

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE H. BOUMEDJENE
8/80
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRICITE

PROJET DE FIN D'ETUDES

(INGENIORAT EN ELECTRONIQUE)

REALISATION D'UN APPAREIL DE MESURE
DE LA PUISSANCE MAXIMALE
D'UN PANNEAU SOLAIRE



Proposé par :
Mr Mourad HADDAD.

Etudié par MM :
A. BENAOUA
A. BENGHALEM

Promotion Juin 1980

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE H. BOUMEDIENE
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRICITE

PROJET DE FIN D'ETUDES

(INGENIORAT EN ELECTRONIQUE)

REALISATION D'UN APPAREIL DE MESURE
DE LA PUISSANCE MAXIMALE
D'UN PANNEAU SOLAIRE

Proposé par:
Mr Mouned HADDADI

Etudié par MM:
A. BENAOUA
A. BENGHALEM

Promotion Juin 1980

DEDICACES

II-) LA MEMOIRE DE MON PERE

II-) MA CHERE MERE

II-) MES FRERES ET SOEUR

II-) TOUS CEUX QUI ME SONT CHERS

ABDELHALIM

A la memoire de mon pere
et aux glorieux martyrs
J ma mere pour son courage et sa foi
J mes soeurs
J ma famille
A tous mes amis
~ Ahmed ~

REMERCIEMENTS

oooooooooooooooooooo0000000oooooooooooooooooooo

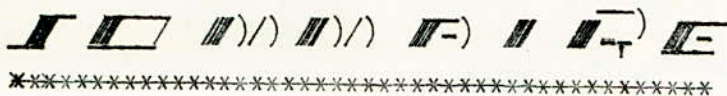
Ce travail a été effectué au C.S.T.N. dans le service "C.C.M" sous la direction de Mr. M. HADDADI Professeur à l'E.N.P.A. qu'il veuille bien trouver ici le témoignage de notre gratitude et de nos sincères remerciements.

Nous tenons aussi à remercier Mr. BENMALEK Maître de conférence à l'U.S.T.H.B. pour sa gentillesse et son accueil chaleureux.

Nos sincères remerciements vont aussi à Mr. OUGUINI et Mr. JARMOT qui ont bien voulu s'intéresser à notre étude et nous consacrer un peu de leur temps.

Nous remercions également Mr. A. ADANE Docteur Ingénieur et Chef de Département d'Electronique à l'E.N.P.A. pour son aide précieuse.

Il nous est agréable de remercier toute l'équipe du C.C.M. pour son accueil chaleureux et sa sympathique collaboration.



INTRODUCTION.....

CHAPITRE I : Emploi pratique des cellules solaires.....

 I.: Cellule solaire élémentaire.....

 II.: Association de cellules solaires : Panneaux solaires.....

 1°) Association en série.....

 2°) Association en parallèle.....

 3°) Association série-parallèle.....

 4°) Fixation des modules.....

 III.: Caractéristiques d'un panneau solaire.....

CHAPITRE II : La poursuite du point de puissance maximale.....

INTRODUCTION.....

 I.: Schéma de principe.....

 II.: Schéma de fonctionnement.....

 1°) Relevé de la caractéristique. Principe et choix de la méthode.....

 a) Mesure de la tension V.....

 b) Mesure du courant I.....

 c) Mesure de la puissance P.....

 2°) Détermination de I_{cc} et V_{cc}

 a) Mesure de V_{cc}

 b) Mesure de I_{cc}

 3°) Poursuite du point de puissance maximale.....

 a) Position du problème.....

 b) Technique de la poursuite.....

 c) Paramètres intervenant dans le gain de boucle.....

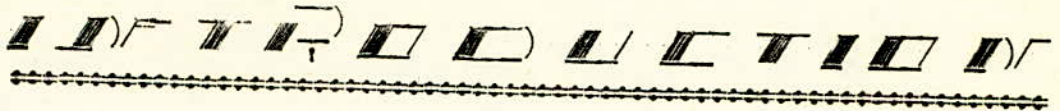
 d) Ondulation de la puissance. Fréquence de relaxation.....

 e) Mise en oeuvre - précision.....

 4°) Alimentation et circuit de mesure.....

 5°) Schéma Général.....

