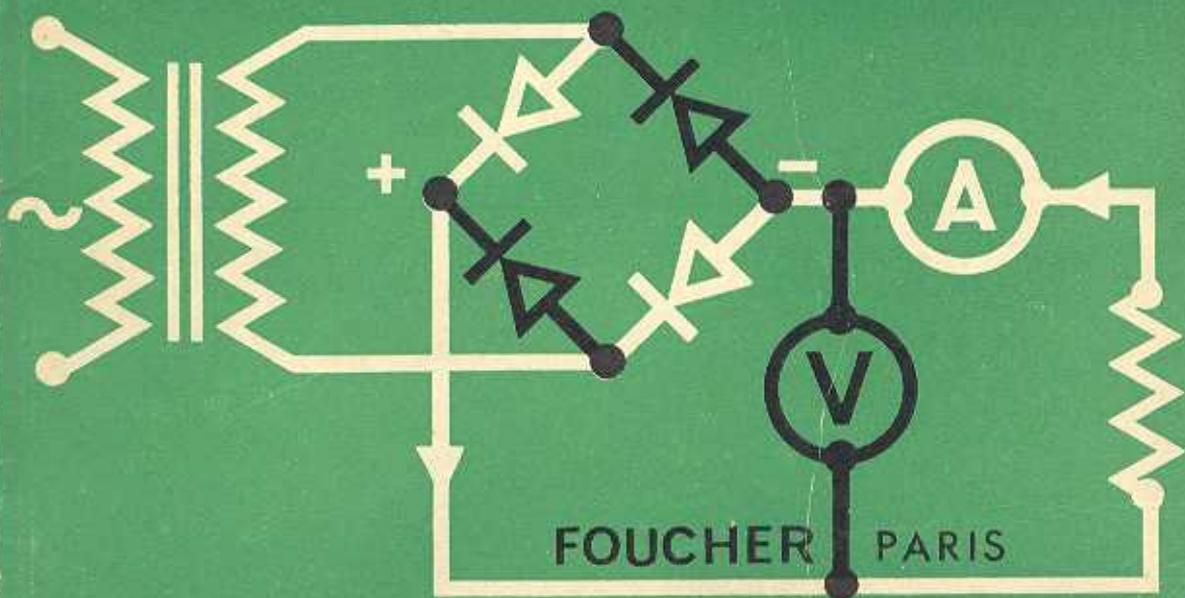


M. MOUNIC ET J. RICARD

# ELECTRONIQUE

FASCICULE I

## TRAVAUX PRATIQUES



FOUCHER PARIS

Marcel MOUNIC

Agrégé de Physique,  
Ancien Étève et Professeur à l'École Normale  
Supérieure de l'Enseignement Technique,  
Professeur au L. T. de Puteaux.

Jean RICARD

Professeur Technique Adjoint au L. T. de  
Puteaux.

# ÉLECTRONIQUE

# TRAVAUX PRATIQUES

FASCICULE I

LES ÉDITIONS FOUCHER

128, rue de Rivoli, PARIS

# SÉRIE ÉLECTRONIQUE

M. MOUNIC

## SEMICONDUCTEURS

PREMIÈRE PARTIE

Physique - Applications - Diodes - Transistors  
Thyristors

DEUXIÈME PARTIE

Transistors

TROISIÈME PARTIE

Thyristors

M. MOUNIC

Transistors - 50 problèmes avec solutions

—

Physique électronique - Tubes à vide et tubes  
à gaz

—

Redressement - Commande par grilles

MOUNIC  
MONFORT

Solutions problèmes Redressement - Commande par grilles

MOUNIC  
RICARD

Travaux pratiques d'électronique

A. PEUTEMAN

Cours de servomécanismes

MONTEILLER  
PEUTEMAN

Travaux pratiques de servomécanismes

J. PARDIES

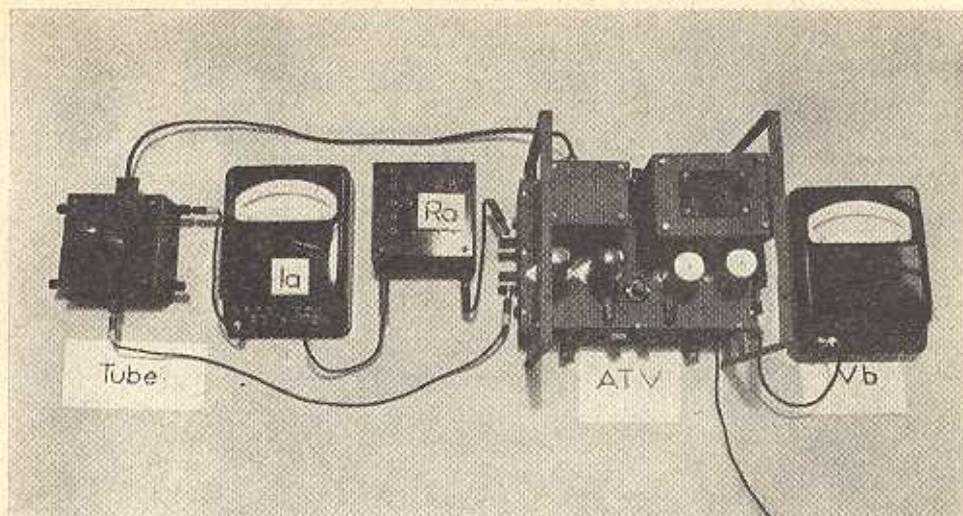
Télévision

FRAISSE  
MOUNIC

Mathématiques - Nombre, fonction

FRAISSE  
MOUNIC  
BRAEMER

Solutions problèmes Tome 1



*Cliché des auteurs.*

**Exemple de montage :** relevé des caractéristiques d'une diode.

## MATÉRIEL

Les manipulations décrites peuvent constituer le premier cycle de travaux de laboratoire pour tous les débutants en électronique : nous avons recherché systématiquement la simplification des montages et l'utilisation d'un matériel industriel courant.

Les montages sont réalisés sur table (photo ci-dessus) ou avec du matériel embrochable.

### A. — Sources de courant

On peut employer des sources assez puissantes pour alimenter plusieurs postes de manipulations ; on obtient alors les tensions variables à l'aide de potentiomètres. Les inconvénients sont évidents : montage de nombreux potentiomètres volumineux, risque de courts-circuits par inversion des polarités d'un poste par rapport à un autre, etc.

L'utilisation pour chaque poste d'une alimentation à tension variable évite ces inconvénients. Les tensions de quelques volts avec un débit nul ou faible s'obtiennent simplement (et sans ondulation) à l'aide de piles.

## B. — Appareils de mesure

Il est nécessaire de disposer de milliampèremètres à très faible chute de tension et de voltmètres à très grande résistance, le même appareil ne présentant pas en général ces deux caractéristiques. Nous avons effectué les essais avec deux types.

	Chute en ampèremètre.	Résistance en voltmètre.
1 <sup>er</sup> type .....	0,130 à 0,207 V	333 $\Omega$ /V
2 <sup>e</sup> type .....	0,1 à 0,3 V	10 000 $\Omega$ /V

Le premier type est généralement utilisé en ampèremètre et l'autre en voltmètre. D'autre part, on dispose ainsi d'une gamme complète de calibres.

## C. — Éléments de circuits

- Matériel A. O. I. P. « Assoprécis ». Matériel indispensable lorsque la précision est nécessaire :
  - Résistances : R. A. 0 à R. A. 6 ;
  - Condensateurs : C. 1 à C. 6 ;
  - Bobines d'inductance : L 1 à L 6 ;
- Condensateurs au papier de 1, 2, 5, 10  $\mu$ F et résistances au carbone de différentes valeurs.
- Résistances bobinées : 5 k $\Omega$ , 20 W.
  - Potentiomètres bobinés : 10 k $\Omega$ , 4 W.
- Accessoires divers de raccordement.
- Condensateurs électrochimiques : 100  $\mu$ F ; 150 V ; 1 000  $\mu$ F ; 50 V...

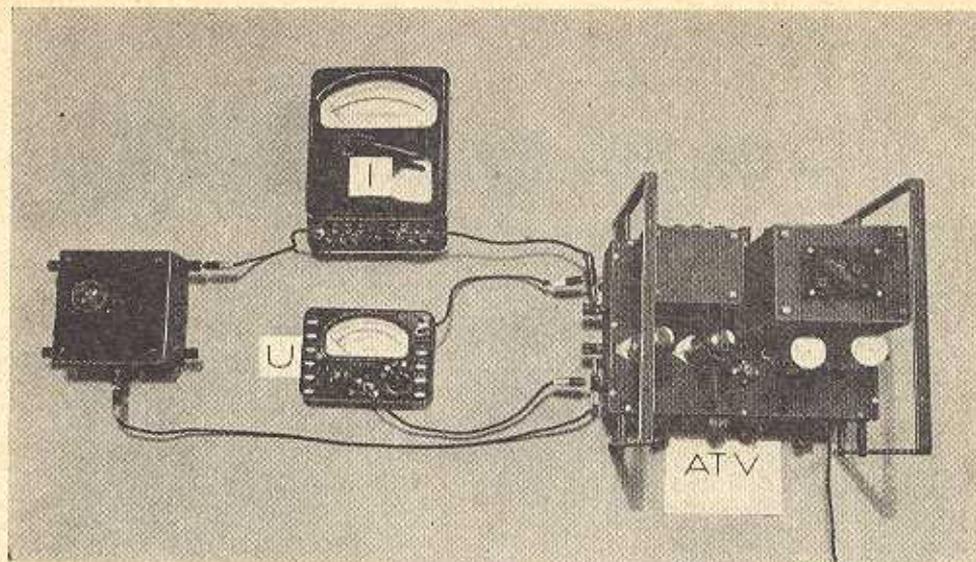
## D. — Tubes électroniques et éléments à semi-conducteurs

Ils sont choisis dans les séries courantes. Ils sont montés sur châssis ; la disposition des bornes correspondant aux différentes électrodes est identique pour tous les tubes afin d'éviter les erreurs et les hésitations (1).

Pour les caractéristiques complètes des tubes utilisés, se reporter aux notices des constructeurs ou aux lexiques spécialisés.

Les caractéristiques publiées sont des moyennes ; la dispersion des caractéristiques explique les différences constatées pour des mesures sur des tubes différents ; la dispersion est plus grande pour les semi-conducteurs que pour les tubes.

(1) La Société Industrielle des Compteurs fabrique de tels châssis et l'alimentation à tension variable que nous utilisons. S. I. C., 70, rue Saint-Blaise, Paris (20<sup>e</sup>).



*Cliché des auteurs.*

**Montage pour le relevé d'une caractéristique courant-tension.**

## I. — CARACTÉRISTIQUES COURANT-TENSION D'ÉLÉMENTS NON LINÉAIRES

Nous commençons par les montages les plus simples, afin d'apprendre à utiliser les alimentations.

Un élément de circuit est dit non linéaire si le courant n'est pas une fonction linéaire de la tension appliquée à cet élément.

En d'autres termes, la caractéristique courant-tension d'un élément non linéaire n'est pas une droite.

*Éléments étudiés :* lampe à filament de carbone (semi-conducteur), résistance non linéaire (R. N. L.), tube stabilisateur de tension.

## A. — Lampe à filament de carbone

Lampe utilisée : 15 W, 220-230 V.

### I. — MONTAGE (fig. 1)

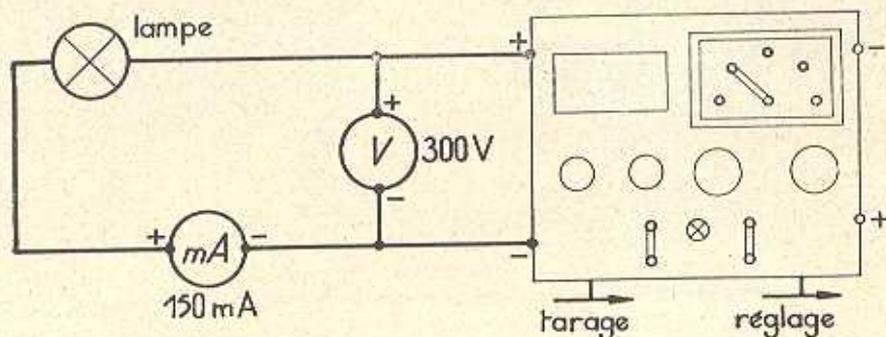


FIG. 1. — Montage pour le relevé des caractéristiques  $I(U)$  et  $R(U)$ .

### 2. — MODE OPÉRATOIRE

- a) **Tarage de l'alimentation.** — Tourner le bouton de réglage à fond dans le sens des tensions croissantes. Obtenir avec le bouton de tarage 240 volts aux bornes de la lampe et bloquer ce bouton.

Toute la variation 0 à 240 volts s'obtient maintenant par la manœuvre du réglage et il est impossible de dépasser 240 volts. Cette disposition assure la sécurité de la lampe étudiée.

- b) **Détermination des calibres à utiliser pour les appareils de mesure :**  
 — Voltmètre : calibre 300 volts ;  
 — Ampèremètre. Pour 240 volts, on constate 90 milliampères environ : utiliser le calibre 150 mA avec une échelle de 150 divisions, la lecture sera donc directe.

- c) **Mesures.** — Une dizaine de points échelonnés suffisent, la courbe ne présentant pas de régions de courbures très différentes.

Si l'on choisit des valeurs rondes du courant  $I$ , manœuvrer le réglage de l'alimentation jusqu'à obtenir cette valeur, puis faire la lecture au voltmètre. Remplir un tableau et tracer la caractéristique  $I(U)$ .

### 3. — TABLEAU DES MESURES

A titre d'exemple, nous donnons les lectures qui doivent être relevées sur le cahier de laboratoire lorsque la lecture n'est pas directe ; par la suite, nous n'indiquerons que les valeurs en volts, milliampères...

L'échelle des appareils utilisés comporte 150 divisions.

$I$ mA		0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	85	90
$U$ calibre 300 V	Lecture.	0	10,2	19	34,5	48	62	74,5	86,5	97,5	108	113,5	119
	Volts ..	0	20,4	38	69	96	124	149	173	195	216	227	238
$R$ ohms			4 100	3 800	3 450	3 200	3 100	2 980	2 880	2 780	2 700	2 675	2 640

#### 4. — CARACTÉRISTIQUE $I(U)$ DE LA LAMPE A FILAMENT DE CARBONE (fig. 2)

Choix des échelles graphiques. Abscisses : 100 mm = 200 volts, ordonnées : 100 mm = 100 mA, par exemple si l'on emploie du papier millimétré. Voir figure 2, si l'on emploie un papier quadrillé. Ne pas oublier de graduer les axes.

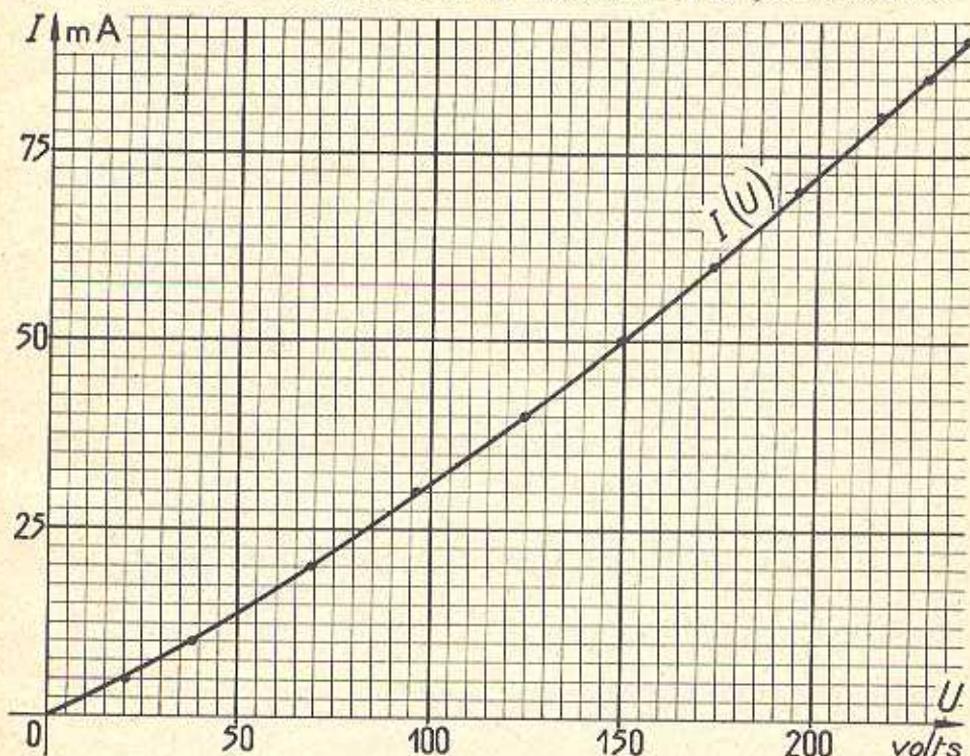


FIG. 2. — Caractéristique courant-tension de la lampe à filament de carbone.

Calculons la résistance  $R$  du filament de carbone pour chaque tension appliquée (ajouter une ligne à la suite du tableau des mesures) : nous constatons que cette résistance diminue considérablement lorsque la température du filament s'élève (fig. 3, p. 10). C'est l'inverse qui se produit pour les métaux ; le carbone est un semi-conducteur comme le germanium, le silicium, les oxydes et sulfures métalliques...

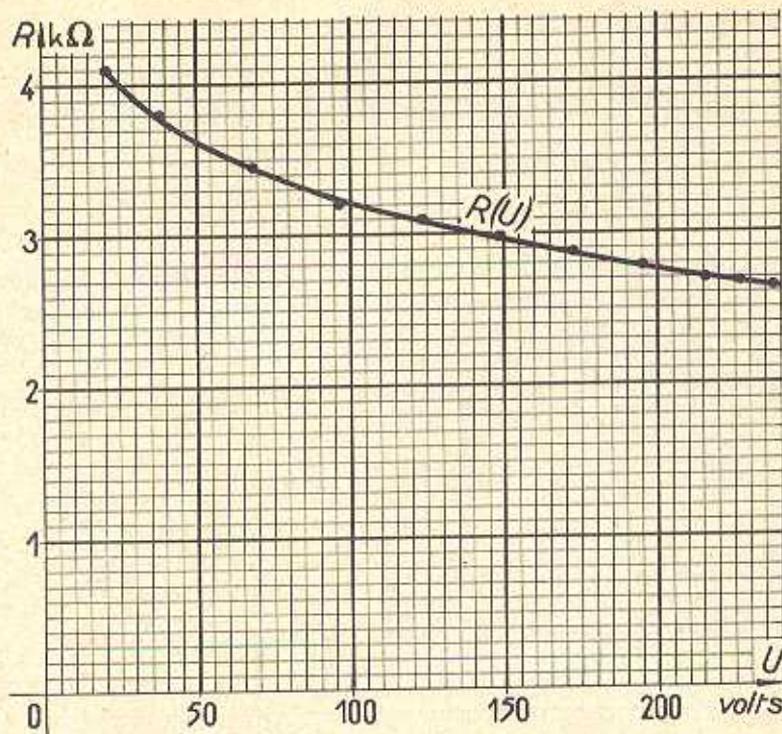


FIG. 3. — La résistance d'une lampe à filament de carbone est une fonction décroissante de la tension appliquée : le carbone est un semi-conducteur. Le coefficient de température de la résistance est donc négatif.

## B. — Résistance non linéaire

### 1. — R. N. L. UTILISÉE

V. F. 3 de caractéristiques : 3 watts, 48 volts, 18-36 milliampères. (Le Carbone-Lorraine).

### 2. — MODE OPÉRATOIRE

Nous nous proposons de tracer la caractéristique sans dépasser 40 mA. Disposons le tarage au minimum et le réglage au maximum ; tournons le bouton de tarage jusqu'à obtenir 40 mA et bloquons-le. Le réglage permet alors d'obtenir toutes les intensités entre 0 et 40 mA et celles-là seulement. Pour une dizaine de valeurs de l'intensité, noter la tension correspondante, puis calculer la résistance.

## 3. — TABLEAU DES MESURES

$I$ (mA)	0	2,5	5	10	15	20	25	30	35	40
$U$ (volts)	0	20	27	34	38,5	42	45	47,5	50	52
$R$ (k $\Omega$ )		8,0	5,40	3,40	2,56	2,10	1,80	1,58	1,43	1,30

## 4. — COURBES REPRÉSENTATIVES (fig. 4 et 5)

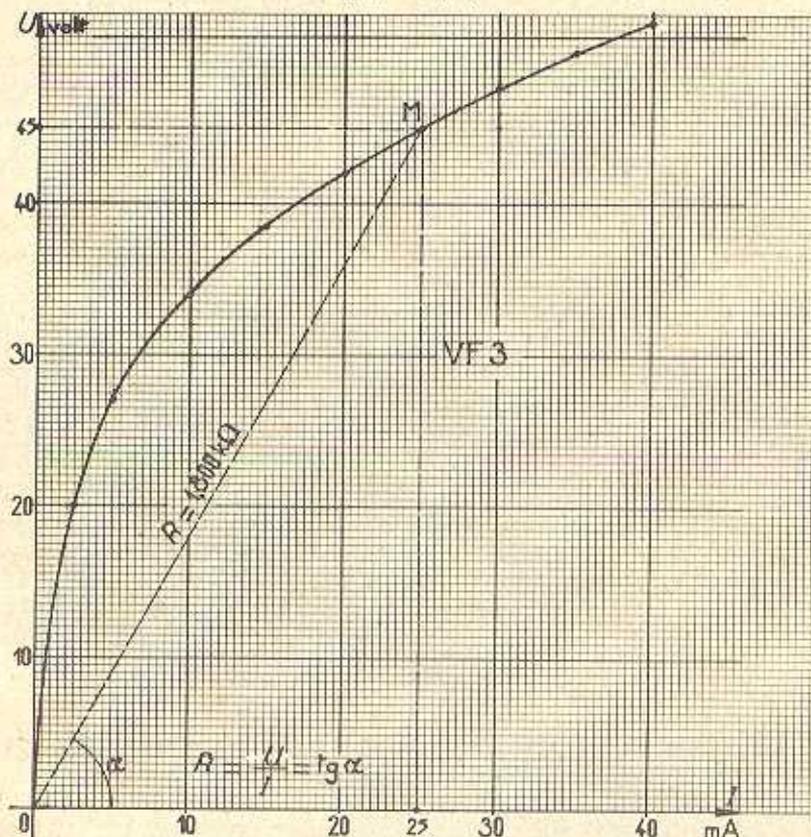


FIG. 4. — Caractéristique courant-tension de la résistance non linéaire.

Le courant croît beaucoup plus rapidement que la tension :  $I = kU^n$   
 $n$  et  $k$  : constantes dépendant de la R. N. L. utilisée.

Cette résistance est alimentée par une tension continue de 45 V : quel est le courant ? Quelle est la résistance équivalente  $R$  ?

(Réponses :  $I = 25$  mA ;  $R = 1,8$  k $\Omega$ .)

On ajoute en série une f. é. m.  $e = 3 \sin \omega t$  : quelle est la résistance pour l'alternatif — ou résistance différentielle  $R_d$  — autour du point de repos  $M$  ?

(Réponse :  $R_d = \frac{48 - 42}{30,5 - 20} = 0,57$  k $\Omega$  <  $R$ .)

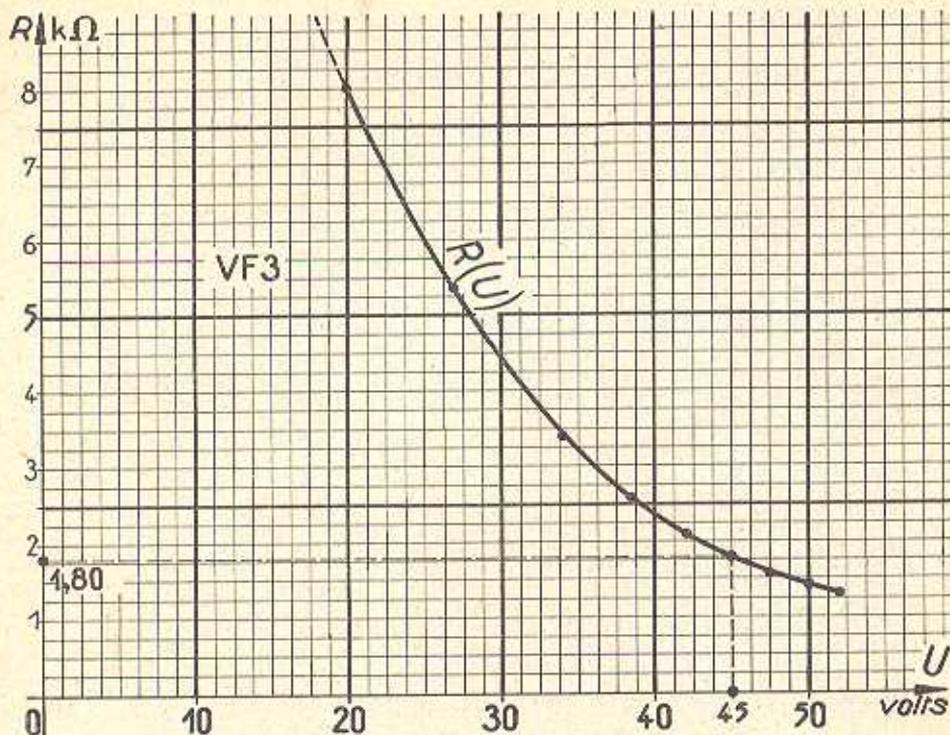


FIG. 5. — La résistance de la R. N. L. diminue lorsqu'on augmente la tension appliquée.

## C. — Observation des courants périodiques

### 1. — POUR OBSERVER LA FORME D'UN COURANT PÉRIODIQUE, BRANCHER L'OSCILLOGRAPHE COMME UN VOLTMÈTRE AUX BORNES D'UNE RÉSISTANCE PURE PARCOURUE PAR LE COURANT

L'oscillographe utilisé avec son balayage donne la courbe  $u(t)$  représentant la variation en fonction du temps de la tension  $u$  appliquée aux plaques déviatrices.

Pour observer la forme d'un courant périodique  $i$ , on applique à l'oscillographe une tension  $u = Ri$  proportionnelle à  $i$ . Si le circuit ne comporte pas de résistance pure,  $R$ , on en ajoute une. Cette introduction peut se faire sans modifier l'état du circuit,  $R$  pouvant être choisie très petite par rapport aux impédances du circuit; en effet, l'amplificateur de l'oscillographe permettra d'agrandir la courbe obtenue sur l'écran.

2. — EXEMPLE : FORME DU COURANT DANS UNE RÉSISTANCE NON LINÉAIRE  
(fig. 7 et 8)

R. N. L. utilisée : V. F. 3, 12 volts, 33-66 mA.

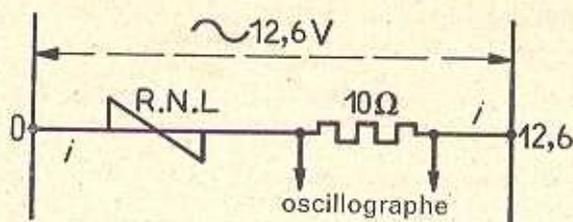


FIG. 6. — La tension appliquée à l'oscilloscope est proportionnelle au courant à étudier.

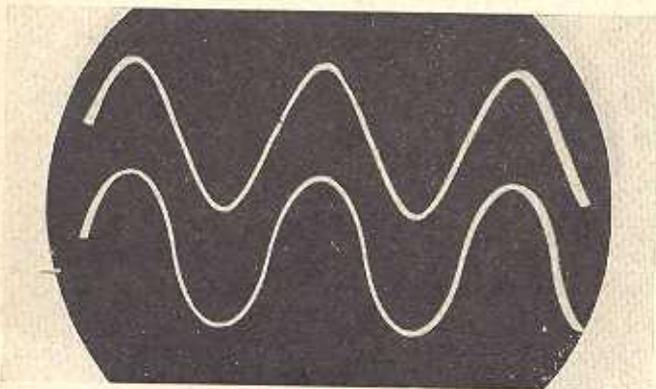


FIG. 7. — Une tension sinusoïdale alimente une résistance non linéaire et une résistance (linéaire) très supérieure  $R = 5\text{ k}\Omega$ .

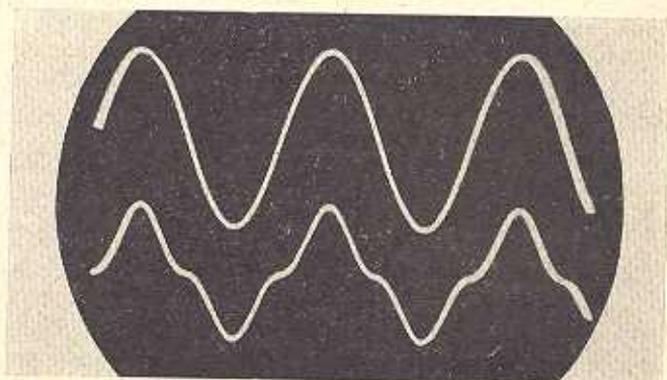
En haut : la tension aux bornes de  $R$ , image du courant, est sinusoïdale.

En bas : la tension aux bornes de la R. N. L. n'est pas sinusoïdale.

FIG. 8. — Une tension sinusoïdale alimente une résistance non linéaire et une résistance (linéaire) très inférieure  $R = 10\Omega$ .

En haut : la tension d'alimentation.

En bas : la tension aux bornes de  $R$ , image du courant, n'est pas sinusoïdale.



## TRAVAIL A EFFECTUER

1. Réaliser les montages et exécuter les mesures ci-dessus avec les mêmes éléments ou avec des éléments de caractéristiques voisines ; par exemple :
  - Lampe à filament de carbone 220 V, puissance maximale 20 W ;
  - Résistance non linéaire V. F. 3 : 12 volts, 33-66 mA.
2. Relever et comparer les caractéristiques  $I(U)$  d'une lampe à filament de carbone et d'une lampe à filament de tungstène de même puissance.
3. *Exercice.* — Déterminer graphiquement, à l'aide de la figure 4, le courant débité par une source de f. é. m. 40 volts, de résistance interne négligeable en série avec une résistance  $R = 1 \text{ k}\Omega$  et la R. N. L.



## II. — DIODE : CARACTÉRISTIQUES

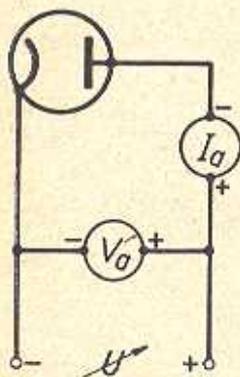


FIG. 1. — Principe.

Diode étudiée : 6 V 4-EZ 80.

### A. — Caractéristique statique

La caractéristique statique d'une diode est la courbe  $I_a(V_a)$  représentant la variation du courant en fonction de la tension anodique (continue).

#### I. — MONTAGE (fig. 1 et 2)

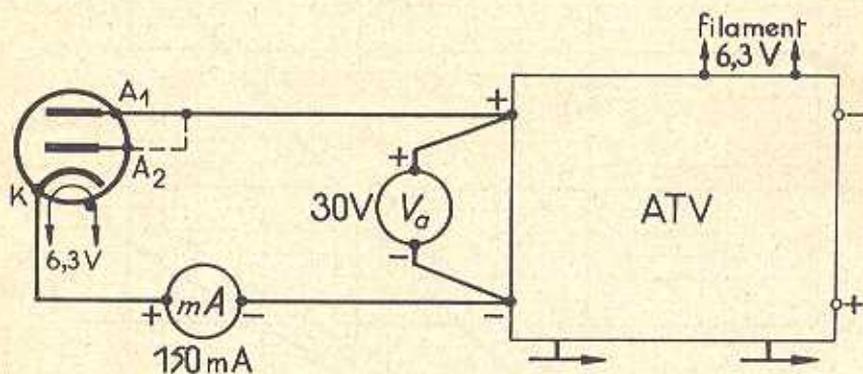


FIG. 2. — Réalisation.

#### 2. — MODE OPÉRATOIRE

Tarer l'alimentation, le réglage étant au maximum, de façon à obtenir le courant ou la tension à ne pas dépasser,  $V_a = 15$  volts dans le cas présent.

Bloquer le tarage ; la manœuvre du réglage seul permet de faire varier  $V_a$  de 0 à 15 volts sans aucune possibilité de fausse manœuvre.

Il est plus facile, pour des débutants, de faire varier la tension anodique  $V_a$  de volt en volt que de rechercher des valeurs entières de  $I_a$ .

## 3. — TABLEAU DES MESURES

Pour une seule diode D 1

$V_a$ (volts)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$I_a$ (mA)	0,4	1,8	3,6	6,0	8,5	11,5	14,8	18,3	22,4	26,5	30,5	34,6	38,8	43	47,2	51,5

Pour les deux diodes D 1 et D 2 en parallèle (réunir à l'anode utilisée l'anode qui ne l'était pas) :

$V_a$ (volts)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$I_a$ (mA)	0,9	3,6	7,3	11,8	16,8	22	28,3	34,8	41,8	49,2	56,7	64,2	72	80	88	96

Le courant n'est pas le double de celui de D 1, car D 2 donne un courant un peu plus faible que D 1 au-dessus de 4 volts (ce que vérifie l'étude de D 2 seule).

## 4. — CARACTÉRISTIQUES STATIQUES (fig. 3)

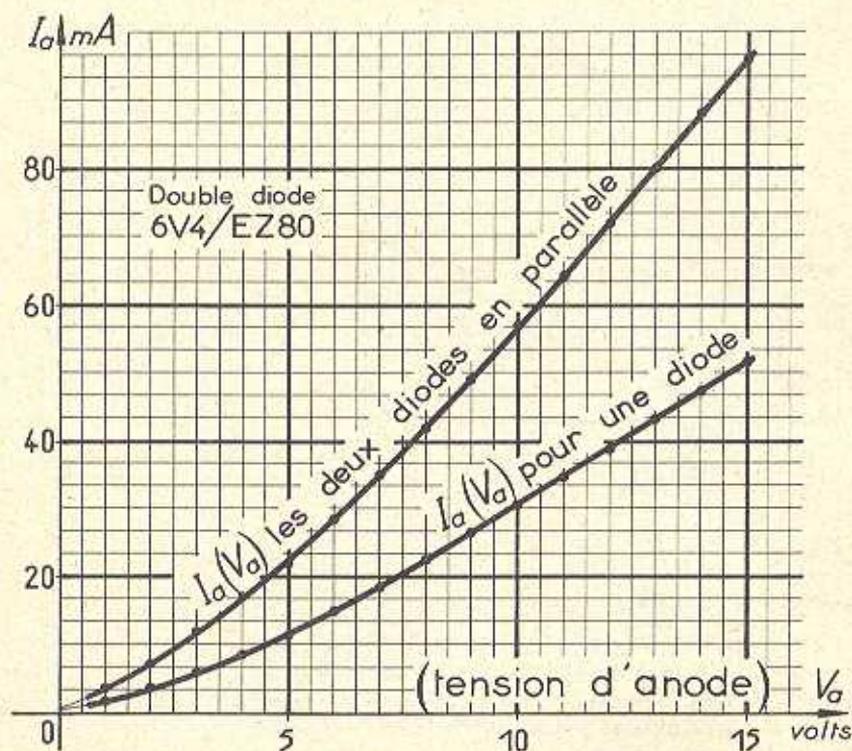


FIG. 3. — Caractéristiques statiques d'une double diode à vide.

