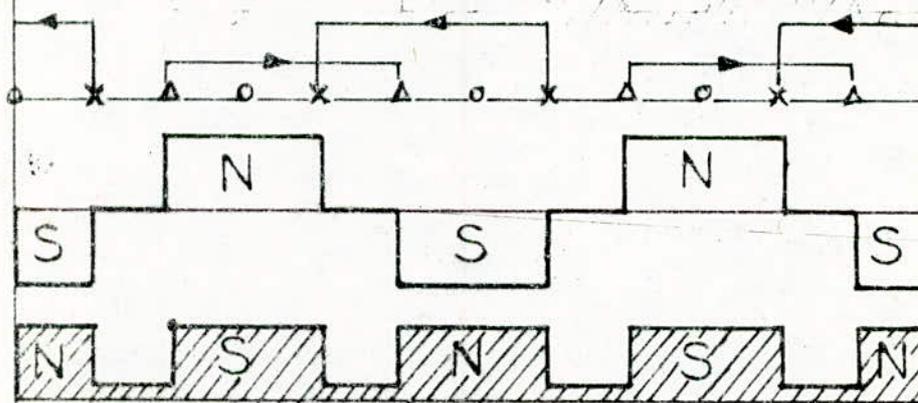
La commande reçoit les signaux du capteur de position et les transmet au commutateur de courant, dans le même sens que celui manipulé avec les interrupteurs: soit dans un sens ou dans l'autre suivant le sens de rotation voulu.



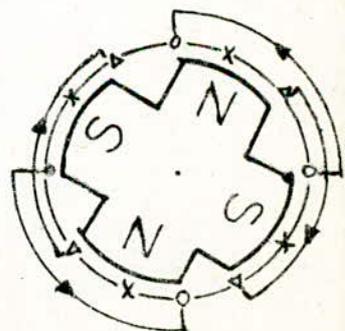
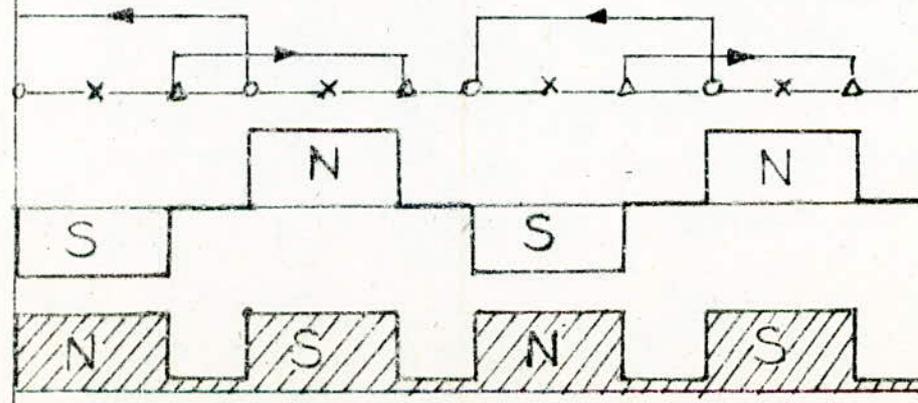
1-4



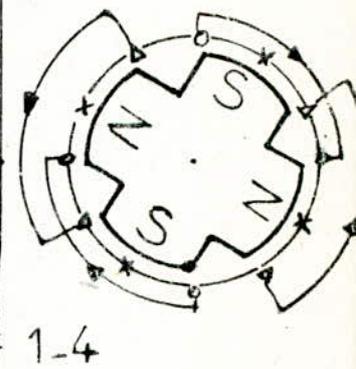
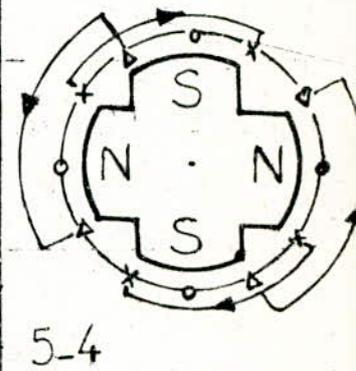
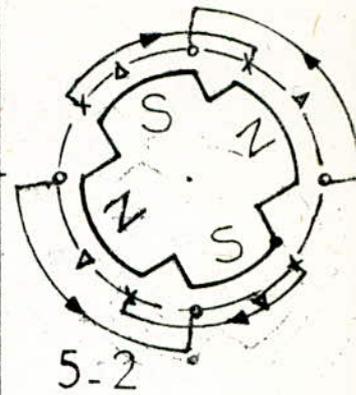
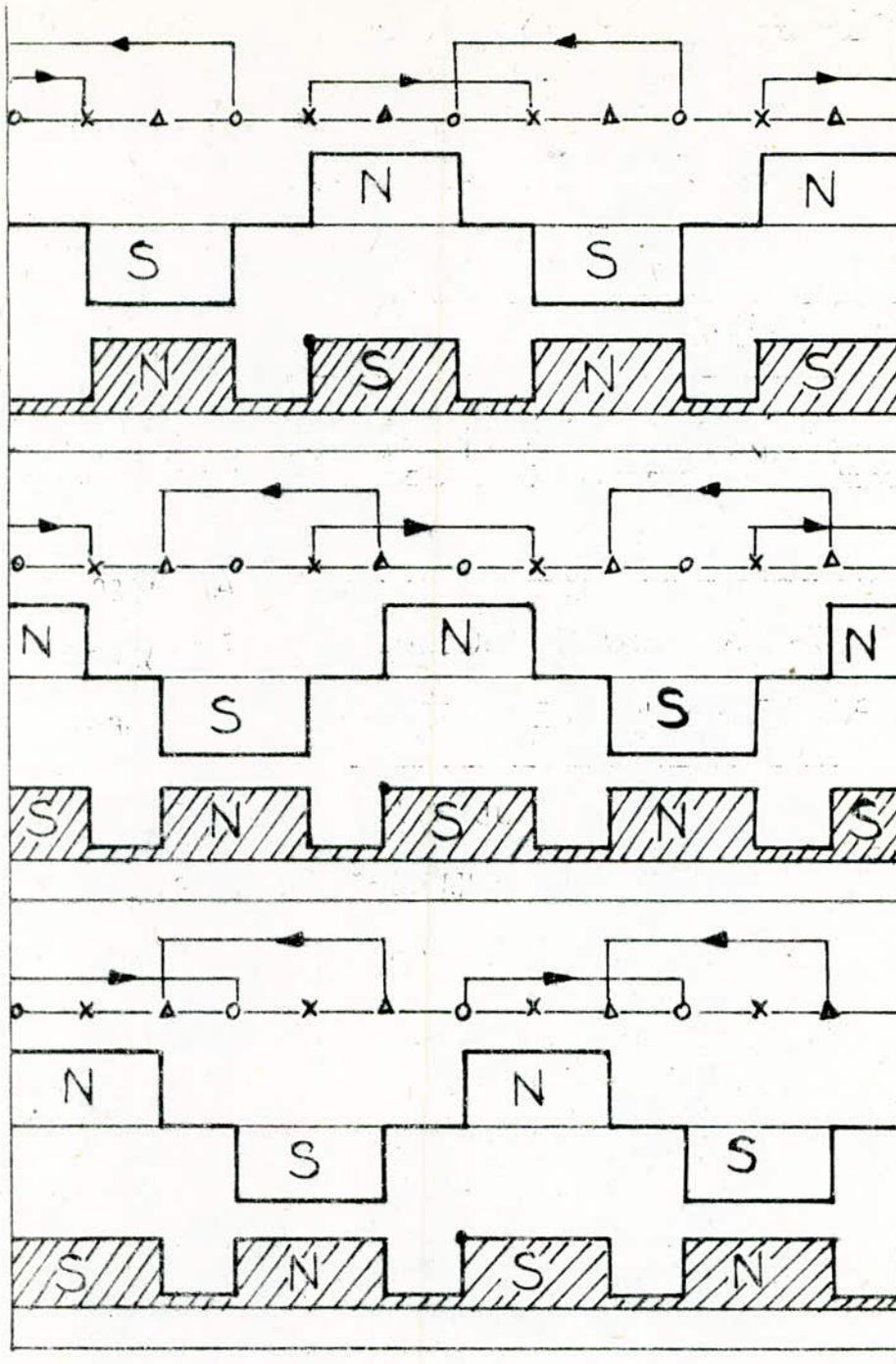
1-6



3-6



3-2



- o phase A
- x phase B
- △ phase C

LIAISON ENTRE LA POSITION DU ROTOR  
ET LES INTERUPTEURS

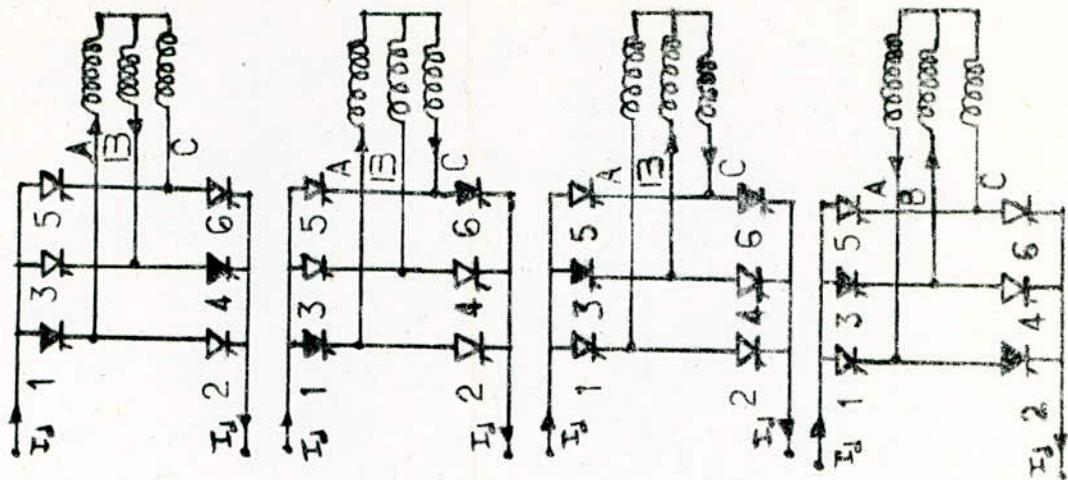
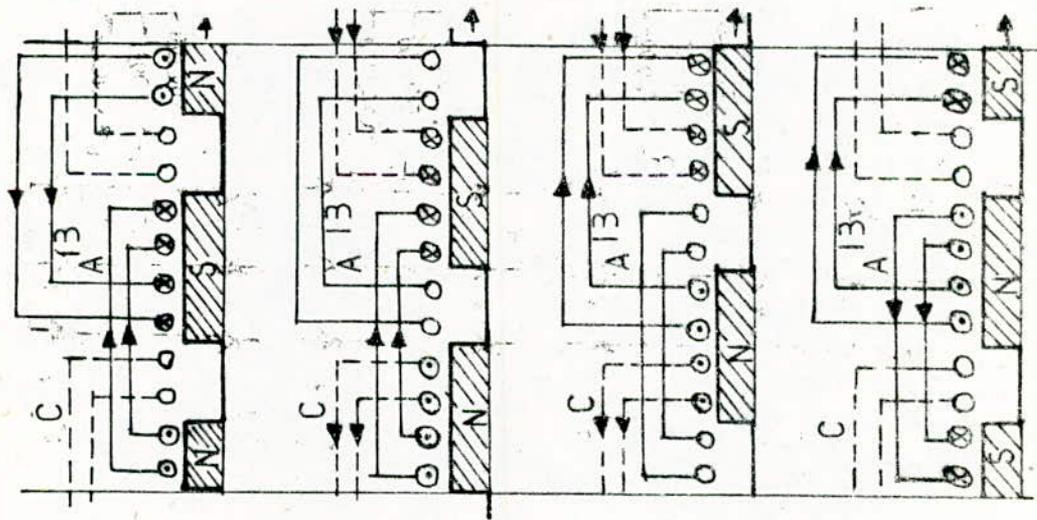
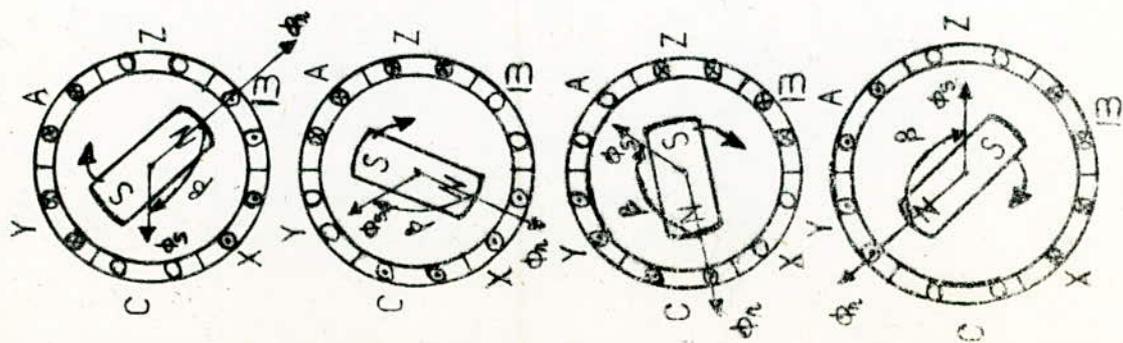
- ① bobinage statorique
- ② champs statorique
- ③ pôles rotorique

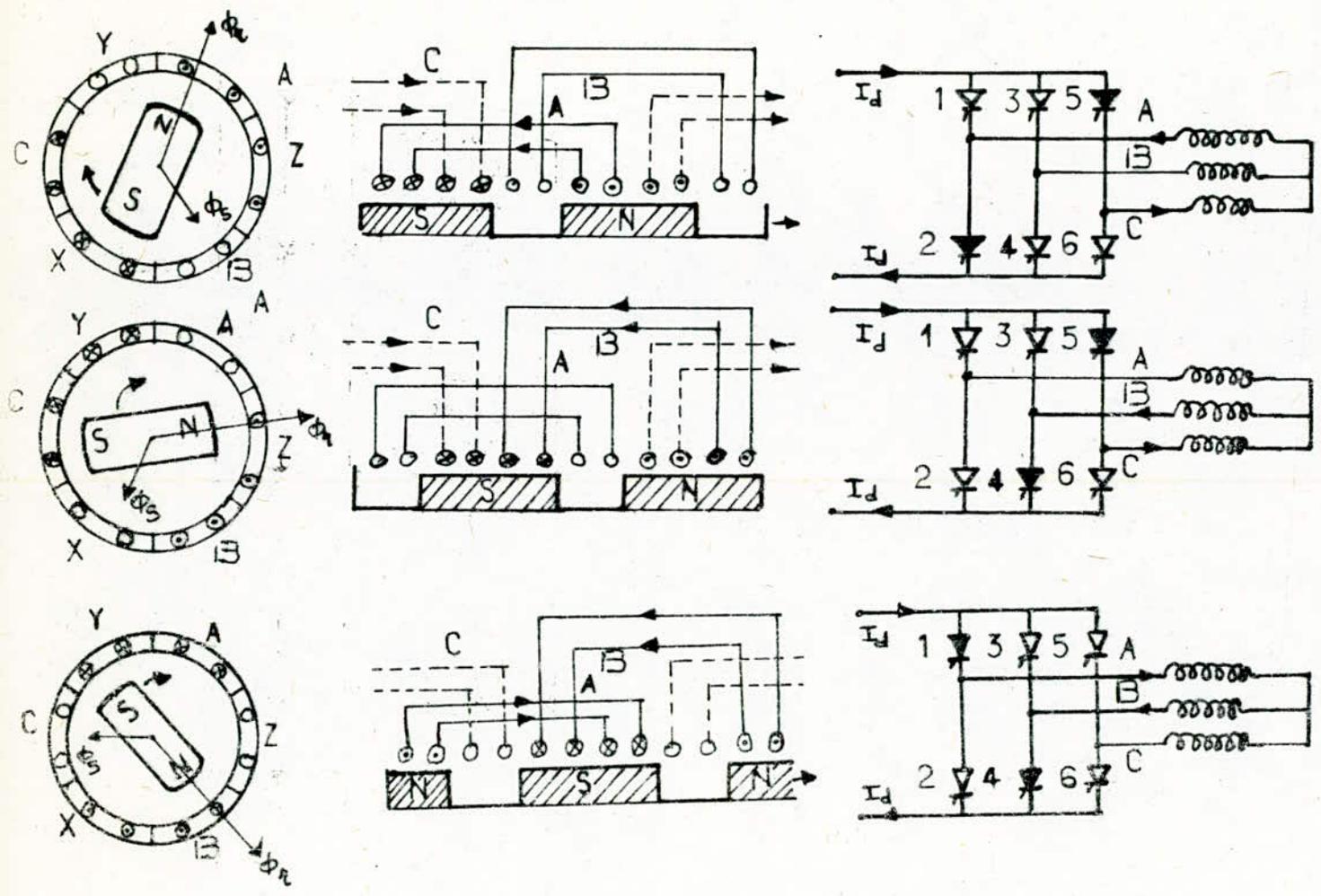
FIG: 83

La machine synchrone autopilotée fonctionne selon un principe assimilable à celui de la machine à courant continu. La commutation n'est plus effectuée par le passage des lames de cuivre devant les balais, mais par <sup>des</sup> semi-conducteurs, tandis que l'asservissement en fréquence est assuré par le circuit de commande de ces semi-conducteurs, à partir d'un signal de position du rotor. Il y a ainsi correspondance entre le flux d'excitation et d'induit comme dans la machine à courant continu. C'est bien la machine qui s'autopile. Cette solution écarte tout risque de décrochage.

L'ensemble convertisseur machine synchrone se comporte comme un moteur à courant continu alimenté par redresseur. La fréquence d'alimentation de la machine synchrone devient ici un paramètre secondaire. le couple moteur ou de freinage se déterminent compte tenu de l'excitation et des angles de pilotage, à partir du courant continu que reçoit le commutateur statique de courant qui remplace le collecteur.