CHAPITRE III. : Réalisation.....	.....
I. : Plaquettes modulaires.....	.....
1°) Module alimentation.....	.....
- Face élément.....	.....
- circuit imprimé.....	.....
2°) Module courant-tension.....	.....
- Face élément.....	.....
- Circuit imprimé.....	.....
3°) Module Multiplicateur.....	.....
- Face élément.....	.....
- Circuit imprimé.....	.....
4°) Module du système de poursuite.....	.....
- Face élément.....	.....
- Circuit imprimé.....	.....
5°) Module du circuit de mesure.....	.....
- Face élément.....	.....
- Circuit imprimé.....	.....
II. : Schémas des plaquettes (coffret.).....	.....
III. : Nomenclature.....	.....
1°) Face avant de l'appareil.....	.....
2°) Face arrière de l'appareil.....	.....
3°) Instructions d'utilisation.....	.....
IV. : Conclusion.....	.....
Bibliographie.....	.....



La conversion photovoltaïque a suscité un vif intérêt par ses possibilités et plusieurs réalisations ont pu voir le jour : pompage de l'eau en zone désertique, alimentation des équipements de télécommunication etc... Cependant à l'heure actuelle, l'usage courant de l'énergie solaire pour la conversion photovoltaïque n'est pas encore possible du fait que les cellules disponibles ont un coût élevé et un rendement relativement bas (12 à 16 %). Aussi l'utilisateur de centrales photovoltaïques cherchera à puiser le maximum de puissance de ses panneaux en faisant un choix judicieux de sa charge pour l'adaptation optimale ; il faut alors qu'il connaisse avec précision la puissance maximale que peuvent délivrer ses panneaux. C'est dans ce but que nous avons réalisé un appareil permettant la mesure automatique de la puissance maximale délivrée par un panneau solaire.

Ce travail a été effectué au laboratoire "C.C.M" du C.S.T.N., il sera présenté en trois chapitres :

Le premier dégagera les principes élémentaires de fonctionnement des panneaux solaires.

Le système de poursuite du point de fonctionnement optimale d'un panneau solaire fera l'objet du second chapitre.

Enfin, dans le dernier chapitre nous décrirons en réalisation pratique de l'appareil.

CHARTER

I

CHAPITRE I

EMPLOI PRATIQUE DES CELLULES SOLAIRES

I.- CELLULE SOLAIRE ELEMENTAIRE

Une cellule solaire élémentaire n'est autre qu'une jonction P.N. qui, polarisée présente un effet redresseur dans sa caractéristique : courant-tension : sous l'effet d'un éclairement quelconque ; elle se comporte comme un générateur de courant continu dont la caractéristique de sortie est représentée par la fig. 1a et 1b.

Le rendement caractérisé par le rapport $r = \frac{\text{En. Utile}}{\text{En. Reçue}}$ n'est qu'une fraction peu importante de l'unité. La puissance fournie est de l'ordre de 0,14 fois celle reçue. De plus, les faibles valeurs de la tension en circuit-ouvert (0,45V à 0,48V) ne peuvent convenir qu'à de très rares montages.

Les principaux procédés permettant d'obtenir des tensions plus élevées sont :

- Le fractionnement d'une cellule en plusieurs parties égales (chacune donnant 0,45 V environ) et montées en série.

- Un mode plus élégant pour obtenir une tension plus élevée à partir d'une cellule est l'emploi d'un convertisseur.

A titre d'exemple nous donnons le schéma d'un convertisseur de 100 MW permettant d'obtenir des tensions de 1 à 9 V.