## B. — Résistance interne

### I. — EXEMPLE de CALCUL

Rappelons que pour un point de fonctionnement donné ( $V_a$  et  $I_a$  donnés) :

$$R_i = \frac{\Delta V_a}{\Delta I_a}$$

$\Delta V_a$  : accroissement de tension anodique.

$\Delta I_a$  : accroissement correspondant du courant.

Pour la diode étudiée, lorsque  $V_a$  passe de 10 à 12 volts ( $\Delta V_a = 2$  volts),  $I_a$  passe de 30,5 à 38,8 mA ( $\Delta I_a = 8,3$  mA =  $8,3 \times 10^{-3}$  A) ; d'où :

$$R_i = \frac{2}{8,3 \times 10^{-3}} = \frac{2000}{8,3} = 241 \text{ ohms.}$$

Cette valeur de  $R_i$  correspond au courant d'anode :

$$\frac{30,5 + 38,8}{2} = 34,6 \text{ mA.}$$

### 2. — VARIATION DE LA RÉSISTANCE INTERNE EN FONCTION DU COURANT

En répétant le calcul précédent, de deux volts en deux volts, pour le premier tableau du paragraphe 3, on trouve pour une diode :

$V_a$ (volts)	0	2	4	6	8	10	12	14
$\Delta V_a$		2	2	2	2	2	2	2
$I_a$ (mA)	0,4	3,6	8,5	14,8	22,4	30,5	38,8	47,2
$\Delta I_a$		3,2	4,9	6,3	7,6	8,1	8,3	8,4
$R_i$ ( $\Omega$ )		625	408	318	263	247	241	238
Pour $I_a$		2	6	11,6	18,6	26,5	34,6	43

Et pour les deux diodes en parallèle :

$V_a$ (volt)	0	2	4	6	8	10	12	14
$\Delta V_a$		2	2	2	2	2	2	2
$I_a$ (mA)	0,9	7,3	16,8	28,3	41,8	56,7	72	88
$\Delta I_a$		6,4	9,5	11,5	13,5	14,9	15,3	16
$R_i$ ( $\Omega$ )		312	210	174	148	134	131	125
Pour $I_a$		4	12	23	35	49	64	80

On utilise les deux diodes en parallèle pour pouvoir redresser un courant plus grand ou pour obtenir une résistance interne plus faible qu'avec une seule diode.

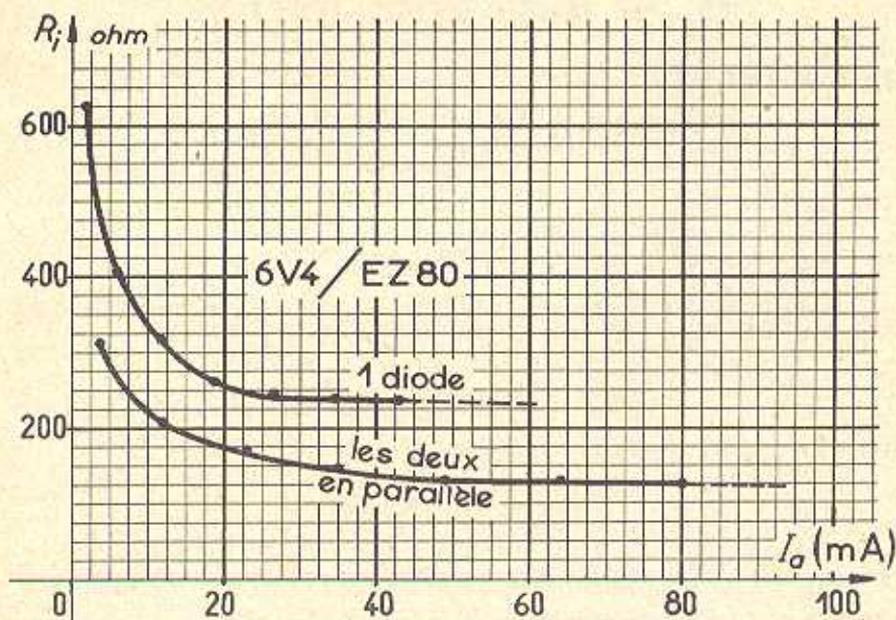
3. — COURBES  $R_i(I_a)$  (fig. 4)

FIG. 4. — Diminution de la résistance interne lorsque le courant anodique augmente.

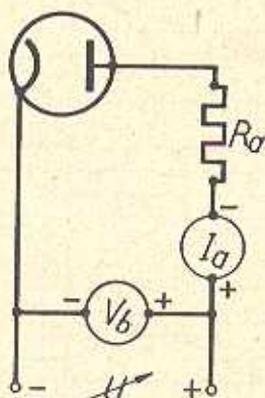
## C. — Caractéristiques en charge

Comme la caractéristique statique, elles se tracent en régime continu et pour le chauffage normal de la diode.

Nous prendrons pour charge une résistance pure  $R_a$ . La caractéristique en charge pour une charge  $R_a$  donnée est la courbe  $I_a(V_b)$  représentant la variation du courant  $I_a$  en fonction de la tension d'alimentation  $V_b$ .

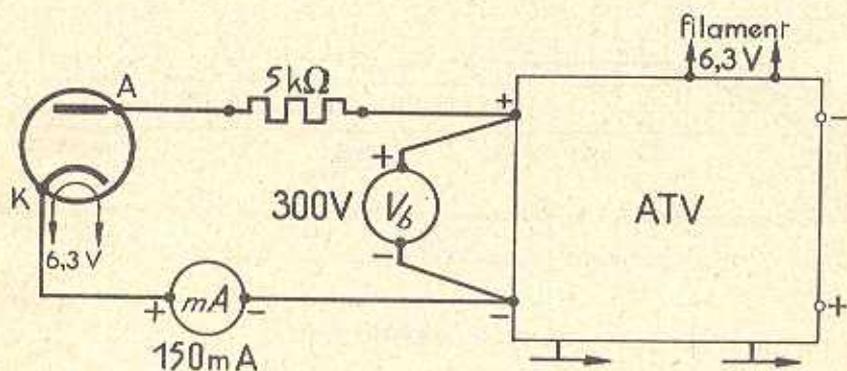
## 1. — MONTAGE (fig. 5 et 6)

On utilise une seule anode.



← FIG. 5. — Principe.

FIG. 6. — Montage.



## 2. — TABLEAU DES MESURES

	$V_b$ (volts)	0	20	40	60	80	100	150	200	250	300
$R_a = 5\,000\ \Omega$	$I_a$ (mA)	0	3	6,8	10,2	14,2	17,5	27	36,5	46	55
$R_a = 10\,000\ \Omega$	$I_a$ (mA)	0	1,6	3,5	5,2	7	9	13,8	18,5	23,5	28,5

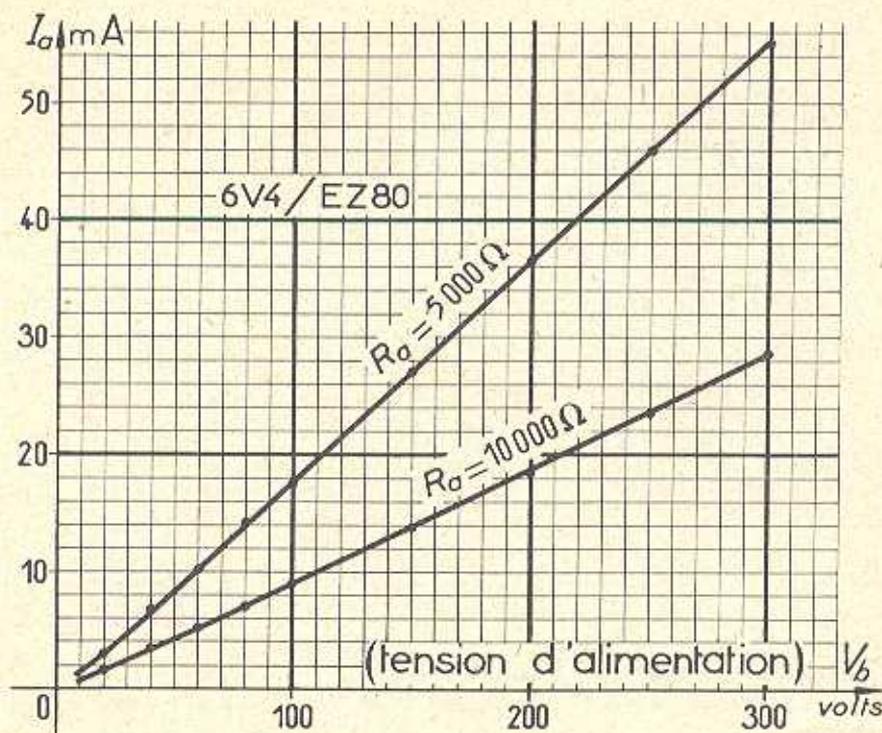
3. — COURBES  $I_a (V_b)$  (fig. 7)

Fig. 7. — La résistance du tube est très inférieure à celle de la charge et n'intervient pratiquement qu'aux faibles courants.

Expliquer pourquoi en se reportant à la figure 4.

## TRAVAIL A EFFECTUER

Tracer les mêmes caractéristiques avec une valve GZ 32.



### III. — REDRESSEMENT SIMPLE ALTERNANCE

*Diode utilisée.* — EZ 80, dont on réunit les deux anodes.  
Chauffage indirect :  $V_f = 6,3$  volts.

#### A. — Fonctionnement

##### I. — MONTAGE (fig. 1)

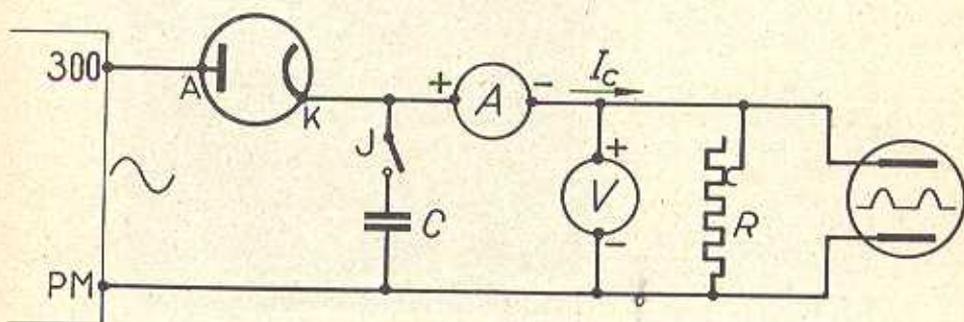


FIG. 1.

La diode est montée en série avec la charge  $R$  et l'ampèremètre magnétoélectrique ; s'assurer du passage du courant. Le voltmètre, l'oscillographe et le condensateur sont ensuite montés en dérivation sur la charge.

##### 2. — REDRESSEMENT SANS FILTRAGE (fig. 2 a)

Ouvrir l'interrupteur  $J$ . Prendre  $R = 5 \text{ k}\Omega$ . Relever l'oscillogramme à la chambre claire. On constate que la tension redressée n'existe que pendant la moitié du temps ; si l'on néglige les chutes dans la soupape et dans la source, on peut dire que la tension redressée est constituée par une alternance de la tension d'alimentation. La tension redressée instantanée  $u_c$  est la somme de la tension redressée moyenne  $U_c$  et d'une tension alternative  $u_o$  appelée ondulation.

### 3. — FILTRAGE PAR CONDENSATEUR

Fermer J sur un condensateur  $C = 2 \text{ F}$  et relever l'oscillogramme de la tension redressée (fig. 2).

Nous constatons que :

— La tension instantanée ne s'annule plus.

— L'ondulation est plus faible que sans filtrage.

— La tension moyenne redressée  $U_c$  est plus grande, ainsi que le courant moyen redressé  $I_c = \frac{U_c}{R}$ .

Avec  $C = 10 \mu\text{F}$  l'ondulation diminue encore (fig. 2);  $U_c$  et  $I_c$  augmentent.

Ces faits s'expliquent par la charge et la décharge partielle du condensateur à chaque période :

— il se charge au moment des fortes valeurs de la tension d'alimentation ;

— il se décharge dans  $R$  lorsque la tension d'alimentation devient inférieure à la tension aux bornes du condensateur.

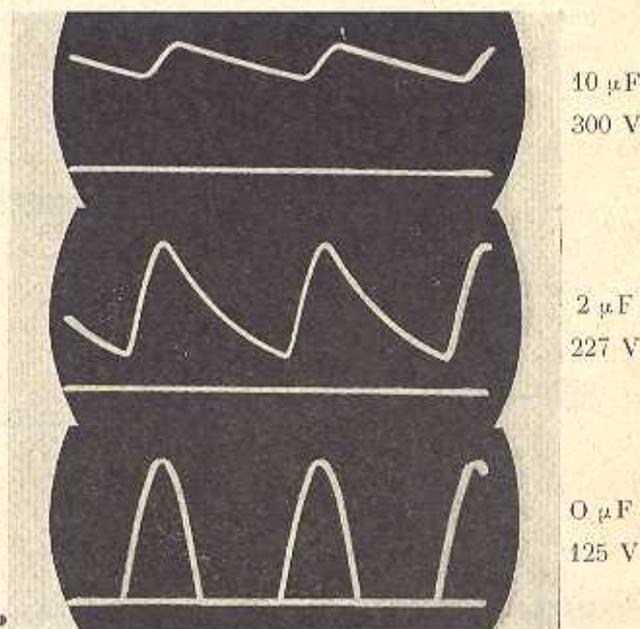


FIG. 2. — Résistance de charge  $R = 5 \text{ k}\Omega$ .

De bas en haut :

a : Redressement sans filtrage.

b : Filtrage avec  $RC = \frac{T}{2}$ .

c : avec  $RC = 2,5 T$ .

$T = 20$  millisecondes : période de la tension d'alimentation.

**Un condensateur de filtrage :**

1<sup>o</sup> diminue considérablement l'ondulation ;

2<sup>o</sup> augmente la tension et le courant redressés.

#### TRAVAIL A EFFECTUER

Si l'on fait varier  $R$ , on constate que l'ondulation croît avec le débit  $I_c$  et lui est à peu près proportionnelle (au-dessus d'une certaine valeur de  $C$  et de  $I_c$ ).

## B. — Caractéristique en charge du redresseur

C'est la courbe  $U_c(I_c)$  de la tension redressée en fonction du débit.

La charge variable  $R$  peut être un rhéostat. Nous emploierons une alimentation variable ; en effet, si l'on utilise  $U_c$  comme tension anodique des triodes de cette alimentation, le potentiel de grille (tarage et réglage) commande le courant avec une grande souplesse.

L'énergie est dissipée sur les anodes (voir ch. XI, fig. 5, p. 76).

### I. — $C = 0$ (fig. 3)

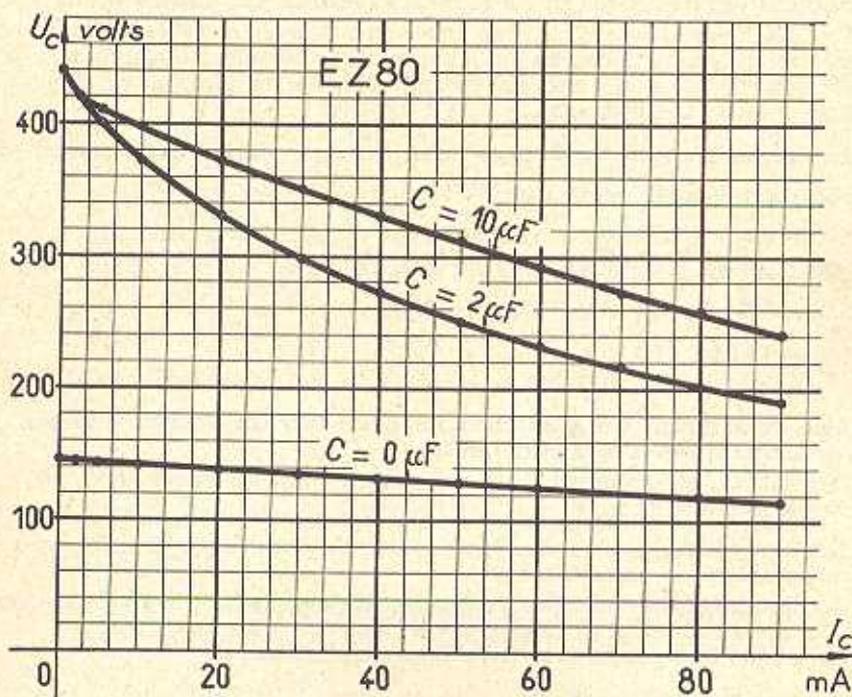


FIG. 3. — Caractéristiques en charge  $U_c(I_c)$  d'un redresseur monophasé simple alternance sans filtrage et avec filtrage par condensateur.

Expliquer les différences de tensions observées pour  $I_c = 0$ .

$I_c$ (mA)	0	2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$U$ (volts)	145	144	142,7	141	138	134	131	128	124,2	121	118	114

2. —  $C = 2 \mu\text{F}$  (fig. 3)

$I_c$ (mA)	0	2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$U_c$ (volts)	440	420	401	371,5	330	298	271	250	231	217	202	190

3. —  $C = 10 \mu\text{F}$  (fig. 3)

$I_c$ (mA)	0	2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$U_c$ (volts)	440	420	410	398	371	350	330	311	291	272	259	241

## 4. — COMPARAISON DE CES CARACTÉRISTIQUES

La tension d'alimentation était  $V = 316$  volts, soit en valeur maximum  $V_m = 447$  volts.

- a) *Les caractéristiques en charge tracées avec condensateur de filtrage coupent l'axe vertical en un point d'ordonnée peu différente de  $V_m$ .*

En effet, pour  $I_c = 0$ ,  $C$  se charge sous la valeur de crête de la tension d'alimentation et ne se décharge pas au cours de la période. En réalité, nous avons toujours trouvé une valeur inférieure de quelques volts à  $V_m$  (courant de fuite, courant de voltmètre...).

- b) *La caractéristique en charge sans filtrage coupe l'axe vertical en un point d'ordonnée voisine de  $\frac{V_m}{\pi}$ .*

Cette valeur est la moyenne de la tension d'alimentation pendant une période.

Nous avons mesuré  $U_c = 145$  volts à vide, pour  $C = 0$ , alors que  $\frac{V_m}{\pi} = \frac{447}{\pi} = 142,4$  volts. L'écart relatif vaut  $\frac{145 - 142,4}{142}$ , soit en pour cent

$$\frac{145 - 142,4}{1,4} = \frac{2,6}{1,4} < 2 \%$$

- c) *Une caractéristique avec capacité  $C$  de filtrage décroît d'autant plus rapidement que  $C$  est plus faible.*

En effet, si l'on diminue la capacité, elle emmagasine une charge plus petite, sous la même tension.

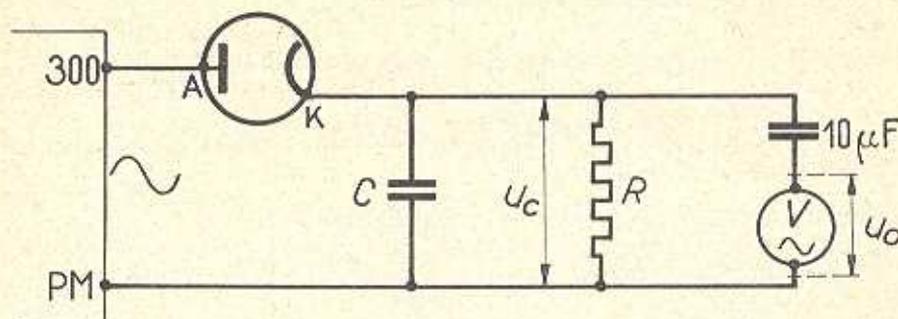
- d) *Les caractéristiques avec filtrage tendent, pour les débits élevés, vers la caractéristique sans filtrage.*

En effet, pour une résistance de charge nulle, la capacité serait court-circuitée et n'interviendrait plus. Le courant de court-circuit serait limité par la résistance interne du redresseur (transformateur, diode...).

## C. — Mesure de l'ondulation de la tension redressée

L'ondulation crête à crête est mesurable à l'oscillographe; nous nous proposons seulement de mesurer sa valeur efficace  $U_o$ .

## 1. — MONTAGE (fig. 4)

Fig. 4. — Tension redressée instantanée  $u_c$  = Tension redressée moyenne  $U_c$  + ondulation  $u_s$ .Charge :  $R = 5 \text{ k}\Omega$ .La capacité de filtrage  $C$  varie de 0 à  $40 \mu\text{F}$ .

La capacité de  $10 \mu\text{F}$  ne transmet au voltmètre que les variations de tension aux bornes de  $R$ , c'est-à-dire l'ondulation.

Calculons l'impédance de cette capacité :

$$Z = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{10^{-5} \times 314} = 1\,000 \times \frac{1}{\pi} = 318 \text{ ohms.}$$

Elle est négligeable devant celle du voltmètre et n'introduit donc pas d'erreur systématique dans la mesure de  $U_o$ .

## 2. — MESURES

La charge est constante :  $R = 5 \text{ k}\Omega$  ;  $C$  varie de 0 à  $40 \mu\text{F}$ , par exemple.

$C$ ( $\mu\text{F}$ )	0	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	30	40
$U_o$ (volts)	162	127	96	77	61,5	52	46,5	35,5	28,2	19	14	9,5	6,9

Ces résultats sont traduits par la figure 5.

## 3. — CONCLUSIONS

- L'ondulation efficace diminue lorsqu'on augmente la capacité de filtrage.*  
Ce résultat était prévisible puisque l'ondulation crête à crête diminue (§ A).
- L'ondulation diminue de plus en plus lentement lorsqu'on augmente la capacité de filtrage.*

La courbe  $U_o(C)$  descend d'abord très rapidement (de 110 volts entre 0 et  $5 \mu\text{F}$ ), puis de plus en plus lentement (de 5 volts seulement entre 15 et  $20 \mu\text{F}$ ). Pour  $C = 40 \mu\text{F}$ , l'ondulation est encore de 7 volts, d'où la nécessité d'une capacité de très grande valeur (condensateurs électrochimiques), lorsque l'ondulation résiduelle doit être très petite.

- c) **Au-dessus d'une certaine capacité de filtrage, l'ondulation est inversement proportionnelle à cette capacité.**

Pour  $C > 10 \mu\text{F}$  environ, le produit  $U_o C$  est sensiblement constant. Par exemple :  $10 \times 28,2 \approx 20 \times 14 \approx 40 \times 6,9$ . Dans cette région, la courbe est confondue avec une hyperbole équilatère admettant pour asymptotes les axes de coordonnées.

Cette propriété reste vérifiée lorsqu'on opère non à résistance de charge constante, mais à débit constant.

- d) **Règle approchée pour le calcul de l'ondulation.**

Dans les cas pratiques, le filtrage par condensateur seul, pour un redresseur simple alternance, conduit à une ondulation résiduelle d'environ 4,5 volts par milliampère débité et par microfarad.

Ainsi, pour  $R = 5 \text{ k}\Omega$ , nous avons  $I_c = 62 \text{ mA}$ , pour  $C = 10 \mu\text{F}$  ; appliquons la règle pratique :

$$U_o \approx 4,5 \times \frac{62}{10} = 27,9 \text{ volts.}$$

Ce résultat est très peu différent de l'ondulation mesurée (28,2 volts).

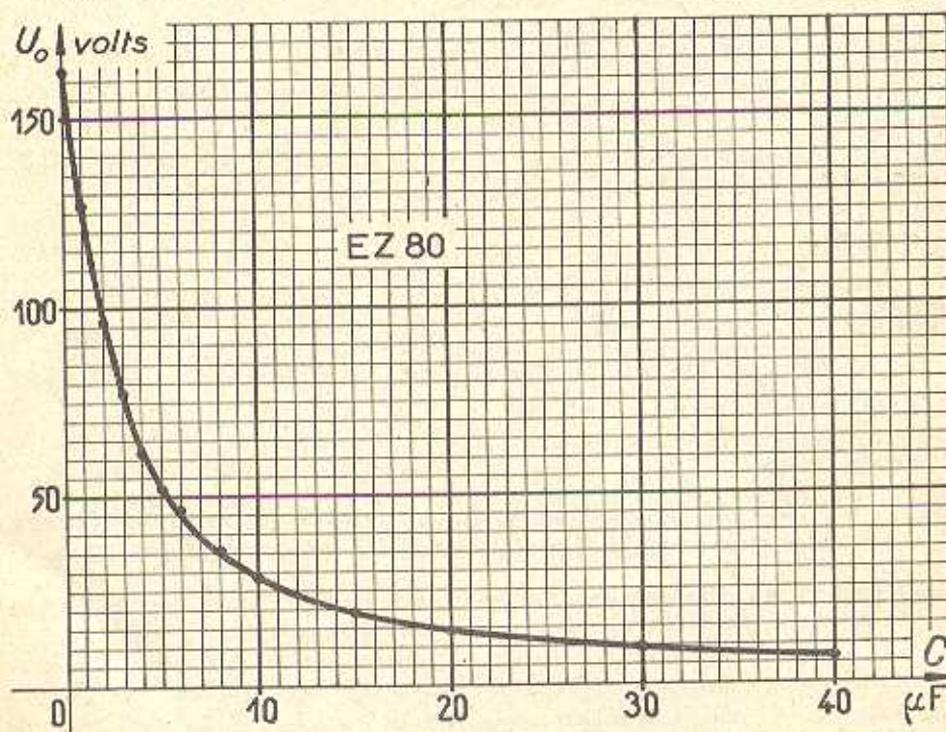


FIG. 5. — Diminution de plus en plus lente de l'ondulation lorsqu'on augmente la capacité de filtrage.

## D. — Mesure du courant de crête cathodique

On appelle ainsi la valeur instantanée maximale du courant émis par la cathode.

Une cathode peut être détériorée, pour un courant moyen pourtant acceptable, si le courant de crête est excessif.

### 1. — MONTAGE (fig. 6)

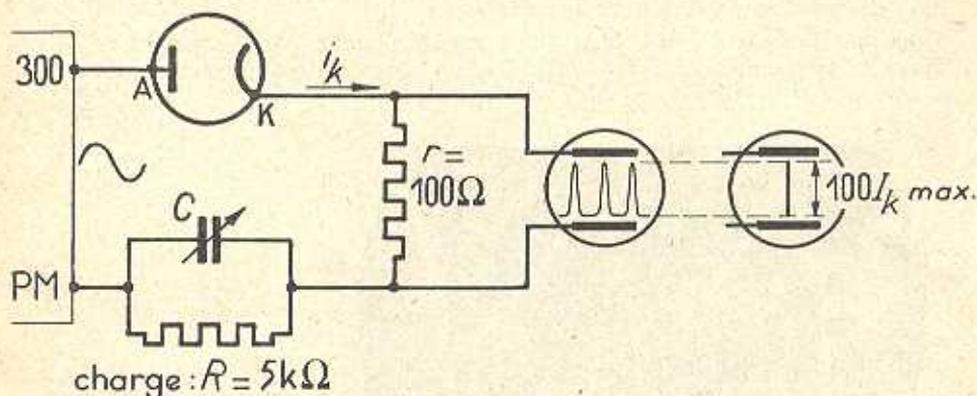


Fig. 4. — Tension instantanée pour les petites valeurs de la tension (moyenne) de sortie. Pas de filtrage.

### 2. — MODE OPÉRATOIRE

Étalonner l'oscillographe avec une tension connue, par exemple 6 volts = 2 carreaux.  
1 carreau = 3 volts.

Brancher l'oscillographe aux bornes de  $r = 100$  ohms et supprimer le balayage.  
Si le trait vertical occupe 5,4 carreaux, on a :

$$100 I_{k \text{ max}} = 3 \times 5,4 = 16,2 \text{ volts.}$$

D'où

$$I_{k \text{ max}} = \frac{16,2}{100} \text{ A ou } 162 \text{ mA.}$$

## 3. — MESURES

Laissons la charge constante  $R = 5 \text{ k}\Omega$  et faisons varier la capacité de filtrage  $C$ .  
1 carreau = 3 volts sur l'écran de l'oscillographe.

$C$ ( $\mu\text{F}$ )		0	1	3	5	10	40
100 $I_{k \max}$	{ Carreaux .....	2,8	5,4	9,4	10,2	10,9	11,2
	{ Volts .....	7,4	16,2	28,2	30,6	32,7	33,6
$I_{k \max}$ (mA)		74	162	282	306	327	336

## 4. — INTERPRÉTATION

Lorsque  $C$  augmente,  $U_c$  augmente. Or le courant cathodique  $i_k$  n'existe que pour  $v > U_c$  ( $v$  : tension instantanée d'alimentation).

$i_k$  transporte à peu près la même quantité d'électricité en un temps plus court, d'où une plus grande intensité de crête  $I_{k \max}$ .

Toutefois, lorsque  $C$  croît,  $I_{k \max}$  augmente de plus en plus lentement ( $V_m - U_c$  diminue, impédance du redresseur). C'est pourquoi le constructeur indique pour  $C$  une valeur maximale, 50  $\mu\text{F}$ , pour la diode EZ 80.

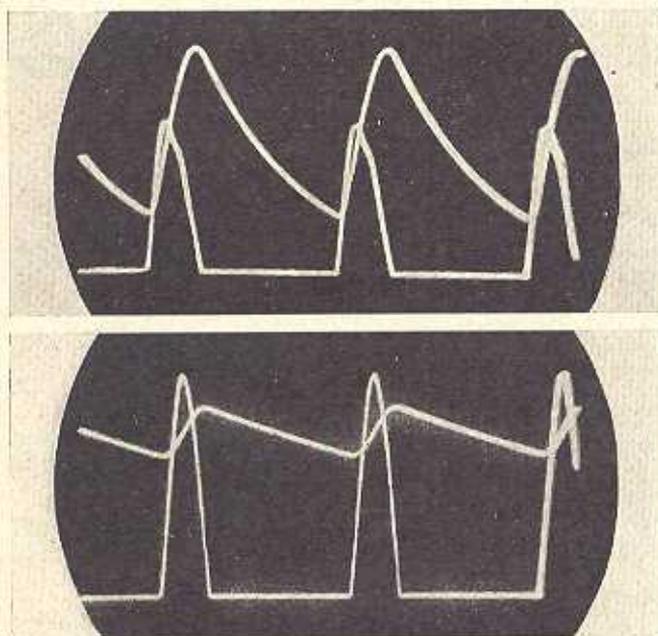


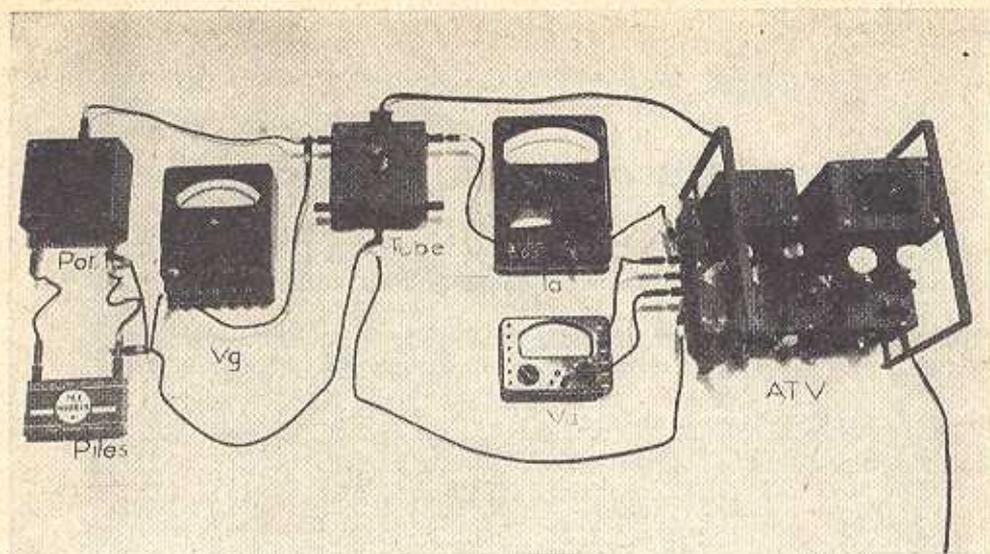
Fig. 7. — Tension redressée; courant à travers le redresseur. Le niveau zéro est commun aux oscillogrammes de la tension et du courant.

En haut:  $C = 2 \mu\text{F}$ .

En bas:  $C = 5 \mu\text{F}$ .

## TRAVAIL A EFFECTUER

Réaliser et étudier les mêmes montages avec une autre valve (GZ 32).



Tracé des caractéristiques statiques de la triode.

*Cliché des auteurs.*

## IV. — TRIODE : CARACTÉRISTIQUES STATIQUES

Les caractéristiques statiques s'obtiennent avec une impédance de charge nulle et des tensions continues.

Les principales caractéristiques statiques sont les caractéristiques  $I_a (V_a)$  pour  $V_g = \text{constante}$  et  $I_a (V_g)$  pour  $V_a = \text{constante}$ .

Nous utiliserons une des triodes de la 12 AU 7, double triode à cathodes séparées;  $V_f = 6,3$  volts pour les deux sections du filament en parallèle. Valeurs à ne pas dépasser :

$V_a = 300$  volts;  $I_k = 20$  mA; puissance dissipée sur l'anode : 2,75 watts, soit :

$$I_a = 9 \text{ mA pour } V_a = 300 \text{ V et } I_a = 18 \text{ mA pour } V_a = 150 \text{ V.}$$

Au-dessous de  $V_a = \frac{2,75}{0,020} \simeq 138$  volts, le courant n'est plus limité par la dissipation anodique mais par les possibilités de la cathode (20 mA maximum).

## A. — Caractéristiques d'anode

Une caractéristique d'anode  $I_a (V_a)$  est une courbe représentant la variation du courant anodique en fonction de la tension d'anode lorsque la tension de grille  $V_g$  reste constante.

On obtient le réseau des caractéristiques d'anode en traçant les caractéristiques  $I_a (V_a)$  pour des valeurs régulièrement échelonnées du paramètre  $V_g$ .

### 1. — CARACTÉRISTIQUES D'ANODE $I_a (V_a)$ POUR $V_g = 0$

a) *Montage* (fig. 1). — La grille est reliée à la cathode.