La liaison entre la position du rotor et les thyristors est donnée par la figure 9





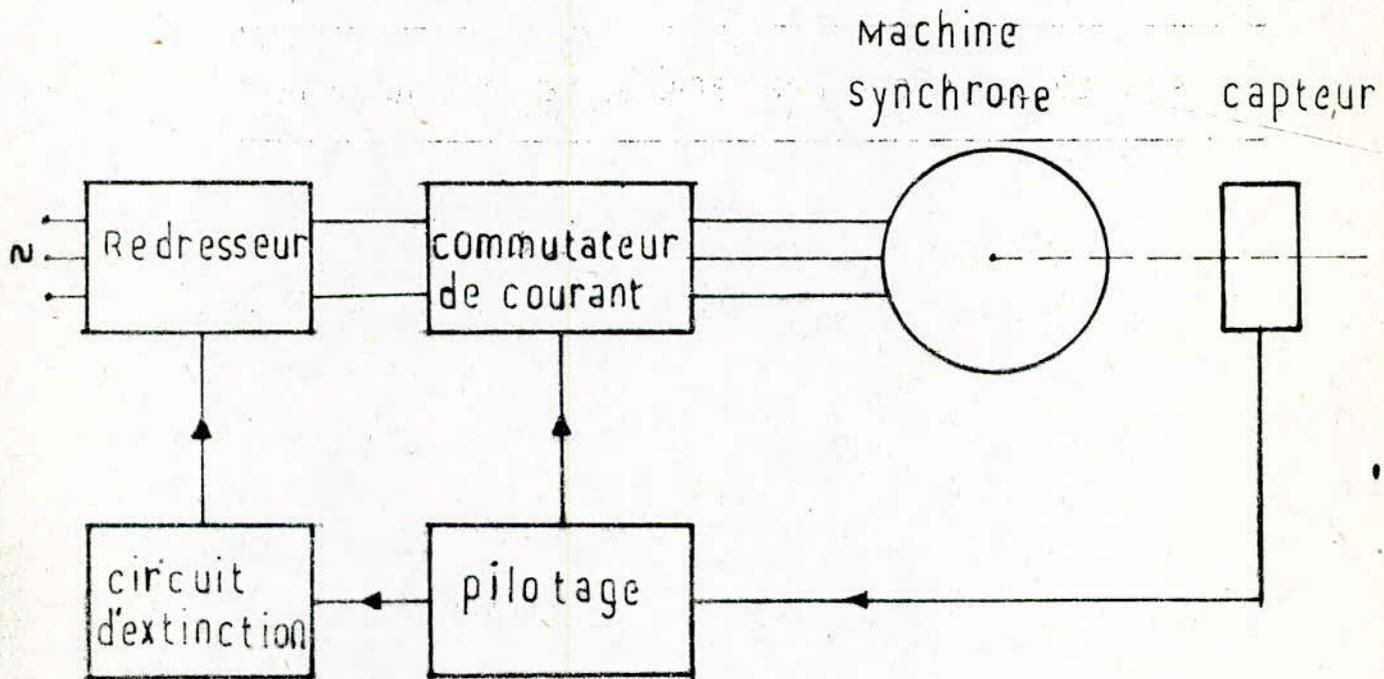
LIAISON ENTRE LA POSITION DU ROTOR  
ET LES THYRISTORS

CHAPITRE II

ETUDE ET REALISATION

Le moteur synchrone autopilotée est composée

- d'un capteur de position
- d'une commande de pilotage
- d'un commutateur de courant
- d'une machine synchrone



principe de la machine synchrone autopilotée

fig 10.

## II.1. CAPTEUR DE POSITION

Le capteur est constitué :

- D'un cylindre métallique

- De deux flasques, sur l'un sont placées six lampes décalées l'une par rapport à l'autre d'un angle de  $30^\circ$ , sur l'autre flasque sont placées six photodiodes disposées de la même manière que les lampes. Chaque photodiode est placée en face d'une lampe.

Les deux flasques sont liés à deux couvercles métalliques, ces deux derniers sont liés au cylindre de manière à ce que les lampes et les photodiodes soient en face et à l'intérieur du cylindre.

- D'un axe de rotation lié à l'arbre du rotor de la machine par l'intermédiaire d'une liaison élastique.

- D'un disque contenant deux fentes diamétralement opposées de  $45^\circ$  d'ouverture chacune. Ce disque lié à l'axe de rotation est placé entre les lampes et les photodiodes.

Le schéma du capteur de position est donné par les figures 12 et 13.

Les lampes étant allumées, les photodiodes sont à l'état saturé ou bloqué selon la position des fentes.

La tension d'alimentation des lampes est de 3 volts.

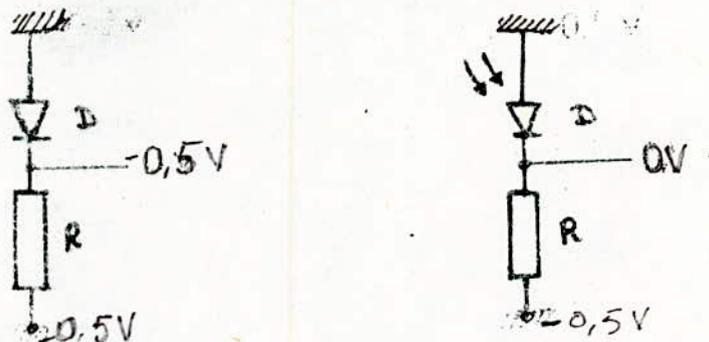


fig. 11

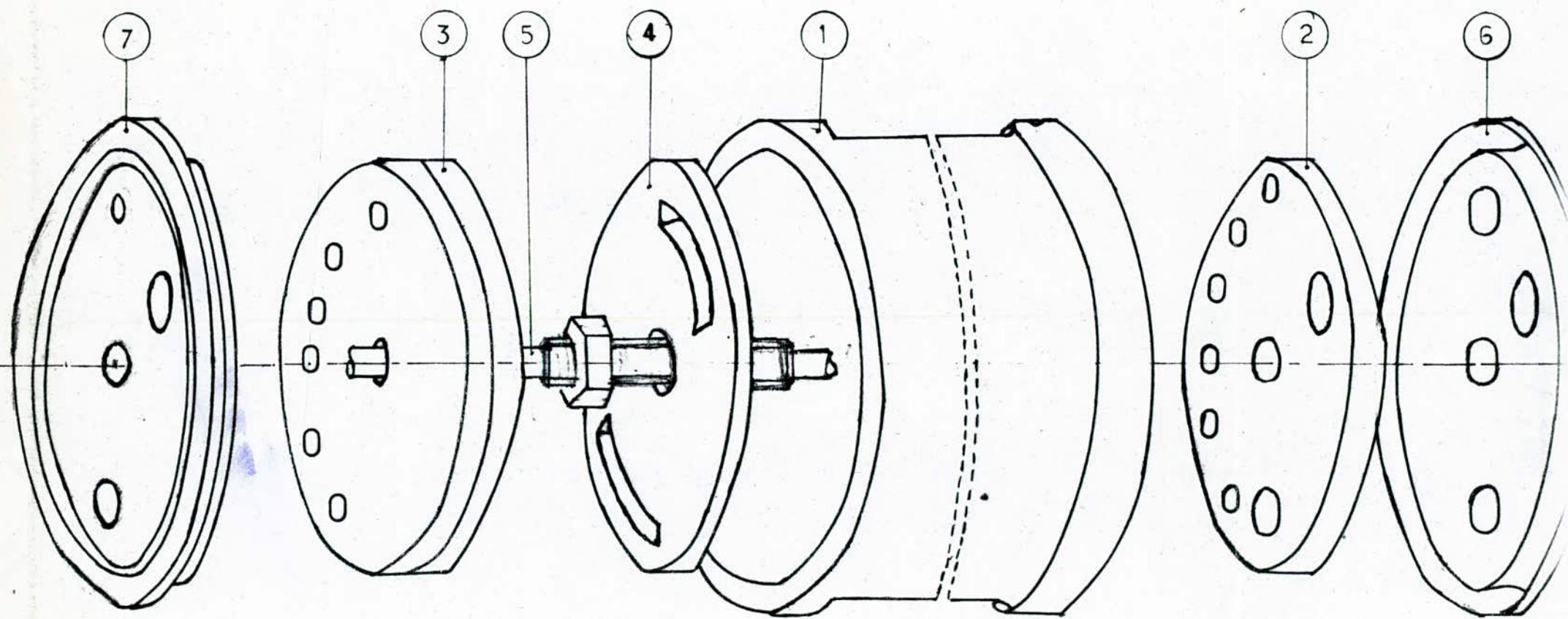
Données numériques pour une photodiode;

- tension maximale ( en inverse ) 30 V

- courant en inverse 3 mA

- puissance maximale dissipable 30 mW

- surface utile  $0,01 \text{ cm}^2$

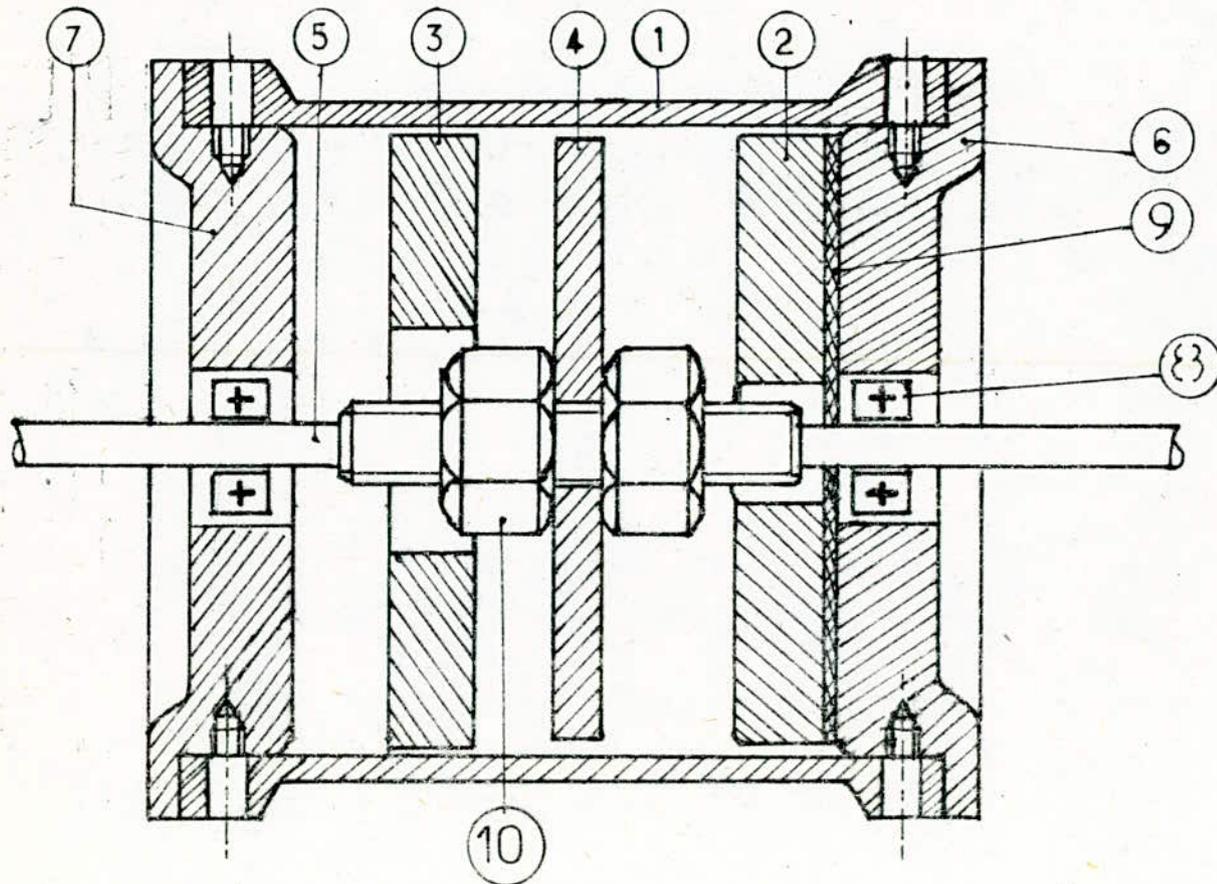


CAPTEUR DE POSITION

Fig. 12.

- |                            |                                  |                           |
|----------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| ① Cylindre metalique       | ④ Disque mobile                  | ⑦ Couvercle côté des lamp |
| ② Flasque pour photodiodes | ⑤ Arbre                          |                           |
| ③ Flasque pour lampes      | ⑥ Couvercle côté des photodiodes |                           |

# COUPE DU CAPTEUR DE POSITION

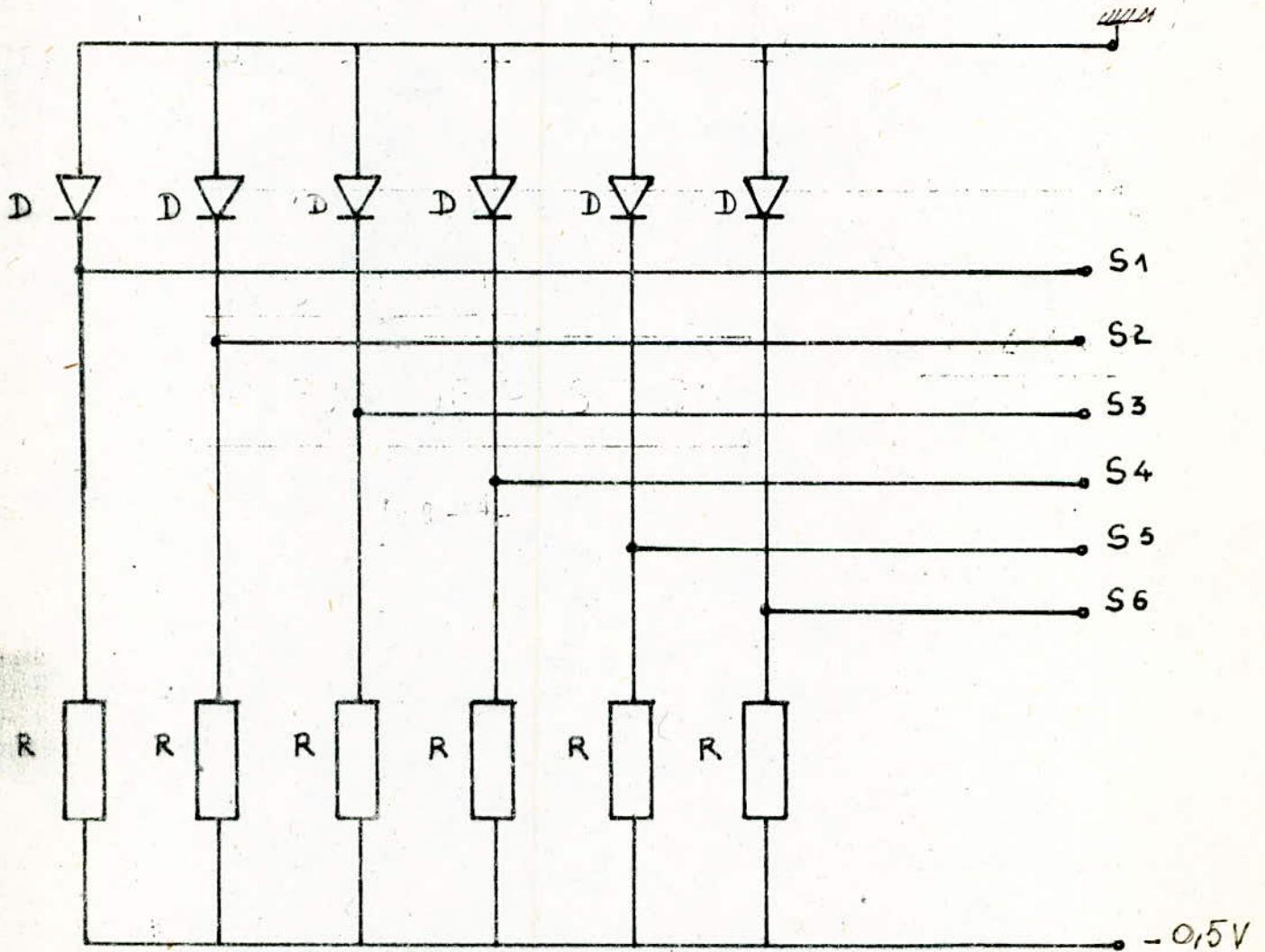


⑧ roulement à bille

⑨ papier isolant

⑩ écrou de liaison

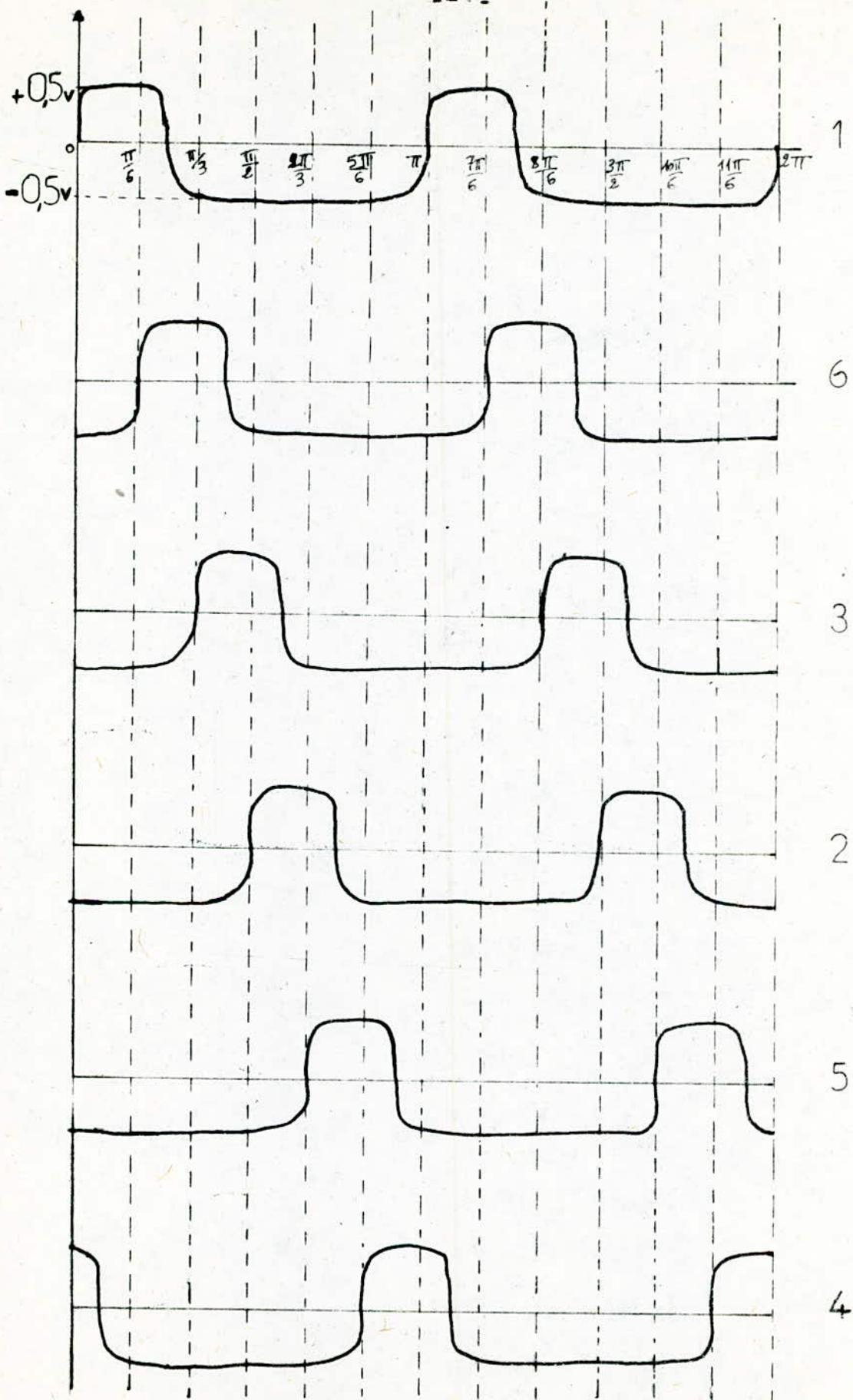
fig -13-



CIRCUIT DU  
**CAPTEUR DE POSITION**

$R = 47\text{ K}\Omega$

fig. 14.



sortie du capteur

visualisée à l'oscilloscope

Fig -15-

## II.2. ETUDE DE LA COMMANDE

### II.2.1. Comparateur: 1

- Rappel sur les amplificateurs opérationnels:

Un amplificateur opérationnel est un amplificateur de courant continu caractérisé par:

- un gain en tension élevé.
- une large bande de fréquence.
- un gain en tension ajustable

- Représentation schématisée d'un amplificateur opérationnel

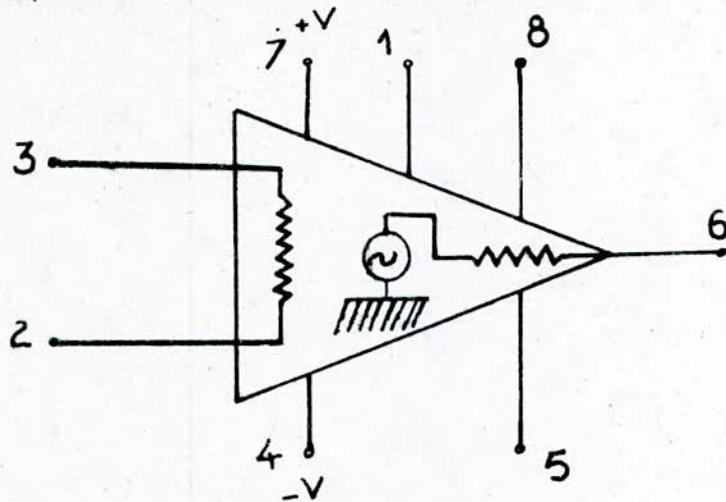


fig.17

-Comparateur:

La façon la plus simple d'utiliser un amplificateur opérationnel est en boucle ouverte (pas de résistance de réaction). À cause du gain élevé de l'amplificateur opérationnel, la plus petite tension d'erreur (de quelques microvolts) produit une excursion de sortie maximum. Par exemple lorsque  $V_1$  est plus grand que  $V_2$ , la tension d'erreur est positive et la tension de sortie atteint sa valeur positive maximum, généralement de 1 à 2V de moins que la tension d'alimentation. Par contre si  $V_1$  est inférieur à  $V_2$ , la tension de sortie passera à sa valeur négative maximum.

Le diagramme de la figure 16 nous résume le fonctionnement, une tension d'erreur positive entraîne la sortie à  $+V_{sat}$ , la valeur maximum de la tension de sortie. Une tension d'erreur négative produit une tension de sortie de  $-V_{sat}$ . lorsqu'on utilise un amplificateur opérationnel de cette façon on l'appelle comparateur parcequ'il ne peut

que comparer  $V_1$  à  $V_2$  et produit une sortie positive ou négative suivant que  $V_1$  est plus grand ou plus petit que  $V_2$ .

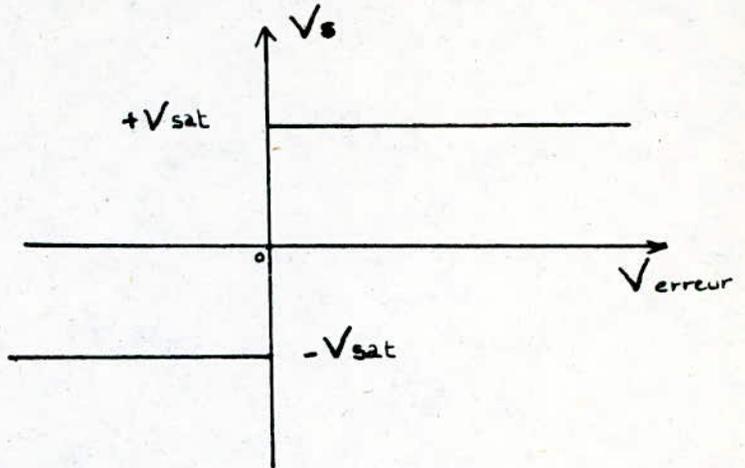
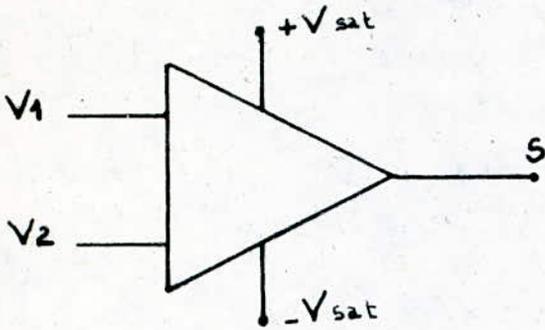
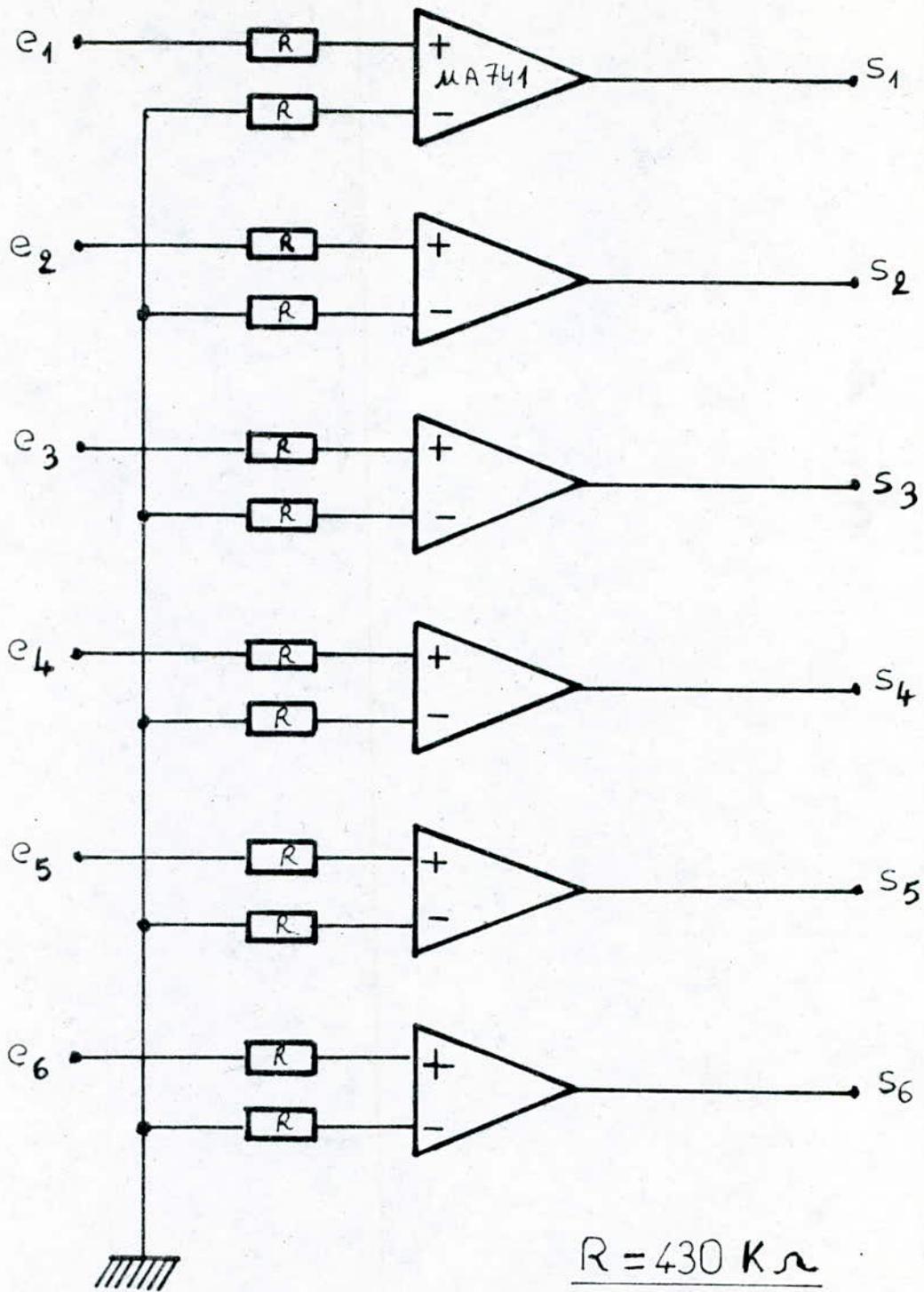


fig 18

- Application:

Chaque signal de sortie du capteur est injecté à l'entrée positive d'un des six comparateur (voir fig .19 ). L'autre entrée des comparateurs est liée à la masse (tension de référence: nulle ).

À la sortie du comparateur on obtient des signaux rectangulaires comme l'indique le chronogramme de la figure 20



COMPARATEUR (1)

fig. 19-

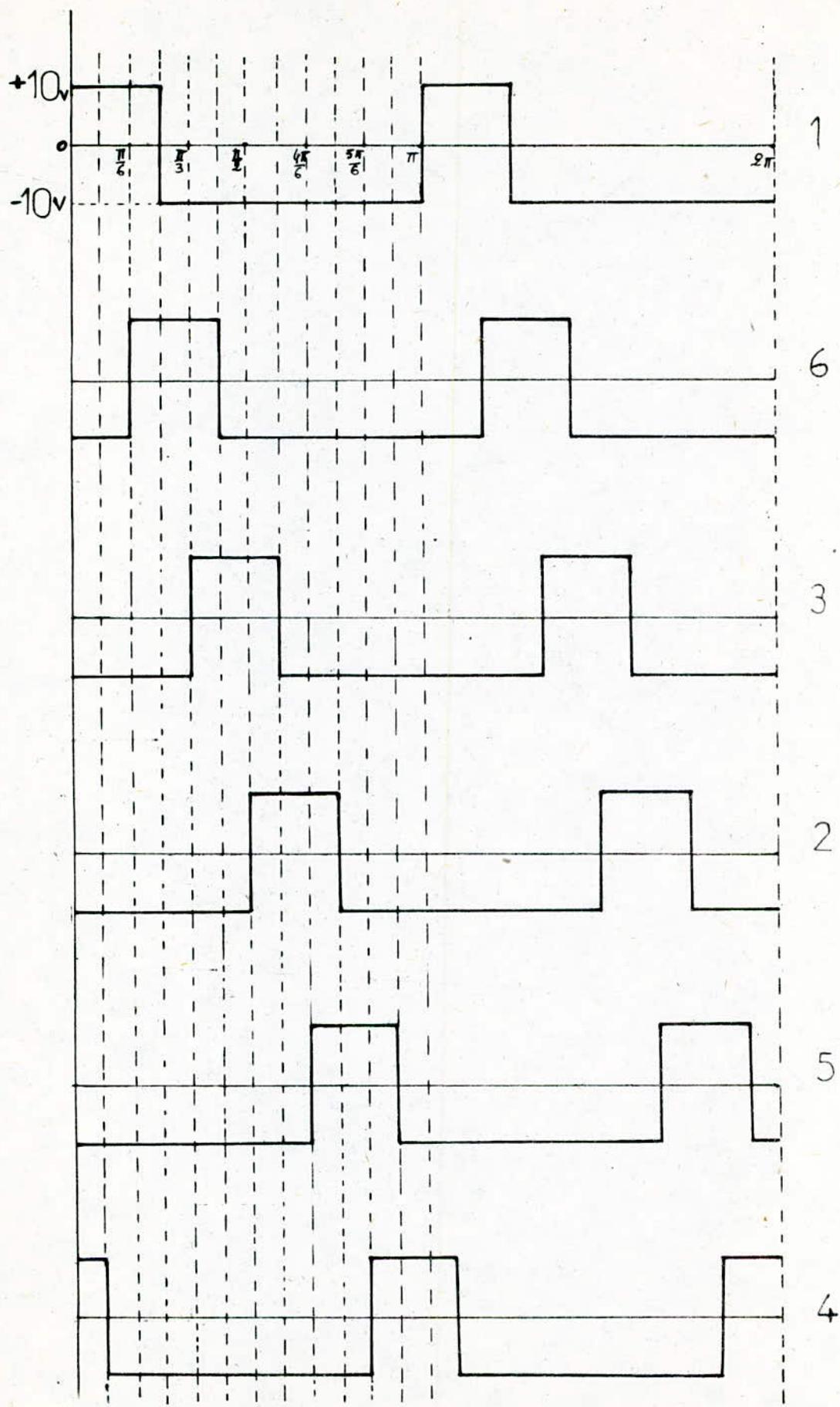


fig. 20.

sortie du comparateur (1) visualisée à l'oscilloscope

### II.2.2 Differentiateur 1

Chaque signal de sortie du comparateur est envoyé à une entrée des six différentiateurs. À la sortie du différentiateur on obtient des signaux sous forme de pics qui seront ensuite redressés par la diode D1 (voir fig.21)  
La réponse visualisée à l'oscilloscope des six différentiateurs est donnée par la figure figure23.

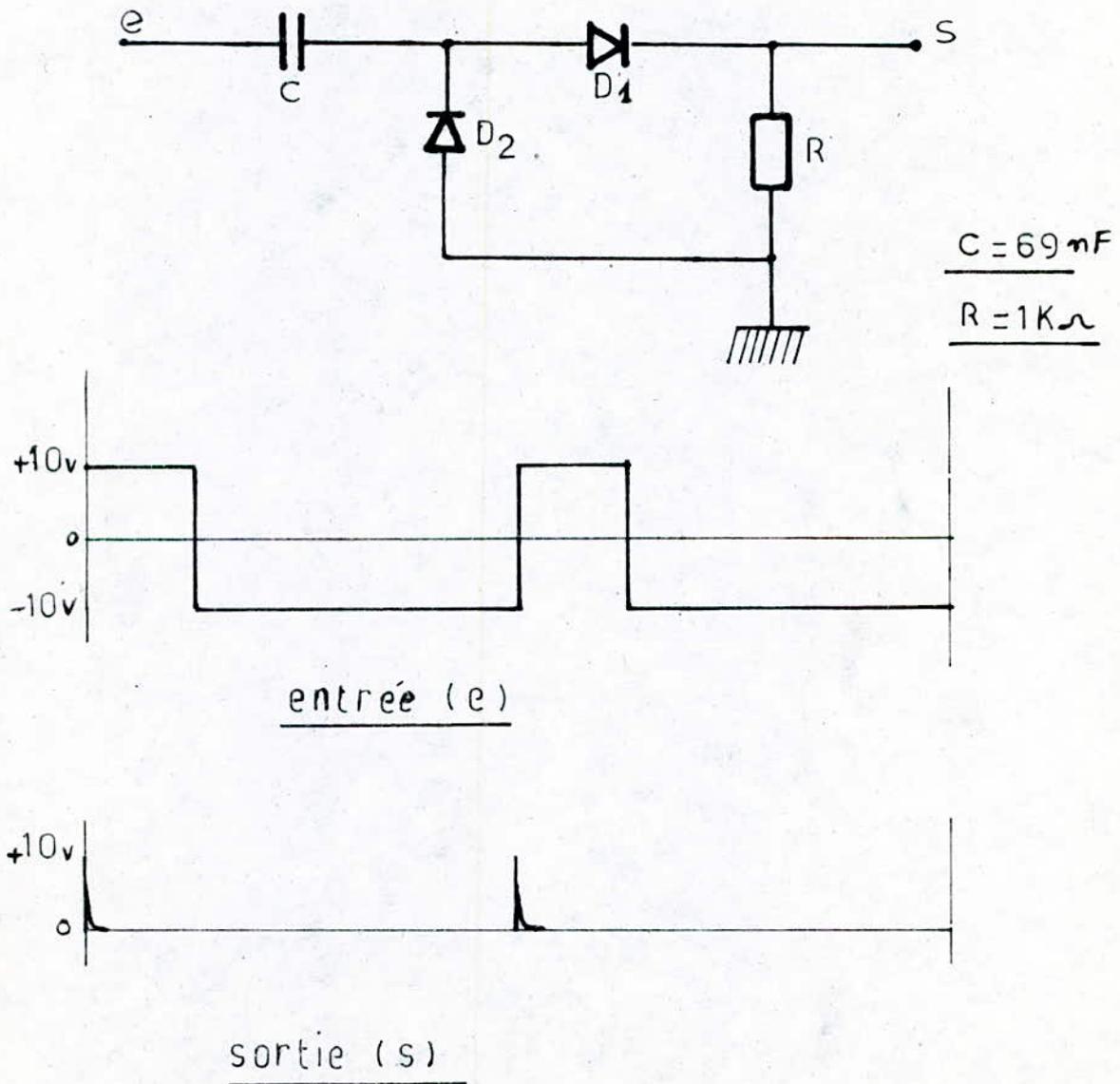
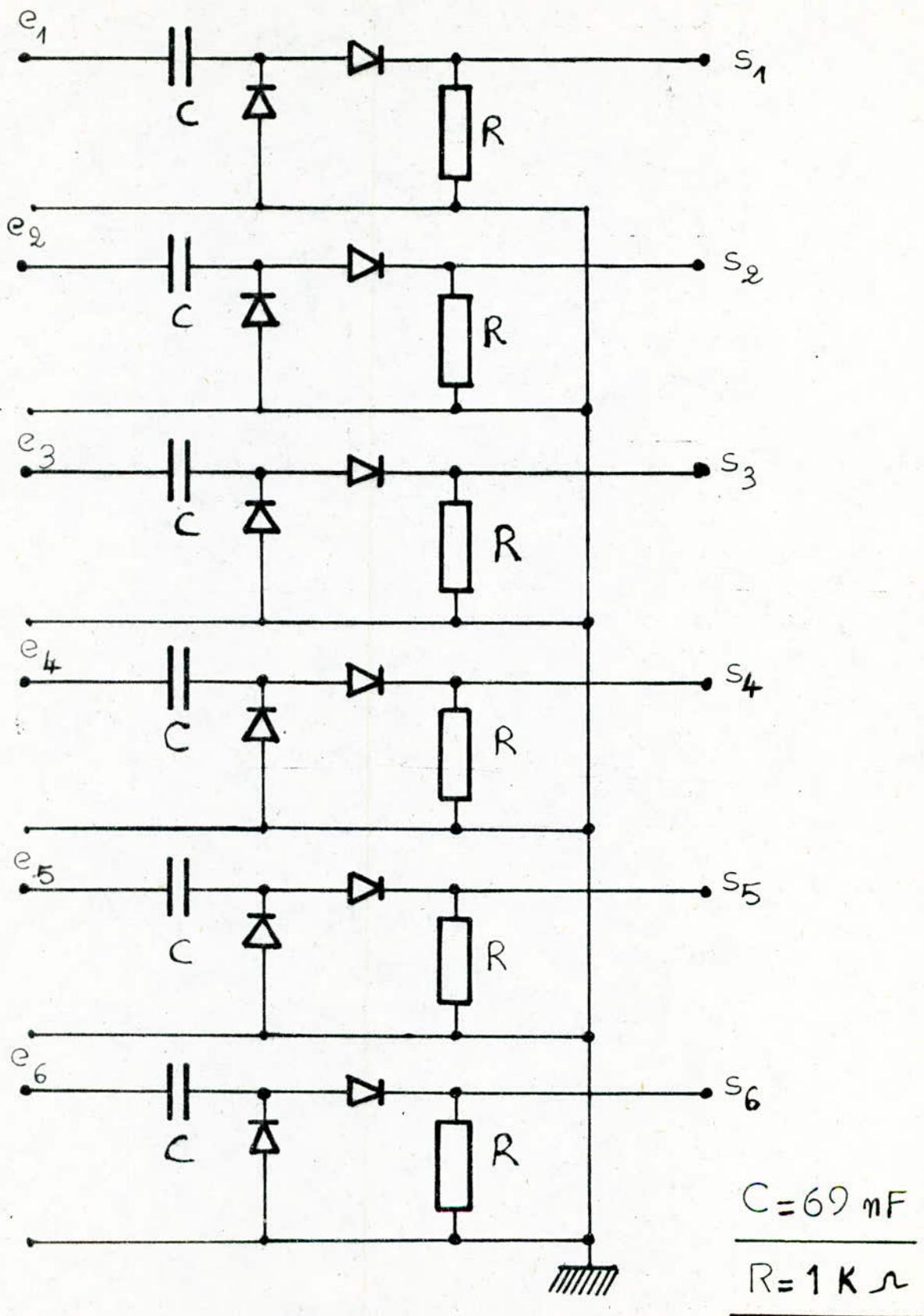