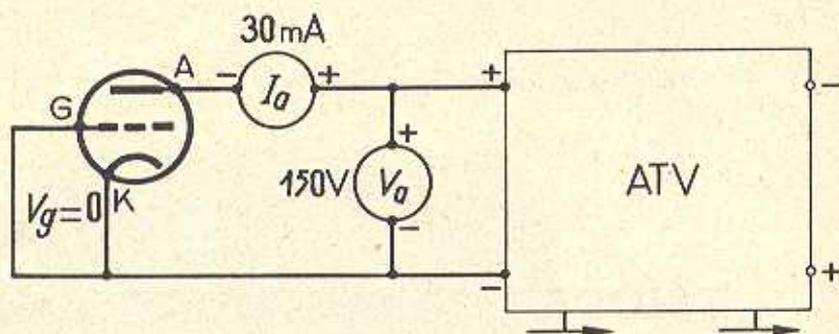


FIG. 1.

b) *Mode opératoire*. — Le réglage étant au maximum, manœuvrons le tarage : nous obtenons 18,8 mA pour 150 volts, ce qui correspond sensiblement à la dissipation anodique maximale ; bloquons le tarage dans cette position. Réalisons, à l'aide de réglage des valeurs entières de  $I_a$ , ce qui facilite le calcul des valeurs de la résistance interne ; notons les valeurs correspondantes de  $V_a$ .

#### Tableau des mesures.

$V_a$ (volts)	0	17	29	49	65	79,5	94	108	120	133	146
$I_a$ (mA)	0	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18

d) *Tracé de la caractéristique  $I_a (V_a)$  pour  $V_g = 0$*  (fig. 2).

### 2. — CARACTÉRISTIQUE D'ANODE $I_a (V_a)$ POUR $V_g = -5$ VOLTS

a) *Montage* (fig. 3). — La grille doit être négative : une inversion de sa polarité provoque un courant grille excessif et la triode est mise hors d'usage.

- b) *Mode opératoire.* — Analogue au précédent. Déterminer le courant et la tension maxima : 13 mA pour 211 volts ( $211 \times 0,013 = 2,74$  watts).  
Relever les valeurs correspondantes de  $I_a$  et  $V_a$ .

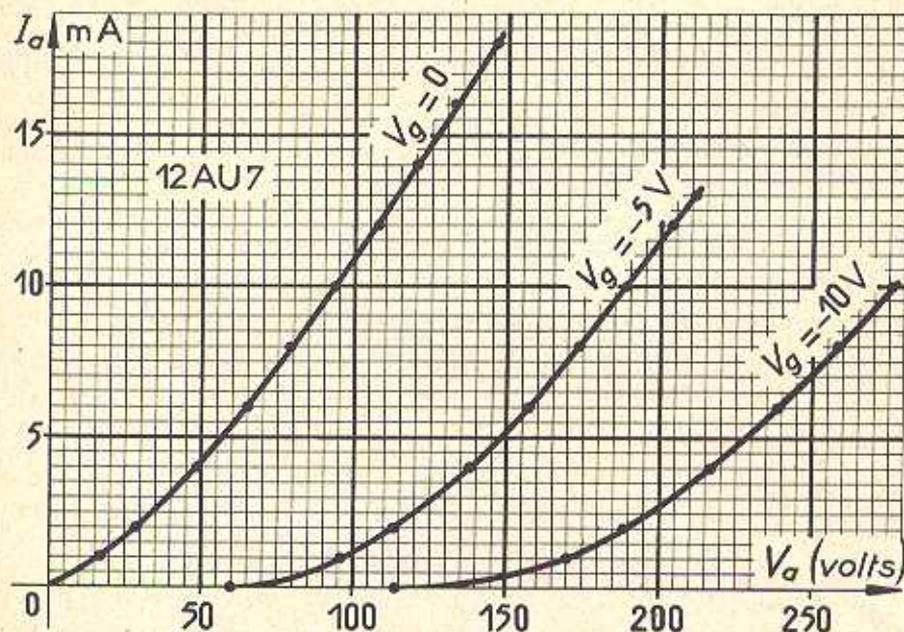


FIG. 2. — Caractéristiques statiques d'anode.

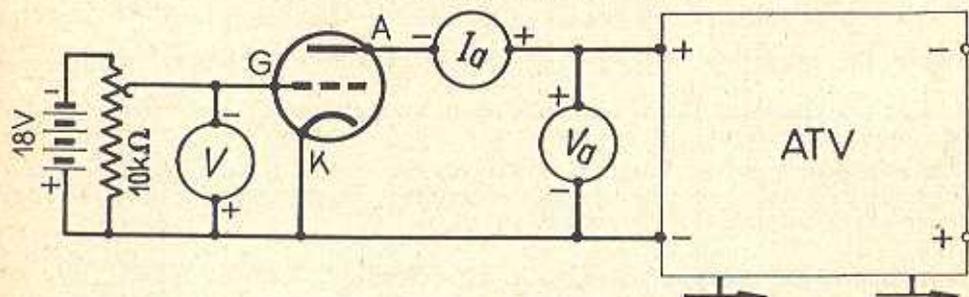


FIG. 3. — Relevé d'une caractéristique  $I_a(V_a)$  pour une tension de grille négative.  
Le pôle positif de la source de polarisation doit toujours être relié à la cathode.

- c) *Tableau des mesures.* — Le premier point indiqué est le point de blocage.

$V_a$ (volts)	60	96	113	138	157	174	189,5	204	211
$I_a$ (mA)	0	1	2	4	6	8	10	12	13

- d) *Tracé de la caractéristique  $I_a(V_a)$  pour  $V_g = -5$  volts.* — La tracer sur le même graphique que la précédente (fig. 2).

### 3. — CARACTÉRISTIQUE $I_a (V_a)$ POUR $V_g = -10$ VOLTS (fig. 2)

Montage et mode opératoire analogues aux précédents. On a trouvé :

$V_a$ (volts)	114	170	188	217	238	258	276
$I_a$ (mA)	0	1	2	4	6	8	10

### 4. — EXERCICES

- Au-dessus de quelle valeur de  $I_a$  peut-on considérer ces caractéristiques comme sensiblement rectilignes ?
- Tracer la caractéristique  $I_a (V_a)$  pour  $V_g = -2,5$  en prenant les milieux des segments horizontaux limités par les caractéristiques  $V_g = 0$  et  $V_g = -5$ . Tracer les caractéristiques  $I_a (V_a)$  pour  $V_g = -7,5$  et pour  $V_g = -12,5$ .
- Tracer l'hyperbole de dissipation maximale  $V_a I_a = 2,75$  watts.
- Déterminer en utilisant les caractéristiques tracées, et pour le point  $V_a = 150$ ,  $V_g = -5$ , la résistance interne, le facteur d'amplification et la pente.

## B. — Résistance interne

### 1. — RAPPEL DE LA DÉFINITION

La résistance interne d'une triode, en un point de fonctionnement ( $V_a, V_g, I_a$ ) déterminé, est le quotient  $\rho = \frac{\Delta V_a}{\Delta I_a}$ , la tension grille  $V_g$  restant constante.

$\Delta V_a$  : accroissement de la tension d'anode qui provoque l'accroissement  $\Delta I_a$  du courant anodique.

On sait (cours) que la résistance interne est l'inverse de la pente de la caractéristique au point de fonctionnement considéré ; elle dépend essentiellement du courant  $I_a$  (tableau de calcul et fig. 4).

### 2. — TABLEAU DE CALCUL POUR $V_g = -5$ VOLTS

Entre les valeurs de  $V_a$  et  $I_a$ , noter les  $\Delta V_a$  et  $\Delta I_a$ . Le quotient  $\rho = \frac{\Delta V_a}{\Delta I_a}$  est exprimé : en ohms pour  $\Delta V_a$  en volts et  $\Delta I_a$  en ampères ; en k $\Omega$  pour  $\Delta V_a$  en volts et  $\Delta I_a$  en milliampères.

Exemple de calcul :  $\Delta V_a = 157 - 138 = 19$  volts ;  $\Delta I_a = 6 - 4 = 2$  mA ;  
 $\rho = \frac{19}{2} = 9,5$  k $\Omega$  ou 9 500 ohms.

Cette valeur de  $\rho$  correspond à  $I_a = \frac{4 + 6}{2} = 5$  mA.

$V_a$ (volts)	60	96	113	138	157	174	189,5	204	211
$\Delta V_a$	36	17	25	19	17	15,5	14,5	7	13
$I_a$ (mA)	0	1	2	4	6	8	10	12	13
$\Delta I_a$	1	1	2	2	2	2	2	1	13
$\rho$ (k $\Omega$ )	36	17	12,5	9,5	8,5	7,8	7,3	7	12,5
Pour $I_a$	0,5	1,5	3	5	7	9	11	12,5	

### 3. — COURBE $\rho$ ( $I_a$ ) (fig. 4).

Nous constatons que  $\rho$  décroît lorsque  $I_a$  augmente; cette décroissance est rapide pour les petites valeurs du courant.

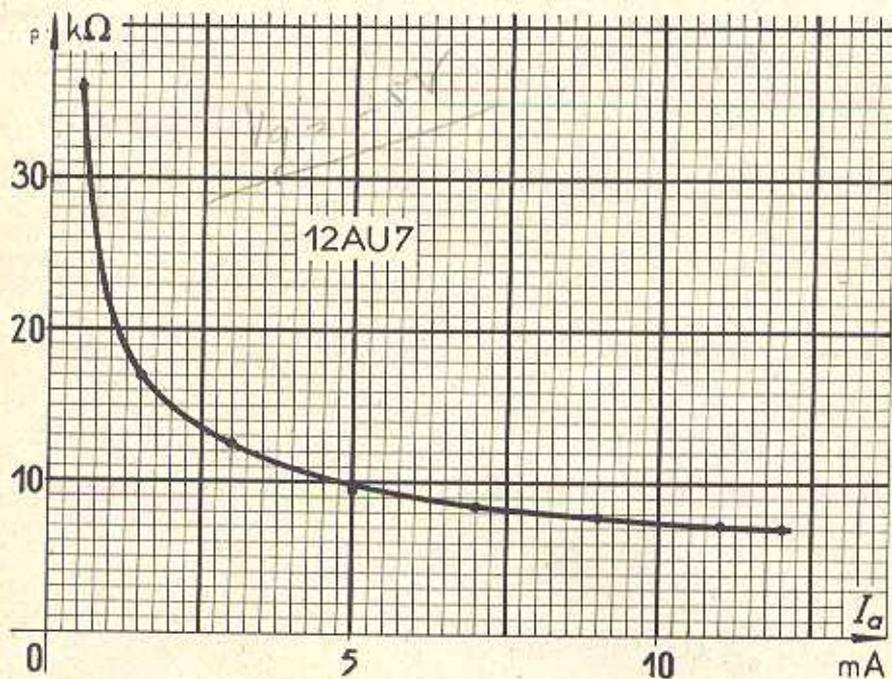


Fig. 4. — Diminution de plus en plus lente de la résistance interne d'une triode lorsque le courant anodique augmente.

## C. — Caractéristiques courant d'anode — tension grille

Une caractéristique courant d'anode — tension grille  $I_a (V_g)$  représente la variation du courant d'anode en fonction de la tension de grille, la tension anodique  $V_a$  restant constante.

On obtient le réseau courant d'anode-tension grille en traçant les caractéristiques  $I_a (V_g)$  pour des valeurs régulièrement échelonnées du paramètre  $V_a$ .

### 1. — MONTAGE

On utilise le même montage que pour obtenir les caractéristiques d'anode (fig. 3).

### 2. — MODE OPÉRATOIRE

Proposons-nous, par exemple, de tracer la caractéristique  $I_a (V_g)$  pour  $V_a = 100$  volts.

La tension anodique est inférieure à 138 volts :  $I_a$  est limité par les possibilités de la cathode (20 mA maximum) et non par la dissipation anodique (2,75 watts).

Donnons à  $V_a$  la valeur 100 volts et faisons varier  $V_g$ . La plus grande valeur de  $I_a$  est obtenue pour  $V_g = 0$  ; on trouve  $I_a = 10,9$  mA < 20 mA. On peut donc faire varier  $V_g$  entre le point de blocage et zéro. On choisit des valeurs entières de  $V_g$ , de façon à faciliter le calcul ultérieur de la pente.

### 3. — MESURES

Nous tracerons les caractéristiques  $I_a (V_g)$  pour trois valeurs de  $V_a$  : 100, 150 et 200 volts.

a)  $V_a = 100$  volts.

$V_g$ (volts)	— 8	— 7	— 6	— 5	— 4	— 3	— 2	— 1	0
$I_a$ (mA)	0 (blocage)	0,2	0,5	1,2	2,1	3,5	5,6	8,0	10,9

b)  $V_a = 150$  volts.

Courant limité par la dissipation anodique  $I_{a\max} = \frac{2,75}{150}$  A ou 18,3 mA.

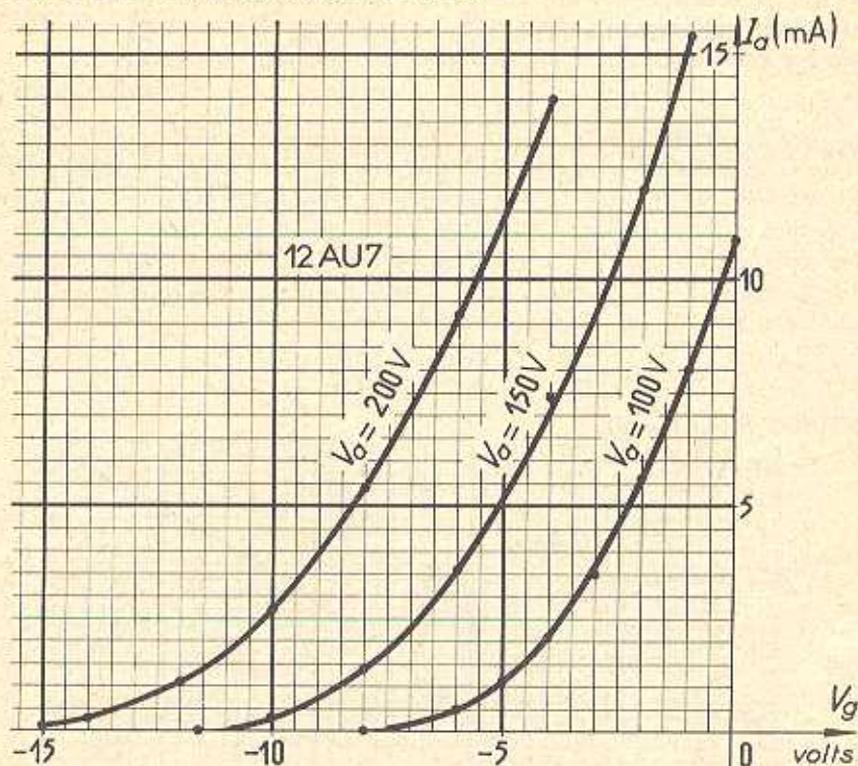
$V_g$ (volt)	— 11,6	— 10	— 8	— 6	— 4	— 2	— 1
$I_a$ (mA)	0 (blocage)	0,3	1,4	3,6	7,4	12	15,4

c)  $V_a = 200$  volts.

$I_{a\max} = \frac{2,75}{200}$  A ou 13,8 mA.

$V_g$ (volts)	— 15	— 14	— 12	— 10	— 8	— 6	— 4
$I_a$ (mA)	0,1	0,3	1,1	2,7	5,4	9,2	14

## 4. — TRACÉ DES CARACTÉRISTIQUES (fig. 5)

FIG. 5. — Caractéristiques  $I_a(V_g)$  pour diverses valeurs du paramètre  $V_a$ .

## 5. — EXERCICES

- Au-dessus de quelle valeur de  $I_a$  peut-on considérer ces caractéristiques comme rectilignes?
- Tracer la caractéristique  $I_a(V_g)$  pour la  $V_a = 175$  volts en prenant les milieux des segments horizontaux limités par les caractéristiques  $V_a = 150$  et  $V_a = 200$ .
- Déterminer pour le point  $V_a = 150$ ,  $V_g = -5$  les valeurs de la pente, du facteur d'amplification et de la résistance interne.

## D. — Pente

## 1. — RAPPEL DE LA DÉFINITION

La pente d'une triode, en un point de fonctionnement  $(V_a, V_g, I_a)$  déterminé, est le quotient  $s = \frac{\Delta I_a}{\Delta V_g}$ , la tension d'anode restant constante.

$\Delta V_g$  : accroissement de la tension de grille qui provoque l'accroissement  $\Delta I_a$  du courant anodique.

La pente de la triode est donc égale à la pente de la caractéristique  $I_a(V_g)$  au point de fonctionnement considéré ; elle dépend essentiellement de  $I_a$ .

## 2. — TABLEAU DE CALCUL

Entre les valeurs de  $I_a$  et  $V_g$ , indiquer les accroissements  $\Delta I_a$  et  $\Delta V_g$ . Le quotient  $s = \frac{\Delta I_a}{\Delta V_g}$  mA/V est la pente.

Pour préparer le tracé de la courbe  $s(I_a)$  représentant la variation de  $s$  en fonction de  $I_a$ , nous attribuons une valeur de  $s$  à la valeur de  $I_a$  moyenne arithmétique des deux valeurs ayant servi au calcul. Pour  $V_a = 200$  volts :

$I_a$ (mA)	0,1	0,3	1,1	2,7	5,4	9,2	14
$\Delta I_a$ (mA)		0,2	0,8	1,6	2,7	3,8	4,8
$V_g$ (volt)	-15	-14	-12	-10	-8	-6	-4
$\Delta V_g$ (volt)		1	2	2	2	2	2
$s$ (mA/V)		0,2	0,4	0,8	1,35	1,9	2,4
$I_a$ (mA)		0,2	0,7	1,9	4	7,3	11,6

## 3. — COURBE $s(I_a)$ (fig. 6)

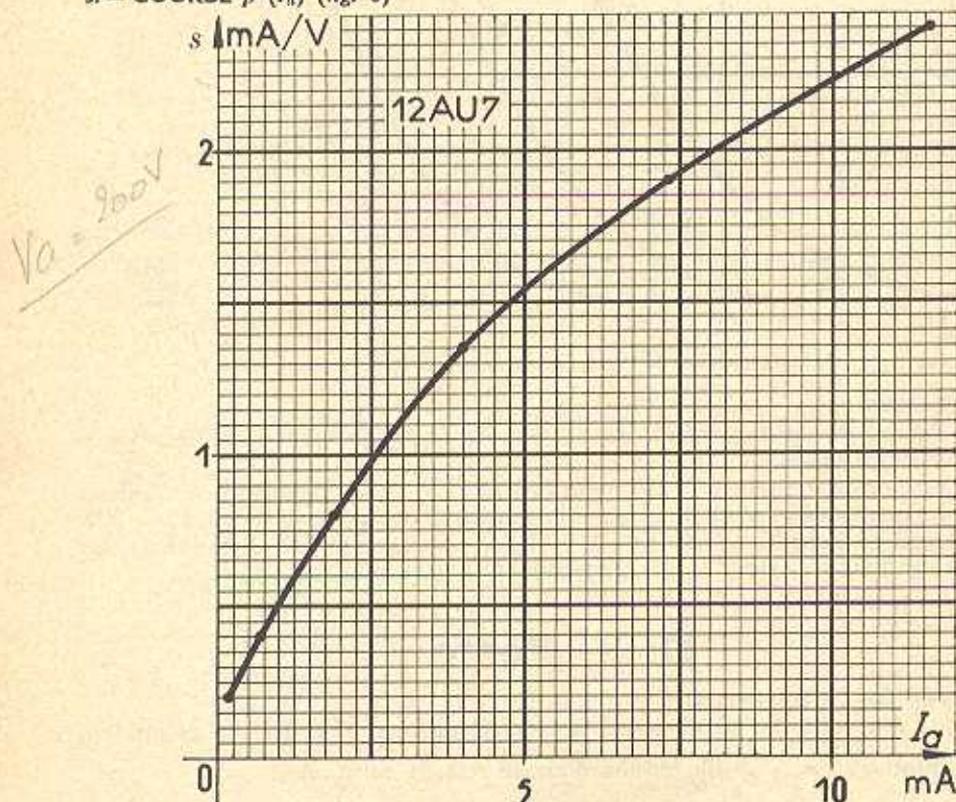


FIG. 6. — A l'inverse de la résistance interne, la pente d'une triode augmente avec le courant anodique.

## E. — Facteur d'amplification

### 1. — DÉFINITION

Le facteur d'amplification est le rapport des variations de la tension anodique et de la tension de grille qui provoquent la même variation du courant anodique. On démontre que  $\mu = \rho s$  en un point de fonctionnement donné. Comme  $s$  et  $\rho$ ,  $\mu$  dépend essentiellement de  $I_a$ .

### 2. — LES COURBES $s(I_a)$ ET $\rho(I_a)$ PERMETTENT DE TRACER LA COURBE $\mu(I_a)$

Reprenons le tableau donnant les valeurs de  $\rho$  en fonction de  $I_a$  et déterminons par interpolation les valeurs correspondantes de  $s$ .

$I_a$ (mA)	0,5	1,5	3	5	7	9	11
$\rho$ (k $\Omega$ )	36	17	12,5	9,5	8,5	7,8	7,3
$s$	0,30	0,68	1,1	1,52	1,85	2,12	2,34
$\mu = \rho s$	10,8	11,6	13,8	14,5	15,7	16,5	17

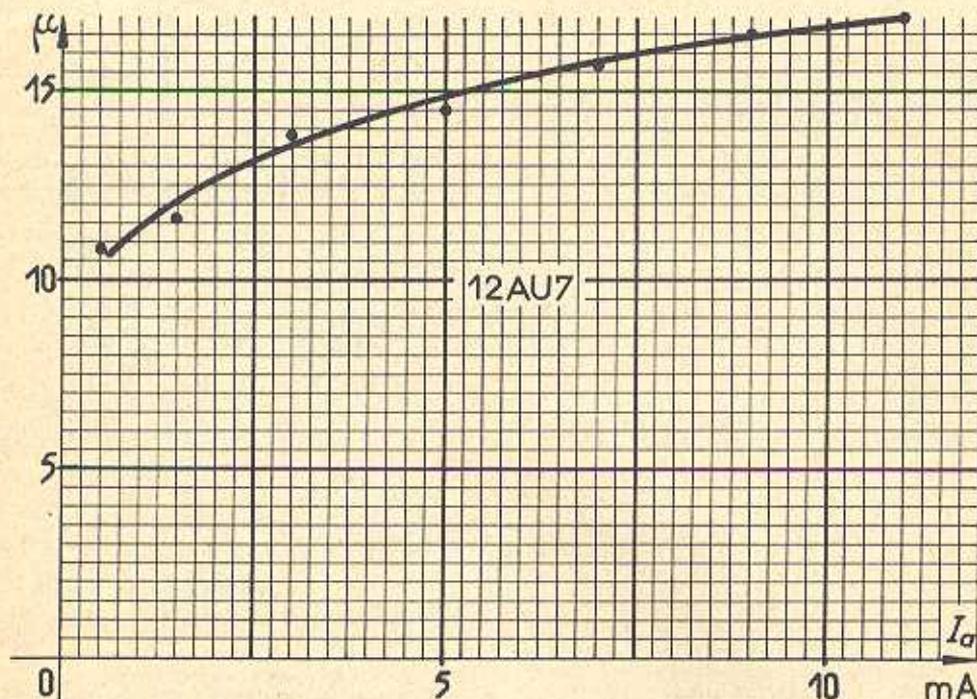


FIG. 7. — Le facteur d'amplification d'une triode varie beaucoup moins que la pente et que la résistance interne.

La figure 7 permet de constater que le facteur d'amplification varie moins que la pente et la résistance interne.

Rapport entre les valeurs extrêmes :

$$1^{\circ} \text{ de } \rho : \frac{36}{7,3} = 4,94;$$

$$2^{\circ} \text{ de } s : \frac{2,34}{0,30} = 7,8;$$

$$3^{\circ} \text{ de } \mu : \frac{17}{10,8} = 1,57.$$

#### TRAVAIL A EFFECTUER

Exécuter la manipulation avec une triode 12 AT 7 ou une 6 J 5.

Tracer les courbes des variations des trois paramètres  $\mu$ ,  $\rho$  et  $s$  en fonction de  $V_a$  pour  $V_a = 150$  volts.



## V. — TRIODE : CARACTÉRISTIQUES EN CHARGE

Ce sont les caractéristiques  $I_a(V_g)$  et  $I_a(V_a)$ , tracées en courant continu, la tension d'alimentation  $V_b$  et l'impédance de charge demeurant constantes (1). Nous prendrons pour impédance de charge une résistance pure  $R_a$ . Triode utilisée : 12 AU 7 (une seule des deux triodes).

### A. — Caractéristiques courant d'anode tension grille $I_a(V_g)$

#### 1. — MONTAGE (fig. 1)

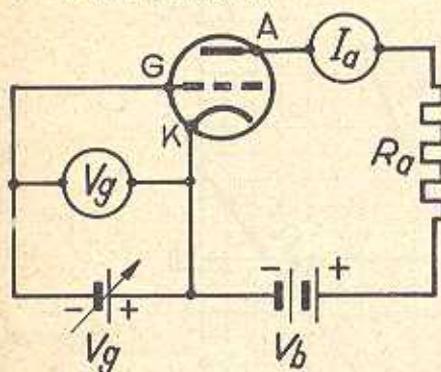
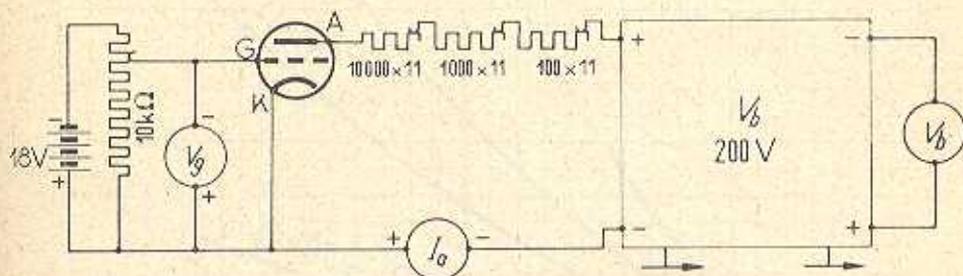


Fig. 1. — Principe du montage et réalisation avec une alimentation à tension variable.



#### 2. — MODE OPÉRATOIRE

Le même que dans la manipulation précédente.

(1) Les caractéristiques en charge ne doivent pas être confondues avec les caractéristiques dynamiques. Une caractéristique dynamique est une caractéristique en régime alternatif, à impédance de charge non nulle (Vocabulaire).

Toutefois, lorsque l'impédance de charge est une résistance pure, la pente dynamique peut se mesurer en régime continu.

## 3. — TABLEAU DES MESURES

La tension d'alimentation demeure invariablement  $V_b = 200$  volts. La résistance de charge  $R_a$  prend successivement les valeurs ( $k\Omega$ ) : 0, 7,5, 15, 50, 100. Le tableau donne le courant d'anode  $I_a$ , en milliampères en fonction de  $V_g$ ,  $R_a$  étant le paramètre.

$V_g$ (volt)	-13	-11	-9	-7	-5	-3	-1	0
$R_a$ ( $k\Omega$ )	0	$I_a = 0,35$	1,2	3,0	5,9	9,6	14,0	
	7,5	$I_a = 0,25$	0,85	2,0	3,6	5,4	7,7	10,4
	15	$I_a = 0,20$	0,80	1,6	2,5	3,8	5,2	7,0
	50	$I_a = 0,10$	0,40	0,70	1,1	1,5	2,1	2,8
	100	$I_a < 0,10$	0,20	0,4	0,6	0,9	1,1	1,4

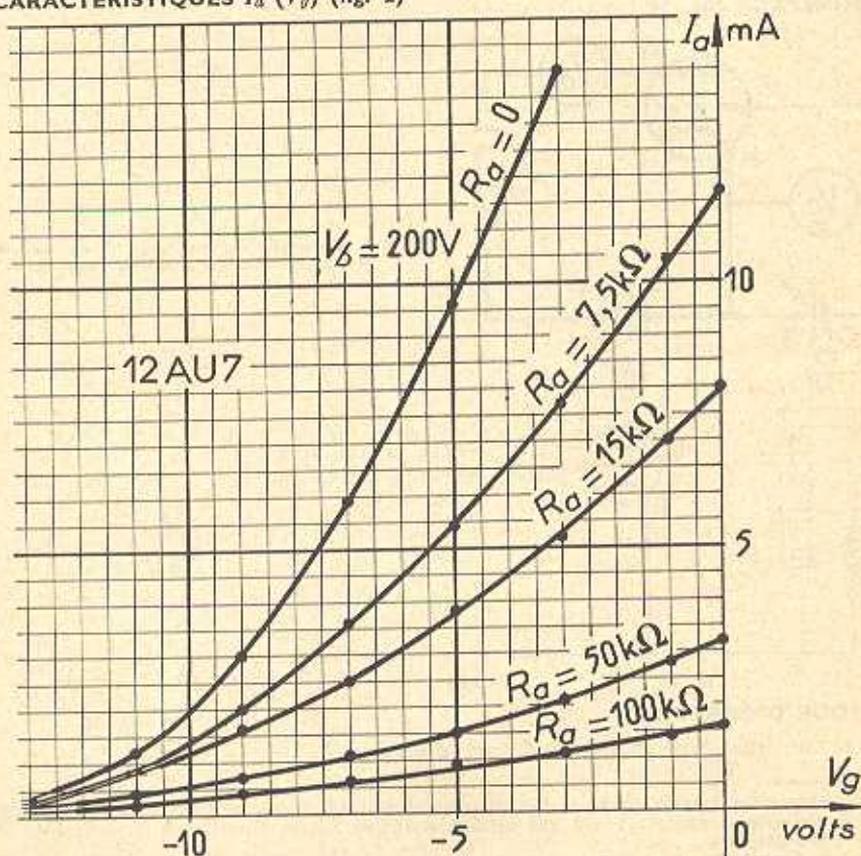
4. — CARACTÉRISTIQUES  $I_a$  ( $V_g$ ) (fig. 2)

FIG. 2. — Caractéristiques  $I_a$  ( $V_g$ ) pour diverses valeurs de la charge  $R_a$ .

## B. — Pente dynamique

La pente statique  $s = \frac{\mu}{\rho}$  correspond à la caractéristique  $R_a = 0$ . Pour les autres caractéristiques, on constate sur la figure 1 que la pente  $s'$  diminue lorsque  $R_a$  croît ;  $s'$  est la pente dynamique et on sait que  $s' = \frac{\mu}{R_a + \rho}$ .

Calculons  $s'$  pour  $V_g = -5$  et  $R_a = 7,5$  k $\Omega$ . Nous utilisons les points :  $V_g = -7$ ,  $I_a = 3,6$  et  $V_g = -3$ ,  $I_a = 7,7$ .

$\Delta I_a = 7,7 - 3,6 = 4,1$  mA ;  $\Delta V_g = 4$  volts. D'où :

$$s' = \frac{\Delta I_a}{\Delta V_g} = \frac{4,1}{4} \simeq 1 \text{ mA/V.}$$

Le tableau suivant donne les valeurs de la pente pour  $V_g = -5$  volts et les diverses valeurs utilisées pour  $R_a$ . Les deux dernières lignes sont relatives au calcul du facteur d'amplification.

Dans tous les cas,  $\Delta V_g = 4$  volts et  $\Delta I_a$  est l'accroissement entre  $V_g = -7$  et  $V_g = -3$ .  $\rho \simeq 7,5$  k $\Omega$ .

$R_a$ (k $\Omega$ )	0	7,5	15	50	100
$\Delta I_a$ (mA)	8,1	4,1	2,7	1,1	0,5
$s'$ (mA/V)	$\approx 2$	$\approx 1$	$\approx 0,68$	0,25	$\approx 0,13$
$R_a + \rho$ (k $\Omega$ )	7,5	15	22,5	$\approx 57,5$	$\approx 107,5$
$\mu = \rho' (R_a + \rho)$	15,2	15,4	15,2	14,4	13,5

REMARQUE. — Pour les deux dernières colonnes, la valeur 7,5 k $\Omega$  adoptée pour  $\rho$  est trop faible. (Se reporter à la dernière manipulation.)

### EXERCICE

Tracer la courbe  $s' (R_a)$  (fig. 3).

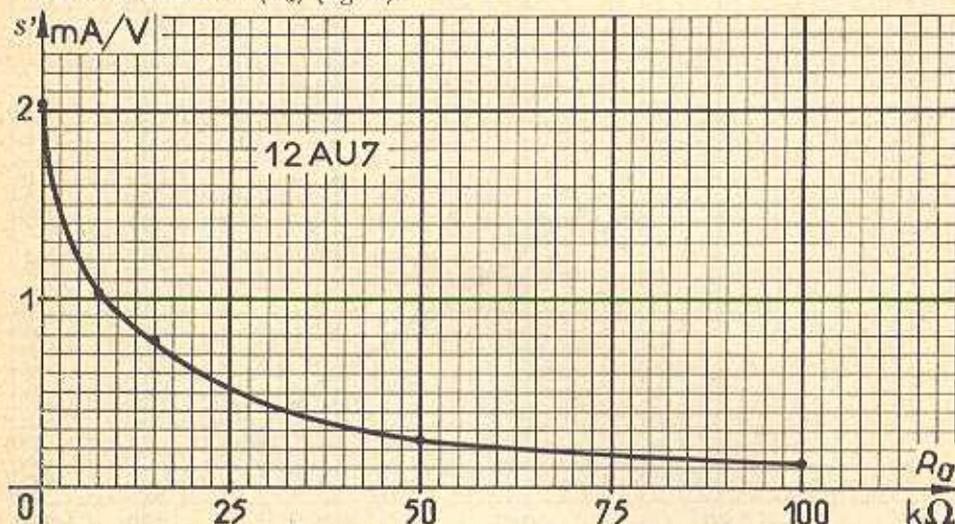


FIG. 3. — Décroissance de la pente dynamique lorsque la charge augmente. 12 AU7 ;  $V_b = 200$  volts ;  $V_g = -5$  volts.

## C. — Tracé de la droite de charge

Lorsque  $V_b$  et  $R_a$  sont constants et  $V_g$  variable, le point de fonctionnement ( $I_a$ ,  $V_a$ ) décrit un segment de la droite dite droite de charge.

### 1. — MONTAGE (fig. 1)

On trouve des points alignés en mesurant directement  $I_a$  et  $V_a$ ; toutefois, le voltmètre branché entre anode et cathode est parcouru par un courant non négligeable devant le courant de la triode : les points de fonctionnement ainsi déterminés se situent en dehors de la droite de charge théorique. L'écart augmente avec  $V_a$ , car le courant dans le voltmètre augmente lorsque  $I_a$  diminue.

Pour éviter cette erreur systématique, nous calculerons  $V_a = V_b - R_a I_a$  avec une bonne précision, en utilisant pour  $R_a$  une résistance à 1 %.

### 2. — MESURES

$V_b = 200$  volts ;  $R_a = 15$  k $\Omega$ .

Point de repos :  $V_g = -4$  volts ;  $I_a = 4,3$  mA.

Nous faisons varier  $V_g$  de 0 à  $-8$ , comme si la triode était attaquée par une tension de valeur maximum  $V_m = 4$  volts.