fig-21-

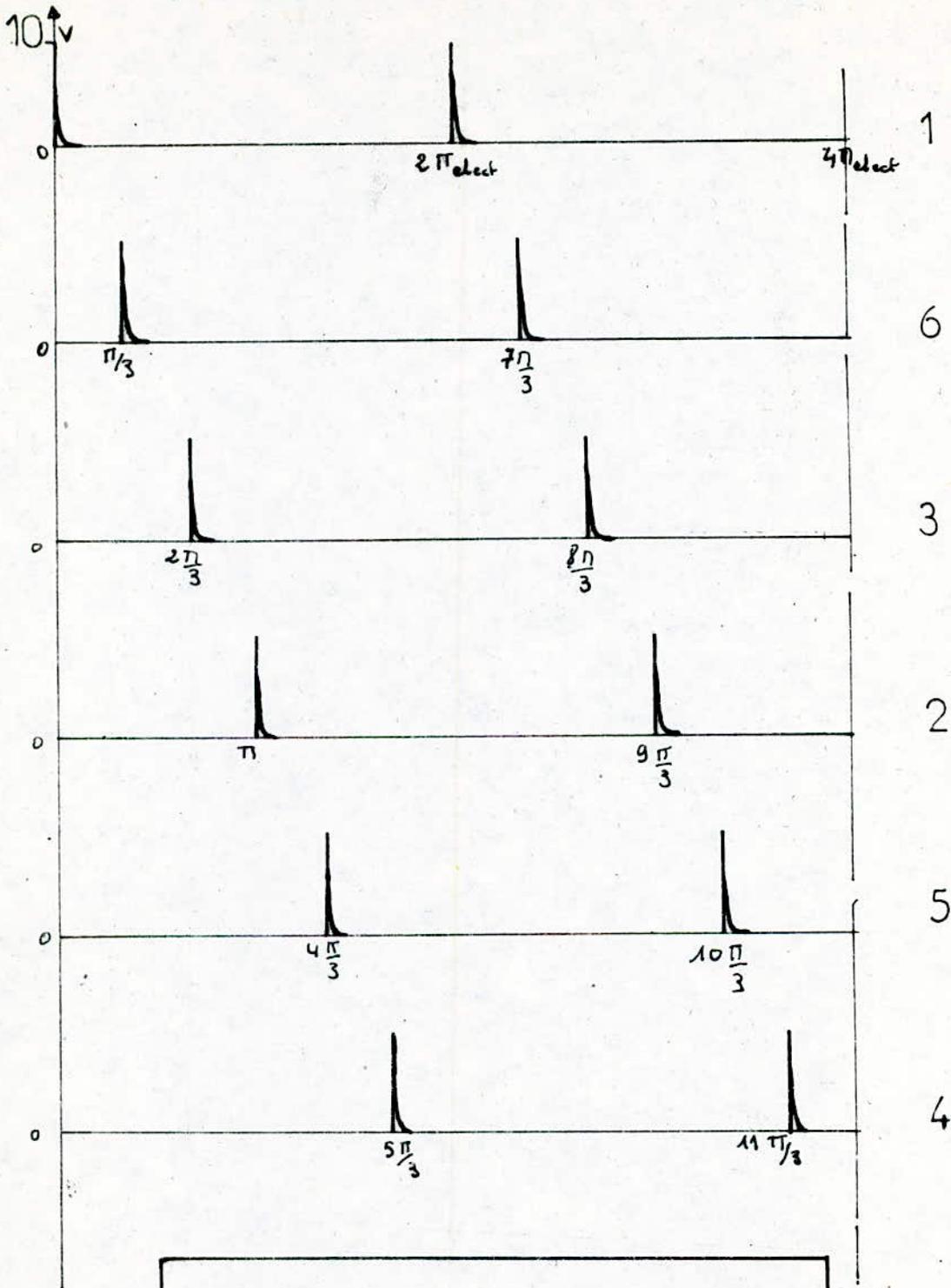


$C = 69 \text{ mF}$

$R = 1 \text{ K } \Omega$

DIFFERENTIATEUR(1)

fig. 22-



sortie du differentiateur:(1)  
après redressement

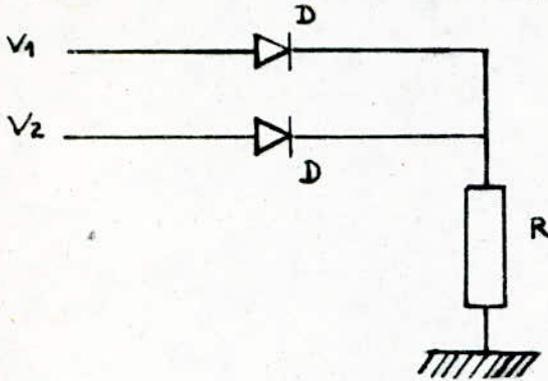
visualisée à l'oscilloscope

fig-23-

### II.2.3. Doubleur d'impulsions

Le doubleur d'impulsions est un circuit logique, constitué par des portes OR. Dans notre cas il en existe six.

La porte OR en logique positive est donné par la figure 24



V1	0	0	1	1
V2	0	1	0	1
Vs	0	1	1	1

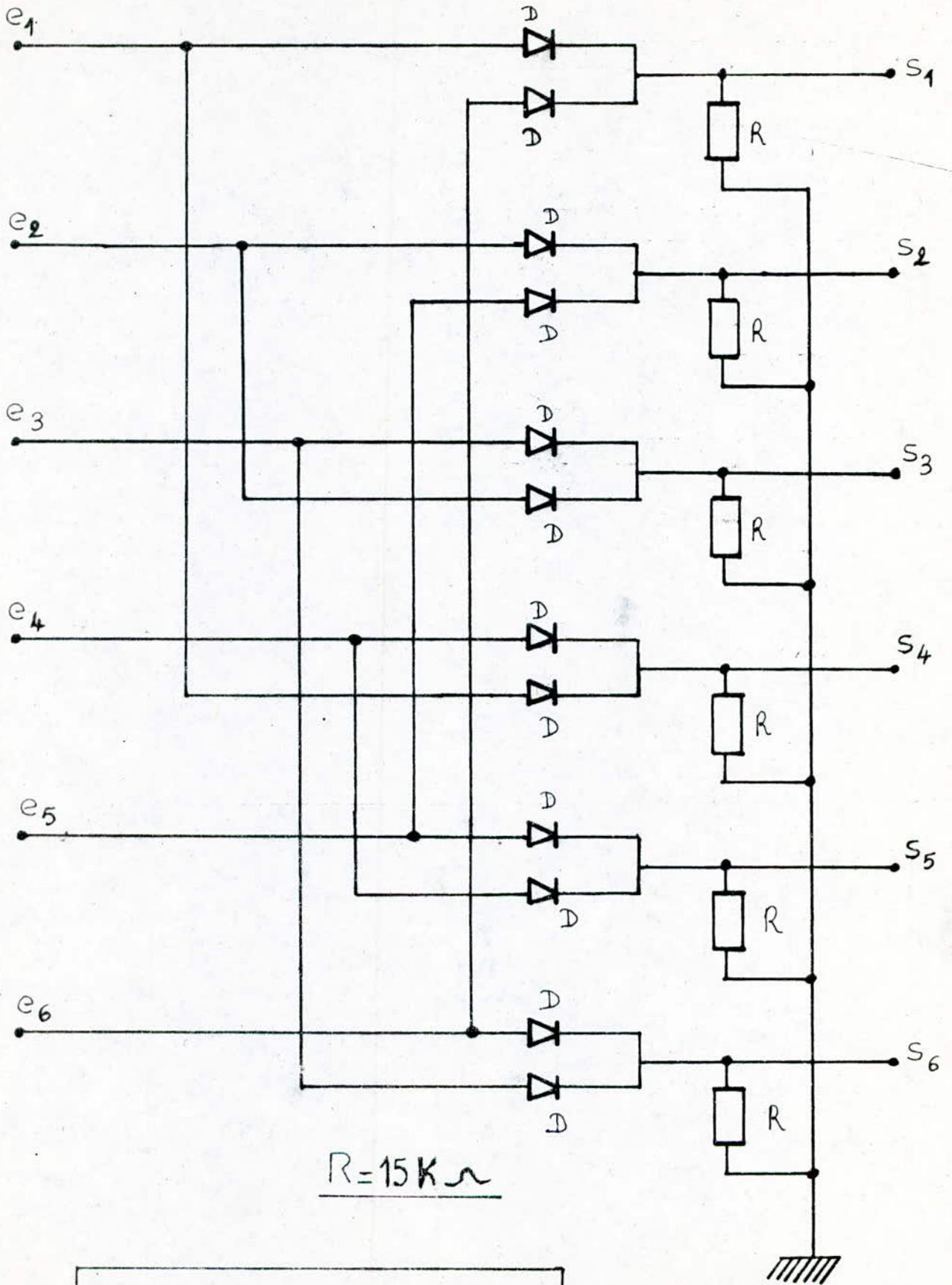
Tableau de vérité

FIG. 24

Chaque impulsion de la sortie du différentiateur est doublée avec une autre qui lui succède.

La nécessité du doubleur d'impulsion est du fait qu'on utilise ensuite un aiguilleur d'impulsion (portes AND et OR) à deux entrées, qui ne répond que si les deux impulsions arrivent en même temps.

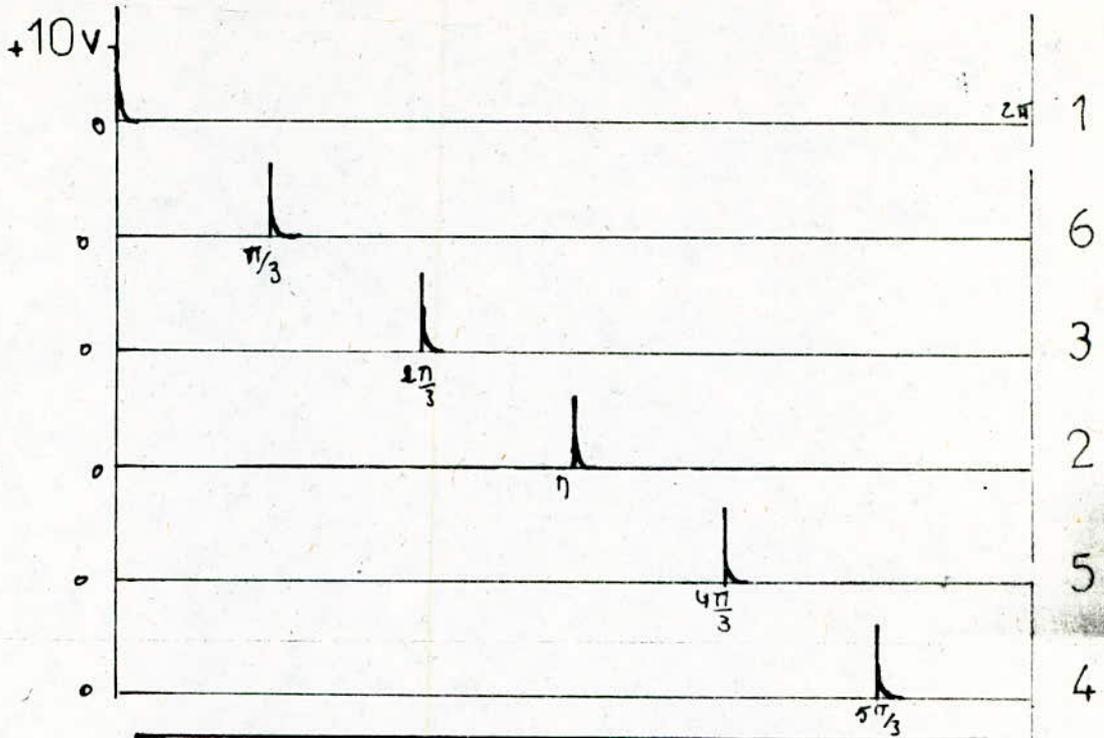
Le doubleur d'impulsion et sa réponse sont donnés par les figures 25 et 26.



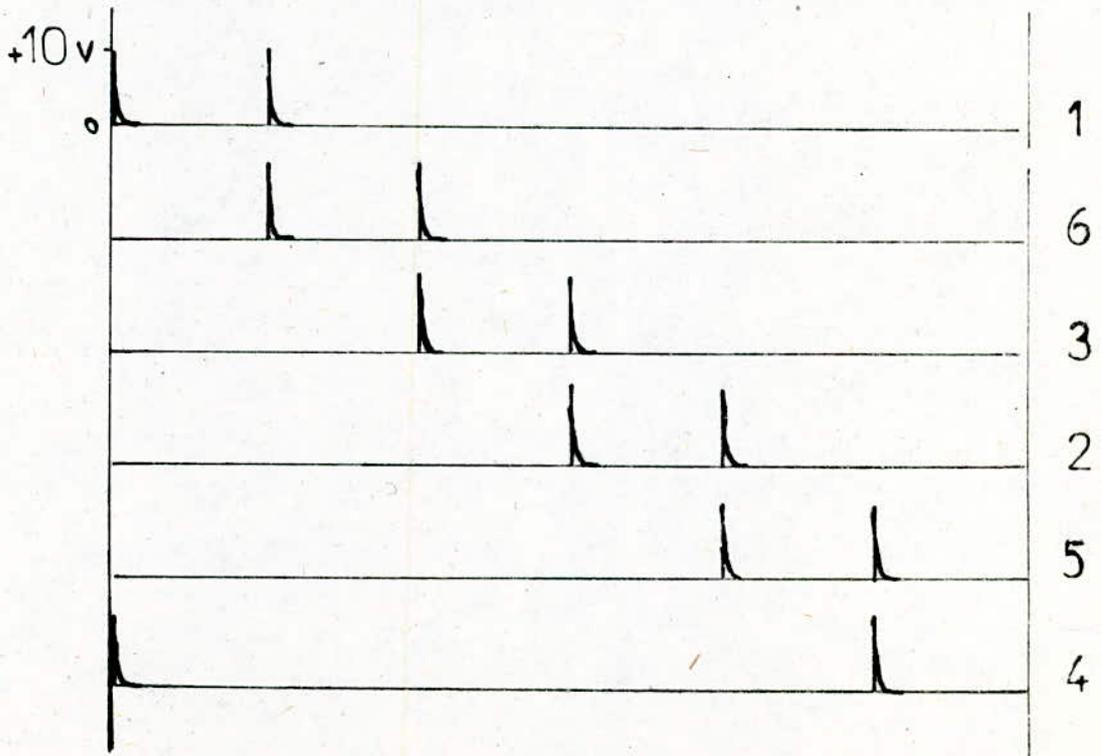
$R = 15K \Omega$

doubleur d'impulsions

fig.25-



entrée du doubleur d'impulsion  
visualisée à l'oscilloscope



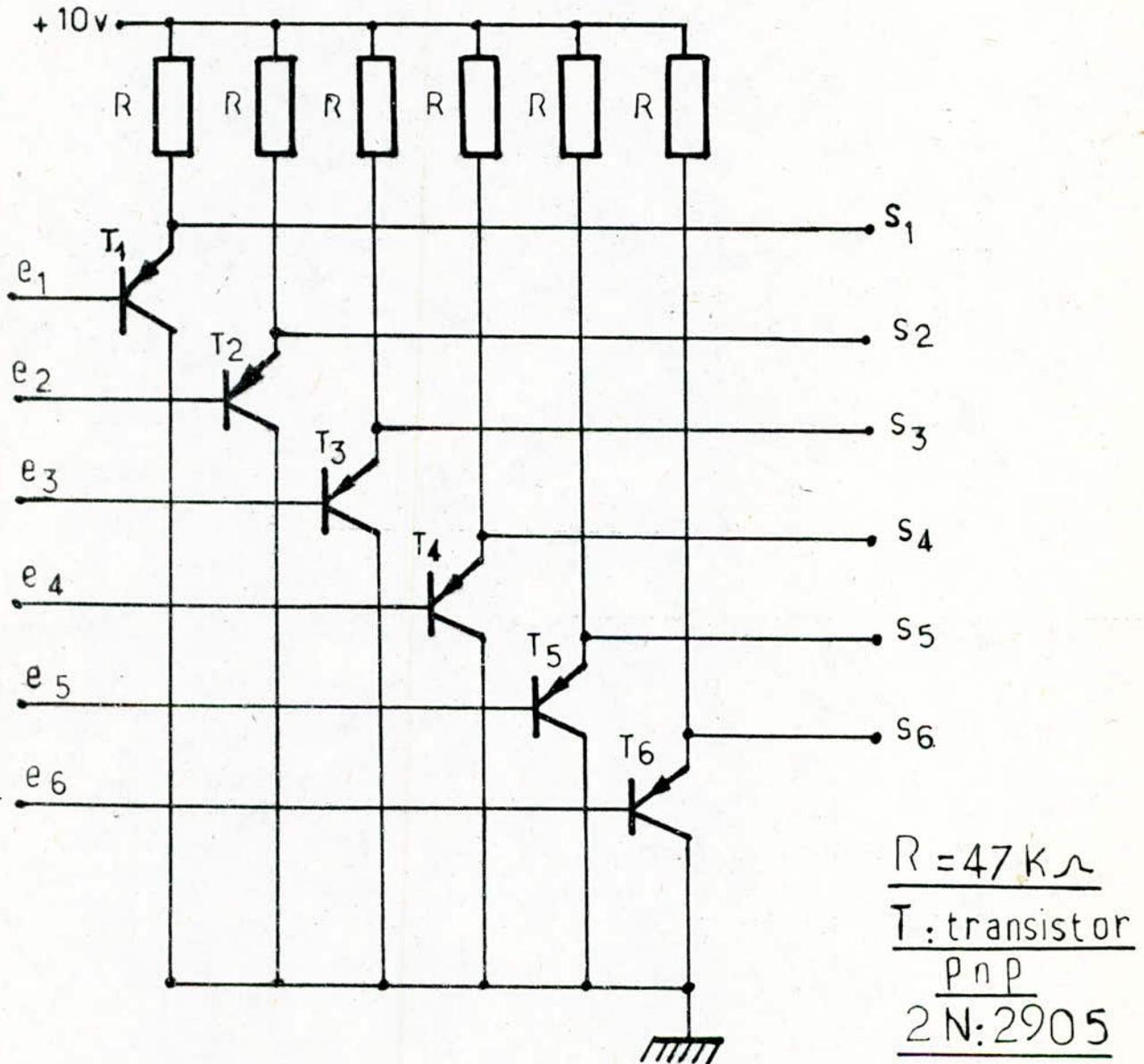
sortie du doubleur d'impulsion

Fig. 26

11.2.4. Interface ( doubleur-aiguilleur )

Le circuit d'interface a pour rôle d'éliminer l'influence de l'aiguilleur sur le doubleur d'impulsions, ceci parceque une porte OR ne peut pas commander une porte AND.

L'inconvénient de cette interface c'est qu'elle fait apparaitre une composante continue, la tension de seuil du transistor.



INTERFACE

fig -27-

II.2.5. Aiguilleur d'impulsions

L'aiguilleur est un circuit logique réalisé à l'aide de portes AND et OR. A la sortie du doubleur les impulsions sont par paires, une paire par période .

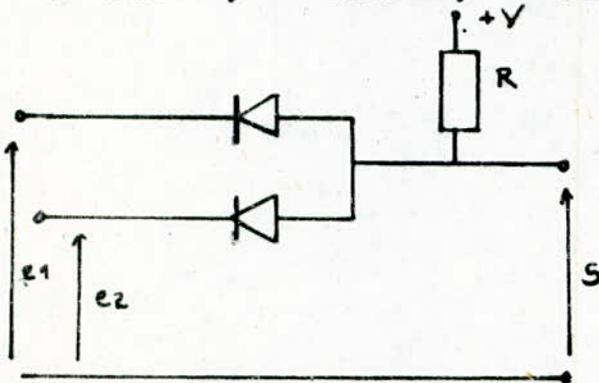
L'aiguilleur a pour rôle de décaler les impulsions d'une séquence de commutation et dans un seul sens, c'est à dire qu'il fixe le sens de rotation de la machine.

L'aiguilleur travaille de la façon suivante:

1-4 vers 1-6, 1-6 vers 3-6, 3-6 vers 3-2, 3-2 vers 5-2, 5-2 vers 5-4, 5-4 vers 1-4.

Ceci pour un sens de rotation, pour l'autre sens on a pensé à l'utilisation d'un autre aiguilleur qui décale les impulsions dans un sens opposé au premier:

1-4 vers 5-4, 5-4 vers 5-2, 5-2 vers 3-2, 3-2 vers 3-6, 3-6 vers 1-6, 1-6 vers 1-4.



e1	0	0	1	1	
e2	0	1	0	1	
S	0	0	0	1	

fig -283-

$$\frac{R_1 = 10K \Omega}{R_2 = 120K \Omega}$$

diguilleur (1)

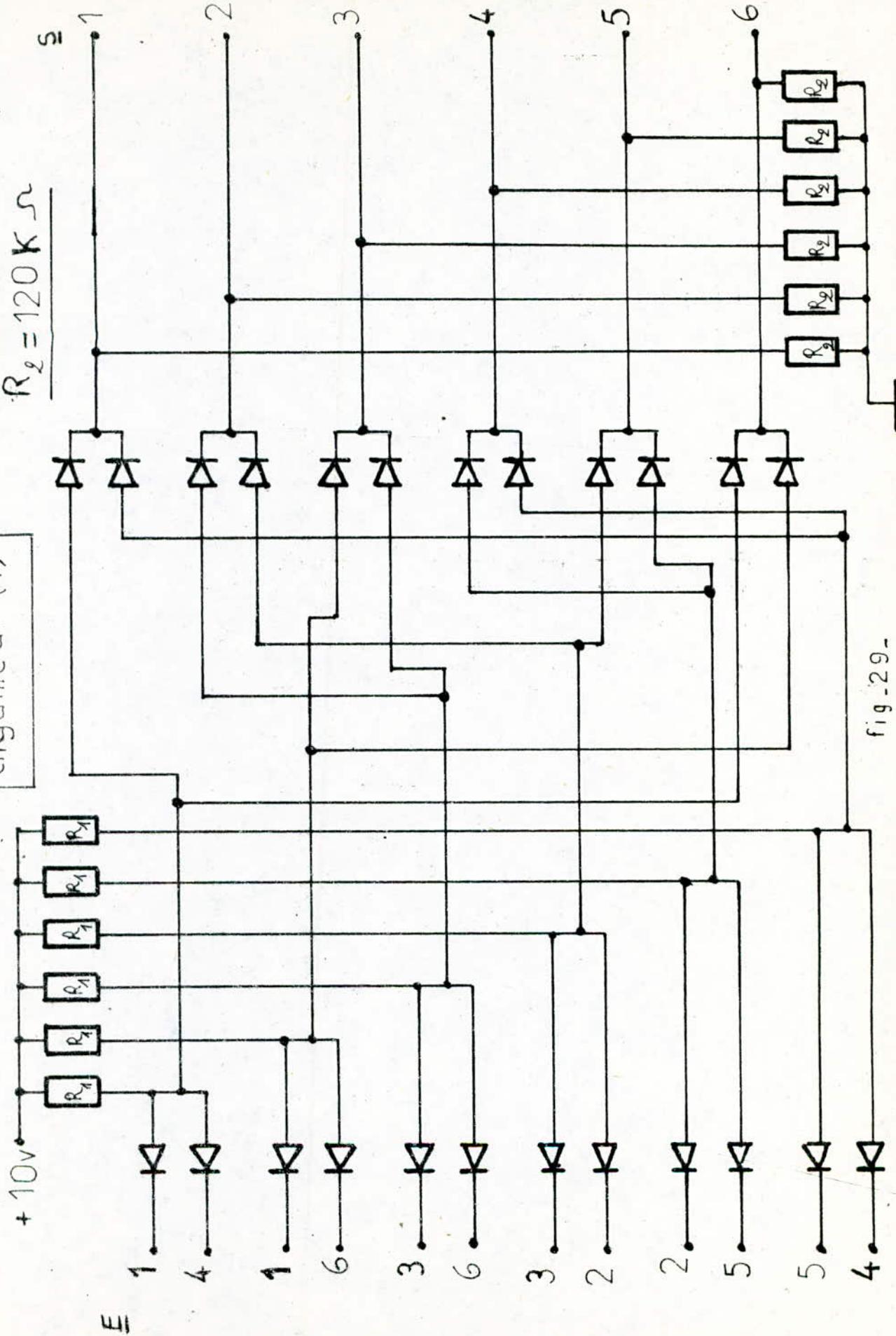


fig. 29-

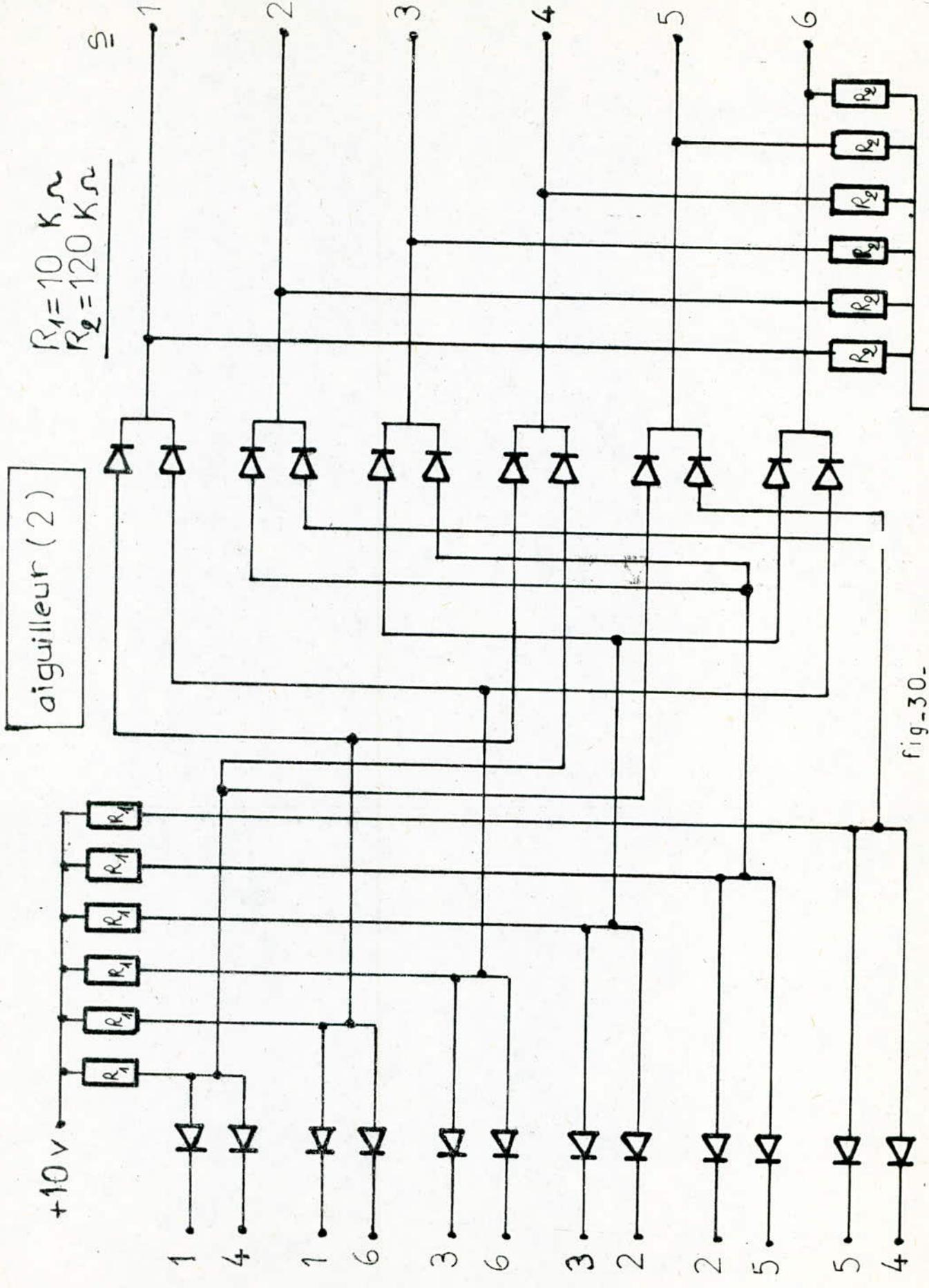
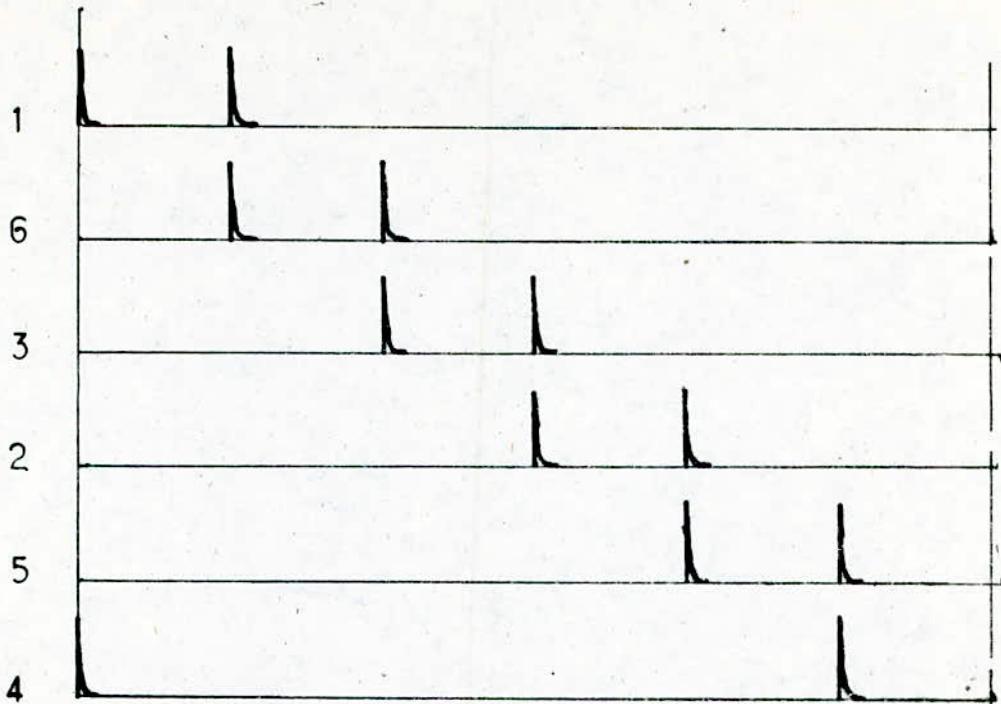
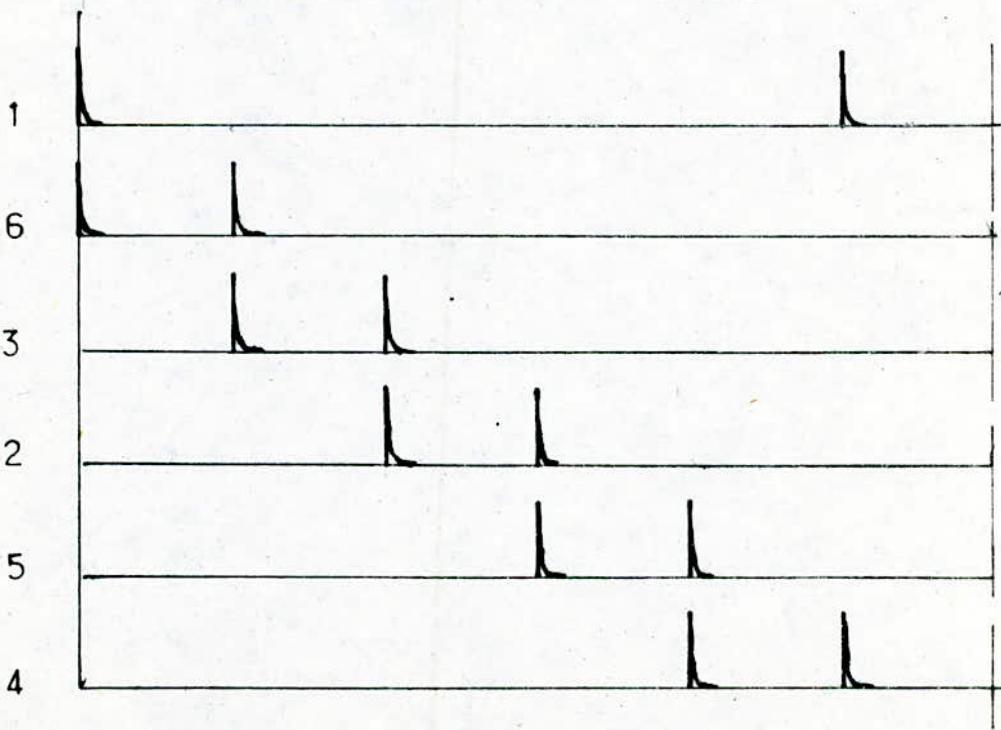


fig. 30-



entrée de l'aiguilleur



sortie de l'aiguilleur  
visualisée à l'oscilloscope.