$V_g$ (volt)	0	-2	-4	-6	-8
$I_a$ (mA)	7,7	5,8	4,3	3,1	1,9
$R_a I_a$ (volt)	115	87	64,5	46,5	28,5
$V_a = V_b - R_a I_a$	85	113	135,5	153,5	171,5

### 3. — TRACÉ DE LA DROITE DE CHARGE (fig. 4)

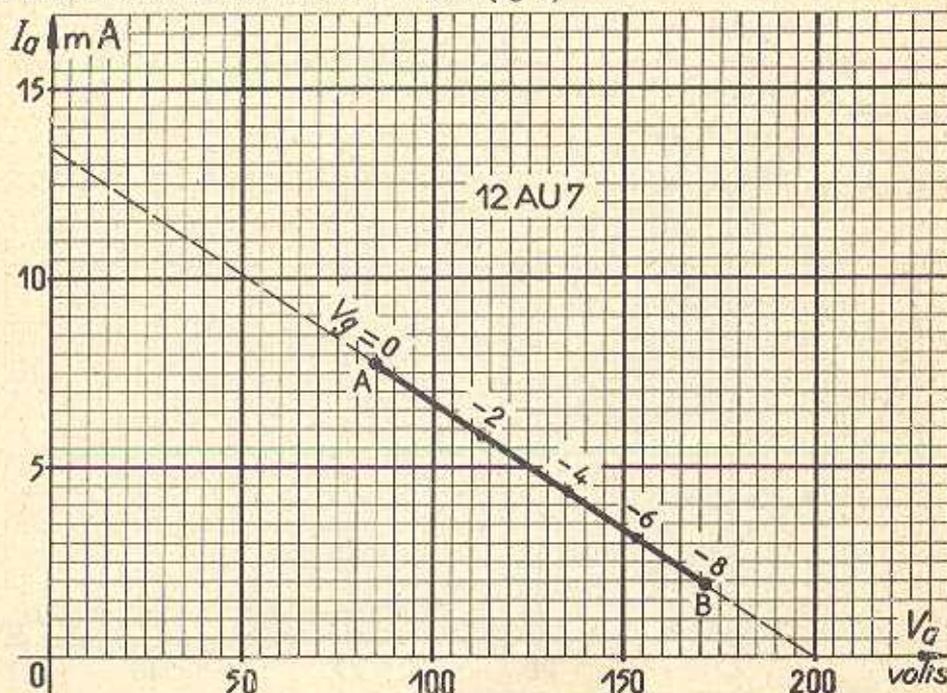


FIG. 4. — Droite de charge pour une tension d'alimentation  $V_b = 200$  volts et une résistance de charge  $R_a = 15$  k $\Omega$ .

Le point  $-4\text{ V}$ ;  $4,3\text{ mA}$  est le point de repos ; A et B sont les extrémités du segment décrit lorsque  $V_g$  varie de 0 à  $-8\text{ volts}$ .

Prolonger AB ; vérifier que la droite de charge coupe l'axe des tensions au point  $V_a = V_b = 200\text{ V}$  et l'axe des courants au point  $\frac{200}{15} = 13,3\text{ mA}$ .

## D. — Caractéristique $I_a(V_g)$ en charge avec polarisation automatique de cathode

### I. — MONTAGE (fig. 5)

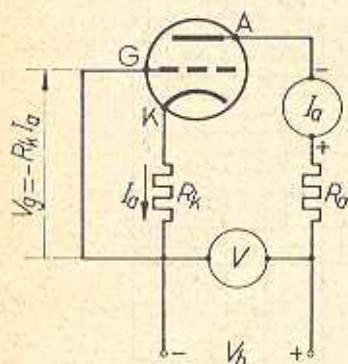
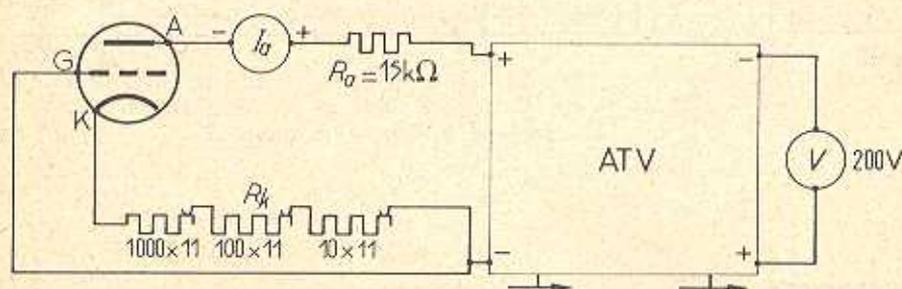


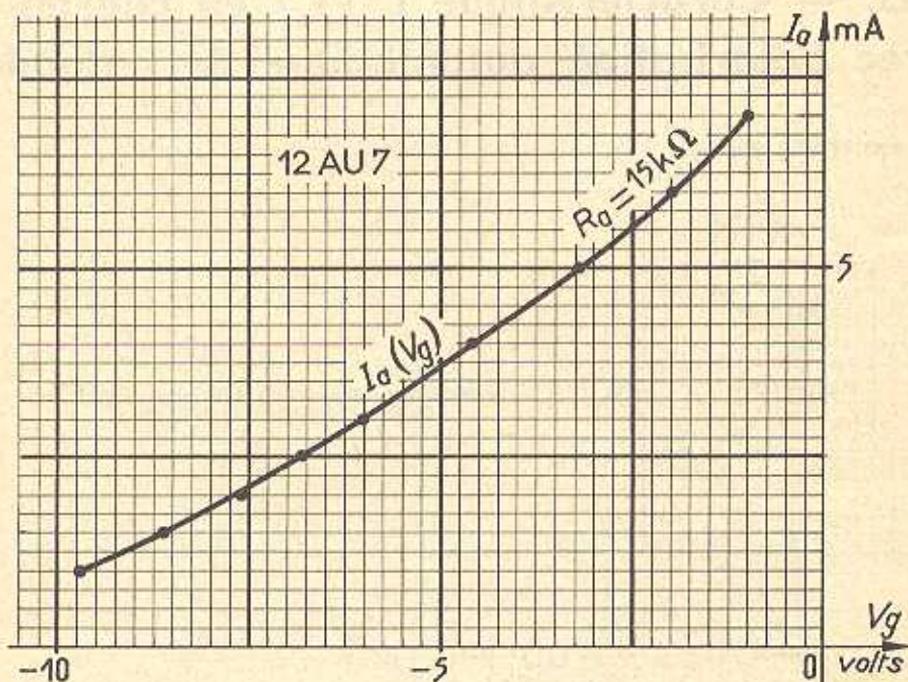
FIG. 5. — Montage d'une triode avec polarisation automatique par résistance de cathode  $R$ .



La polarisation fixe  $V_g$  est produite par la résistance  $R_k$  parcourue par le courant anodique ;  $R_k$  commande  $V_g$  et par suite  $I_a$ .

## 2. — MESURES

$R_k$ (k $\Omega$ )	9,7	5,7	3,8	2,7	2,0	1,15	0,64	0,33	0,14
$I_a$ (mA)	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
$V_g = -R_k I_a$	-9,7	-8,6	-7,6	-6,8	-6,0	-4,6	-3,2	-2	-1

3. — COURBE  $I_a$  ( $V_g$ ) (fig. 6)FIG. 6. —  $V_b = 200$  volts;  $R_o = 15\text{ k}\Omega$ ;  $R_k$  variable.

## 4. — EXERCICES

- a) Expliquer pourquoi la courbe précédente est un peu au-dessous de la caractéristique  $I_a(V_g)$  par  $R_o = 15\text{ k}\Omega$  du paragraphe A.

- b) Tracer la courbe  $I_a(R_k)$  (fig. 7). Constaté que la décroissance de  $I_a$  est d'abord très rapide, puis de plus en plus lente, lorsque  $R_k$  croît à partir de 0.

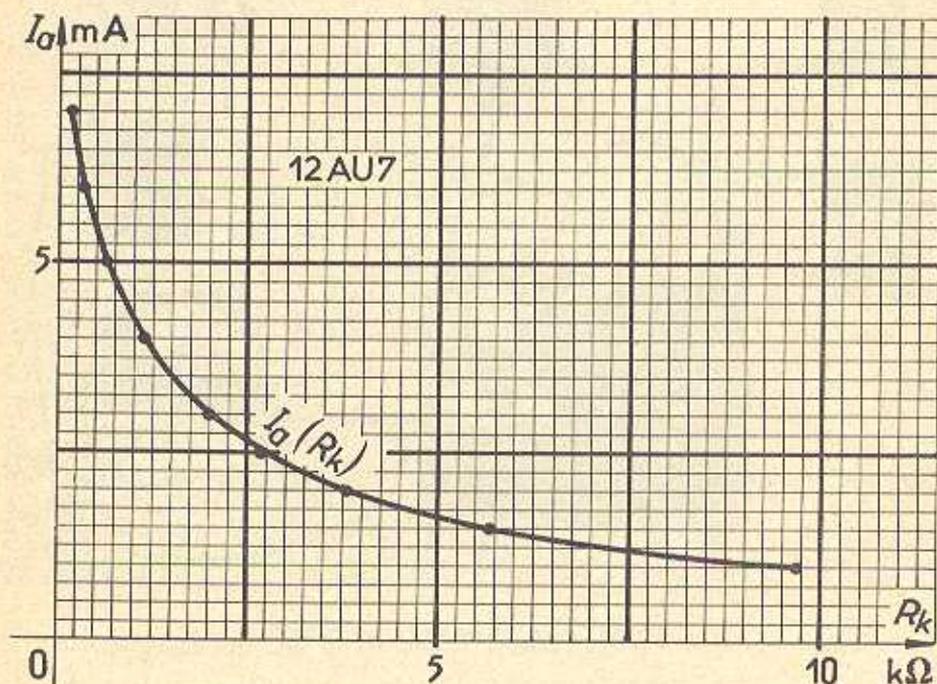
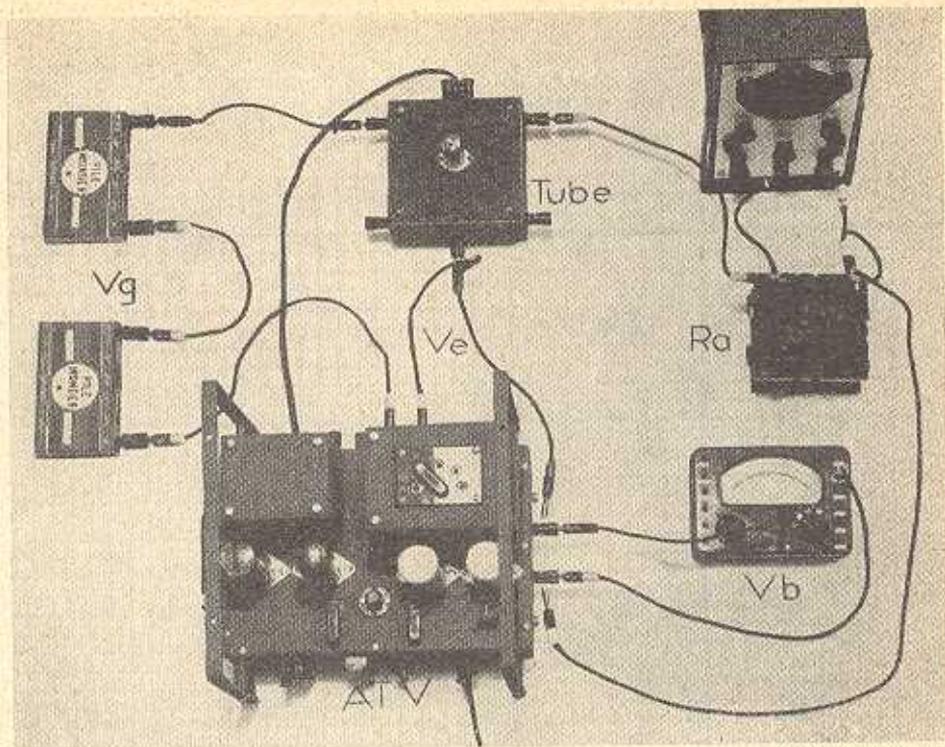


FIG. 7. — Décroissance de  $I_a$  lorsque la résistance de polarisation  $R_k$  augmente.  
 $V_b = 200$  volts ;  $R_a = 15$   $k\Omega$ .

#### TRAVAIL A EFFECTUER

Caractéristiques en charge du même tube (12 AU 7) pour quelques valeurs différentes de la résistance de charge : 10  $k\Omega$ , 25  $k\Omega$  et 50  $k\Omega$ .





*Cliché des auteurs.*

**Montage pour l'étude de l'amplification.**

## VI. — AMPLIFICATION DE TENSION

Triode utilisée : 12 AU 7 (une seule triode).

Pour tous les montages étudiés, la tension d'alimentation est  $V_b = 200$  volts.

Dans tous les montages, la résistance de charge est invariable :  $R_a = 50 \text{ k}\Omega$ .

# A. — Influence de la polarisation fixe $V_g$ sur la tension de sortie

## 1. — PRINCIPE (fig. 1)

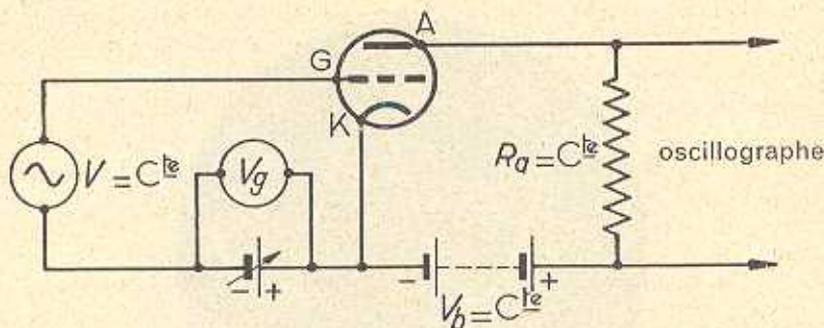


FIG. 1. — La forme de la tension de sortie dépend de la polarisation  $V_g$ .

Sont constantes : la tension d'alimentation  $V_b = 200$  volts, la résistance de charge  $R_g = 50$  k $\Omega$ , la tension d'attaque ou tension d'entrée  $V = 3,15$  volts (d'une alimentation C. d. C.).

On examine à l'oscilloscope, pour une valeur donnée de  $V_g$ , la forme de la tension de sortie ; cette forme dépend de la valeur choisie pour  $V_g$ .

## 2. — MONTAGE RÉALISÉ AVEC UNE ALIMENTATION A TENSION VARIABLE (fig. 2)

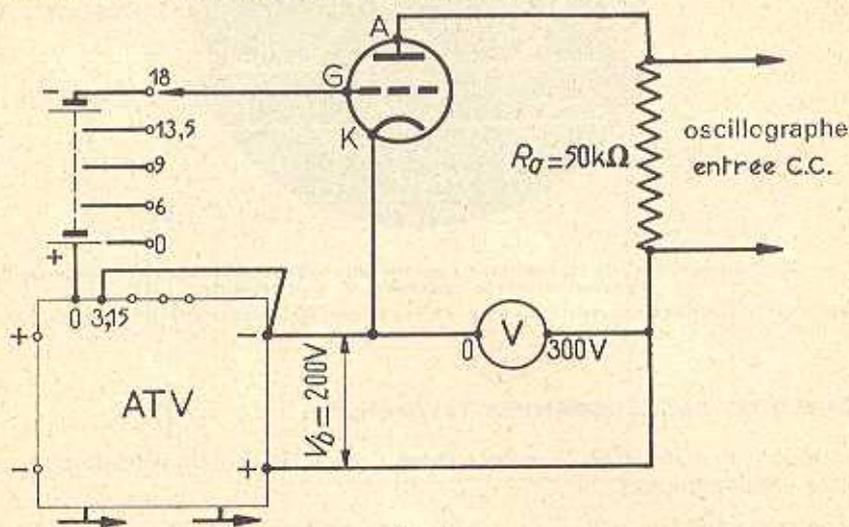


FIG. 2.

### 3. — VÉRIFICATION DU FONCTIONNEMENT

Relions l'oscillographe successivement à la sortie (bornes de  $R_a$ ) et à l'entrée (bornes de la source donnant la tension à amplifier). Nous observons l'amplification du montage ; évaluer l'amplification en tension  $A$  en faisant le rapport des tensions crête à crête de sortie et d'entrée.

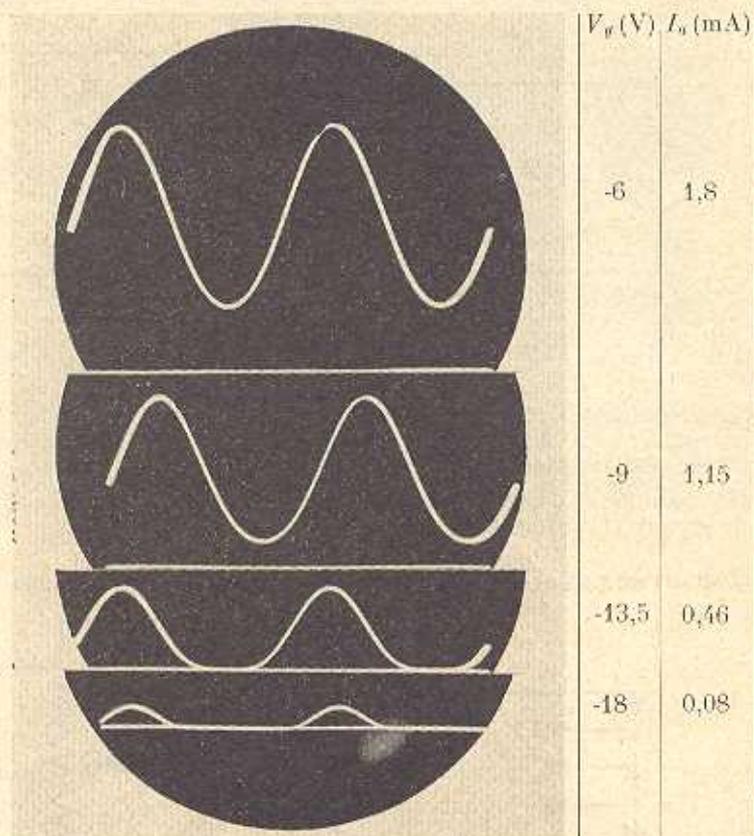


FIG. 3. — Oscillogrammes, de la tension de sortie pour diverses valeurs de la polarisation  $V_g$ . Tension d'entrée constante  $V = 3,15$  volts.

Les segments horizontaux correspondent à  $I_a = 0$  ; la tension instantanée de grille est alors inférieure à la tension de blocage.

### 4. — QUELQUES OSCILLOGRAMMES TYPES (fig. 3)

La tension d'entrée était 3 volts (entre 0 et 3,15 de l'alimentation), pour les quatre oscillogrammes.

Les polarisations  $V_g$  : — 6, — 9, — 13,5, — 18 volts ont été obtenues avec des piles.

## B. — Influence de l'amplitude de la tension d'entrée de la tension d'entrée

### I. — PRINCIPE

Nous voulons étudier l'influence de l'amplitude d'une tension d'entrée sinusoïdale sur l'amplitude et la forme de la tension de sortie.

Le point de repos est choisi dans la région rectiligne des caractéristiques.

$V_b$ ,  $R_a$ ,  $V_g$  sont fixes ; on donne successivement à la tension d'entrée  $V$  des valeurs fixes de plus en plus grandes.

La figure 4 représente le schéma de principe.

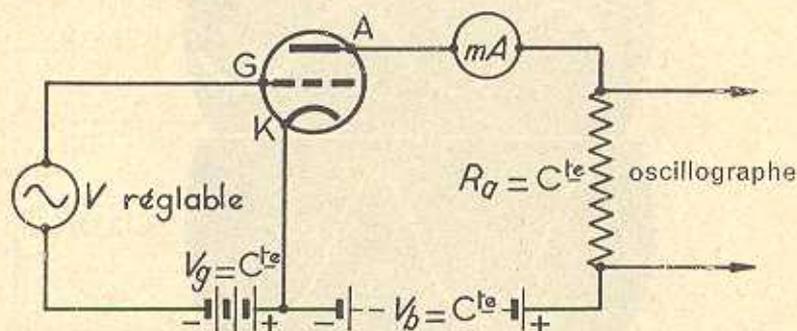


FIG. 4. — La forme de la tension de sortie dépend de l'amplitude de la tension d'entrée.

### 2. — RÉALISATION DU MONTAGE (fig. 5)

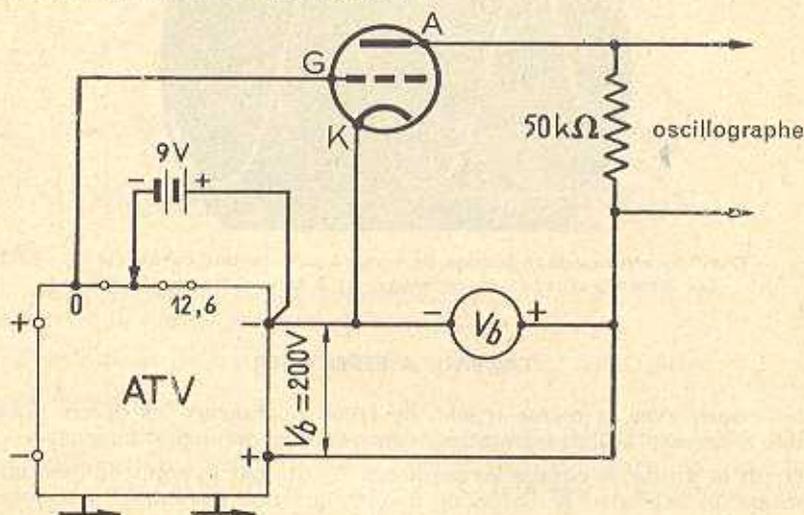


FIG. 5.

### 3. — OBTENTION DE QUELQUES OSCILLOGRAMMES

Prenons successivement comme tension d'entrée  $V$  quelques tensions alternatives fournies par le bloc d'alimentation. On observe sur l'écran de l'oscillographe les formes suivantes pour la tension de sortie (fig. 6).

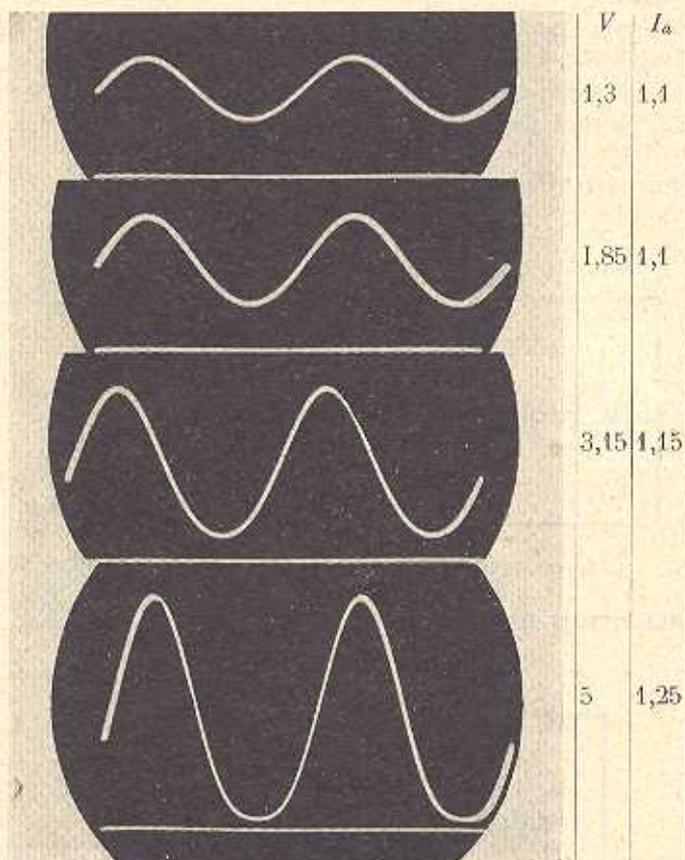


FIG. 6. — Oscillogrammes de la tension de sortie à polarisation constante  $V_0 = -9$  volts.  
Les segments horizontaux correspondent à  $I_a = 0$  (triode bloquée).

#### TRAVAIL A EFFECTUER

Mêmes essais, avec la même triode, de façon à observer les divers phénomènes décrits. S'exercer à l'interprétation correcte des oscillogrammes.

Situer sur la droite de charge les segments décrits par le point de fonctionnement instantané et expliquer la distorsion d'après la forme des caractéristiques  $I_a(V_a)$  traversées.

## VII. — ÉTAGE AMPLIFICATEUR

Triode utilisée : 12 AU 7 (une seule triode).

Dans un type d'amplificateur très répandu (amplificateur à résistance), la tension de sortie d'un étage est appliquée au suivant par l'intermédiaire d'une liaison résistance-capacité ( $R_g'$  et  $C$  : fig. 1).

Nous allons donc étudier la tension de sortie  $U$  aux bornes de  $R_g'$ .

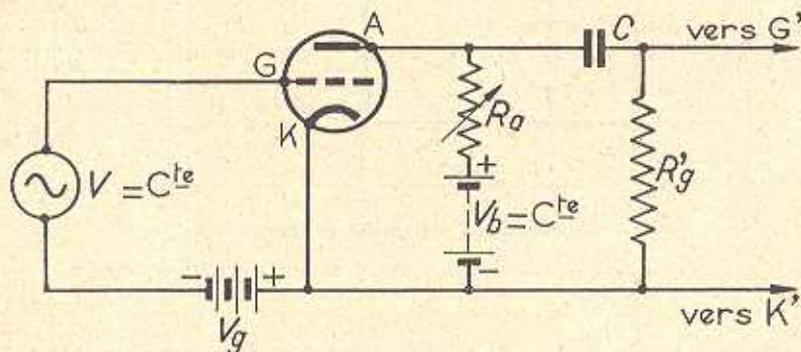


FIG. 1. — La tension de sortie est fonction de  $R_a$ .

### A. — Variation de l'amplification avec la résistance de charge

#### I. — PRINCIPE

La tension d'alimentation  $V_b$ , la polarisation  $V_g$ , la tension d'entrée  $V$  sont fixes. La tension de sortie  $U$  augmente avec  $R_a$ .

Nous nous proposons de tracer la courbe représentant la variation  $A = \frac{U}{V}$  de l'étage en fonction de  $R_a$ .

La figure 1 représente le schéma de principe du montage. La résistance de fuite  $R_g'$  du second étage est constituée par un voltmètre qui mesure ainsi la tension de sortie  $U$  de l'étage étudié ; le condensateur  $C$  ne transmet en effet que la composante alternative de la tension d'anode (revoir p. 30).

## 2. — RÉALISATION DU MONTAGE AVEC UNE SEULE ALIMENTATION (fig. 2)

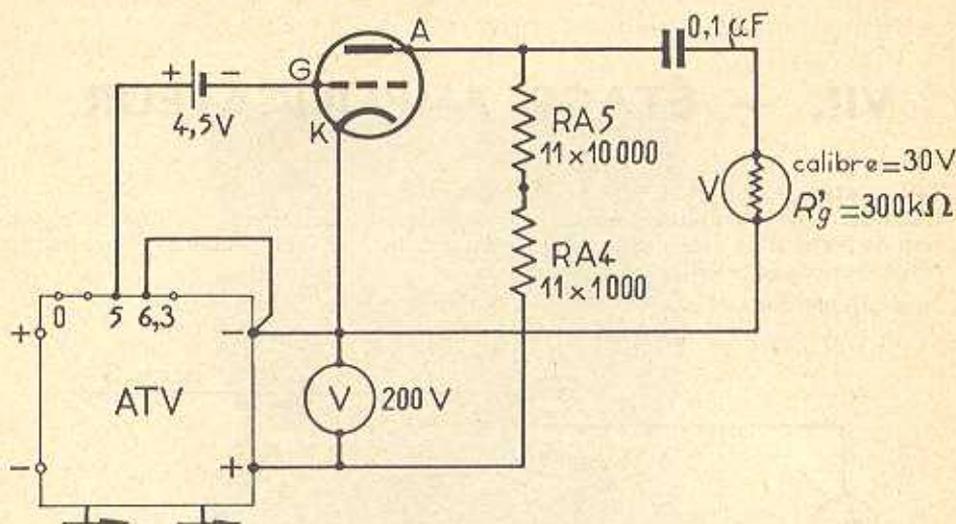


FIG. 2. — Montage à résistance de charge variable.

La sortie continue est tarée à  $V_b = 200$  volts. La tension d'entrée  $V \simeq 1,3$  volt est prélevée entre 6,3 et 5 V ~.

La polarisation fixe  $V_\theta \simeq -4,5$  volts est obtenue par une pile.

La résistance de charge est formée de deux boîtes A. O. I. P.  $11 \times 10\,000$  ohms et  $11 \times 1\,000$  ohms.

V est un voltmètre à  $10\,000 \Omega/V$  sur le calibre 30 volts.

## 3. — MESURES

$V_b = 200$  volts ;  $V_g = -4,7$  volts ;  $V = 1,46$  volt (efficace).

$R_a$ (k $\Omega$ )	0	1	3	5	8	10	15	20	25	30	40	50	75	100
$U$ (volts)	0	3,2	6,8	9,0	11,2	12,4	14,1	15,2	15,9	16,3	16,8	17,2	17,6	17,6
$A = \frac{U}{V}$	0	2,2	4,7	6,2	7,7	8,5	9,7	10,4	10,9	11,2	11,5	11,8	12,1	12,1

Ces mesures sont traduites par la courbe A ( $R_d$ ) (fig. 3).

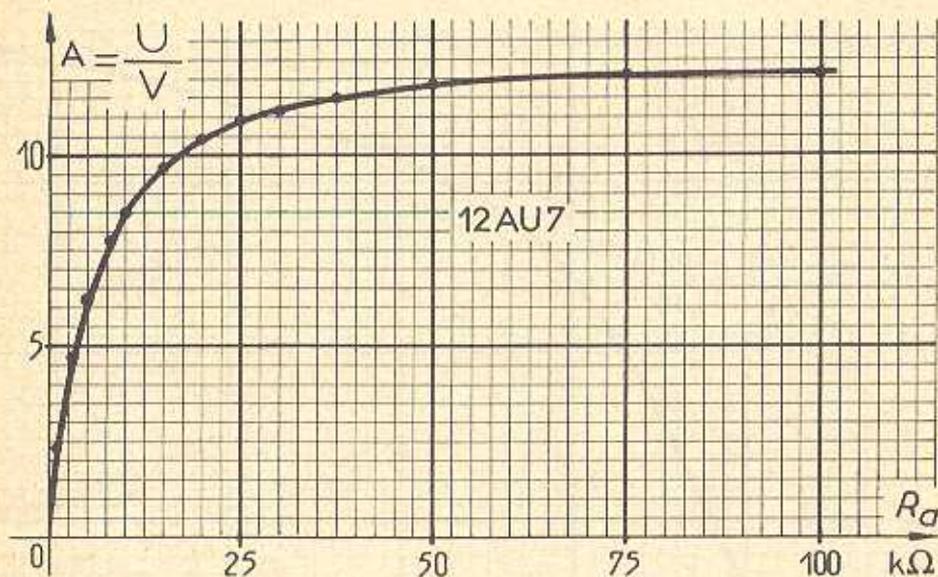


FIG. 3. — L'amplification en tension  $A$  augmente avec la résistance de charge  $R_d$  :  
 $A$  croît rapidement pour  $R_d$  variant de 0 à  $\approx R_d$  environ et lentement ensuite.

## B. — Influence de la tension d'alimentation

### 1. — MONTAGE

Le même que dans l'étude précédente (fig. 2), mais avec une charge constante :  
 $R_d = 50 \text{ k}\Omega$ .

### 2. — MESURES

Faire varier la tension d'alimentation  $V_b$  de façon à obtenir, de préférence, des valeurs entières pour la tension de sortie.

$V_b$ (volts)	270	222	189	160	136	121	101	85	74	65	55	50
$U$ (volts)	19	18	17	16	15	14	12	10	8	6	4	3

3. — COURBE  $U(V_b)$  A TENSION D'ENTRÉE CONSTANTE ET RÉSISTANCE DE CHARGE CONSTANTE (fig. 4)

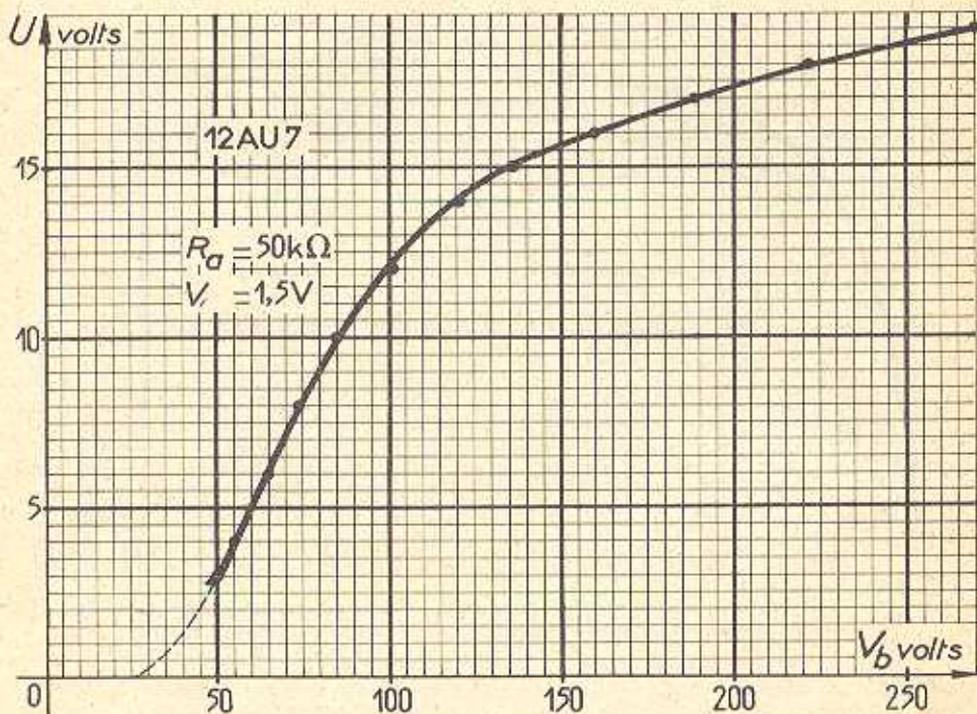


FIG. 4. — La tension de sortie diminue avec la tension d'alimentation.

Cette diminution s'explique par la forme des caractéristiques statiques  $I_a(V_a)$  dont la distance diminue avec  $I_a$ .

## C. — Fonctionnement en classe A

### I. — DÉFINITION

Un tube amplificateur fonctionne en classe A (ou régime A) lorsque la tension instantanée de grille  $v_g$  reste comprise entre la tension de blocage  $V_{g0}$  et 0 :

$$V_{g0} < v_g < 0.$$

Les oscillogrammes *a* et *b* des figures 3 et 6 (T. P. VII) correspondent au fonctionnement en classe A.

## 2. — EN CLASSE A, LA TENSION DE SORTIE EST PRATIQUEMENT PROPORTIONNELLE A LA TENSION D'ENTRÉE

a) *Montage* (fig. 5).