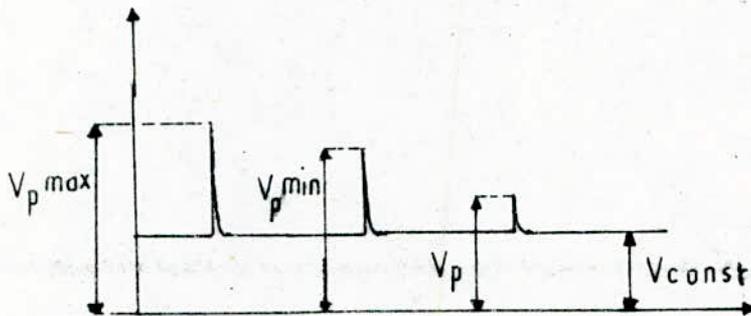
fig -31-

II.2.6 Comparateur 2

Ce comparateur sert à éliminer la composante continue et les impulsions parasites à la sortie de l'aiguilleur. ( voir fig.32).

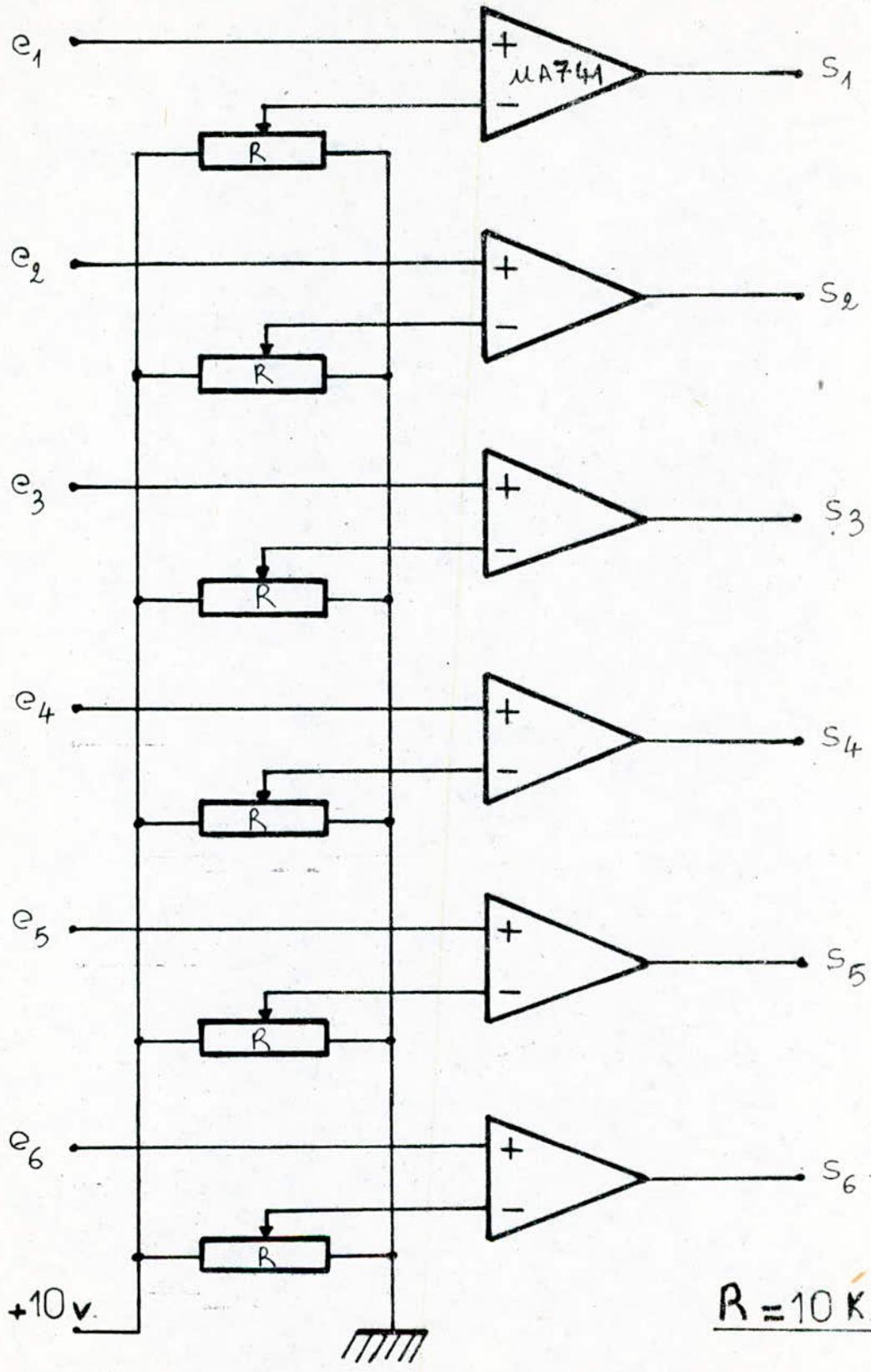
La tension de référence est réglée à l'aide du potentiometre pour chaque comparateur.

Le circuit du comparateur est donné par la figure



	$V_p \text{ max}$ (V)	$V_p \text{ min}$ (V)	$V_p$ (V)	$V_{const}$ (V)
1	10	9,83	1,4	0,7
2	10	9,9	1	0,7
3	10	10	1	0,7
4	10	9,83	1	0,7
5	10	10	1	0,7
6	10	10	1	0,7

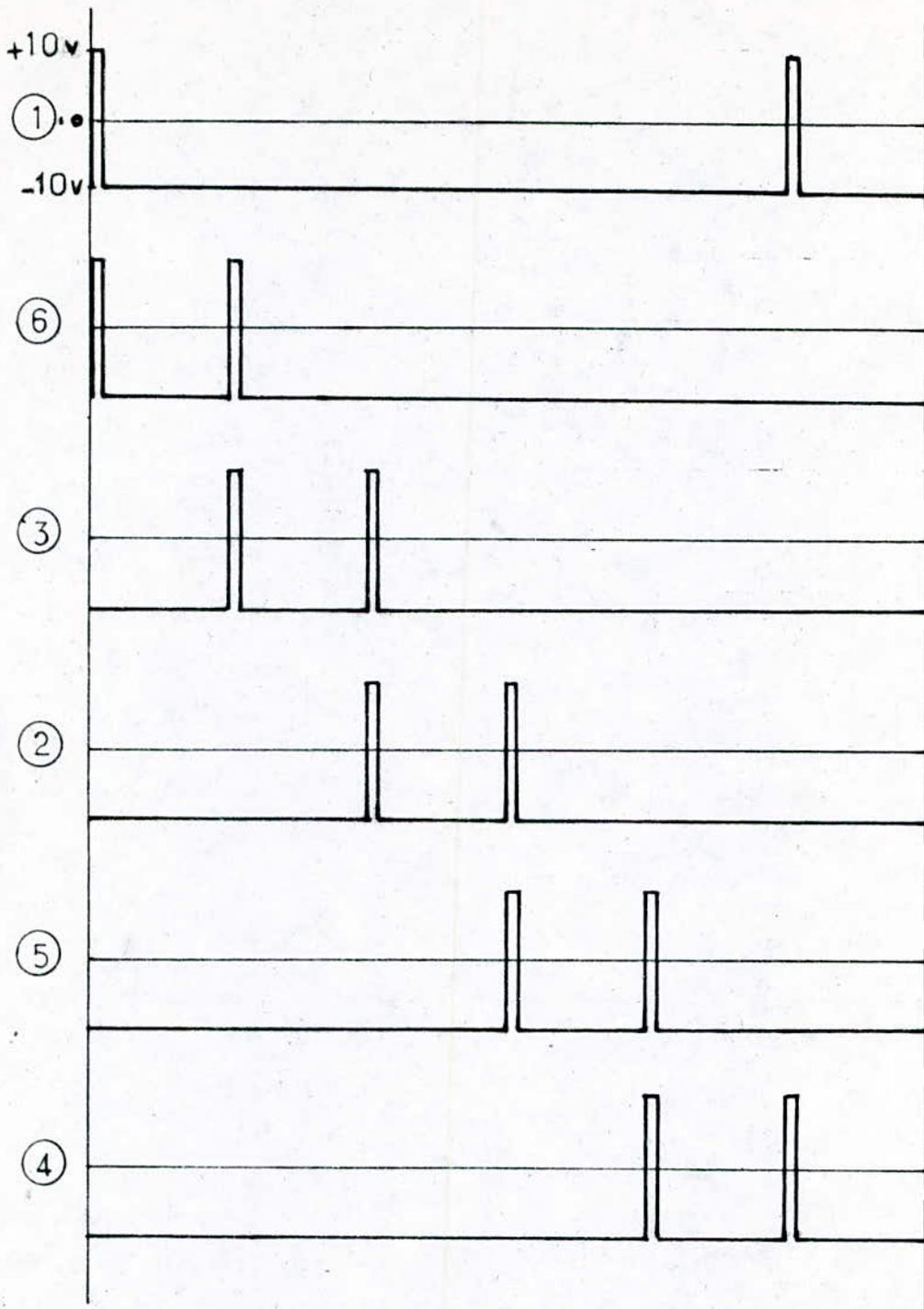
fig.32.



$R = 10\text{K}\Omega$

COMPARATEUR (2)

fig 33.

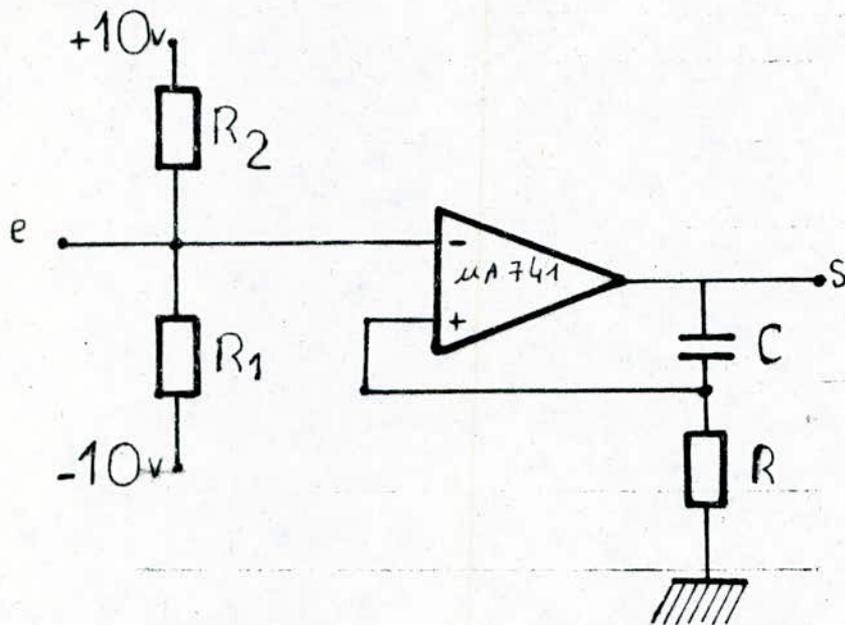


sortie du comparateur (2)  
visualisée à l'oscilloscope

### 11.2.7 Monostable 1

Le signal de sortie du comparateur 2 est envoyé au monostable 1. A la sortie de ce dernier on a un signal calibré en tension et en durée.

Les signaux obtenus aux sorties des six monostables sont transmis vers six diodes montées en inverse ( voir fig. 36 ). A la sortie S des diodes on obtient un signal redressé de durée 3,3ms : temps d'extinction des thyristors entre deux commutations successives.



$$\begin{aligned} C &= 22 \text{ nF} \\ R_2 &= 120 \text{ k}\Omega \\ R_1 &= 47 \text{ k}\Omega \\ R &= 39 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

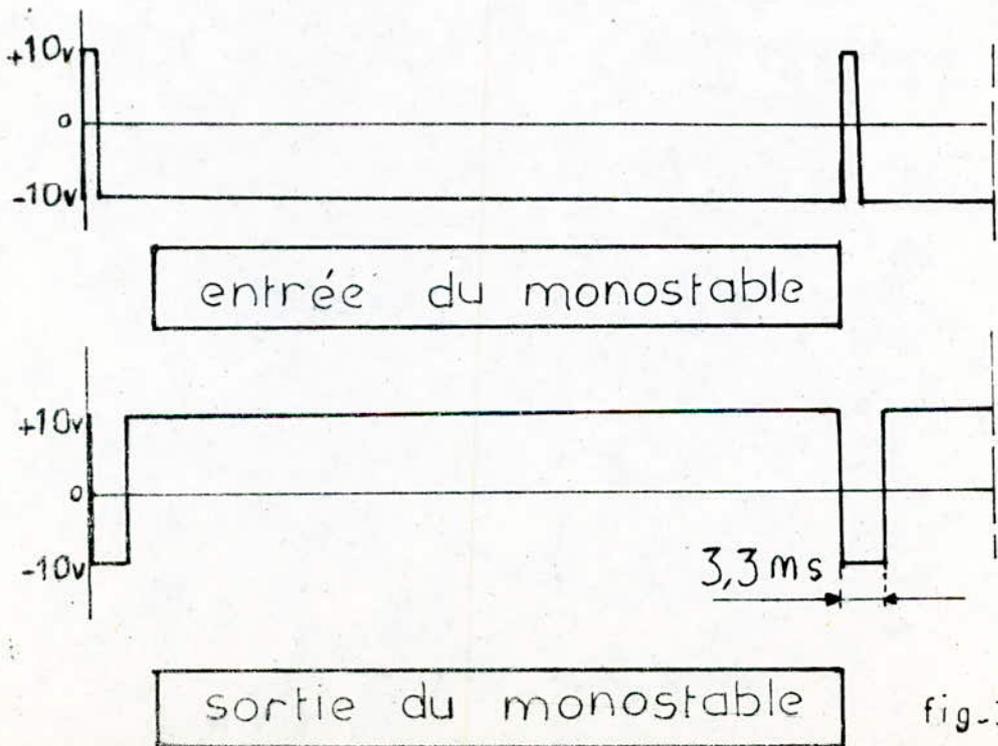
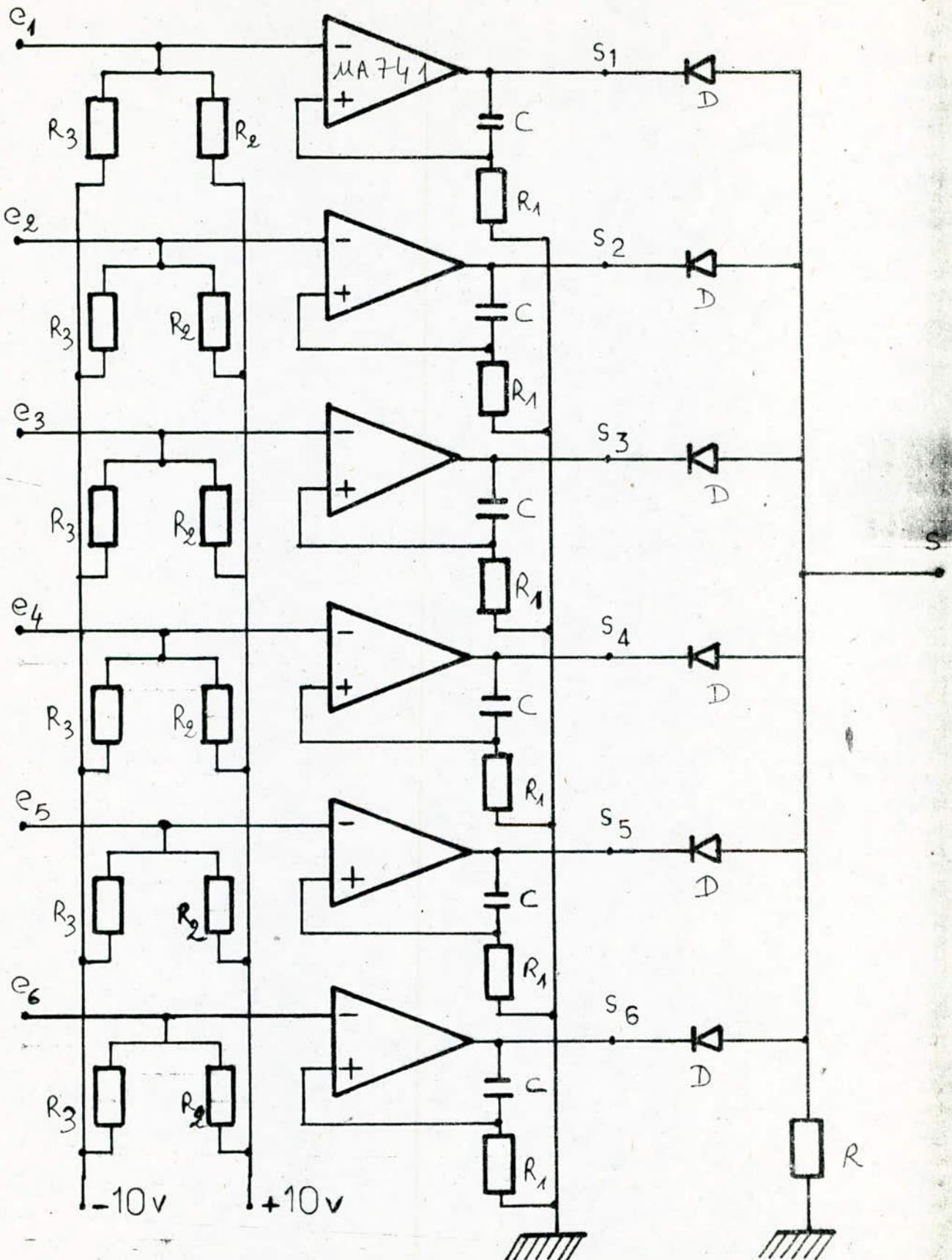