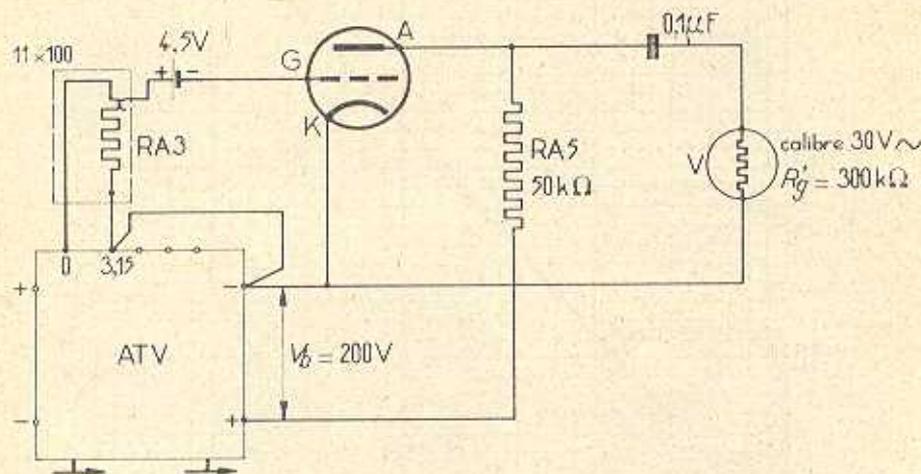


FIG. 5. — Montage pour étude de la classe A.

La boîte à décade, montée en potentiomètre, permet de connaître les tensions d'entrée trop faibles pour être mesurées directement par un contrôleur.

La tension d'entrée est fournie par une boîte de résistance A. I. O. P. ( $\times 100$ ) alimentée entre 0 et 3,15 V de l'alimentation C. d. C. Résistance totale :  $11 \times 100 = 1\,100\ \Omega$  ; tension totale mesurée au contrôleur : 3,30 volts.

A la position 5 du bouton de la boîte, par exemple, correspond la tension d'entrée :

$$V = \frac{3,30 \times 5}{11} = 0,30 \times 5 = 1,50 \text{ volt (efficace).}$$

b) *Mesures.*

Position du bouton	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tension d'entrée (V volts)	0	0,30	0,60	0,90	1,20	1,50	1,80	2,10	2,40	2,70
Tension de sortie (U volts)	0	3,6	6,9	10,2	13,4	16,7	20,2	23,5	26,9	30

La courbe  $U(V)$  est donnée par la figure 6.

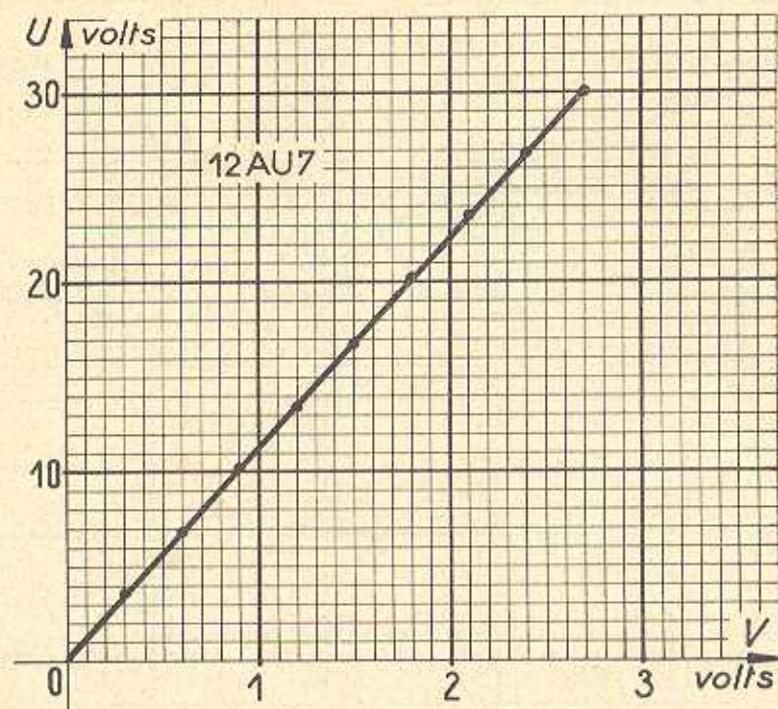


FIG. 6. — En classe A, la tension de sortie est proportionnelle à la tension d'entrée.

#### TRAVAIL A EFFECTUER

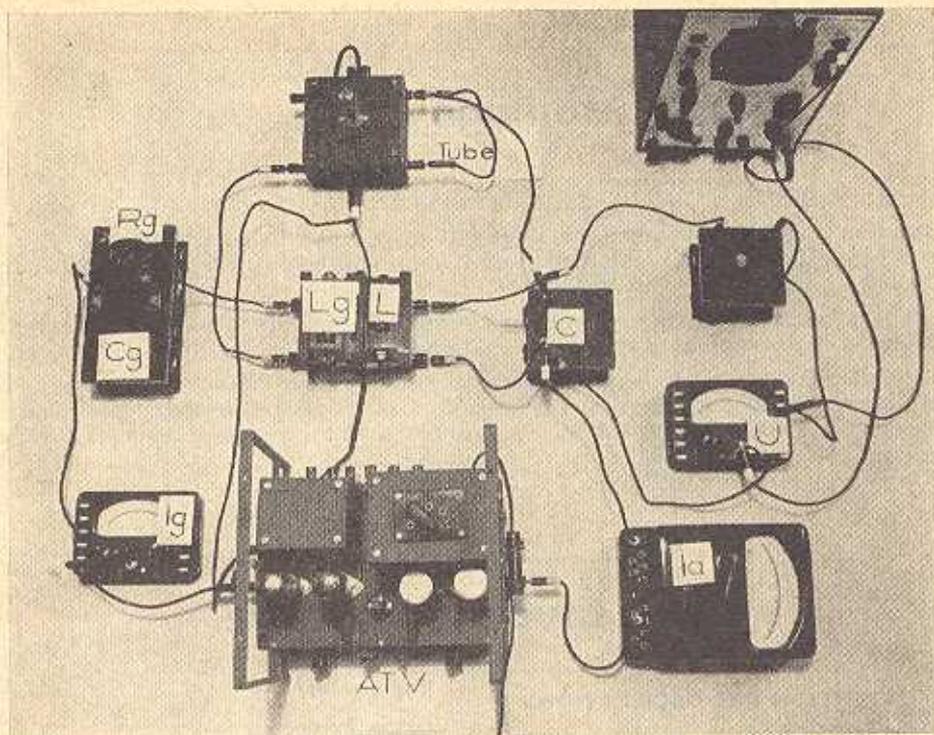
Étudier l'étage amplificateur dans des conditions voisines.

Paragraphe A :  $V_b = 180$  volts ;

Paragraphe B :  $R_a = 25$  ou  $40$  k $\Omega$  ;

Paragraphe C : tension d'entrée de 0 à 5 volts et  $V_g = -7,5$  volts.





Vue du montage.

Cliché des auteurs.

## VIII. — OSCILLATIONS BASSE FRÉQUENCE

**Tube utilisé.** — Pentode EL 84 montée en triode, c'est-à-dire la grille-écran G 2 reliée à l'anode.

On bénéficie ainsi de la pente élevée et de la puissance de ce tube.

## A. — Montage (fig. 1 et 2, p. 64)

Circuit oscillant :  $L = 0,10$  H est une inductance A. O. I. P. ;  $C = 1$   $\mu$ F.

Réaction du circuit d'anode sur le circuit grille : par induction entre  $L$  et  $L_g$  = 1 henry (boîte A. O. I. P.). Polarisation automatique de grille :  $R_g = 0,10$  M $\Omega$  ;  $C_g = 0,1$   $\mu$ F.

mA 1 et mA 2 sur position « continu » mesurent les valeurs moyennes du courant de grille et du courant d'anode.

V : voltmètre sur position « alternatif » mesure la valeur efficace  $U$  de la composante alternative de tension aux bornes du C. O. La tension d'alimentation est fournie par une alimentation à tension variable ; maintenir cette tension à 150 volts environ.

## B. — Étude qualitative

### 1. — OBTENTION DES OSCILLATIONS

Rapprocher progressivement les deux inductances  $L$  et  $L_g$ , leurs fonds étant face à face ; à partir d'une certaine distance, mA 1 accuse l'existence d'un courant de grille, c'est-à-dire d'oscillations.

Si les oscillations ne se produisent pas lorsque les bobines sont accolées par leurs fonds, permuter les connexions de  $L_g$ .

Pour la suite, maintenir  $L$  et  $L_g$  l'une contre l'autre.

### 2. — MISE EN ÉVIDENCE DES OSCILLATIONS

a) **Courant de grille.** — Il est faible en l'absence d'oscillations ; son accroissement important et brusque lorsqu'on rapproche  $L$  et  $L_g$  indique qu'une tension apparaît dans le circuit de grille.

Cette tension est induite dans  $L_g$  lorsque  $L$  est parcourue par un courant alternatif, c'est-à-dire lorsque le montage oscille.

b) **Tension alternative aux bornes de circuit oscillant.** — En l'absence d'oscillations, l'inductance  $L$  est parcourue seulement par un courant continu (fig. 1).

La déviation du voltmètre pour tensions alternatives est donc une preuve des oscillations.

c) **Son** obtenu avec un écouteur téléphonique branché à la place du voltmètre.

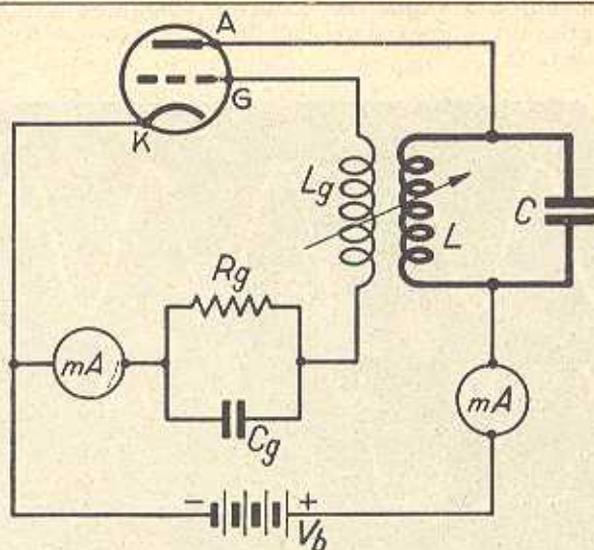


FIG. 1. — Principe.

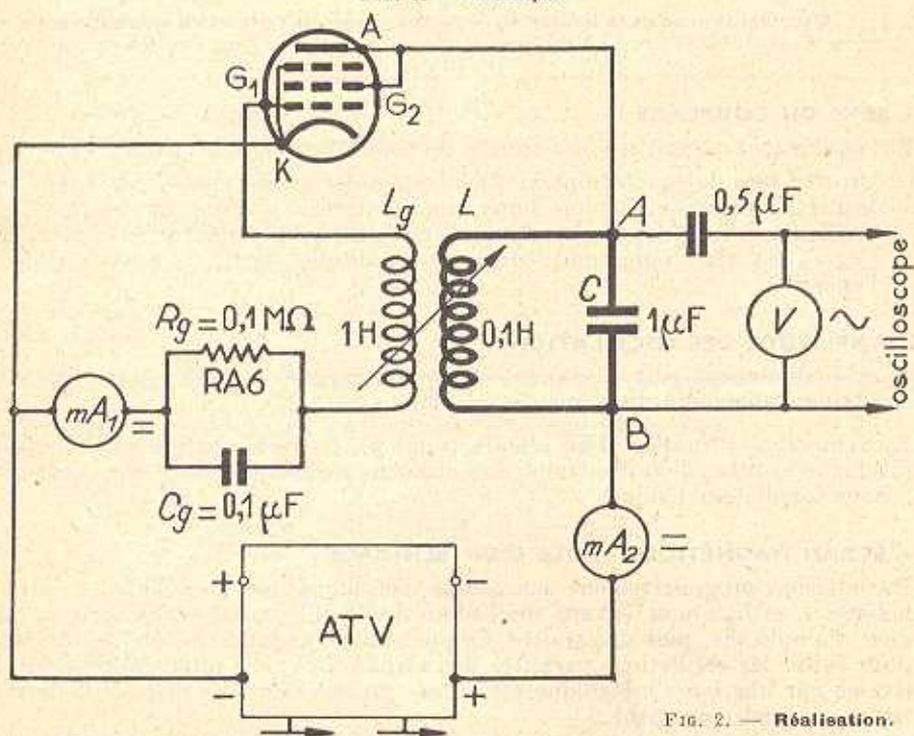


FIG. 2. — Réalisation.

- d) **Examen oscillographique du courant anodique  $I_a$**  (fig. 3). Brancher l'oscillographe aux bornes d'une petite résistance insérée entre la source d'anode et le C. O.

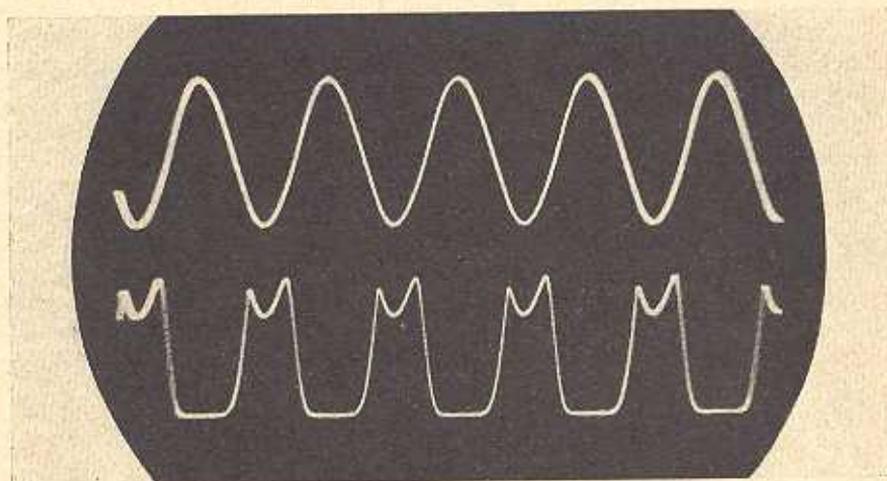


FIG. 3. — Oscillogrammes de la tension  $V_A - V_B$  aux bornes du C. O. et du courant anodique  $I_a$ . La source anodique débite lorsque le C. O. lui impose une f. c. é. m. et peut ainsi recevoir de l'énergie.

### 3. — SENS DU COUPLAGE

Les oscillations cessent si l'on permute les connexions de  $L$  ou de  $L_g$  :

Un seul sens de couplage permet l'entretien des oscillations. C'est le sens pour lequel  $L_g$  communique une impulsion positive à la grille lorsque le circuit oscillant se comporte comme une f. c. é. m. pour la source d'alimentation ( $V_A - V_B$  est alors minimum) ; dans ces conditions, le C. O. peut recevoir de l'énergie.

### 4. — AMPLITUDE DES OSCILLATIONS

$I_g$  et  $U$  diminuent puis  $U$  s'annule lorsqu'on éloigne  $L_g$  de  $L$ . L'amplitude des oscillations augmente donc avec le couplage.

REMARQUE. — Au-delà d'un certain couplage,  $C_g$  reste chargé trop longtemps et bloque le tube, d'où des trains d'oscillations séparés par des temps sans oscillations (oscillateur bloqué).

### 5. — ÉCRAN MAGNÉTIQUE ; ROLE D'UN BLINDAGE

Introduisons progressivement une plaque métallique (fer, aluminium...) entre les bobines  $L$  et  $L_g$  : nous voyons sur l'écran de l'oscillographe les oscillations diminuer d'amplitude, puis disparaître. Ce phénomène explique le rôle des blindages pour éviter les oscillations parasites des amplificateurs. L'interruption des oscillations par une lame métallique est encore utilisée dans des dispositifs de régulation, de positionnement...

## 6. — FRÉQUENCE DES OSCILLATIONS

Lorsqu'on diminue  $C$ , l'écouteur donne un son plus aigu : la fréquence des oscillations varie en sens inverse de la capacité du circuit oscillant. Le résultat est analogue lorsqu'on fait varier l'inductance  $L$ .

# C. — Étude quantitative

## 1. — EFFET DU COUPLAGE CIRCUIT D'ANODE-CIRCUIT DE GRILLE

Pour diminuer le couplage entre les inductances  $L$  et  $L_g$ , introduire des cales (en contre-plaqué) de 5 mm, par exemple, entre les boîtes serrées par un élastique.

Lorsqu'on diminue le couplage :  $I_g$  diminue progressivement ; la tension alternative  $U$  aux bornes du C. O. diminue, puis s'annule brusquement ; par contre, le courant anodique  $I_a$  de la triode augmente.

Il a été trouvé pour  $L = 0,1$  H ;  $C = 1 \mu\text{F}$  ;  $L_g = 1$  H ;  $V_b = 150$  volts.

Distance des fonds de $L$ et $L_g$ (en mm)	$I_g$ ( $\mu\text{A}$ )	$U$ (volt)	$I_a$ (mA)
0	63	43	17
3	57	42,5	18
6	51	41,5	19,5
9	44	39	23
12	36	33	29
vers 18 mm, les oscillations cessent	7	0	62

## 2. — DÉTERMINATION DE LA FRÉQUENCE DES OSCILLATIONS

a) *Calcul par la formule de Thomson :*

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ (hertz, henry, farad).}$$

$$\frac{1}{\pi} = 0,318 ; \quad \sqrt{LC} = \sqrt{0,10 \times 10^{-6}} = 10^{-3} \times 0,316,$$

d'où :

$$f = \frac{1}{2} \times \frac{0,318}{10^{-3} \times 0,316} \simeq \frac{1}{2 \times 10^{-3}} = 500 \text{ Hz.}$$

b) *Mesure de la fréquence à l'oscillographe.*

Attaquons l'oscillographe avec la tension de sortie de l'oscillateur ; réglons le balayage de façon à observer une ou deux périodes. Mesurer  $T$  puis  $f = \frac{1}{T}$ .

*Exemple.* — Balayage à 0,5 ms/cm ; 2 périodes occupent 8 cm :

$$T = \frac{0,5 \cdot 8}{2} = 2 \text{ ms} ; f = \frac{1}{2 \cdot 10^{-3}} = 500 \text{ Hz.}$$

### 3. — LA FRÉQUENCE EST INVERSEMENT PROPORTIONNELLE A LA RACINE CARRÉE DE LA CAPACITÉ DU C. O.

Remplaçons la capacité de  $1 \mu\text{F}$  utilisé jusqu'ici par une capacité de  $0,25 \mu\text{F}$  ; nous constatons que  $f = 1\,000 \text{ Hz}$  ; la fréquence devient 2 fois plus grande lorsque la capacité devient 4 fois plus faible.

Ce résultat est bien celui qu'indique la formule de Thomson. On trouverait la même loi en faisant varier  $L$ .

Observer de plus que les oscillations cessent pour une distance de  $L$  et  $L_y$  plus faible que dans le cas où  $C = 1 \mu\text{F}$  ; l'entretien des oscillations demande un couplage plus serré lorsqu'on augmente la capacité.

#### TRAVAIL A EFFECTUER

- 1° Étude qualitative des oscillations avec les valeurs indiquées et le même tube.
- 2° Étude quantitative avec  $C = 0,25 \mu\text{F}$ .
- 3° Mesure des fréquences avec  $C = 0,25$  et  $C = 1 \mu\text{F}$ .

*Allegrou*

(1) On évite ainsi d'avoir à utiliser un générateur B. F.

## IX. — PENTODE : CARACTÉRISTIQUES D'ANODE

Une pentode possède la même pente qu'une triode de puissance comparable, mais une résistance interne et un facteur d'amplification très supérieurs. Il résulte de cette augmentation un gain plus élevé et une forme différente des caractéristiques d'anode  $I_a (V_a)$ .

Pentode étudiée : EF 86.  $V_f = 6,3$  V. Dissipations : écran, 0,2 W ; anode, 1 W.

La forme des caractéristiques  $I_a (V_g)$  étant peu différente de celle d'une triode, nous nous occuperons seulement des caractéristiques  $I_a (V_a)$ .

### A. — Tracé d'une caractéristique d'anode

Pour simplifier le montage, nous tracerons la caractéristique  $I_a (V_a)$  pour une tension de grille de commande  $V_{g1} = 0$ . Une tension d'écran  $V_{g2}$  assez faible s'impose alors pour rester au-dessous de l'échauffement admissible pour l'écran. ( $V_{g2} = 50$  volts).

#### 1. — MONTAGE (fig. 1)

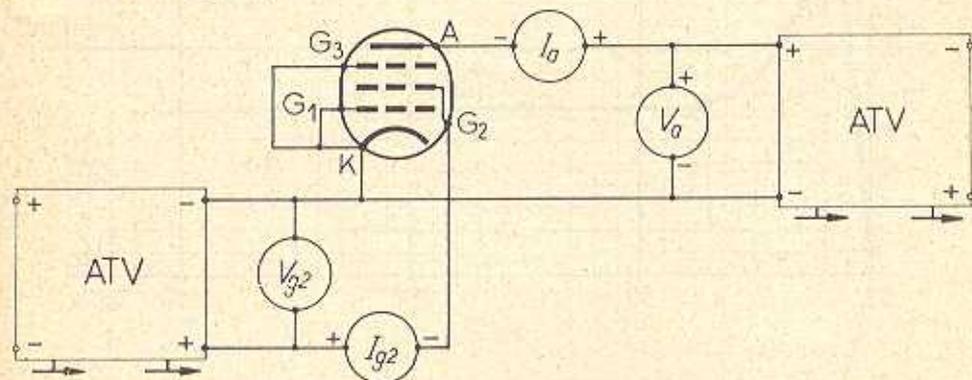


FIG. 1.

#### 2. — MODE OPÉRATOIRE

Donner à la tension anodique des valeurs échelonnées de 0 à 150 volts ; pour chaque valeur de  $V_a$ , noter le courant anodique  $I_a$  et le courant d'écran  $I_{g2}$ .

## 3. — TABLEAU DES MESURES

$V_a$ (volts)	0	5	10	15	20	30	50	70	100	150
$I_a$ (mA)	0,1	1,1	2,0	2,2	2,35	2,50	2,55	2,60	2,60	2,60
$I_{g2}$ (mA)	3,6	2,4	1,35	1,2	1,0	0,80	0,75	0,73	0,72	0,72

La somme  $I_a + I_{g2}$  reste sensiblement constante : la grille-écran et l'anode se partagent l'émission cathodique.

4. — TRACÉ DES CARACTÉRISTIQUES  $I_a(V_a)$  ET  $I_{g2}(V_a)$  (fig. 2)

Pour pouvoir adopter la même échelle pour les deux courbes  $I_a(V_a)$  et  $I_{g2}(V_a)$ , nous abandonnons le point  $V_a = 0$  ;  $I_{g2} = 3,6$  mA.

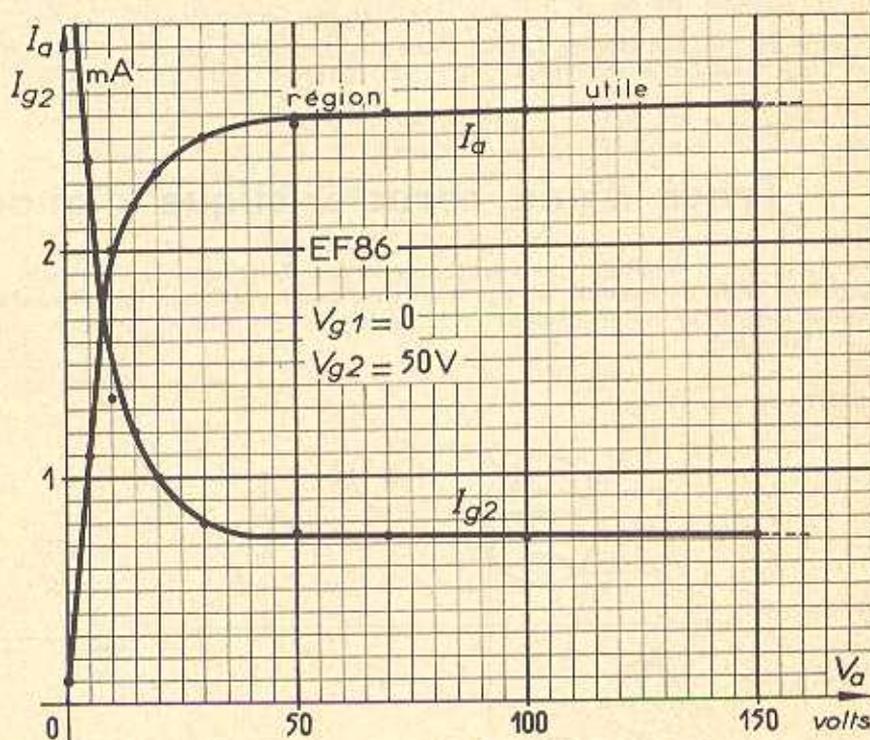


FIG. 2.

## B. — Résistance interne

1. — ORDRE DE GRANDEUR DE  $\rho$  DANS LA RÉGION RECTILIGNE DES CARACTÉRISTIQUES

La résistance interne d'une pentode est toujours donnée pour la région utile des caractéristiques  $I_a(V_a)$ , c'est-à-dire pour la partie rectiligne presque horizontale.

La mesure directe fait intervenir des  $\Delta I_a$  très faibles : l'incertitude relative est importante. On peut calculer seulement un ordre de grandeur.

Dans le cas présent, la résistance interne est au moins égale à :

$$\frac{100 - 50}{(2,60 - 2,55) \times 10^{-3}} = \frac{50\,000}{0,05} = 10^6 \text{ ohms ou } \rho > 1 \text{ M}\Omega.$$

## 2. — CALCUL DE $\rho$

En utilisant les différences  $V_a$  et  $I_a$  entre les points indiqués du tableau des mesures, on trouve :

$V_a$ :	0	5	10	15	20	30	50	100	150
$\Delta V_a$ (volts)	5	5	5	5	10	20	50	50	
$\Delta I_a$ (mA)	1,0	0,90	0,20	0,15	0,15	0,05	0,05	< 0,05	
$\rho$ (k $\Omega$ )	5	5,5	25	33	67	400	1 000	> 1 000	
Pour $I_a$ (mA)	0,6	1,5	2,1	2,3	2,4	$\approx 2,5$	2,6	> 2,6	

À l'inverse de la résistance interne d'une triode, la résistance interne d'une pentode augmente avec le courant et la tension d'anode (tableau et fig. 3).

## 3. — COURBE $\rho(I_a)$ (fig. 3)

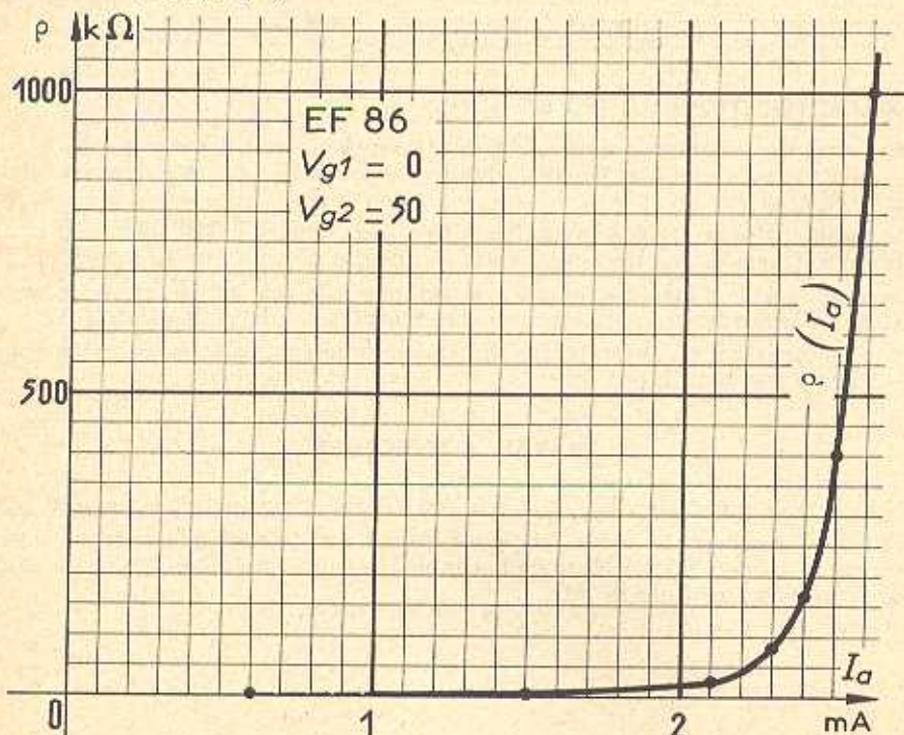


FIG. 3.

## C. — Rôle de la grille d'arrêt

### 1. — MONTAGE

Au lieu de relier la grille d'arrêt  $G_3$  à la cathode, relierons-la à la grille-écran  $G_2$  : le tube se comporte comme une tétrode ou tube à quatre électrodes (cathode, grille de commande, grille-écran et anode).

### 2. — MESURES

Le mode opératoire reste le même, ainsi que les polarisations :  $V_{g1} = 0$  et  $V_{g2} = 50$ . On a relevé le tableau suivant :

$V_a$ (volts)	0	1	5	10	15	20	25	40	50	60	70	80	120	150
$I_a$ (mA)	0,10	0,70	1,10	1,25	0,70	0,50	0,48	1,30	2,10	2,50	2,65	2,70	2,75	2,80
$I_{g2}$ (mA)	3,40	2,80	2,55	2,65	3,15	3,30	3,30	2,40	1,40	0,90	0,70	0,60	0,50	0,50

### 3. — CARACTÉRISTIQUES $I_a (V_a)$ ET $I_{g2} (V_a)$

Elles sont données par la figure 4, p. 72. Lorsque  $V_a$  croît, les variations de  $I_a$  et  $I_{g2}$  sont de sens opposés, de sorte que la somme  $I_a + I_{g2}$  reste approximativement constante.

La caractéristique  $I_a (V_a)$  présente, aux faibles valeurs de la tension d'anode, un crochet vers le bas dû à l'émission secondaire d'anode captée par  $G_2$ .

Lorsque la grille d'arrêt est réunie à la cathode, elle renvoie les électrons secondaires à l'anode, les empêchant ainsi d'être captés par la grille-écran (§ A).

Dans ce montage, on constate une dispersion importante pour les caractéristiques de différents tubes EF 86.

### TRAVAIL A EFFECTUER

Mêmes essais mais pour  $V_{g1} = -1,5$  volt (élément de pile) et  $V_{g2} = 100$  volts. On pourra comparer les caractéristiques en pentode, tétrode, triode et diode avec la série de 4 tubes S 7024 Mazda; chacun de ces tubes ne diffère du précédent que par la suppression d'une grille.

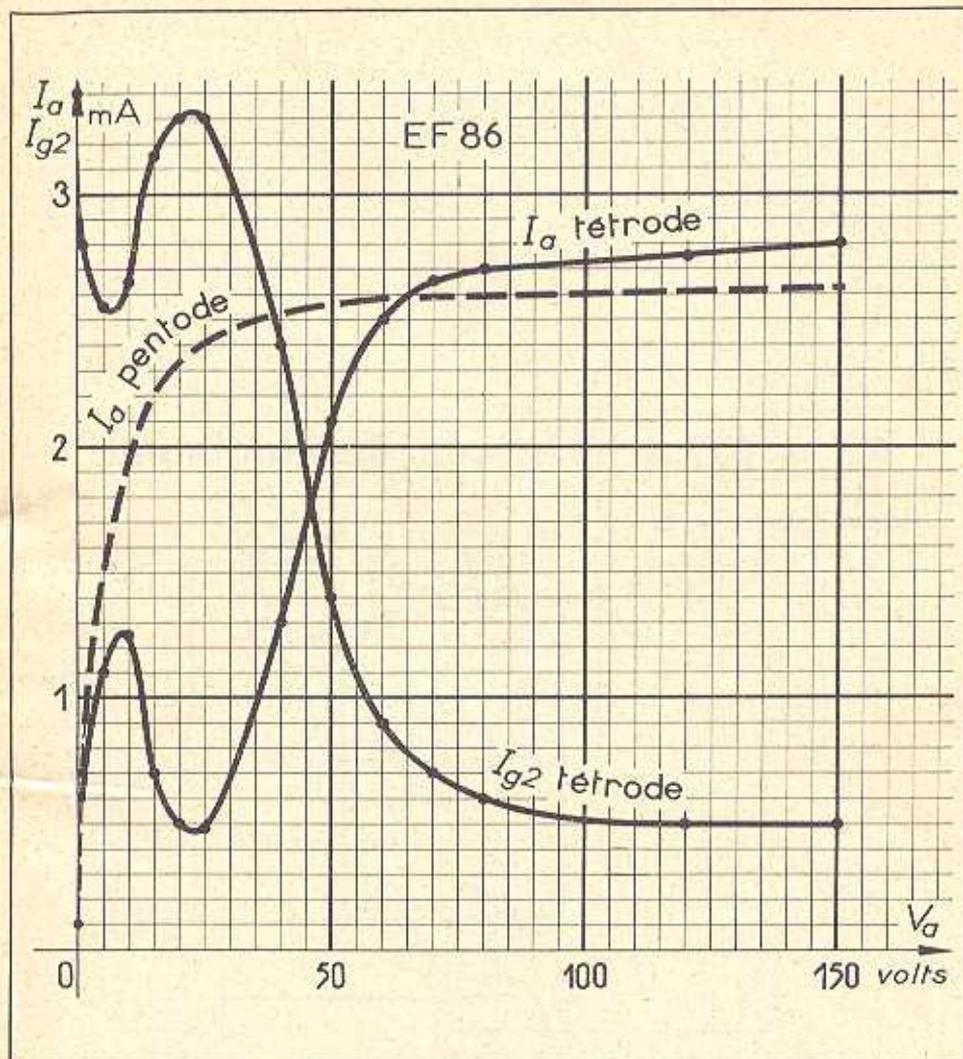


FIG. 4.

En tétrode :  $V_{g1} = 0$  ;  $V_{g2} = V_{g3} = 50$  volts.

En pentode :  $V_{g1} = V_{g3} = 0$  ;  $V_{g2} = 50$  volts, voir fig. 2 p. 62.

## X. — THYRATRON : FONCTIONNEMENT

Thyratron Mazda 2050. Tension de chauffage : 6,3 volts. Facteur de commande de l'ordre de 250 (pour  $R_g = 0$ ).

Courant cathodique à ne pas dépasser : pointe, 1 A ; moyen, 0,1 A.

**Remarques.** — 1°) Ce thyatron étant du type tétrode, la grille  $G_2$  sera reliée à la cathode.

2°) Un condensateur de l'ordre de 1 000 pF entre grille de commande et cathode évite les amorçages intempestifs.

### A. — Caractéristique de commande

#### I. — MONTAGE (fig. 1 et 2)

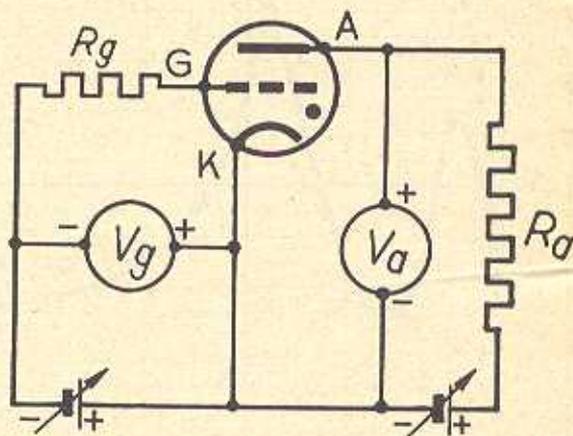


FIG. 1. — Principe.

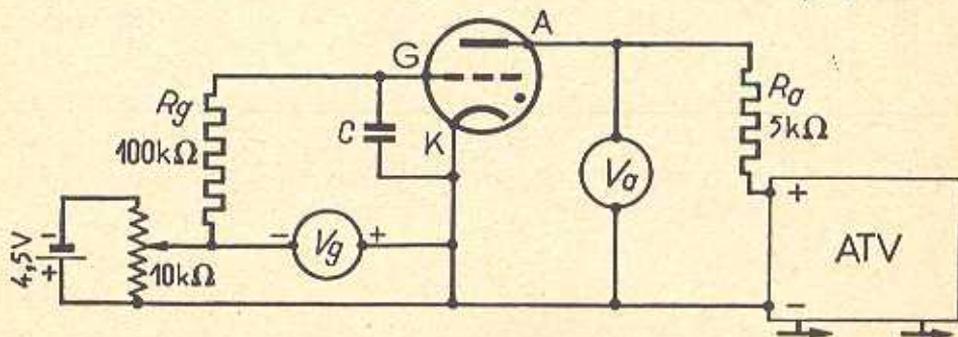


FIG. 2. — Réalisation.

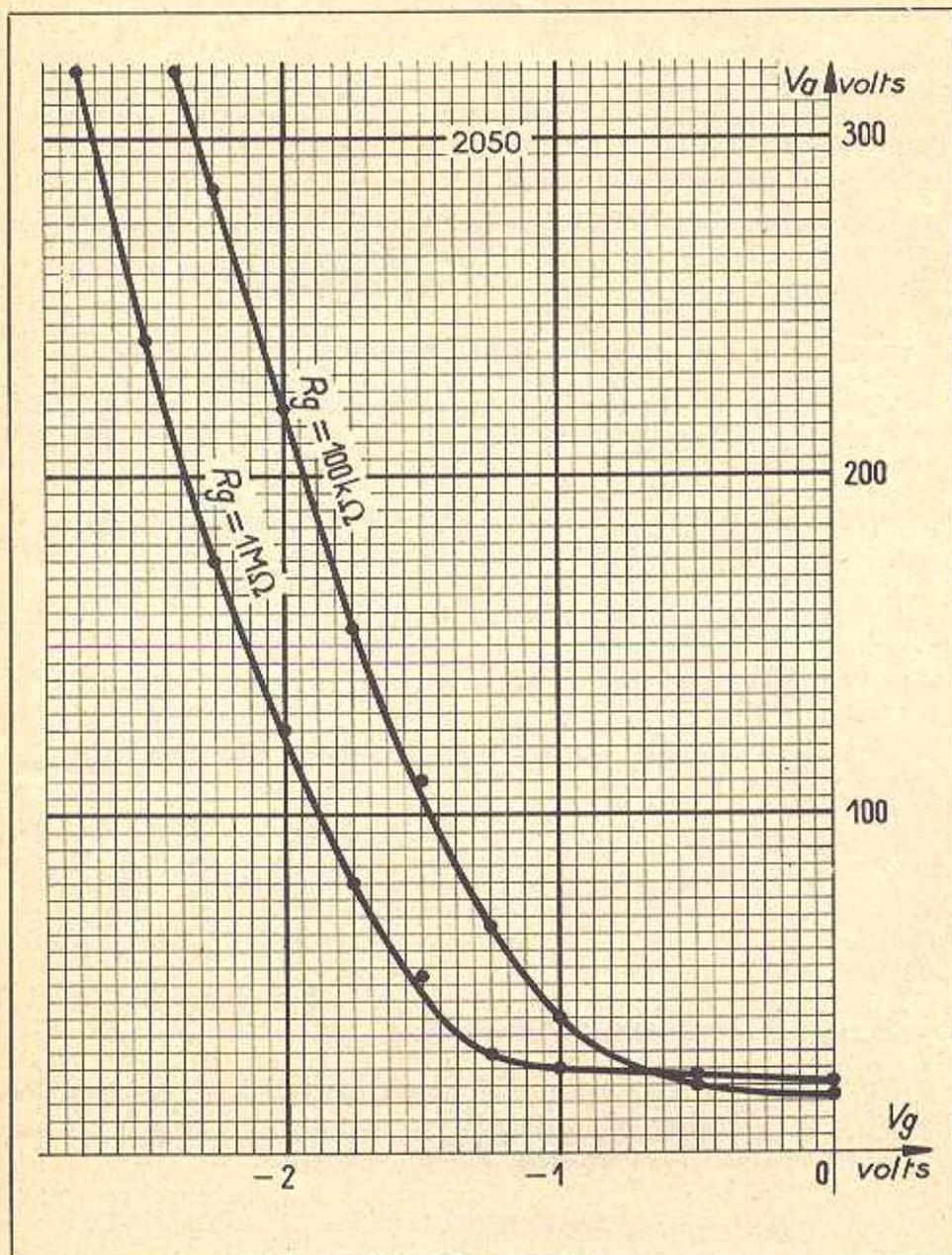


FIG. 3. — Caractéristiques de commande.

## 2. — TENSION CRITIQUE DE GRILLE

Portons la grille à  $V_g = -4,5$  volts, puis appliquons une tension anodique  $V_a = 300$  volts : le thyatron ne s'amorce pas. Diminuons progressivement la polarisation de la grille ; pour  $V_g = -2,3$  volts, le thyatron s'amorce (la tension aux bornes tombe à  $V_{an} \approx 15$  volts).

A la tension anodique 300 volts correspond la tension critique de grille  $-2,3$  volts.

La courbe représentant la variation de la tension critique de grille en fonction de la tension anodique est la caractéristique de commande du thyatron.

Il est d'usage de porter  $V_g$  en abscisses et  $V_a$  en ordonnées.

## 3. — TRACÉ DE LA CARACTÉRISTIQUE DE COMMANDE

$V_a$  variant beaucoup plus que  $V_g$ , on augmente la précision en laissant  $V_g$  fixe et en faisant croître progressivement  $V_a$  ; en outre, on surveille ainsi le voltmètre d'anode qui indique l'allumage.  $R_g = 100$  k $\Omega$ .

$V_g$ (volts)	0	-0,50	-1,0	-1,25	-1,50	-1,75	-2,0	-2,25	-2,40
$V_a$ (volts)	17	20	40	67	110	155	215	285	320

Cette caractéristique est représentée sur la figure 3, page 80.

## 4. — LA TENSION CRITIQUE DE GRILLE AUGMENTE (EN VALEUR ABSOLUE) AVEC LA RÉSISTANCE DE GRILLE

Recommençons les mesures précédentes avec une résistance de grille 10 fois plus grande (1 M $\Omega$ ) :  $R_g = 1$  M $\Omega$ .

$V_g$ (volts)	0	-0,50	-1,0	-1,25	-1,50	-1,75	-2	-2,25	-2,5	-2,75
$V_a$ (volts)	21	23	25	29	52	80	120	175	240	320

Cette caractéristique (fig. 3) est située à gauche de celle qui correspond à  $R_g = 100$  k $\Omega$ .

## 5. — FACTEUR DE COMMANDE DU THYRATRON

C'est le rapport  $\frac{\Delta V_a}{\Delta V_g}$  d'une variation de tension anodique à la variation correspondante de la tension critique de grille. On considère généralement la partie quasi rectiligne de la caractéristique. Pour  $R_g = 0,1$  M $\Omega$  :

$$\text{facteur de commande} \approx \frac{320 - 110}{2,40 - 1,50} = \frac{210}{0,90} = 234.$$

Il est pratiquement le même pour  $R_g = 1$  M $\Omega$ .

## B. — Courbe de contrôle

En application de la caractéristique de commande et pour pouvoir interpréter les mesures qui vont suivre, traçons la courbe de contrôle du thyatron pour une tension anodique alternative de 310 volts (50 Hz). Tension anodique maximum :  $310\sqrt{2} = 438$  volts.

I. — TRACÉ DE LA COURBE DE CONTRÔLE POUR  $R_g = 100 \text{ k}\Omega$  (fig. 4)

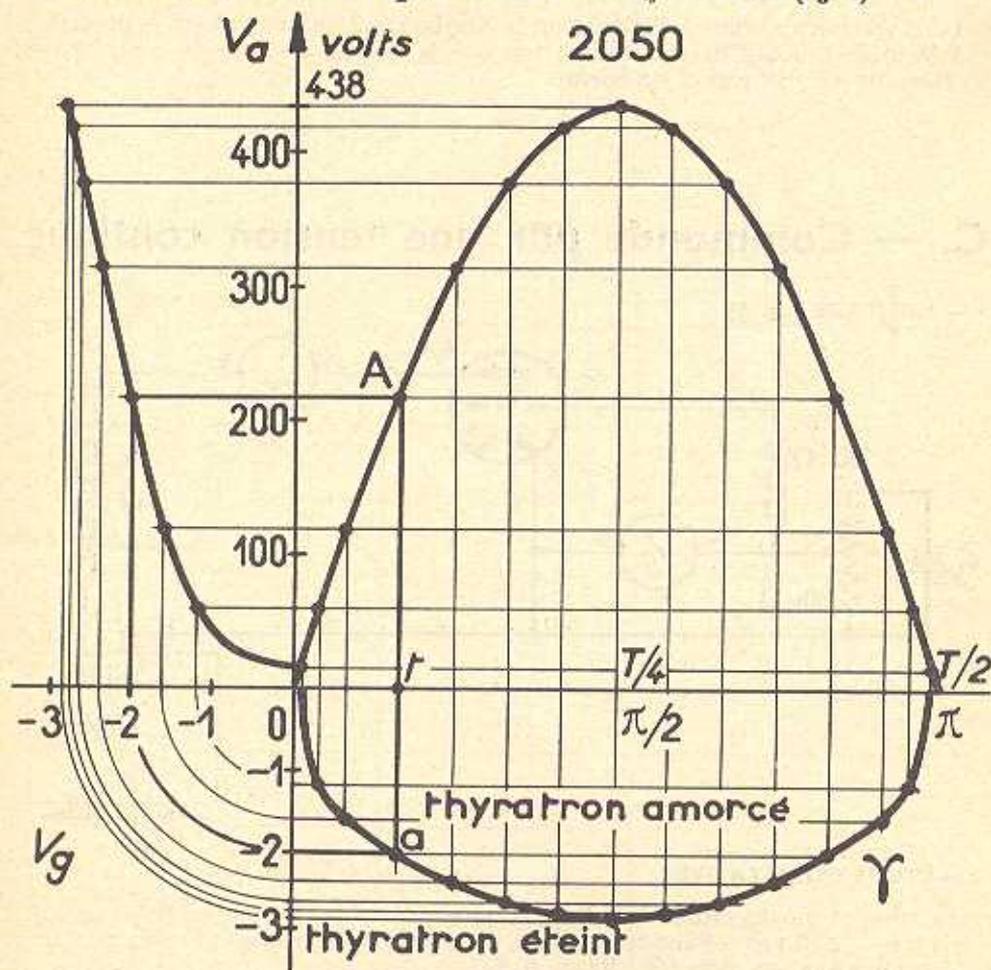


FIG. 4. — Courbe de contrôle :  
En trait fort : construction du point *a* correspondant au point *A* de la tension anodique.

A toute valeur  $V_g$  de la tension critique de grille, la caractéristique de commande fait correspondre une valeur instantanée  $V_a$  de la tension anodique, donc un instant  $t$ .

On appelle courbe de contrôle la courbe  $V_g(t)$  représentant la variation de la tension critique en fonction du temps, pour une tension anodique sinusoïdale donnée.

REMARQUE. — La caractéristique de commande a été prolongée de 320 volts à 438 volts en admettant qu'elle est rectiligne dans cette région, ce qui est pratiquement exact.

## 2. — APPLICATION A LA COMMANDE DU THYRATRON

Le thyatron s'amorce à l'instant où la courbe représentant la tension appliquée à la grille (tension de commande) traverse la courbe de contrôle de la région inférieure vers la région supérieure.

## C. — Commande par une tension continue

### 1. — MONTAGE (fig. 5)

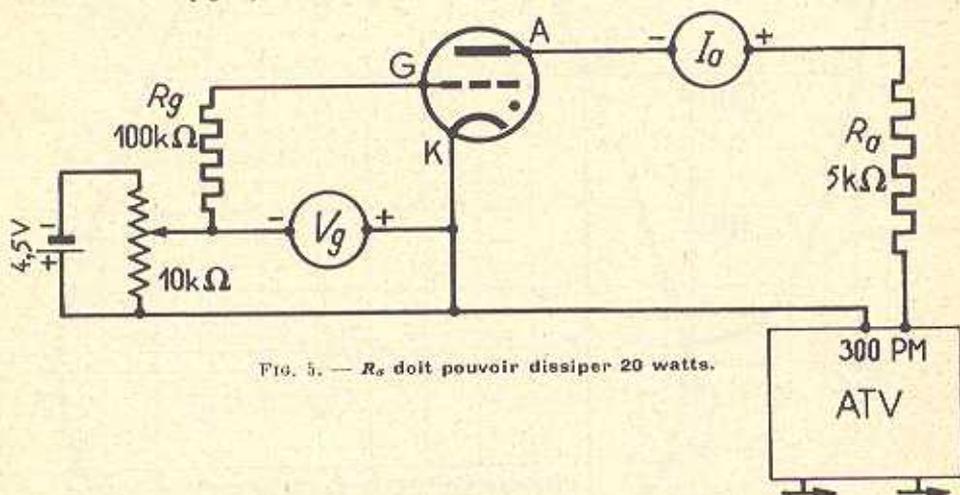


FIG. 5. —  $R_a$  doit pouvoir dissiper 20 watts.

### 2. — ÉTUDE QUALITATIVE

Le courant moyen redressé  $I_a$  diminue progressivement lorsqu'on fait varier  $V_g$  de 0 à -2,85 volts. Pour cette valeur, il s'annule brusquement ; l'angle de retard de l'allumage est alors  $90^\circ$  (fig. 6, p. 84).

Ces faits s'expliquent aisément en considérant l'intersection d'une horizontale mobile ( $V_g$  constante) et de la courbe de contrôle  $\gamma$ . Nous prévoyons ainsi que la tension et le courant redressés sont réglables progressivement entre un maximum correspondant à  $V_g = 0$  et la moitié de ce maximum.

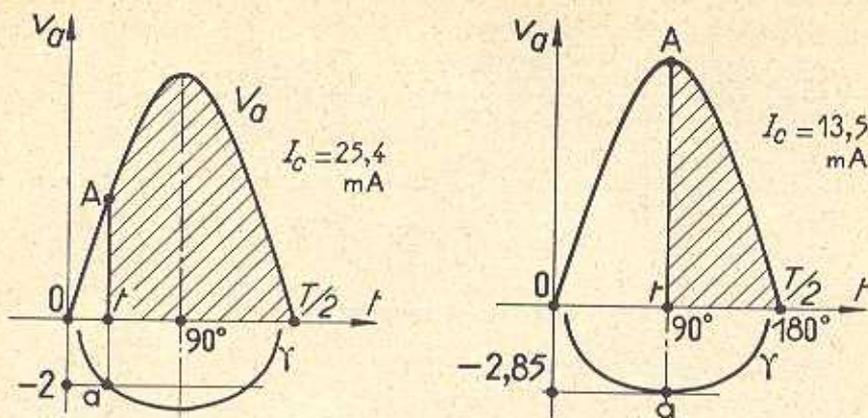


FIG. 6. — Commande par une tension continue.

3. — VARIATIONS DU COURANT MOYEN REDRESSÉ (fig. 7).

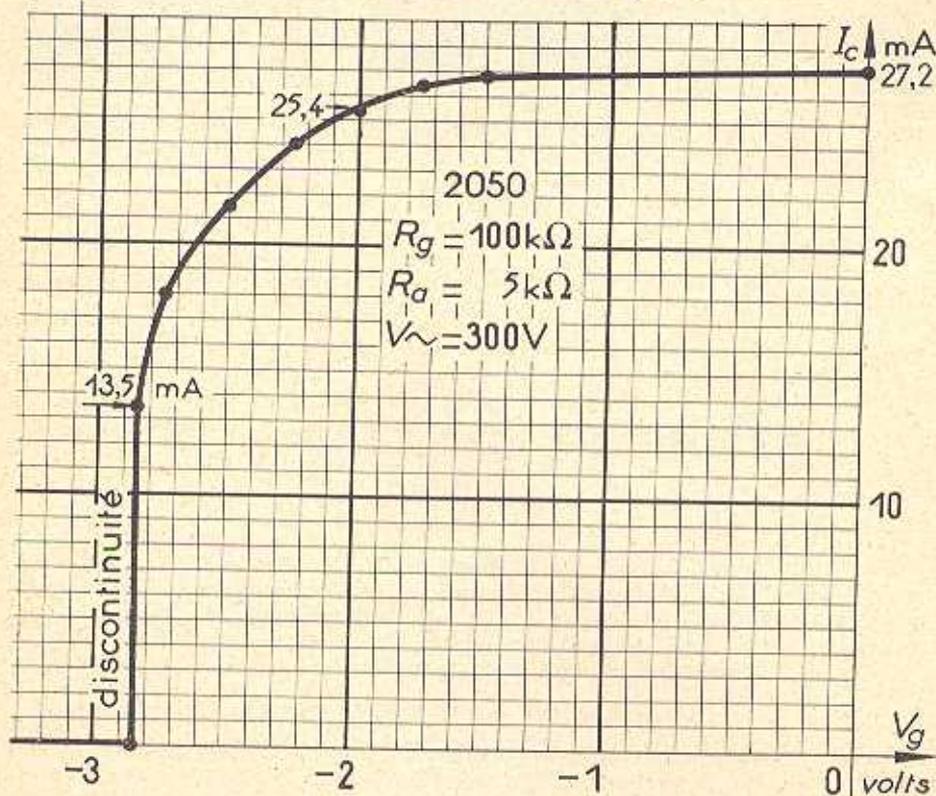


FIG. 7.

Les mesures ont donné :

$V_g$ (volts)	0	- 1,5	- 1,75	- 2	- 2,25	- 2,5	- 2,75	- 2,85	< - 2,85
$I_c$ (mA)	27,2	26,8	26,4	25,4	24	21,5	17	13,5	0

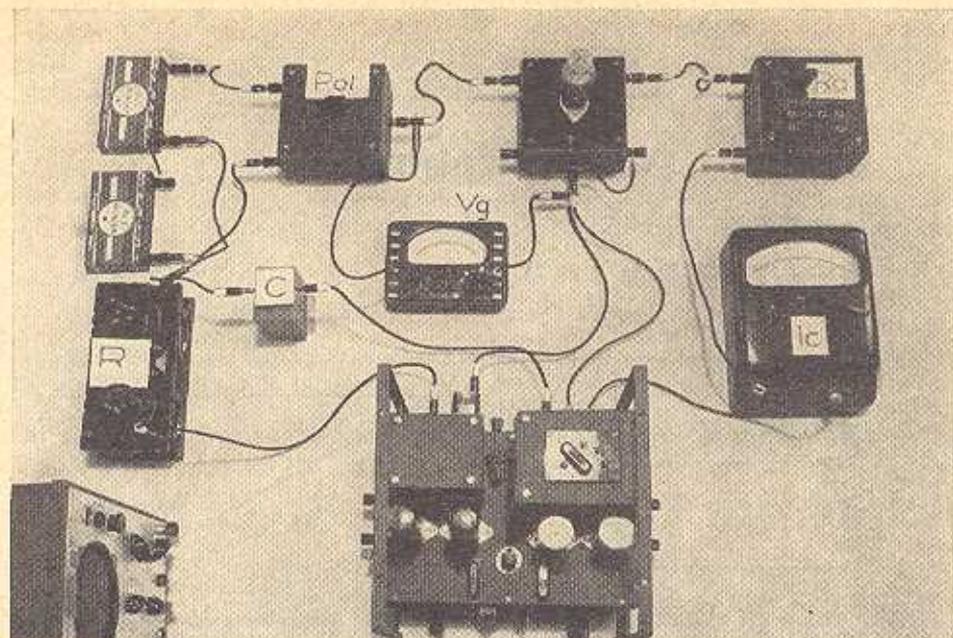
La moitié du courant maximum :  $\frac{27,2}{2} = 13,6$  mA est pratiquement égale à la valeur (13,5 mA) après laquelle le courant s'annule.

#### TRAVAIL A EFFECTUER

Avec le même tube ou avec le thyatron 2 D 21 :

Relever la caractéristique de commande pour :  $R_g = 100$  k $\Omega$  et  $R_g = 500$  k $\Omega$ .  
 Construire la courbe de contrôle ; commande par une tension continue avec  $R_g = 500$  k $\Omega$ .





*Cliché des auteurs.*

La résistance de grille  $R_g$  et le condensateur de 1 000 pF sont disposés à l'intérieur du châssis. Par rapport au montage de la figure 10, le déphaseur et la polarisation continue sont permutés.

## XI. — RÉGLAGE DE PHASE

Le réglage de phase consiste à faire varier l'instant de la période à partir duquel on permet la conduction d'une soupape (ou redresseur).

Cette soupape (tube à gaz, thyristor) est munie d'une électrode de commande (grille, igniteur, gâchette), qui la bloque au début de l'alternance positive de la tension d'anode pendant un certain angle appelé *angle de retard*.

Redresseur utilisé : thyatron 2050 (caractéristiques, p. 67).

La commande horizontale (ou par déphasage) et la commande verticale utilisent un déphaseur ; aussi commencerons-nous par le montage et l'étude d'un déphaseur à résistance et capacité.

## A. — Déphaseur

### I. — RAPPEL DU PRINCIPE (fig. 1 et 2)

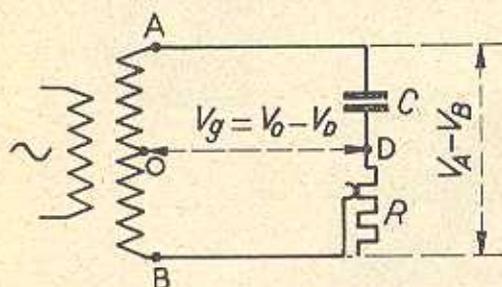


FIG. 1. — Schéma du déphaseur à résistance et capacité.  $R$  commande la phase de la tension  $V_g$ .

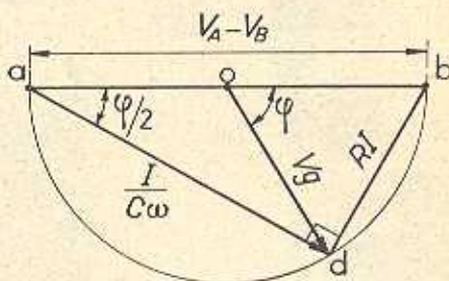


FIG. 2. — Diagramme vectoriel correspondant au montage de la figure 1. Lorsque  $R$  varie, le point  $d$  décrit le demi-cercle.

Dans le montage de la figure 1,  $V_g = V_o - V_D$  conserve une grandeur constante lorsque  $R$  varie, mais sa phase est fonction de  $R$ . La règle de Fresnel donne la relation vectorielle :

$$\overrightarrow{(V_A - V_B)} = \overrightarrow{(V_A - V_D)} + \overrightarrow{(V_D - V_B)}$$

ou

$$\overrightarrow{(V_A - V_B)} = \frac{\vec{I}}{C\omega} + R\vec{I}$$

Dans le diagramme vectoriel de la figure 2 :

$$\overrightarrow{(V_A - V_B)} = \overrightarrow{ab}, \quad \overrightarrow{(V_A - V_D)} = \overrightarrow{ad}, \quad \text{etc.}$$

La relation précédente est représentée par le triangle rectangle  $adb$ . Lorsque  $R$  varie, le point  $d$  décrit le demi-cercle  $adb$ . Calculons  $(V_o - V_D)$  :

$$\overrightarrow{(V_o - V_D)} = \overrightarrow{(V_o - V_A)} + \overrightarrow{(V_A - V_D)} = \overrightarrow{oa} + \overrightarrow{ad} = \overrightarrow{od}$$

$\overrightarrow{od}$  est un rayon du demi-cercle : sa longueur est invariable. Lorsque  $R$  varie, la tension  $(V_o - V_D)$  conserve donc une valeur constante égale à la tension fournie par un demi-secondaire.

Son déphasage  $\varphi$  sur  $(V_A - V_B)$  est tel que :

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = RI : \frac{I}{C\omega} = RC\omega.$$

Théoriquement,  $\varphi$  croît de 0 à 180° lorsque  $R$  croît de 0 à l'infini. Pratiquement, ce déphaseur donne un déphasage réglable sans discontinuité entre 0 et 150° environ.

## 2. — VÉRIFICATION EXPÉRIMENTALE (VALEURS SUR fig. 5 et 6).

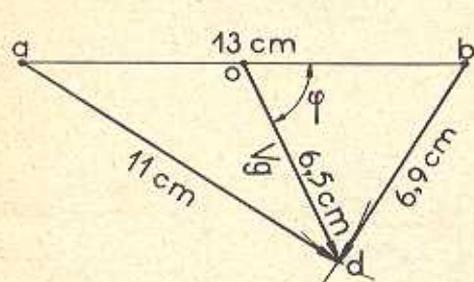
a) *Branchons un voltmètre entre D et O et faisons varier R* : le voltmètre indique toujours la même tension  $V_o = 6,5$  volts.

b)  $R = 200$  ohms. — Mesurons avec le même voltmètre (calibre 30 volts) les tensions :

$$V_A - V_B = ab = 13 \text{ volts}; \quad V_A - V_D = \frac{I}{C\omega} = ad = 11 \text{ volts};$$

$$V_D - V_B = RI = db = 6,9 \text{ volts.}$$

Construisons le triangle  $adb$ , connaissant les trois côtés (1 cm = 1 volt). Mesurons



$od \simeq 6,5 \text{ cm} = 6,5 \text{ volts}$ , et  $\varphi = 64^\circ \frac{1}{2}$  (fig. 3).

Or  $RC\omega = 200 \times 10^{-5} \times 314 = 0,628$ .

$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = 0,628$ ; d'où  $\frac{\varphi}{2} = 32^\circ 10'$  et  $\varphi = 64^\circ 20'$ , ce qui confirme les mesures.

c)  $R = 500$  ohms. — On trouve de même :

$V_A - V_B = 13 \text{ volts}; \quad V_D - V_B = 10,9 \text{ volts};$

$$V_A - V_D = 7 \text{ volts};$$

FIG. 3. — Tracé du diagramme vectoriel pour  $R = 200 \Omega$ .

On construit le triangle  $adb$  connaissant les trois côtés.

d'où le diagramme (fig. 4) sur lequel on mesure :

$$V_D - V_o = 6,5 \text{ volts}; \quad \varphi = 114^\circ.$$

$$\text{Or} \quad \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = RC\omega \\ = 500 \times 10^{-5} \times 314 = 1,57.$$

$$\text{D'où} \quad \frac{\varphi}{2} = 57^\circ 30' \text{ et } \varphi = 115^\circ,$$

ce qui confirme la mesure.

Ainsi pour  $C = 10 \mu\text{F}$  et  $f = 50 \text{ Hz}$ , le déphasage augmente de  $64^\circ$  à  $115^\circ$  lorsque  $R$  croît de 200 à 500 ohms.

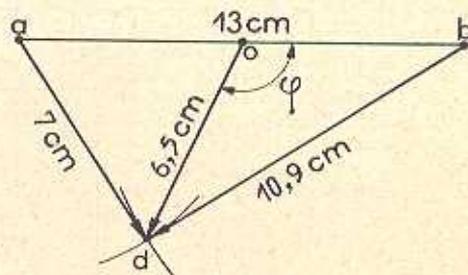


FIG. 4. — Diagramme résultant des mesures pour  $R = 500 \Omega$ .

## B. — Commande horizontale, ou commande par déphasage

### I. — MONTAGE (fig. 5 et 6)

Utilisons la tension de sortie du déphaseur précédent comme tension de commande d'un thyatron.

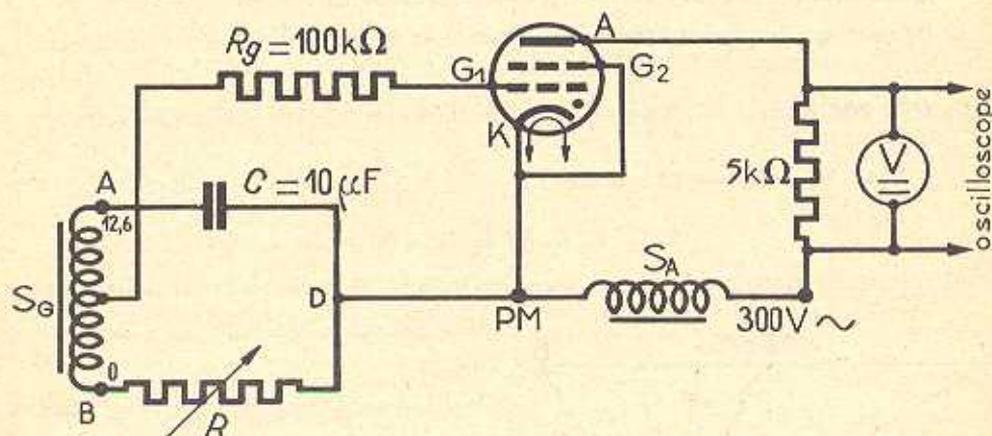


Fig. 5. — Principe.

La résistance  $R$  commande la tension et la puissance fournies à la charge.

Les secondaires  $S_A$  et  $S_G$  doivent fournir deux tensions en phase.

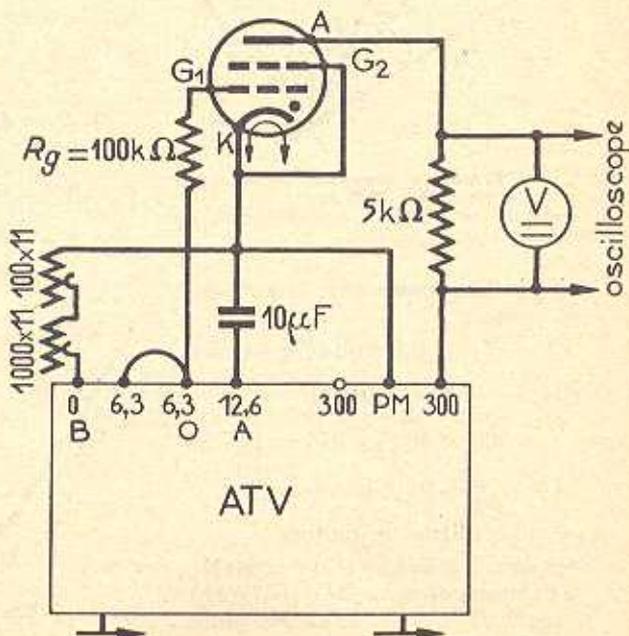


Fig. 6. — Réalisation du montage pour commande horizontale.

## 2. — FONCTIONNEMENT

- a) *Augmentons la résistance  $R$  du déphaseur : la tension redressée diminue.*

INTERPRÉTATION. — En augmentant  $R$ , on augmente le retard de la tension de commande  $V_g$  sur la tension anodique.

La courbe  $V_g(t)$  coupe la courbe de contrôle  $\gamma$  (p. 82) plus tard.

- b) *L'angle de retard  $\theta$  peut dépasser  $90^\circ$ .*

Nous avons vu que  $0 \leq \theta < 90^\circ$  avec une tension de commande continue. Au contraire, avec la commande horizontale :

—  $U_c$  prend des valeurs inférieures à la moitié du maximum. Maximum :

133 volts pour  $R = 0$  ; nous constatons  $U_c \simeq \frac{133}{2}$  pour  $R = 450$  et pour

$R = 2\,800$  ohms,  $U_c$  est seulement 4,5 volts ;

— l'examen du courant à l'oscillographe montre que, pour  $R > 450 \Omega$ , la durée de conduction est inférieure au quart de la période.

- c) *Variation de la tension redressée  $U_c$  en fonction de la résistance  $R$  du déphaseur.*

$R$ (ohms)	0	100	200	300	400	500	700	900	1 200	1 500	1 800	2 800
$U_c$ (volts)	133	126	112	91	74	59	39	28	19	13	10	4,5

Courbe  $U_c(R)$  (fig. 7).

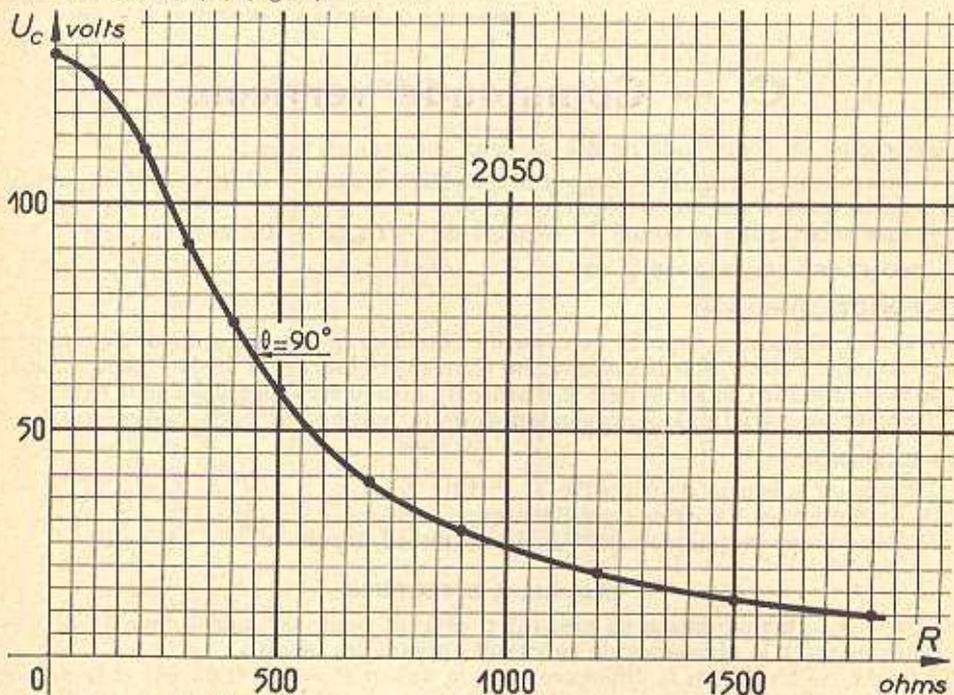


FIG. 7. — Pour  $U_c = \frac{133}{2}$  volts, on obtient  $\theta \approx 90^\circ$  (procédé de réglage pour la commande verticale).