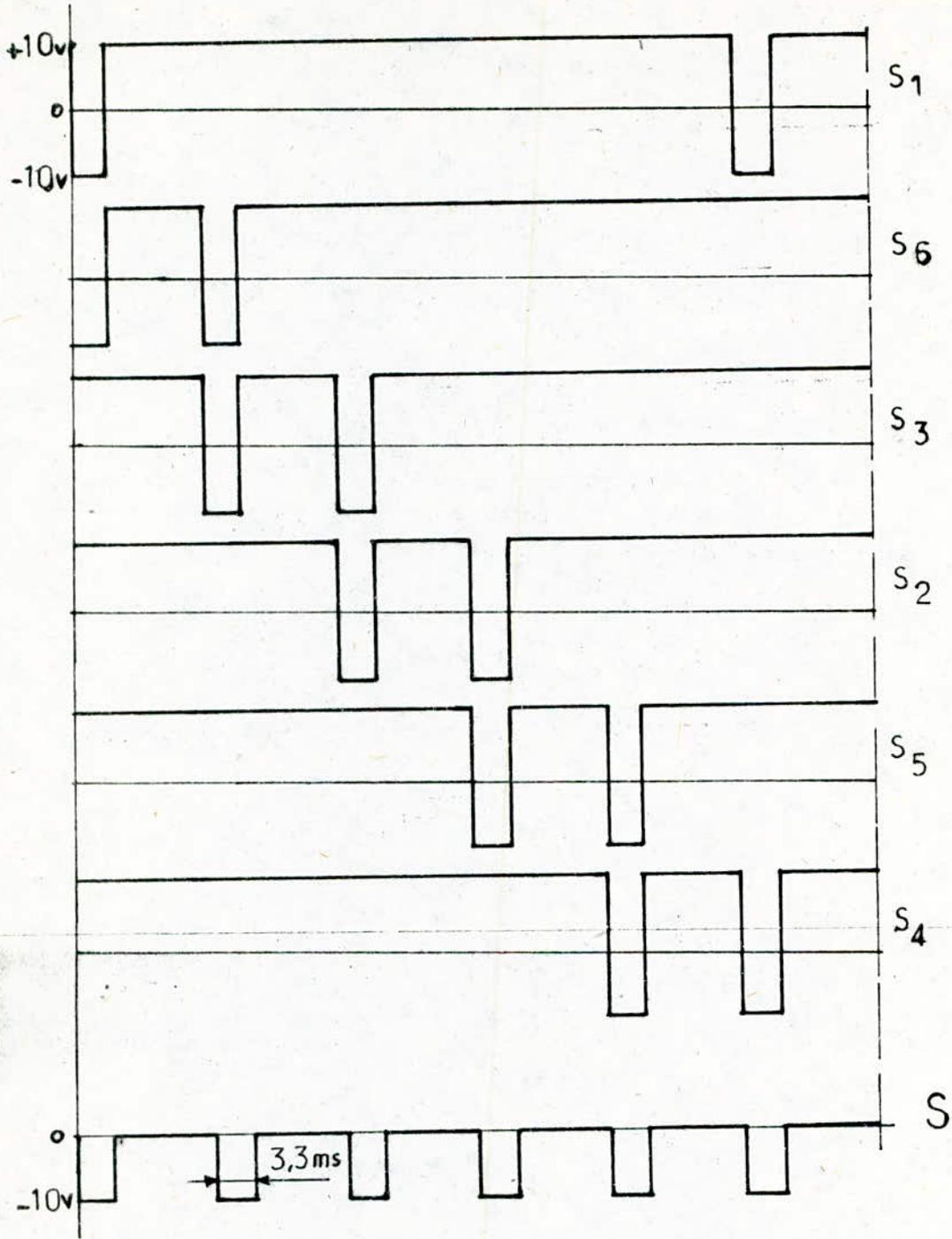
fig-35-



monostable (1)

fig.36-

$R_1 = 39\text{K}\Omega$  ,  $R_3 = 47\text{K}\Omega$   
 $R_2 = 120\text{K}\Omega$  ,  $R = 120\text{K}\Omega$   
 $C = 22\text{mF}$



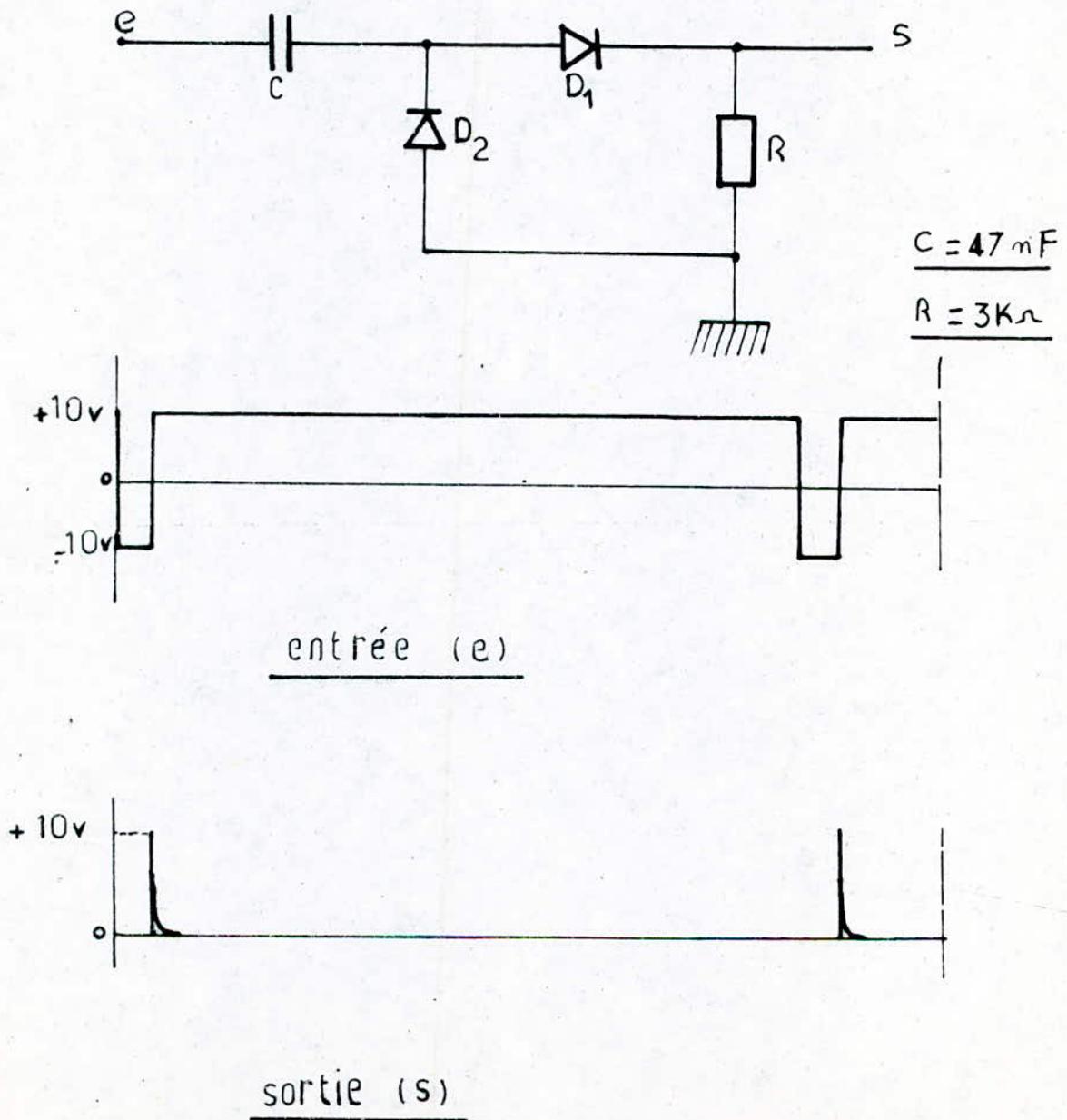
sortie du monostable (1)  
visualisée à l'oscilloscope

fig-37.

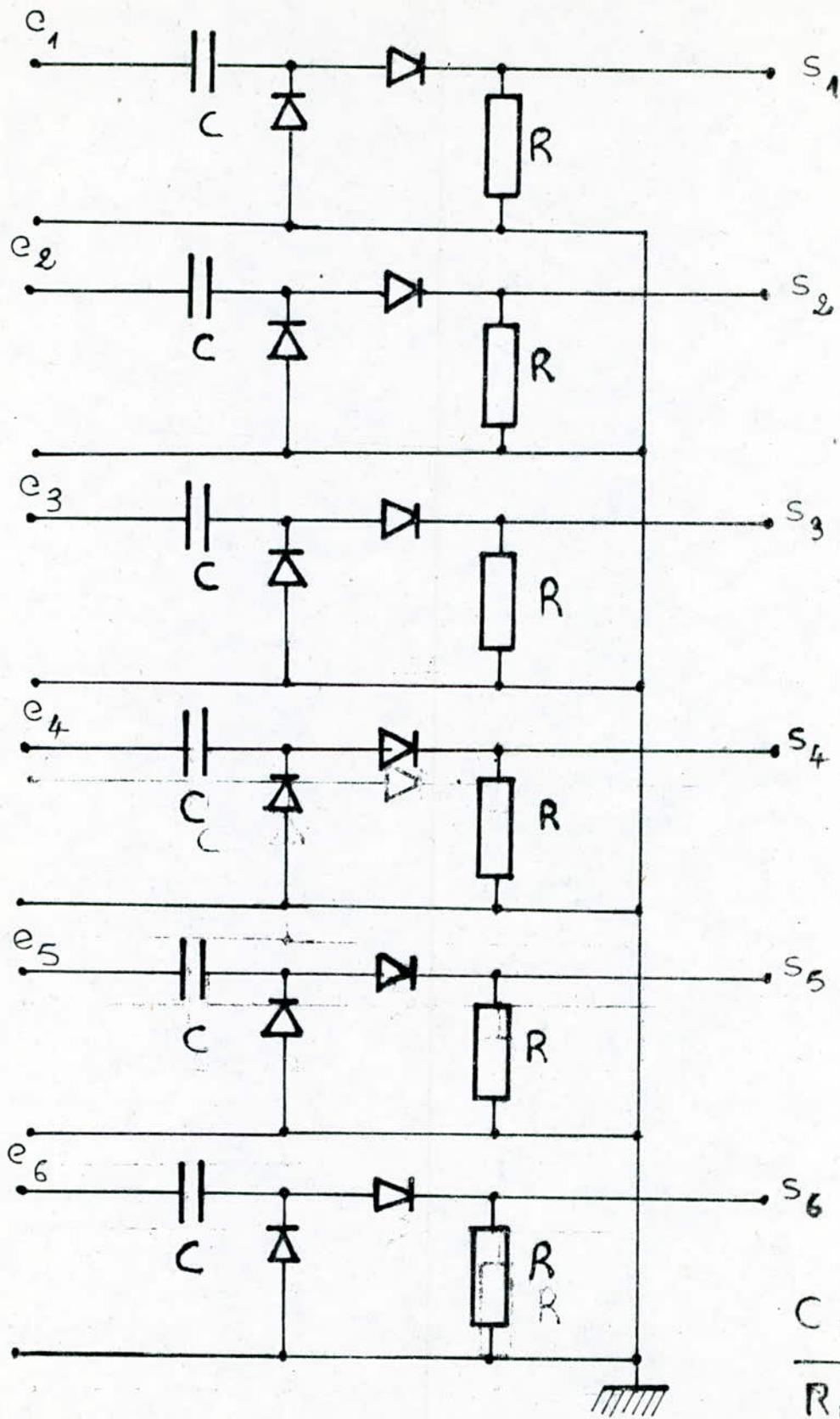
### II.2.8 Differentiateur 2

Les signaux de sortie du monostable 2 sont transmis aux entrées des differentiateurs, voir fig. 39

La reponse des differentiateurs visualisée à l'oscilloscope après redressement est donnée par la figure 40



fig\_383\_

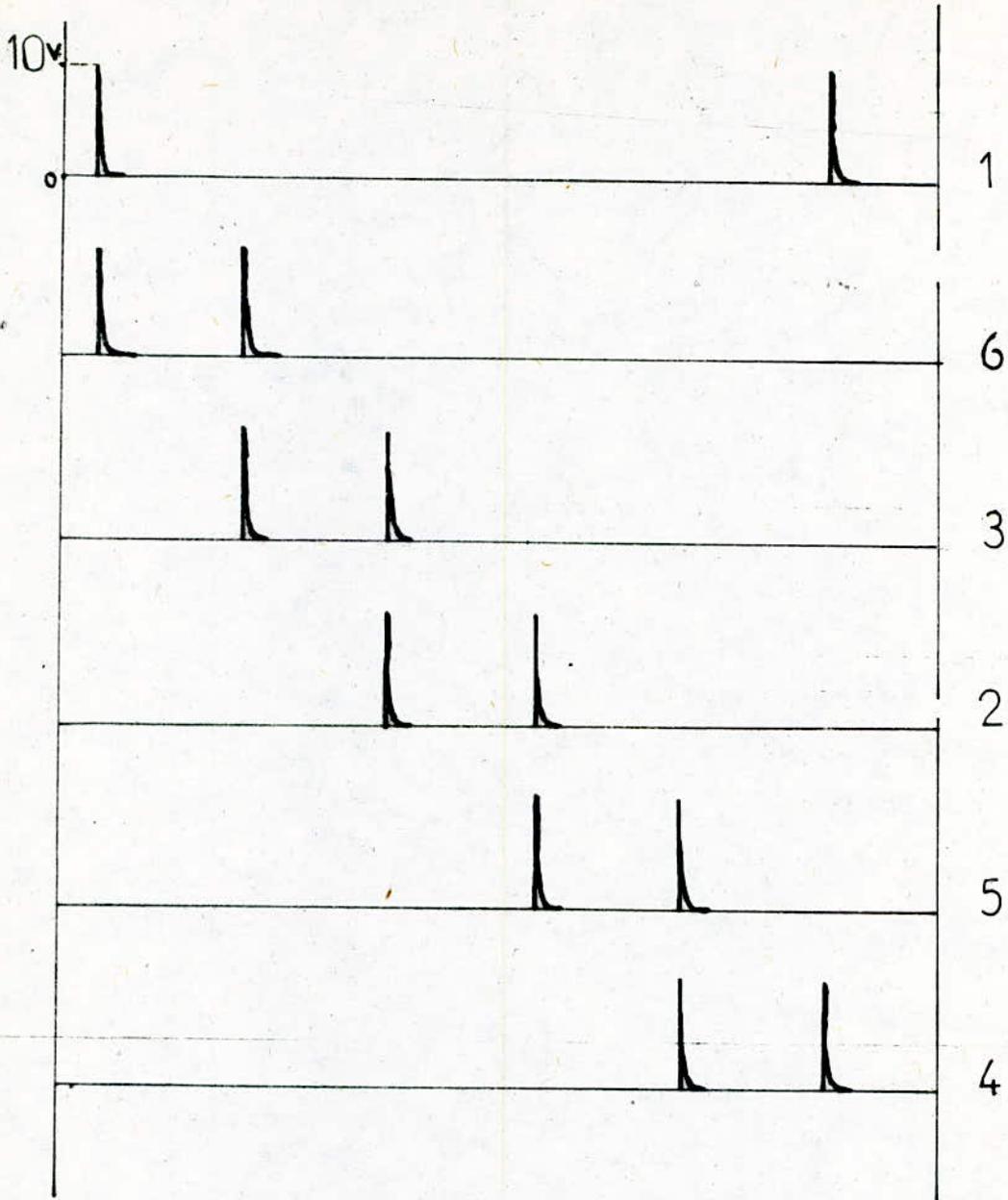


$C = 47 \mu F$

$R = 3 K\Omega$

DIFFERENTIATEUR (2)

fig-39-



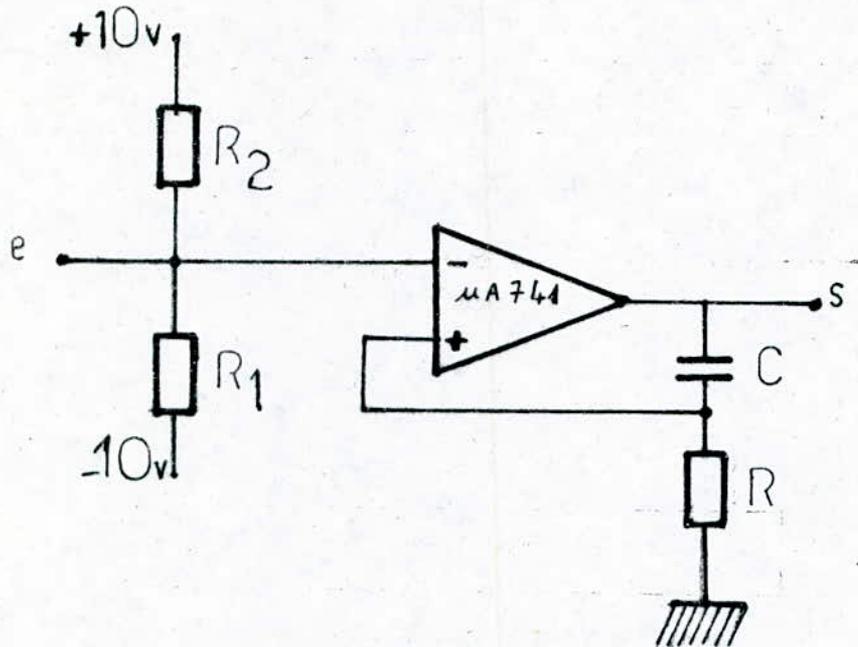
sortie du differentiateur (2)

visualisée à l'oscilloscope

fig-40-

### II.2.9 Monostable 2

Le monostable (voir fig. 42\*) recevant les signaux de la sortie du différentiateur 2 il les calibre en tension et en durée. La nécessité de ce monostable c'est d'avoir une durée suffisante de l'impulsion pour l'armage des thyristors.



$$\begin{aligned} C &= 22 \text{ nF} \\ R_1 &= 10 \text{ k}\Omega \\ R_2 &= 27 \text{ k}\Omega \\ R &= 10 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