### 3. — EXERCICE

Calculer la valeur de  $U_c$  pour  $R = 0$ , connaissant la tension d'alimentation : 310 volts, et en admettant une chute d'arc de 10 volts.

RÉPONSE : 135 volts.

### 4. — MESURE A L'OSCILLOGRAPHE DE L'ANGLE DE RETARD $\theta$

On mesure :

- la période  $T$  (par exemple 20 ms) ;
- la durée du repos (par exemple 12,8 ms).

On en déduit :

temps de blocage :

$$t_o = \text{temps de repos} - \frac{T}{2}$$

$$t_o = 12,8 - 10 ;$$

$$t_o = 2,8 \text{ ms.}$$

$$\theta = 360^\circ \cdot \frac{t_o}{T}$$

$$= 360 \frac{2,8}{20} = 50,4 \approx 50^\circ.$$

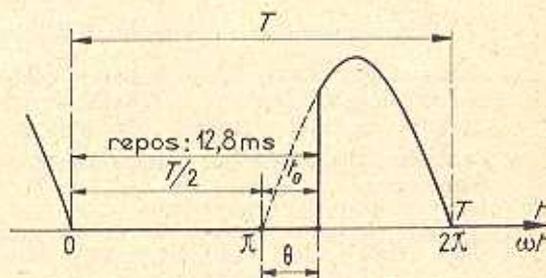


FIG. 8. — Oscillogramme de la tension redressée pour une résistance du déphaseur  $R = 200 \Omega$ .

## C. — Commande verticale

La tension de commande résulte de deux tensions en série :

- une tension alternative d'amplitude modérée  $U_m$  et déphasée de  $90^\circ$  en arrière de la tension anodique (légende, fig. 7) ;
- une polarisation continue  $V_g$ , réglable de  $-U_m$  à  $+U_m$  environ.

#### 1. — MONTAGE (fig. 9 et 10, p. 92)

#### 2. — FONCTIONNEMENT

Brancher l'entrée à courant continu de l'oscillographe entre grille de commande et cathode. Faire varier la polarisation continue : observer le déplacement vertical de la courbe sur l'écran de part et d'autre du niveau zéro (potentiel de la cathode). Observer les variations correspondantes de la tension redressée (voltmètre).

#### 3. — EXERCICE

A l'aide de la courbe de contrôle (T. P. 12) :

- 1° Expliquer les variations précédentes ;
- 2° Déterminer graphiquement l'angle de retard  $\theta$  pour  $V_g = -6$  volts.

#### TRAVAIL A EFFECTUER

Effectuer la manipulation en prenant  $C = 5 \mu\text{F}$  pour le condensateur du déphaseur ; adapter la résistance de ce circuit suivant les besoins.

Exercice. — Expliquez la différence entre la valeur  $R = 450 \Omega$  du § B et la valeur théorique :  $318 \Omega$  qui correspond à  $\theta = 90^\circ$ . Montrez, à l'aide d'une figure, l'influence sur  $\theta$  de l'amplitude de la tension de commande dans la commande horizontale.

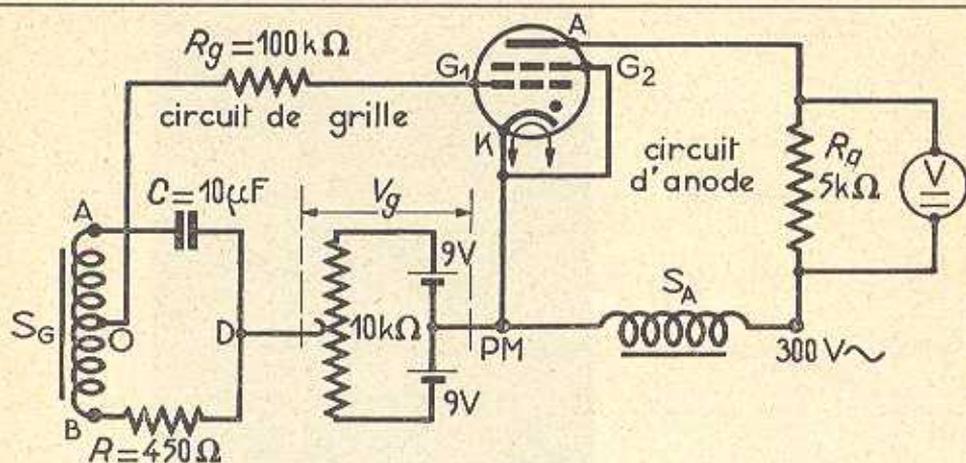


FIG. 9. — Principe.

$R = 450 \Omega$  correspond à un angle de retard  $\varphi = 90^\circ$ , lorsque la polarisation continue  $V_g$  est nulle. Les sources  $S_A$  et  $S_G$  doivent fournir deux tensions en phase.

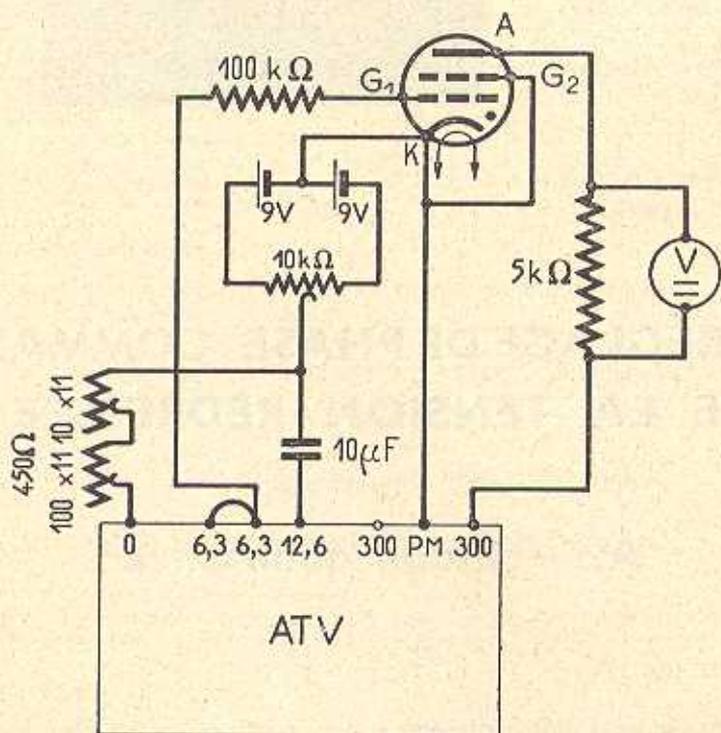


FIG. 10. — Réalisation du montage de la figure 9.

**Oscillogrammes de la tension redressée.**

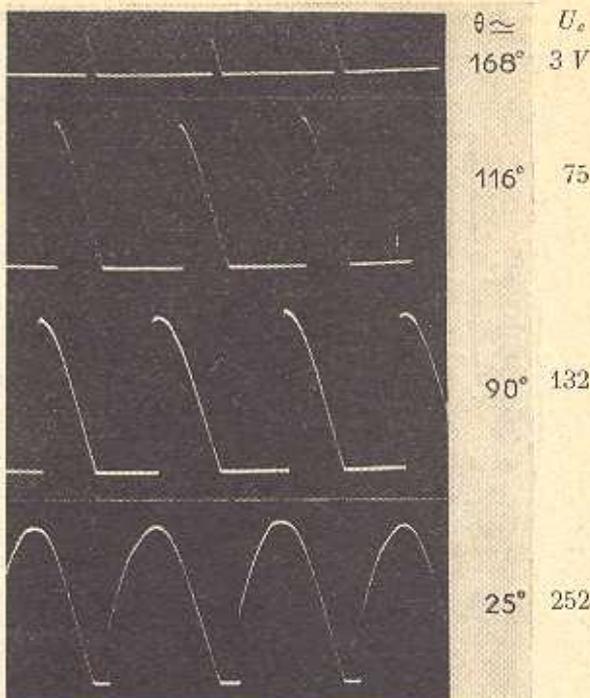
L'angle de retard  $\theta$  correspond à l'intervalle de temps  $t_1$  pendant lequel la grille bloque le thyatron :

$$\frac{t}{360} = \frac{t_0}{T} \text{ avec } t \text{ en degrés.}$$

$\theta$  est mesurable sur les oscillogrammes. La tension moyenne redressée diminue lorsque  $\theta$  augmente.

Pour  $\theta = 0$ , on a  $U_{e0} = 264$  volts.

$$U_e = U_{e0} \frac{1 + \cos \theta}{2}.$$



*Cliché des auteurs.*

## XII. — RÉGLAGE DE PHASE : COMMANDE DE LA TENSION REDRESSÉE

### A. — Étude qualitative

#### I. — MONTAGE (fig. 1)

Le montage est celui d'un redresseur à prise médiane (p. 75) avec, en outre, la commande de la tension et de la puissance utile par les grilles.

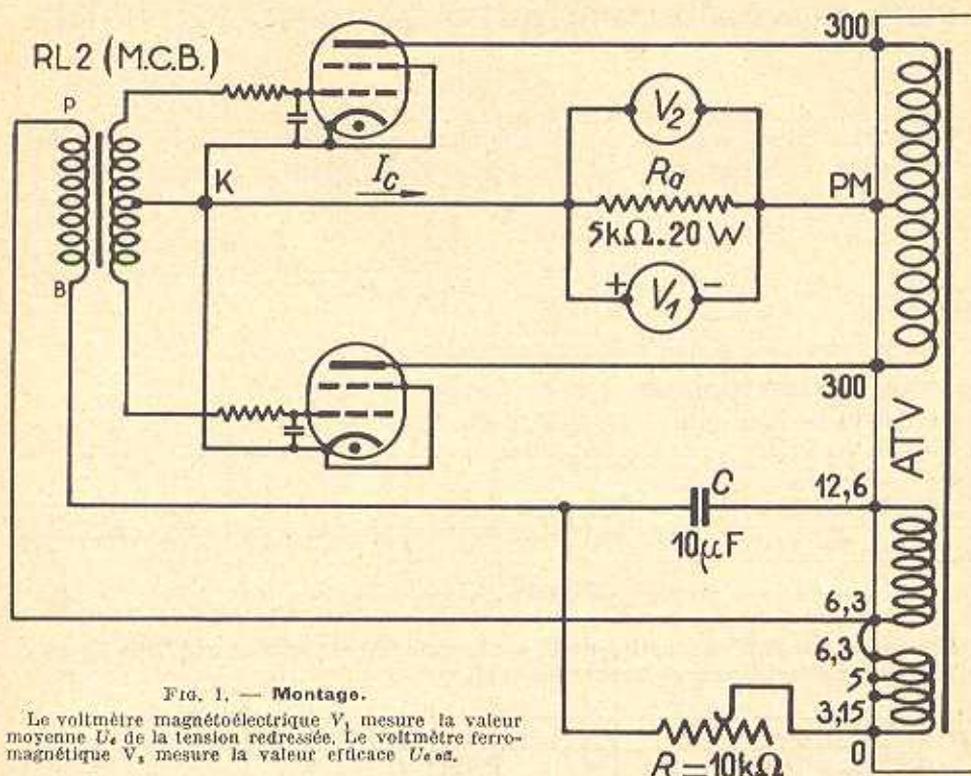


FIG. 1. — Montage.

Le voltmètre magnétoélectrique  $V_2$  mesure la valeur moyenne  $U_e$  de la tension redressée. Le voltmètre ferromagnétique  $V_1$  mesure la valeur efficace  $U_{eff}$ .

## 2. — FONCTIONNEMENT

Nous constatons que le rhéostat de  $10\text{ k}\Omega$  permet de faire varier la tension redressée moyenne de 3 volts à 264 volts.

## 3. — OSCILLOGRAMMES DE LA TENSION REDRESSÉE : photographie en tête.

# B. — Facteur de forme de la tension redressée

La tension redressée est une grandeur ondulée (ou pulsatoire), c'est-à-dire qui varie périodiquement sans changement de signe.

## 1. — DÉFINITION

Le facteur de forme  $F$  d'une grandeur ondulée est le rapport de la valeur efficace à la valeur moyenne (pendant une période ou une durée grande par rapport à la période).

Nous désignerons par  $U_{c\text{eff}}$  la tension redressée efficace et par  $U_c$  la tension redressée moyenne :

$$F = \frac{U_{c\text{eff}}}{U_c}$$

Dans le cas du redressement double alternance, pleine onde,  $U_m$  désignant l'amplitude, on a :

$$U_{c\text{eff}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \text{ et } U_c = \frac{2}{\pi} U_m,$$

d'où :

$$F = \frac{U_m}{\sqrt{2}} : \left( \frac{2}{\pi} U_m \right) = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11.$$

Pour le redressement simple alternance pleine onde :  $F = 1,57$ .

## 2. — TABLEAU DES MESURES

On fait varier  $R$  et on note  $U_c$  et  $U_{c\text{eff}}$  (fig. 1).

Lorsque les grilles n'introduisent aucun retard à l'allumage, nous trouvons bien  $F \approx 1,11$ .

$U_c$ (volts)	264	220	180	150	120	100	80	60	40	20
$U_{c\text{eff}}$ (volts)	298	280	250	226	195	172	146	118	86	49
$F = \frac{U_{c\text{eff}}}{U_c}$	1,13	1,27	1,39	1,51	1,62	1,72	1,83	1,97	2,15	2,45

Les variations de  $F$  en fonction de  $U_c$  sont représentées par la courbe de la figure 2.  $F$  augmente indéfiniment lorsque  $U_c$  tend vers 0.

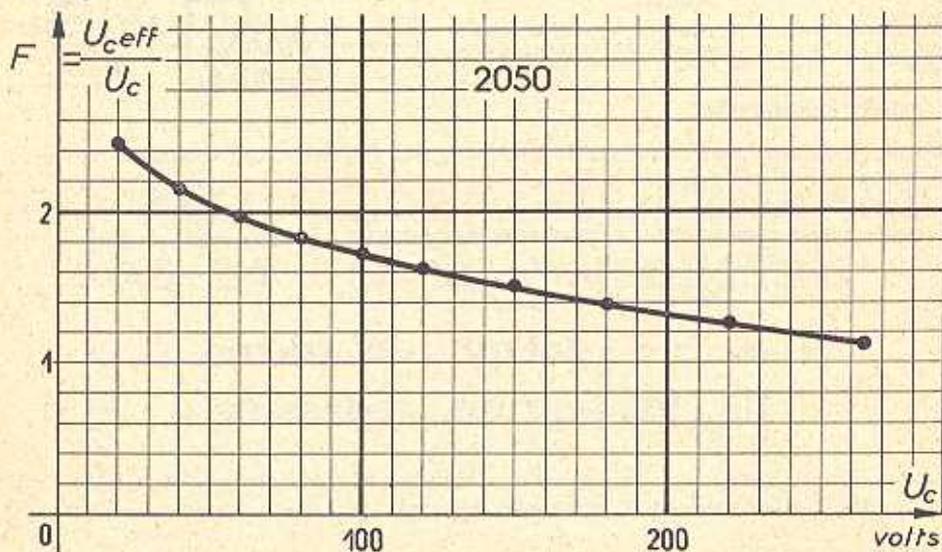


FIG. 2. — Variation du facteur de forme  $F$  de la tension redressée en fonction de la tension moyenne  $U_c$ .

La résistance  $R$  du déphaseur décroît de gauche à droite ; l'extrémité droite de la courbe correspond à  $R = 0$ .

## C. — Commande simplifiée d'un moteur

### 1. — MONTAGE (fig. 3)

L'inducteur du moteur (1) est alimenté sous la tension constante 220 volts par une deuxième alimentation.

L'induit remplace la charge  $R_x$  de la figure 1 ; il est donc alimenté par une tension réglable. La résistance de  $100 \Omega$  permet d'observer la forme du courant.

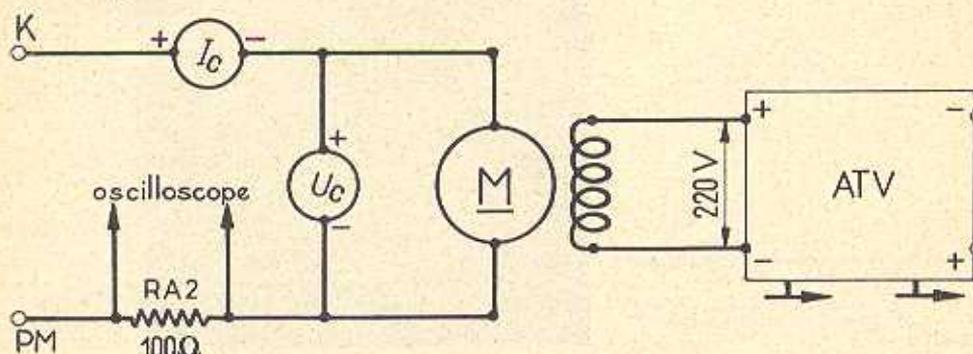


FIG. 3. — Une alimentation soumet l'induit à une tension réglable.

### 2. — COMMANDE DE LA VITESSE

Lorsqu'on diminue  $R$ , la vitesse augmente. Nous avons relevé par exemple :

$U_c$ (volts)	25	135	215
$I_c$ (mA)	40	50	55
$n$ (tr/mn)	350	2 600	4 350

### 3. — EFFET DE LA CHARGE

Chargeons le moteur en le freinant sur l'arbre : la tension aux bornes diminue et le courant augmente.

Ces variations s'accroissent lorsqu'on augmente la charge.

Par exemple :	A vide	Moteur chargé	
$U_c$ (volts)	165	125	75
$I_c$ (mA)	43	64	100
$n$ (tr/mn)	3 500	2 500	1 390

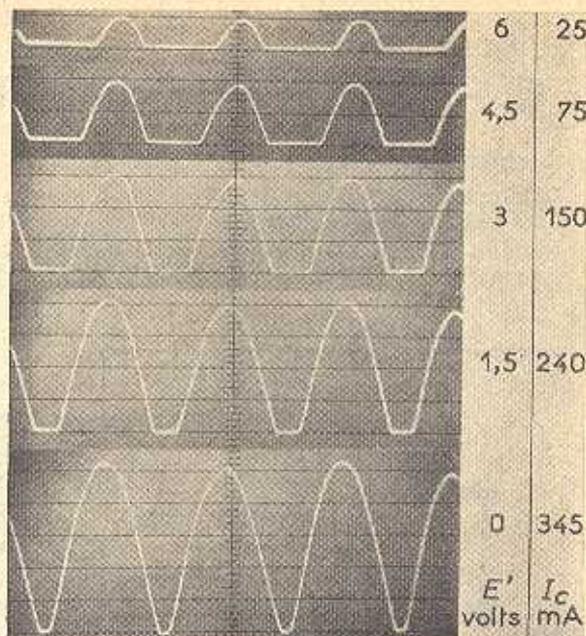
### TRAVAIL A EFFECTUER

Faire la même étude soit avec le même thyatron, soit avec le 2 D 21.

1) Marque Lilliput, type CD 24, 220 V, 4 000 tr/mn, n° 167420 NAP.

**Pont de redresseurs débitant sur  
diverses f. c. é. m.**

Oscillogrammes du courant. L'intensité moyenne  $I_c$  décroît lorsque  $E'$  croît.



*Cliché des auteurs.*

## XIII. — DIODE AU SILICIUM PONT REDRESSEUR

Une diode au silicium utilise les propriétés de la jonction  $PN$ , qui laisse passer un courant important (courant direct) du côté  $P$  vers le côté  $N$  et un courant négligeable (courant inverse), de  $N$  vers  $P$ .

On la fabrique en produisant sur une plaquette de silicium  $P$  ou  $N$ , une région de type opposé, par alliage ou par diffusion.

Les diodes au silicium supportent une tension inverse plus grande que les diodes au germanium et leur courant inverse est plus petit, ce qui explique leur emploi généralisé.

## A. — Caractéristique courant-tension

### 1. — MONTAGE (fig. 1)

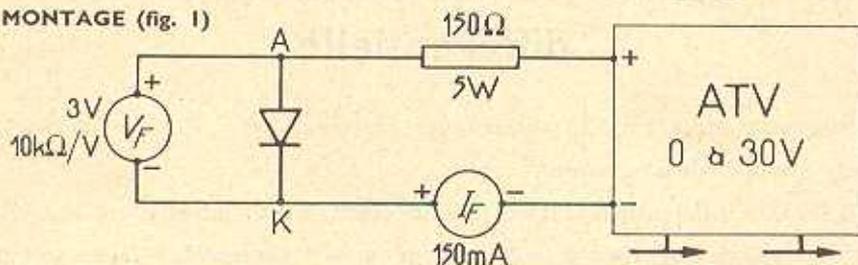


FIG. 1. — Relevé de la caractéristique directe.

### 2. — CARACTÉRISTIQUE DIRECTE

Calibres des appareils de mesure : 3 volts, 150 mA.

$U_F$ (volt)	0	0,49	0,60	0,61	0,62	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75	0,76	0,77	0,78
$I_F$ (mA)	0	0	3	4	5	10	20	30	50	75	100	125	150

Elle est représentée par la figure 2.

La résistance est très grande entre 0 et  $V_0$  (seuil), puis diminue progressivement.

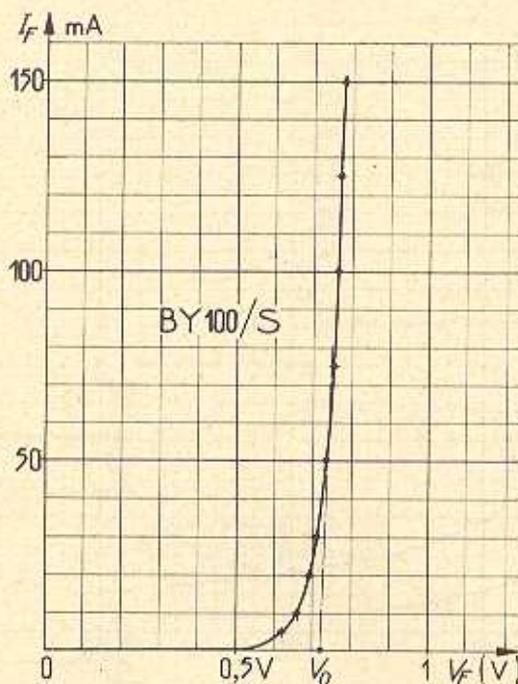


FIG. 2. — Caractéristique directe d'une diode au silicium.

## B. — Résistance équivalente, résistance différentielle

La résistance équivalente  $R$  ou résistance statique est  $R = \frac{U}{I}$ ; c'est la résistance offerte par la diode à un courant continu.

La résistance différentielle (revoir, p. 9) ou résistance dynamique est  $R_d = \frac{\Delta U}{\Delta I}$ ; c'est la résistance offerte par la diode à un courant alternatif de faible amplitude autour d'un point de fonctionnement  $U, I$ .

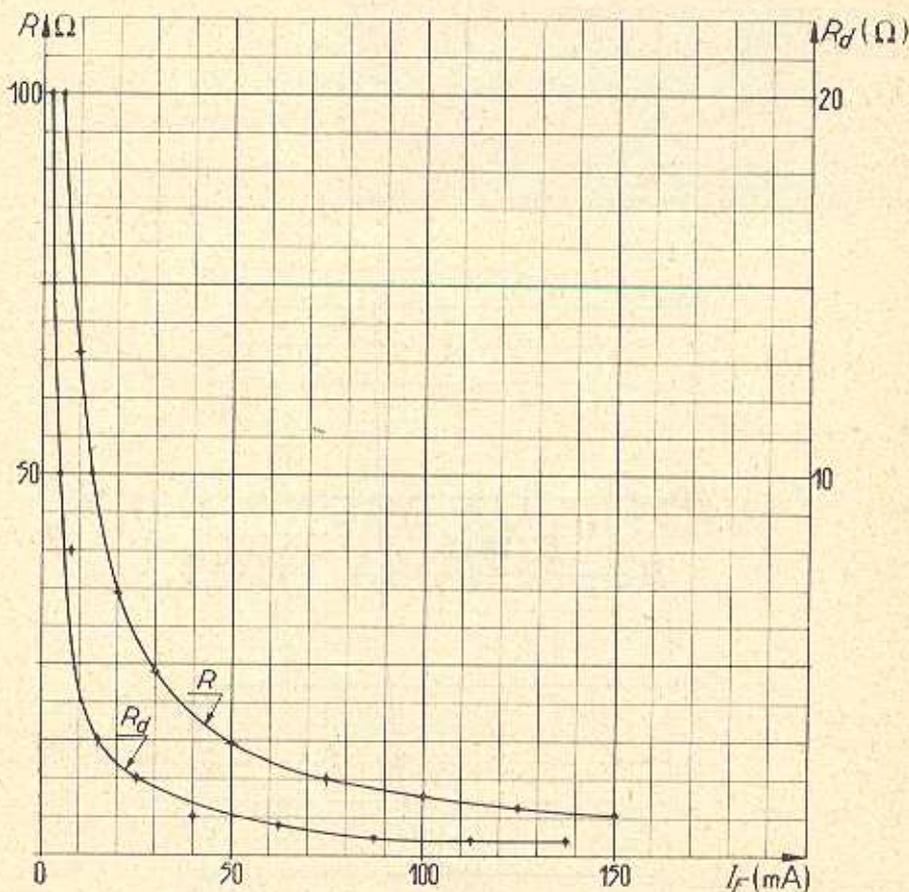


Fig. 3. — Courbes  $R$  et  $R_d$  en fonction de  $I_f$ .

Détermination de  $R$  et  $R_d$  en différents points :

$U_F$ (V)	0,49	0,60	0,61	0,62	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75	0,76	0,77	0,78
$I_F$ (mA)	0	3	4	5	10	20	30	50	75	100	125	150
$R = \frac{U}{I}$ ( $\Omega$ )	$\infty$	200	153	124	66	34,5	24	14,6	10	7,6	6,16	5,2
$R_d = \frac{\Delta U}{\Delta I}$ ( $\Omega$ )		37	10	10	8	3	2	1	0,8	0,4	0,4	0,4
Pour $I_F$		1,5	3,5	4,5	7,5	15	25	40	63	88	113	138

Courbes  $R$  et  $R_d$  en fonction de  $I_F$  : figure 3.

## C. — Pont redresseur

### I. — MONTAGE (fig. 4 et 5)

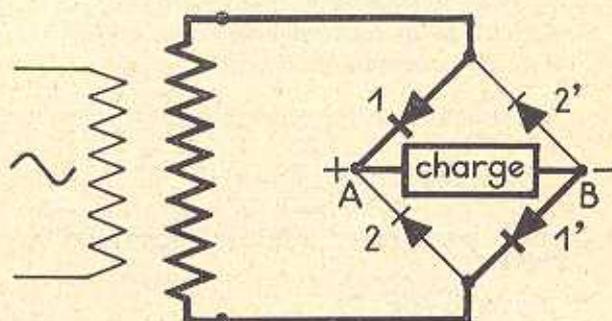


FIG. 4. — Principe.

En trait fort l'un des deux trajets suivis par le courant.

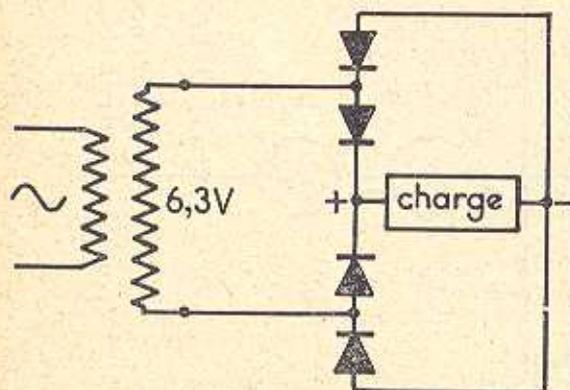


FIG. 5. — Réalisation.  
Charge : 470 $\Omega$ .

## 2. — DÉBIT D'UN PONT SUR UNE RÉSISTANCE PURE

### a) Forme du courant (fig. 6).

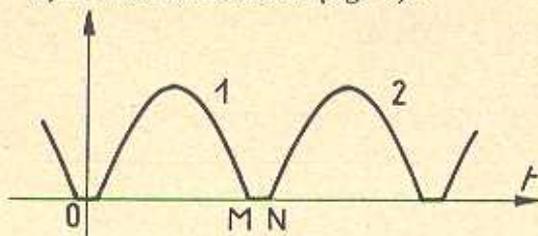


FIG. 6. — Oscillogramme du courant redressé par un pont de redresseurs secs.

Débit sur résistance pure, 0 = époque d'inversion de la tension alternative d'alimentation.

Le pont réalise le redressement des deux alternances : une alternance traverse les redresseurs 1 et 1', l'autre les redresseurs 2 et 2'.

L'interruption MN entre les deux alternances correspond au segment OS de la caractéristique (fig. 3). En effet, le courant à travers une soupape n'existe que lorsque la tension d'alimentation  $v$  est supérieure à  $V_s = 0,7$  volt environ ; pour deux soupapes en série (pont), lorsque  $v > 1,4$  volt environ.

### b) Tension inverse.

Pour la même tension d'alimentation qu'en redressement simple alternance, la tension inverse est la même.

En effet, deux soupapes opposées d'un pont sont :

- en série pour le courant direct ;
- en parallèle pour la tension inverse.

### c) Calcul de la tension redressée à vide.

Tension instantanée à la sortie du pont :

$$U_s = V - 2V_s.$$

La tension moyenne redressée  $U_s$  est la valeur moyenne de  $U_s$  pendant la période :

$$U_s = \frac{2}{\pi} V_m - 2V_s = \frac{2}{\pi} V \sqrt{2} - 2V_s,$$

$$U_s = 0,637 \cdot 6,3 \cdot \sqrt{2} - 2 \cdot 0,7 = 4,3 \text{ V.}$$

## 3. — DÉBIT D'UN PONT SUR UN RÉCEPTEUR A FORCE CONTRE-ÉLECTROMOTRICE E'

### a) Montage (fig. 7).

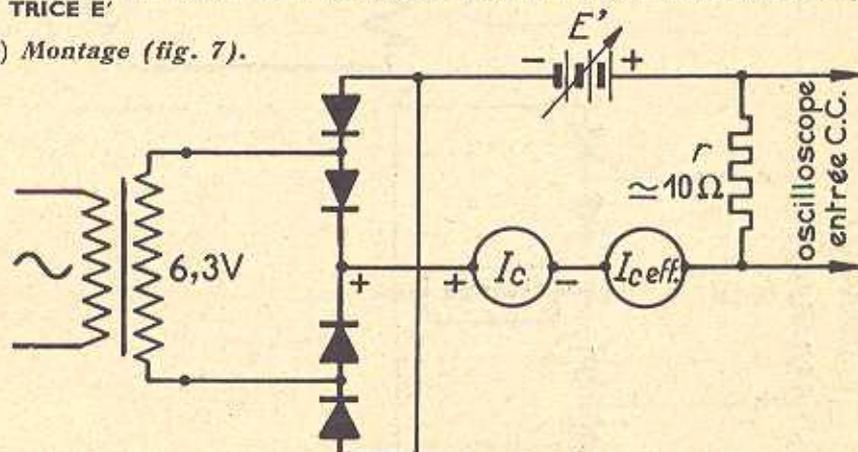


FIG. 7.

Le cas pratique est celui de la charge d'une batterie d'accumulateurs ; pour des raisons de commodité, nous remplaçons l'accumulateur par des piles.

b) *Forme de courant redressé (fig. 8).*

Examiner le courant à l'oscillographe : il ne passe que pendant une fraction de chaque alternance.

En effet, le pont ne débite que lorsque la tension instantanée  $u_c$  qu'il fournit dépasse la f. c. é. m.  $E'$  (fig. 8).

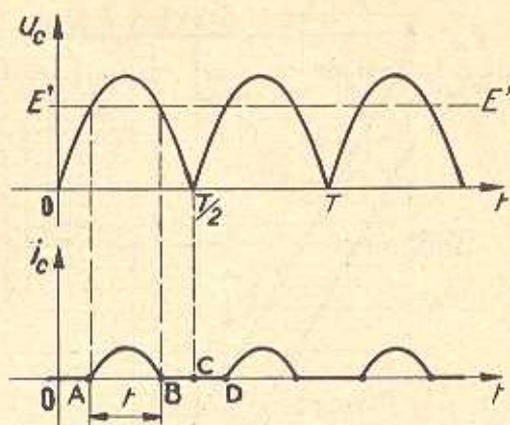


FIG. 8.

#### 4. — EFFETS SUR LE COURANT D'UNE FORCE CONTRE-ÉLECTROMOTRICE CROISSANTE

Les f. c. é. m. sont fournies par 1, 2, 3... éléments de pile.

L'intensité moyenne  $I_c$  est mesurée par un ampèremètre magnétoélectrique.

L'intensité efficace est donnée par un ampèremètre ferromagnétique.

Le temps de conduction  $t = AB$  (fig. 8) est mesuré à l'oscillographe :

$E'$ (volts)	0	1,5	3	4,5	6	7,5	9
$I_c$ (mA)	345	240	150	75	25	1	0
$I_{c\text{eff}}$ (mA)	392	285	192	110	45	Illisible	0
$t$ (ms)	9	8	7	5,6	4,3	2	0

Les courbes de  $I_c$ ,  $I_{c\text{eff}}$  et  $t$  en fonction de  $E'$  sont représentées par la figure 9. Lorsque la f. c. é. m.  $E'$  croît : l'intensité moyenne et l'intensité efficace du courant redressé décroissent, puis s'annulent.

Il en est de même du temps de conduction.

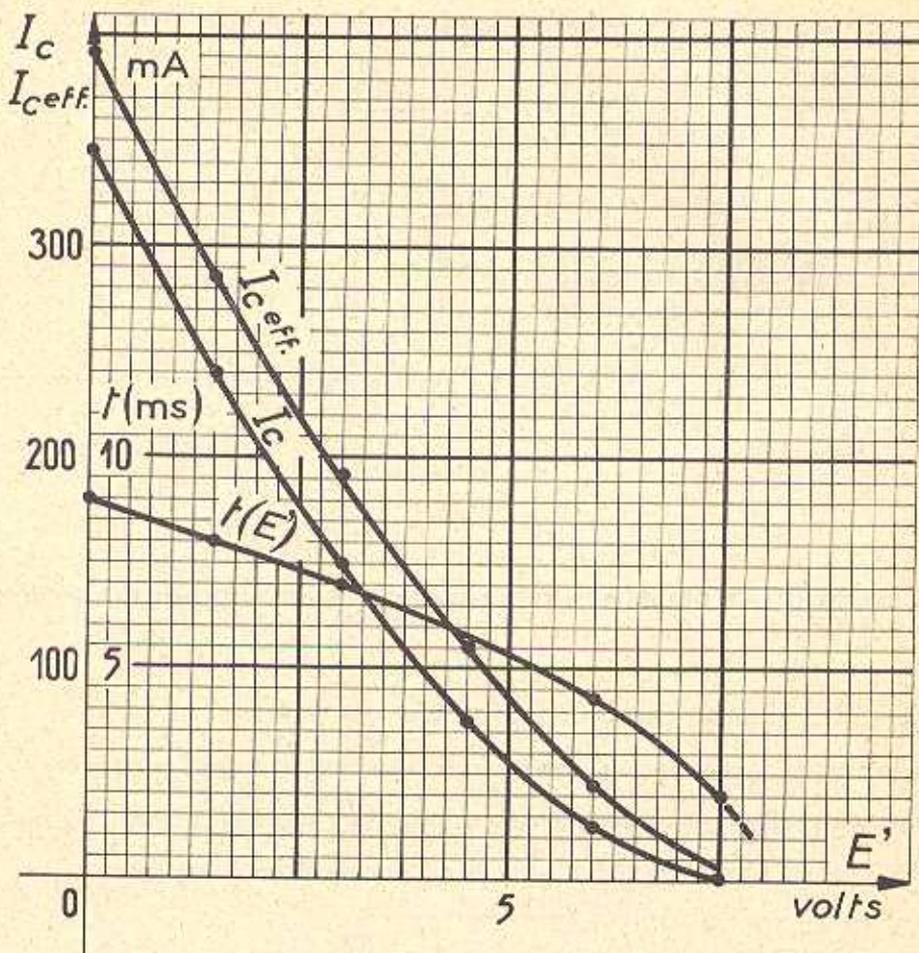


FIG. 9. — Intensité moyenne du courant redressé, intensité efficace et temps de conduction diminuent lorsque la f. c. é. m.  $E'$  augmente.

#### 5. — EXERCICE

Calculer le facteur de forme  $F = \frac{I_{c\text{eff}}}{I_c}$  du courant pour les différentes valeurs du tableau ci-dessus. Tracer la courbe représentant les variations de  $F$  en fonction de  $E'$ .

#### TRAVAIL A EFFECTUER

Réaliser et étudier les montages ci-dessus avec des éléments Sorral type 202. Remplacer, dans le montage de la figure 6, le redresseur sec par une diode à vide, EZ 80 par exemple; expliquez pourquoi l'oscillographe donne l'image d'une tension redressée.

# XIV. — RELAIS ÉLECTROMAGNÉTIQUES A COURANT CONTINU

## A. — Caractéristiques

**Relais (1) utilisé.** — Marque Chauvin-Arnoux, type BCA (48 volts ; 2 600 ohms).

Tension maximale permanente : 48 V.

Pouvoir de coupure : 3 A sous 120 V à 50 Hz.

Mesurons le courant d'enclenchement, le courant de déclenchement et la surtension lors de la coupure du courant dans la bobine.

### I. — MONTAGE (fig. 1)

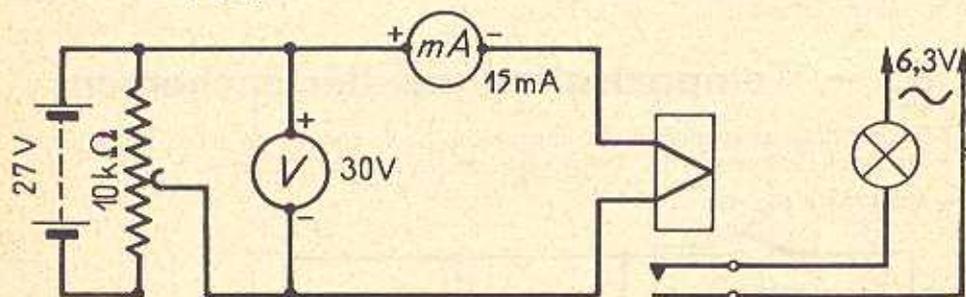


FIG. 1

### 2. — COURANT D'ENCLENCHEMENT

Augmentons progressivement la tension continue d'alimentation : nous constatons que la lampe s'allume quand l'intensité dans la bobine atteint 8,2 mA.

Le courant d'enclenchement est 8,2 mA.

### 3. — COURANT DE DÉCLENCHEMENT

Diminuons progressivement la tension d'alimentation ; la lampe reste éclairée pour des courants inférieurs à 8,2 mA. Elle s'éteint pour 4 mA. Le courant de déclenchement 4 mA est donc inférieur au courant d'enclenchement.

**INTERPRÉTATION.** — Lorsque l'armature est attirée, l'entrefer est considérablement réduit, d'où l'obtention d'un même flux et d'une même force d'attraction avec moins d'ampères-tours.

(1) Vocabulaire électrotechnique. — Relais : appareil destiné à produire dans un circuit une modification donnée lorsque certaines conditions se réalisent dans le même circuit ou dans un autre circuit.

#### 4. — PUISSANCE.

Sous sa tension nominale 48 V, le relais absorbe 18,5 mA, soit une puissance :

$$P = 48 \cdot 18,5 \cdot 10^{-3} \approx 0,9 \text{ W.}$$

A l'enclenchement :

$$P = RI^2 = 2,6 \cdot 10^3 \cdot (8,4 \cdot 10^{-3})^2 \text{ W} = 2,6 \cdot 8,4^2 \text{ mW} = 183 \text{ mW.}$$

Puissance minimale pour le maintien :

$$P_{\text{min}} = RI^2 = 2,6 \cdot 10^3 \cdot (4 \cdot 10^{-3})^2 \text{ W} = 2,6 \cdot 16 \text{ mW} = 41,6 \approx 42 \text{ mW.}$$

#### 5. — ORDRE DE GRANDEUR DE LA SURTENSION DE COUPURE.

L'ouverture d'un circuit inductif provoque la f. e. m.  $E = -L \frac{di}{dt}$  dans l'inductance ;  $E$  tend à prolonger le courant.

La bobine du relais présente une inductance de plusieurs henrys ; la coupure du circuit s'effectue en une fraction de milliseconde ; il en résulte une surtension  $E$  de plusieurs centaines de volts.

Pour la mesurer à l'oscillographe, ouvrons et fermons rapidement, plusieurs fois, le circuit de la bobine : on observe des impulsions de 400 à 500 volts.

On supprime cette surtension en shuntant la bobine par une diode BY 100/S) dont la cathode est reliée au + de la bobine.

## B. — Temporisation au déclenchement

Un condensateur en dérivation aux bornes de la bobine du relais introduit un délai entre l'ouverture du circuit et le déclenchement du relais.

#### 1. — MONTAGE (fig. 2)

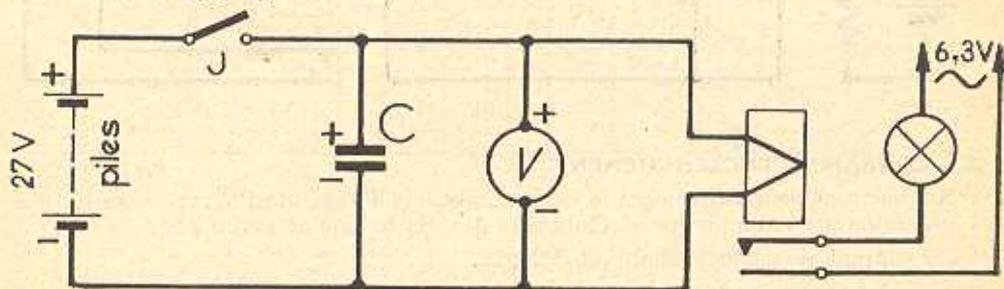


FIG. 2.

Source : batterie de piles ou d'accumulateurs. C : condensateur électrochimique de 1 000  $\mu\text{F}$  ou 2 000  $\mu\text{F}$ .

#### 2. — FONCTIONNEMENT

Lorsqu'on ouvre l'interrupteur J :

- le relais ne déclenche pas immédiatement ;
- l'aiguille du voltmètre revient lentement vers 0 : nous observons la décharge progressive du condensateur. Le relais, parcouru par un courant décroissant, finit par déclencher.

### 3. — LA TEMPORISATION AUGMENTE AVEC LA CAPACITÉ

Le relais étant enclenché, ouvrir J et chronométrer le retard du déclenchement. Nous avons trouvé 4 s environ avec  $C = 1\,000\ \mu\text{F}$  et 7 s pour  $2\,000\ \mu\text{F}$ , sous la même tension d'alimentation : 27 volts.

## C. — Temporisation à l'enclenchement

Une thermistance, en série avec la bobine, introduit un délai entre la fermeture du circuit et l'enclenchement du relais.

Relais utilisé : Chauvin-Arnoux, courant continu, BCA (48 V, 2 600  $\Omega$ ).

#### 1. — MONTAGE (fig. 3)

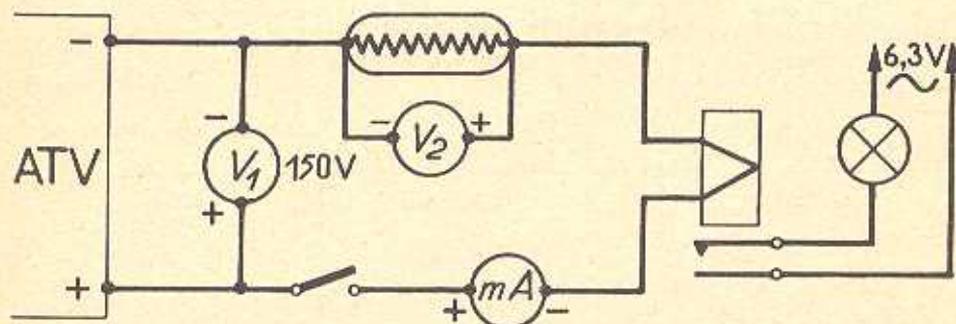


FIG. 3.

Thermistance : le Carbone-Lorraine ; type 2,4 W, 6 800  $\Omega$ . Mesurons sa résistance avant fonctionnement (température ambiante : 20° C). Pour  $I = 1\ \text{mA}$ ,  $U = 7\ \text{V}$ , d'où :  $R_{20} = 7\ \text{k}\Omega$ .

#### 2. — FONCTIONNEMENT

La tension d'alimentation sera maintenue constante : 60 V. Fermons l'interrupteur : la tension aux bornes de la thermistance diminue progressivement, tandis que le courant augmente ; le relais enclenche avec un retard de 90 s. Les valeurs finales de la tension aux bornes de la thermistance  $U = 35\ \text{volts}$  et du courant  $I = 9,3\ \text{mA}$  fournissent la résistance à chaud :

$$R_1 = \frac{35}{9,3} \approx 3,8\ \text{k}\Omega < R_{20}$$

Ainsi, la thermistance s'échauffe progressivement par effet Joule et sa résistance diminue, d'où accroissement du courant dans le circuit. Thermistance et tension d'alimentation doivent être choisies de façon à obtenir :

- à la fermeture du circuit, un courant inférieur au courant d'enclenchement du relais ;
- après l'établissement de l'équilibre thermique, un courant supérieur au courant d'enclenchement.

#### TRAVAIL A EFFECTUER

Exécuter les mêmes déterminations pour un relais BCA, 24 V — 390  $\Omega$ .



## XV. — RELAIS PHOTOÉLECTRIQUE

Nous nous proposons d'étudier les propriétés fondamentales d'une photorésistance industrielle et son montage en relais photo-électrique.

Cellule utilisée : marque Ségor ; type standard PR 1821 ; classe 7 G (1).

La dissipation maximum est 150 mW en régime continu ; on peut monter à 750 mW pour des impulsions durant 5 secondes et séparées par des arrêts de 25 secondes.

Limite de température ambiante : 60° C.

Surface sensible : 250 mm<sup>2</sup>. Tension d'alimentation : 10 à 100 volts.

Si la source lumineuse est une lampe à incandescence de 25 watts, les mesures ci-dessous demandent un recul d'environ 1,50 m. Une chambre obscure n'est pas indispensable ; il suffit de placer la photorésistance et la cellule du luxmètre dans une boîte percée d'une fenêtre convenablement orientée.

### A. — Caractéristiques courant-tension d'une photorésistance

Une caractéristique courant-tension d'une photorésistance représente la variation du courant en fonction de la tension d'alimentation lorsqu'on maintient l'éclairage constant.

#### 1. — MONTAGE (fig. 1)

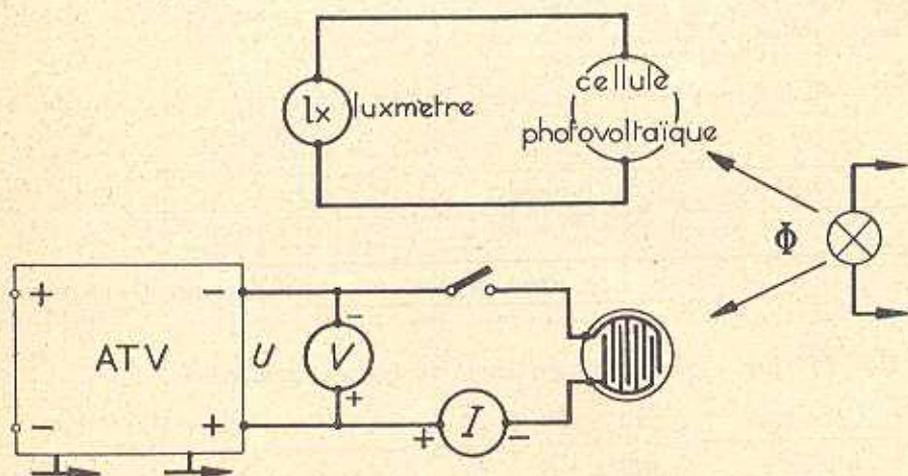


FIG. 1. — Étude des propriétés d'une photorésistance.

(1) Le chiffre indique la résistance pour 0,1 lux et 100 volts (entre 10 et 100 M $\Omega$  ; chiffre 7) ; une lettre indique la résistance pour 1 000 lux et 10 volts (entre 2 et 4 k $\Omega$  ; lettre G).

La photorésistance est alimentée par une tension continue réglable  $U$ . Le courant qui la traverse lorsqu'on l'éclaire est mesuré à l'aide d'un milliampèremètre. La photorésistance étudiée et la cellule du luxmètre mesurant l'éclairement  $E$  (fig. 2) sont disposées côte à côte, dans un même plan.

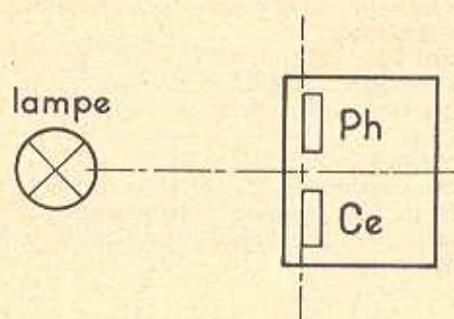


Fig. 2. — Ph : photorésistance; Ce : Cellule du luxmètre.

par des arrêts de durée minimum 25 secondes, un opérateur manœuvre l'interrupteur et lit le milliampèremètre tandis qu'un second règle la tension; faire les lectures au top.

## 2. — MODE OPÉRATOIRE

Le montage de la figure 1 est réalisé et le circuit de la photorésistance ouvert. Pour régler l'éclairement, rapprocher progressivement la source jusqu'à obtenir l'indication désirée au luxmètre.

Appliquer diverses tensions d'alimentation et lire les intensités correspondantes. Pour chaque mesure, nous calculons la puissance dissipée de façon à opérer par impulsions de courant de 5 secondes au-dessus de 150 mW et pour ne pas dépasser 750 mW.

Pour procéder par impulsions de courant de durée maximum 5 secondes, séparées

## 3. — TABLEAU DES MESURES

Nous avons tracé les caractéristiques courant-tension pour 50, 150 et 300 lux. Calibres utilisés : 150 volts et 15 mA.

a)  $E = 50 \text{ lux}$ . — Dans ce cas, on est limité par la tension maximum (100 V).

$U$ (volts)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$I$ (mA)	0,35	0,70	1,1	1,5	1,9	2,3	2,6	3,1	3,4	3,8
$UI$ (mW)	3,5	14	33	60	95	138	182	248	306	380
	← Régime continu →						← Impulsions de courant →			

b)  $E = 150 \text{ lux}$ . — On est limité par la dissipation de la cellule.

$U$ (volts)	10	20	30	40	50	60	70	80
$I$ (mA)	0,85	1,8	2,7	3,75	4,8	5,7	7,0	8,0
$UI$ (mW)	8,5	36	81	150	240	342	490	640 < 750
	← Régime continu →				← Impulsions de courant →			

c)  $E = 300 \text{ lux}$ .

$U$ (volts)	10	20	30	40	50	60
$I$ (mA)	1,55	3,25	4,9	6,65	8,8	10,4
$UI$ (mW)	15,5	65	127	266	440	624 < 750
	← Régime continu →			← Impulsions de courant →		

#### 4. — TRACÉ DES CARACTÉRISTIQUES COURANT-TENSION (fig. 3)

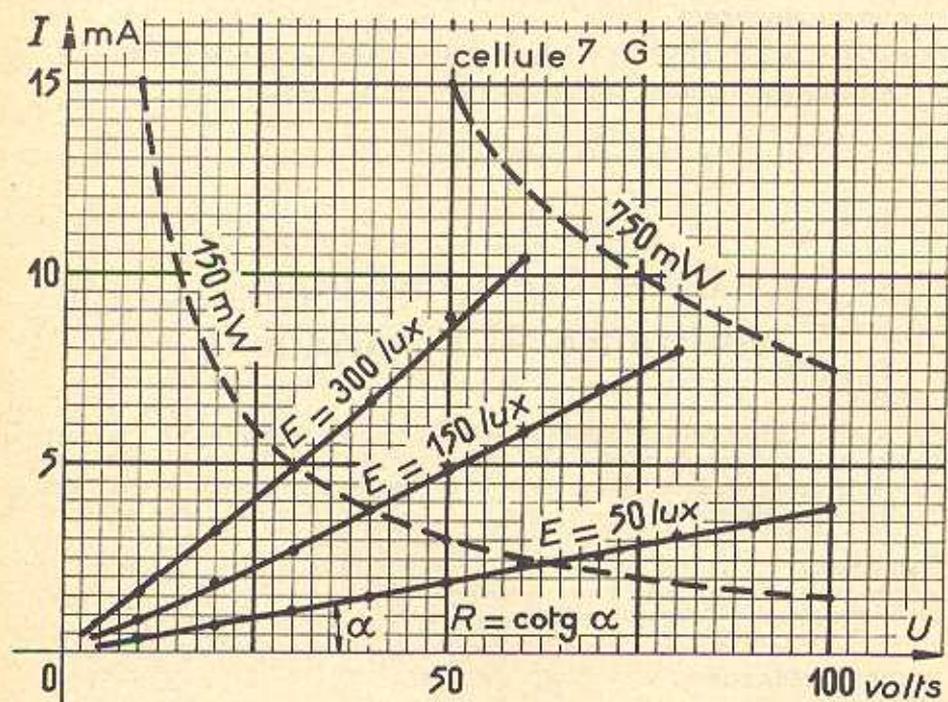


FIG. 3.

Ces caractéristiques prouvent les propriétés suivantes des photorésistances :

- a) Une photorésistance ne présente pas de saturation comme un tube photoélectrique, dans lequel on utilise l'émission photoélectrique.

- b) *Dans les limites d'emploi, la résistance d'une photorésistance ne dépend que de l'éclairement.*

Dans un diagramme courant-tension, la résistance s'interprète géométriquement par l'inverse de la pente :

$$R = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} = \operatorname{cotg} \alpha.$$

Or nous constatons qu'à éclairement constant une caractéristique courant-tension est pratiquement rectiligne et passe par l'origine des coordonnées ; une photorésistance suit donc la loi d'Ohm :  $R = \frac{U}{I} = \text{constante}$ .

- c) *La résistance d'une photorésistance décroît rapidement lorsque l'éclairement augmente.*

En effet,  $\operatorname{cotg} \alpha = R$  diminue lorsque  $E$  passe de 50 à 150, puis à 300 lux (fig. 3). Le paragraphe suivant précise l'allure de cette variation.

## B. — Caractéristique résistance — éclairement

Les résultats précédents permettent de comprendre qu'en adoptant une tension d'alimentation de valeur modérée on puisse caractériser une photorésistance par une seule caractéristique, la courbe représentant la variation de la résistance en fonction de l'éclairement.

### 1. — MONTAGE

Le même que précédemment (fig. 1).

### 2. — MODE OPÉRATOIRE

Maintenir constante la tension d'alimentation  $U$  et faire varier la distance entre la lampe et la photorésistance. Faire les lectures au luxmètre ( $E$ ), au milliampermètre ( $I$ ).

Calculer immédiatement le produit  $UI$  pour respecter la dissipation maximum permise.

Calculer  $R = \frac{U}{I}$  pour chaque valeur de  $E$ .

## 3. — MESURES

Nous avons trouvé pour  $U = 60$  volts :

$E$ (lux)	10	15	20	30	40	50	70	100	150	200	250	300
$I$ (mA)	0,50	0,80	1,10	1,6	1,9	2,3	3,0	4,1	5,8	8,0	9,3	10,3
$UI$ (mW)	30	48	66	96	114	138	180	246	348	480	558	618
$R$ (k $\Omega$ )	120	75	54,6	37,5	31,6	26	20	14,6	10	7,5	6,4	5,8
	← Régime continu →						← Impulsions de courant (5 s) →					

4. — CARACTÉRISTIQUE  $R(E)$ 

$R$  décroît lorsque  $E$  croît (fig. 4). La décroissance de  $R$  est de moins en moins rapide lorsque l'éclairement augmente. Entre 10 et 20 lux :

$$\frac{\Delta R}{\Delta E} \simeq \frac{120 - 55}{20 - 10} = 6,5 \text{ k}\Omega/\text{lux} \text{ ou } 6\,500 \Omega/\text{lux},$$

tandis qu'entre 150 et 200 lux :  $\frac{\Delta R}{\Delta E} \simeq \frac{10 - 7,5}{50} = 0,05 \text{ k}\Omega/\text{lux} \text{ ou } 50 \Omega/\text{lux}.$

Le rapport entre ces deux taux de variations est considérable :  $\frac{6\,500}{50} = 130.$

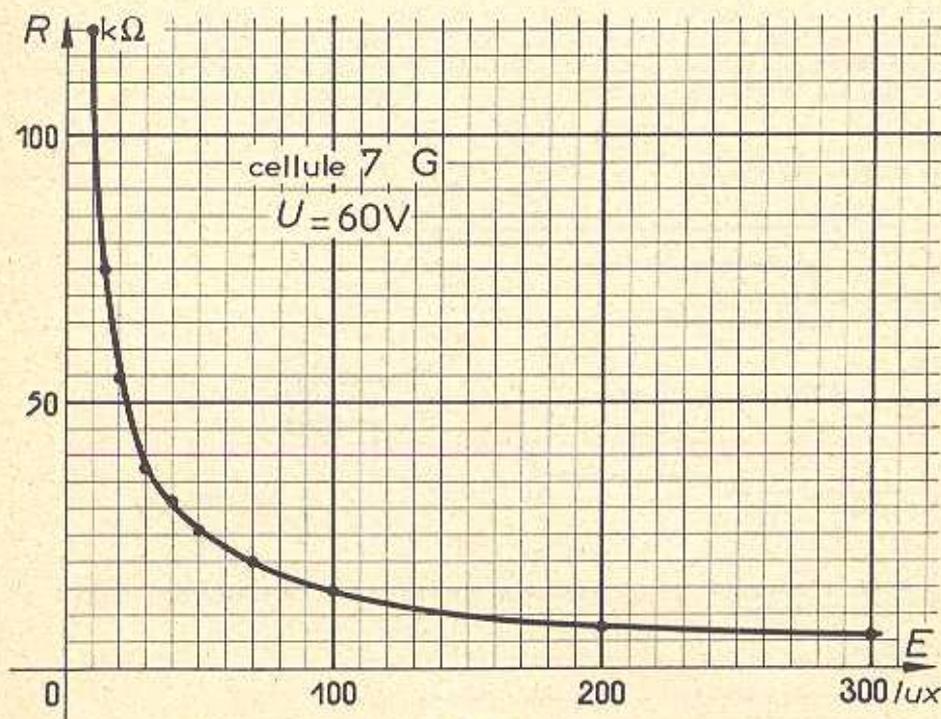


FIG. 4.

## 5. — REMARQUE

Pour comparer aux tubes photoélectroniques (émission), dont la sensibilité est de l'ordre de la dizaine de  $\mu\text{A}/\text{lu}$ , calculons la sensibilité pour  $U = 60$  volts et  $E = 100$  lux, par exemple :

$$S = 250 \text{ mm}^2. \quad \Phi = \frac{E S}{\text{lumen lux m}^2} = 100 \times \frac{2,5}{10^4} = 0,025 \text{ lumen.}$$

Le courant est alors  $I \simeq 4$  mA, d'où la sensibilité :

$$\frac{4}{0,025} \text{ mA/lu ou } 160 \text{ mA/lu.}$$

La sensibilité des photorésistances au sulfure de cadmium est des milliers de fois plus grande que celle d'un tube photoélectronique.

## C. — Montage et étude du relais

Un tube photoélectrique doit être suivi d'un étage amplificateur pour pouvoir commander un relais électromagnétique. Par contre, en raison de sa sensibilité très élevée, une photorésistance commande directement un relais. Les relais photoélectriques sont très utilisés : sécurité, commandes automatiques, comptage d'objets...

## 1. — MONTAGE (fig. 5)

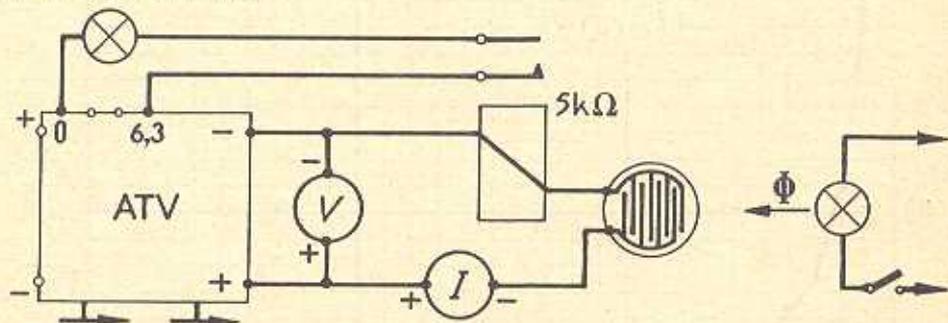


FIG. 5.

## 2. — PRÉDÉTERMINATION DES ÉCLAIREMENTS D'ENCLÈCHEMENT ET DE DÉ-ENCLÈCHEMENT

## a) Données.

Cette prédétermination est facile lorsqu'on connaît :

— la caractéristique résistance-éclairage  $R(E)$  de la photorésistance (fig. 4);

- la résistance  $r$  du relais, son intensité d'enclenchement  $I_e$  et son intensité de déclenchement  $I_d$ ; pour le relais employé (type SCB, p. 105) :

$$r = 4\,860 \text{ ohms} \approx 4,9 \text{ k}\Omega;$$

$$I_e = 3,85 \text{ mA et } I_d = 1,7 \text{ mA};$$

- la tension d'alimentation  $U$ . Nous conserverons la même tension  $U = 60$  volts qu'au paragraphe B; la photorésistance est soumise à une tension un peu plus faible que pour le tracé de la caractéristique  $R(E)$ , mais nous savons que  $R$  est pratiquement indépendante de la tension.

b) *Détermination de la caractéristique courant-éclairage du montage.*

Le tableau du paragraphe B permet de faire correspondre à un éclaircement  $E$  la résistance  $R + r$  du montage (photorésistance + enroulement du relais) et

$$\text{l'intensité } I = \frac{U}{R + r}.$$

$E$ (lux)	10	15	20	30	40	50	70	100	150	200	250	300
$R + r$ (k $\Omega$ )	124,9	79,9	59,5	42,4	36,5	30,9	24,9	19,5	14,9	12,4	11,3	10,7
$I = \frac{60}{R + r}$ (mA)	0,48	0,75	1,0	1,4	1,65	1,95	2,4	3,1	4,0	4,8	5,3	5,6

D'où la courbe  $I(E)$  de la figure 6.

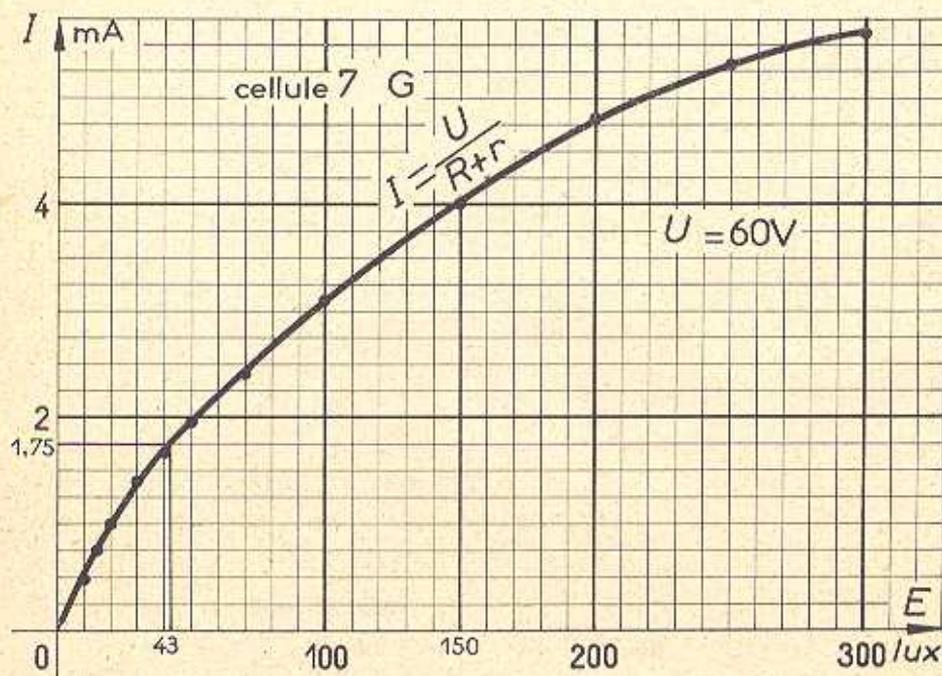


Fig. 5.

- c) **Détermination graphique des éclairagements d'enclenchement et de déclenchement** (fig. 6).

Pour  $I_e = 4$  mA, on trouve 150 lux et, pour  $I_d = 1,75$  mA, 43 lux.

- d) **Vérification expérimentale.**

On trouve pour l'enclenchement 142 lux, soit un écart pour cent avec l'éclairage prédéterminé :

$$\frac{150 - 142}{150} \times 100 = \frac{8}{1,5} = 5,3 \%$$

Le relais déclenche pour 42 lux, soit un écart inférieur à 2,5 % avec l'éclairage prédéterminé.

#### TRAVAIL A EFFECTUER

*Avec le matériel utilisé ci-dessus :*

- 1° Relever les caractéristiques courant-tension de la photorésistance pour les éclairagements : 100, 200 et 300 lux.
- 2° Tracer la caractéristique résistance-éclairage pour une tension d'alimentation de 50 volts.
- 3° Mettre au point la même manipulation avec une photorésistance ORP 90 la Radiotechnique et le relais BCA (48 volts, 2 600 ohms).



# TABLE DES MATIÈRES

MATÉRIEL.....	3
<b>I. — CARACTÉRISTIQUES COURANT-TENSION D'ÉLÉMENTS NON LINÉAIRES</b>	
A. — Lampe à filament de carbone (semiconducteur) .....	6
B. — Résistance non linéaire (R. N. L. ou V. D. R.) .....	8
C. — Observation des courants périodiques .....	10
<b>II. — DIODE : CARACTÉRISTIQUES</b>	
A. — Caractéristique statique .....	13
B. — Résistance interne .....	15
C. — Caractéristiques en charge .....	16
<b>III. — REDRESSEMENT SIMPLE ALTERNANCE</b>	
A. — Fonctionnement sans filtre et avec filtre .....	19
B. — Caractéristique en charge du redresseur .....	21
C. — Mesure de l'ondulation de la tension redressée .....	22
D. — Mesure du courant de crête cathodique .....	25
<b>IV. — TRIODE : CARACTÉRISTIQUES STATIQUES</b>	
A. — Caractéristiques d'anode .....	28
B. — Résistance interne .....	30
C. — Caractéristiques courant d'anode-tension grille .....	32
D. — Pente .....	33
E. — Facteur d'amplification .....	35
<b>V. — TRIODE : CARACTÉRISTIQUES EN CHARGE</b>	
A. — Caractéristiques courant d'anode-tension grille .....	37
B. — Pente dynamique .....	39
C. — Tracé de la droite de charge .....	40
D. — Caractéristique $I_a (V_g)$ en charge avec polarisation automatique de cathode .....	41
<b>VI. — AMPLIFICATION DE TENSION</b>	
A. — Influence de la polarisation fixe $V_g$ sur la tension de sortie....	45
B. — Effet de l'amplitude de la tension d'entrée .....	47
<b>VII. — ÉTAGE AMPLIFICATEUR</b>	
A. — Variation de l'amplification avec la résistance de charge.....	49
B. — Influence de la tension d'alimentation .....	51
C. — Fonctionnement en classe A.....	52

## VIII. — OSCILLATIONS BASSE FRÉQUENCE

A. — Montage .....	56
B. — Étude qualitative des oscillations .....	56
C. — Étude quantitative (couplage, fréquence) .....	59

## IX. — PENTODE : CARACTÉRISTIQUES D'ANODE

A. — Tracé des caractéristiques d'anode .....	61
B. — Résistance interne .....	62
C. — Rôle de la grille d'arrêt (montage d'une pentode en tétrode) .....	64

## X. — THYRATRON : FONCTIONNEMENT

A. — Caractéristique de commande .....	66
B. — Courbe de contrôle .....	69
C. — Commande par une tension continue .....	70

## XI. — RÉGLAGE DE PHASE

A. — Étude expérimentale d'un déphaseur RC .....	74
B. — Commande horizontale (ou commande par déphasage) .....	76
C. — Commande verticale .....	78

## XII. — RÉGLAGE DE PHASE : COMMANDE DE LA TENSION REDRESSÉE

A. — Étude qualitative .....	80
B. — Facteur de forme de la tension redressée .....	81
C. — Commande simplifiée d'un moteur .....	83

## XIII. — DIODE AU SILICIUM — PONT REDRESSEUR

A. — Caractéristique courant-tension (directe, inverse) .....	85
B. — Résistance équivalente; résistance différentielle .....	86
C. — Pont redresseur: débit sur résistance pure; débit sur f. c. é. m. .....	87

## XIV. — RELAIS ÉLECTROMAGNÉTIQUES A COURANT CONTINU

A. — Caractéristiques .....	91
B. — Temporisation au déclenchement .....	92
C. — Temporisation à l'enclenchement .....	93

## XV. — RELAIS PHOTOÉLECTRIQUE

A. — Caractéristiques courant-tension d'une photorésistance .....	95
B. — Caractéristique résistance-éclairage .....	98
C. — Étude et montage .....	100

4.70

**FOUCHER**

*le livre au service du Métier*