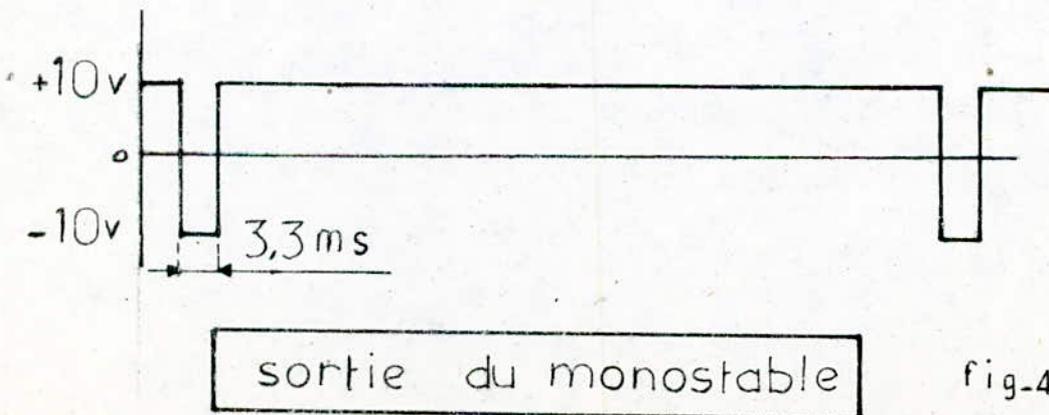
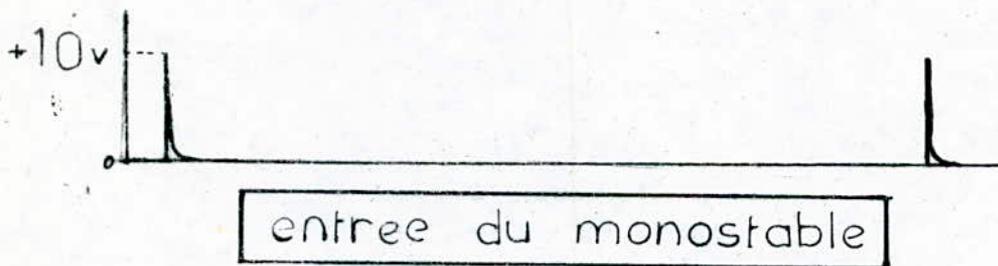
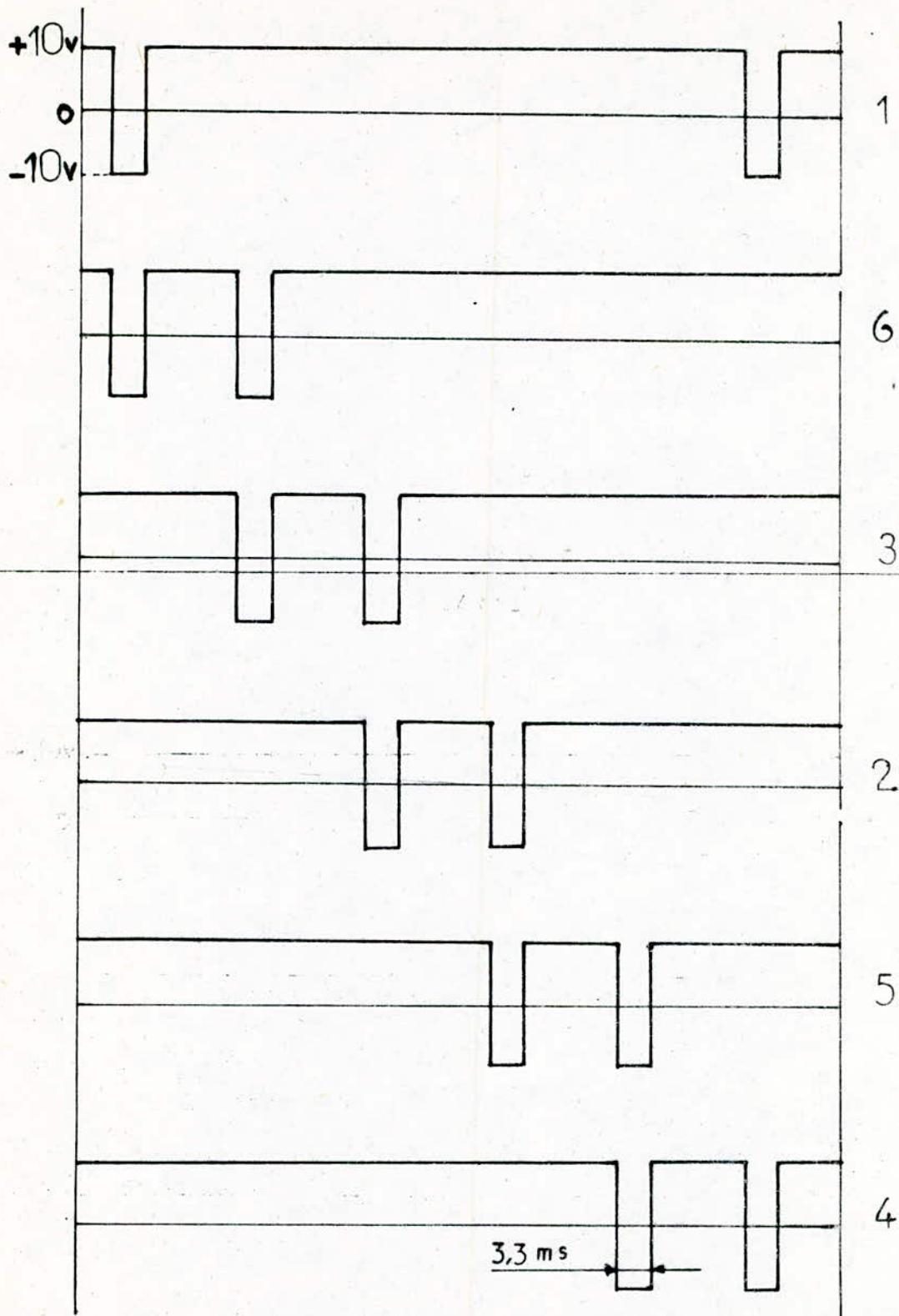


fig-41-



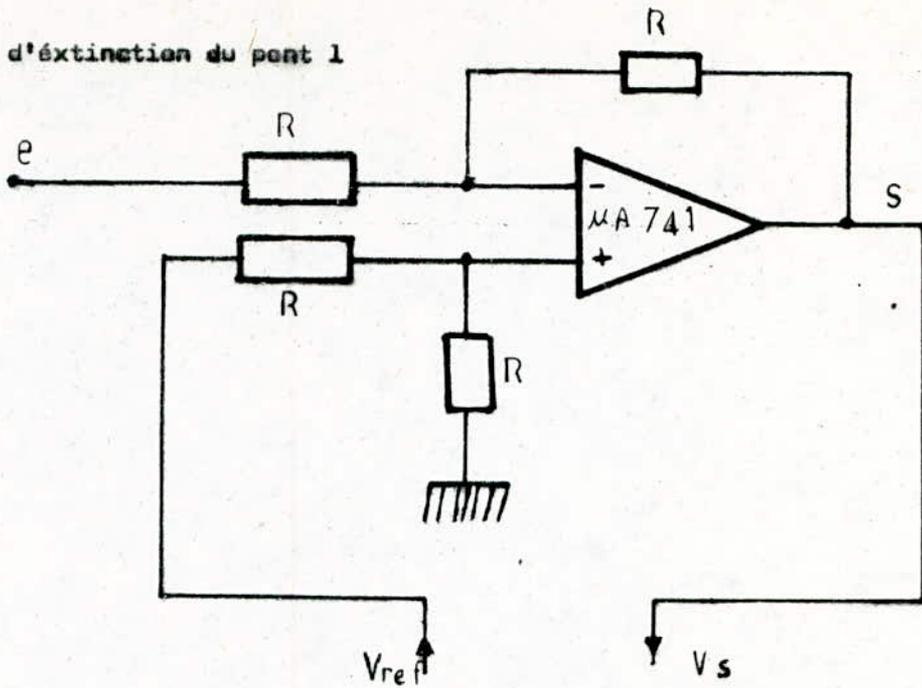


sortie du monostable (2)

visualisée a l'oscilloscope

fig -43-

II.2.10 Circuit d'extinction du pont 1



R = 120 K

vers la commande  
du pont

fig-44-

L'idée d'utiliser un circuit d'extinction vient du fait d'éteindre le courant après chaque commutation pour passer à une autre lorsqu'on avait manipulé par interrupteurs. Le circuit d'extinction (ci-dessus) a pour rôle d'éteindre le pont 1 (pont redresseur) à chaque fois qu'il reçoit l'information du morsetable 1.

L'extinction dure 33ms, et elle est nécessaire pour la commutation forcée de la machine synchrone autopilotée.

CHAPITRE III

DEMARRAGE DU MOTEUR SYNCHROME AUTOPILOTE

La partie électronique de puissance est constituée par deux convertisseurs en pont de Graetz triphasés reliés entre eux par un étage intermédiaire à courant continu (voir fig. 46).

Dans le fonctionnement en moteur, le convertisseur côté réseau fonctionne en redresseur et délivre l'énergie active au circuit intermédiaire à courant continu. Le convertisseur côté machine est piloté par celle-ci et opère en onduleur (commutateur de courant), il prend le courant continu et le commute périodiquement d'une phase du moteur à une autre, donc ce commutateur produit des courants triphasés à fréquences variables de formes rectangulaires et de durées égales à  $120^\circ$  elect.

La commutation (désamorçage des thyristors) est assurée par le circuit d'extinction.

Le démarrage du moteur se fait comme suit dans les différents intervalles (voir fig. 45):

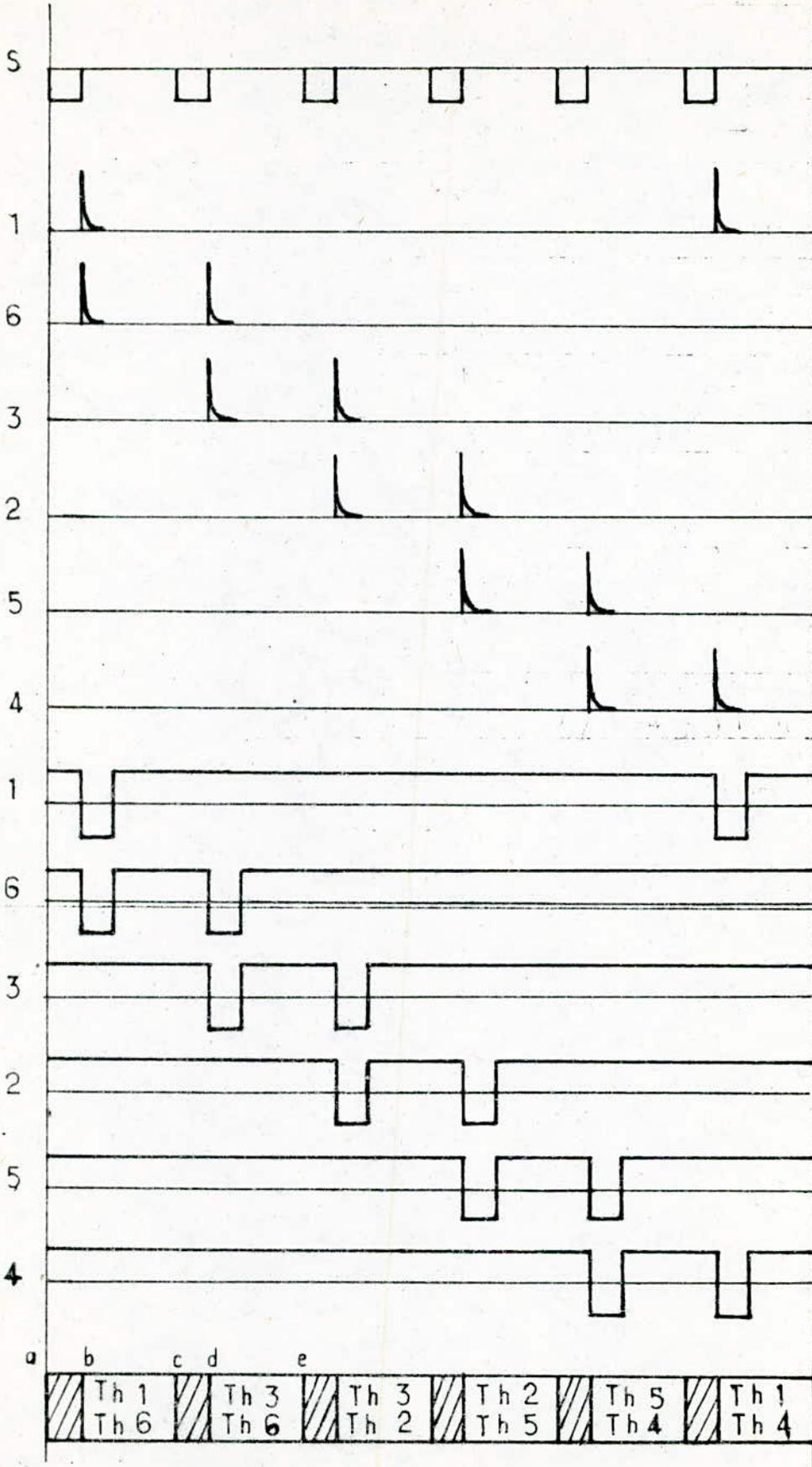
(a,b) L'extinction du pont redresseur entrainera automatiquement l'extinction du pont onduleur.

(b,c) Une fois <sup>que</sup> le signal d'extinction du premier pont disparaîtra, le fonctionnement <sup>du second</sup> se déclenchera juste après, les signaux 1 et 4 arrivent aux thyristors correspondant.

Les phases A et B étant alimentées, il se crée un champ de pôle sud-nord. Ces derniers attirent les pôles opposés du rotor.

L'opération se succédera de la même façon dans les différentes phases, ce qui nous permettra de dire que les deux champs statique et rotorique tournent dans le même sens et à la même fréquence, d'où l'autopilotage de la machine synchrone.

Le moteur a démarré à 500tr/mn.

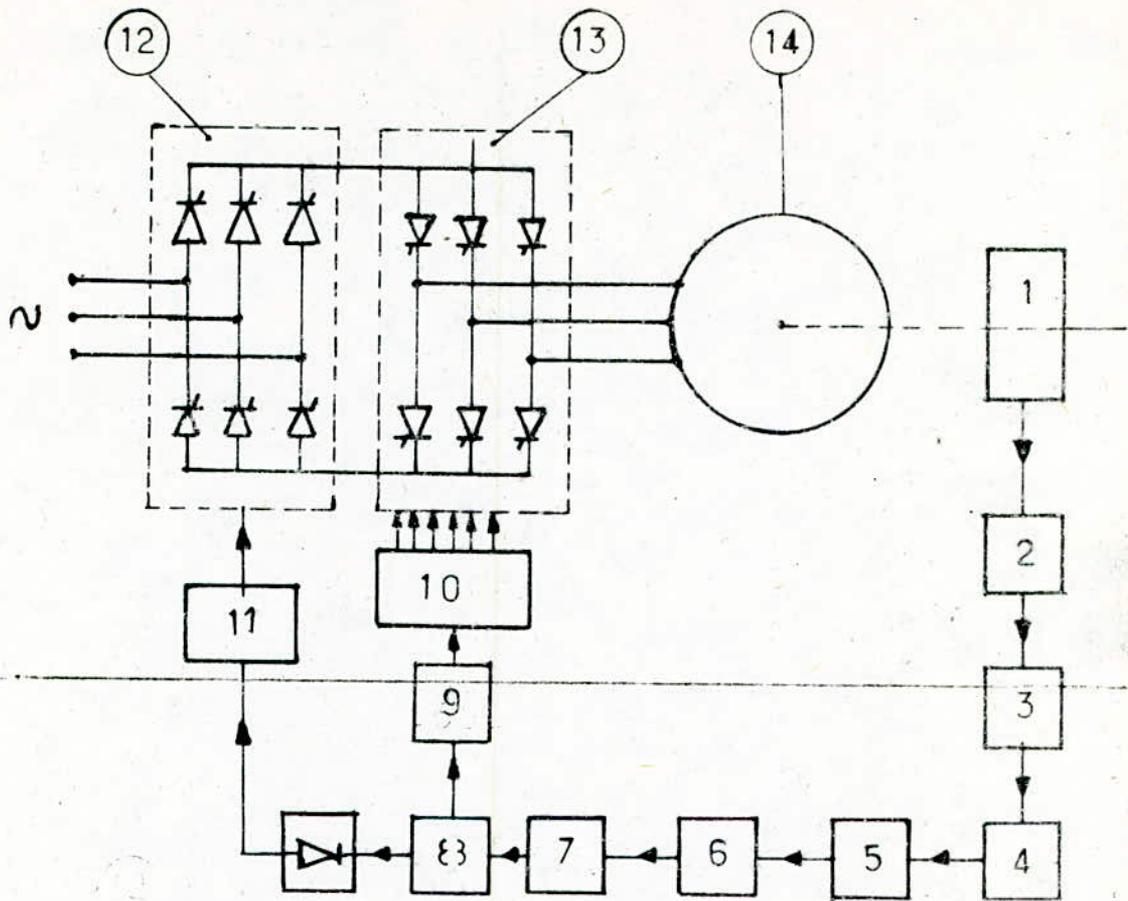


MONOSTAIBLE  
(1)

DIFFERENTIATEUR  
(2)

MONOSTAIBLE  
(2)

fig-45-



SCHEMA DU MONTAGE

- |                         |                        |
|-------------------------|------------------------|
| ① Capteur de position   | ⑧ Monostable (1)       |
| ② Comparateur (1)       | ⑨ Differentiateur (2)  |
| ③ Differentiateur (1)   | ⑩ Monostable (2)       |
| ④ Doubleur d'impulsions | ⑪ Circuit d'extinction |
| ⑤ Interface             | ⑫ Pont (1)             |
| ⑥ Aiguilleur            | ⑬ Pont (2)             |
| ⑦ Comparateur (2)       | ⑭ Machine synchrone    |

fig-46-

CONCLUSION

En étudiant la machine synchrone autopilotée on s'aperçoit qu'elle répond aux mêmes exigences de la machine à courant continu .

Vu qu'elle a la robustesse de la machine à courant alternatif (pas de collecteur) et a la souplesse de commande de la machine à courant continu. Elle remplace avantageusement les machines à courant alternatif type asynchrone ( difficulté de commande de ces machines ) .

De là apparait un intérêt quant à la poursuite des travaux sur la machine synchrone autopilotée .

BIBLIOGRAPHIE

- 1 ) L'electronique de puissance  
Guy SEGUIER & F. MILSANT (Ed: dunod )
- 2 ) Commande électronique des moteurs à courant alternatif  
R. CHAUPRADE & F. MILSANT ( Ed: EYROLLES 1980 )
- 3 ) Thèse: Etude de la commande numérique par microprocesseurs d'une machine synchrone  
autopilotée alimentée en courant  
LELHUY Hong ( I.N.P de GRENoble 1980 )
- 4 ) Thèse: Etude théorique de la machine synchrone et réalisation du commutateur  
de courant  
B.DAHMANE, E.M.BAREM, MOUMEN et NEZLI (E.N.P d'ALGER janvier 1986 )
- 5 ) Electronique par électrotechniciens  
Raymond BRAULT ( Agence Parisienne de Diffusion 1977 )
- 6 ) Principe d'electronique  
A.MALVINO ( ED: 1980 )
- 7 ) Techniques des impulsions  
L.F.DORVAL ( Ed: 1983 )