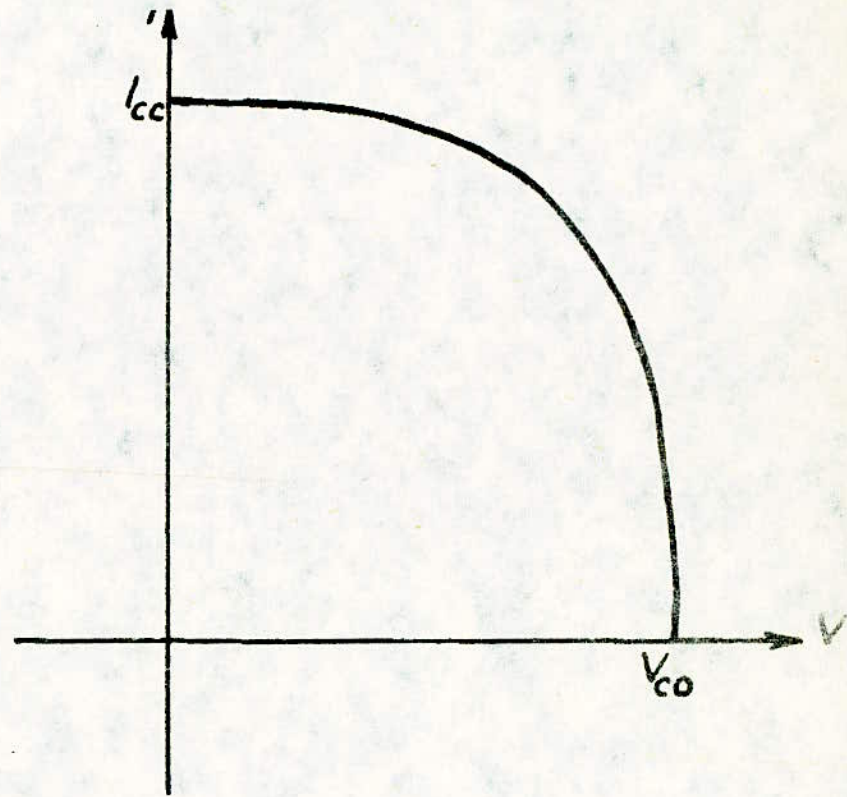
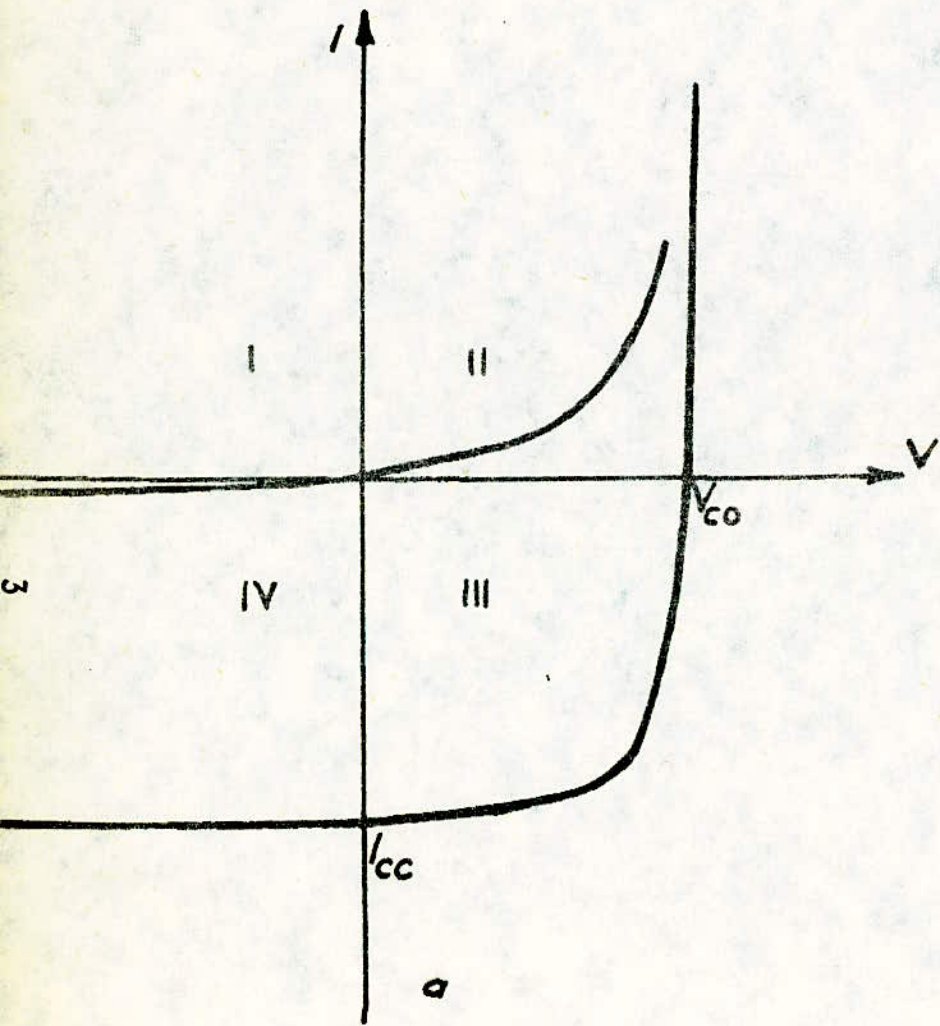
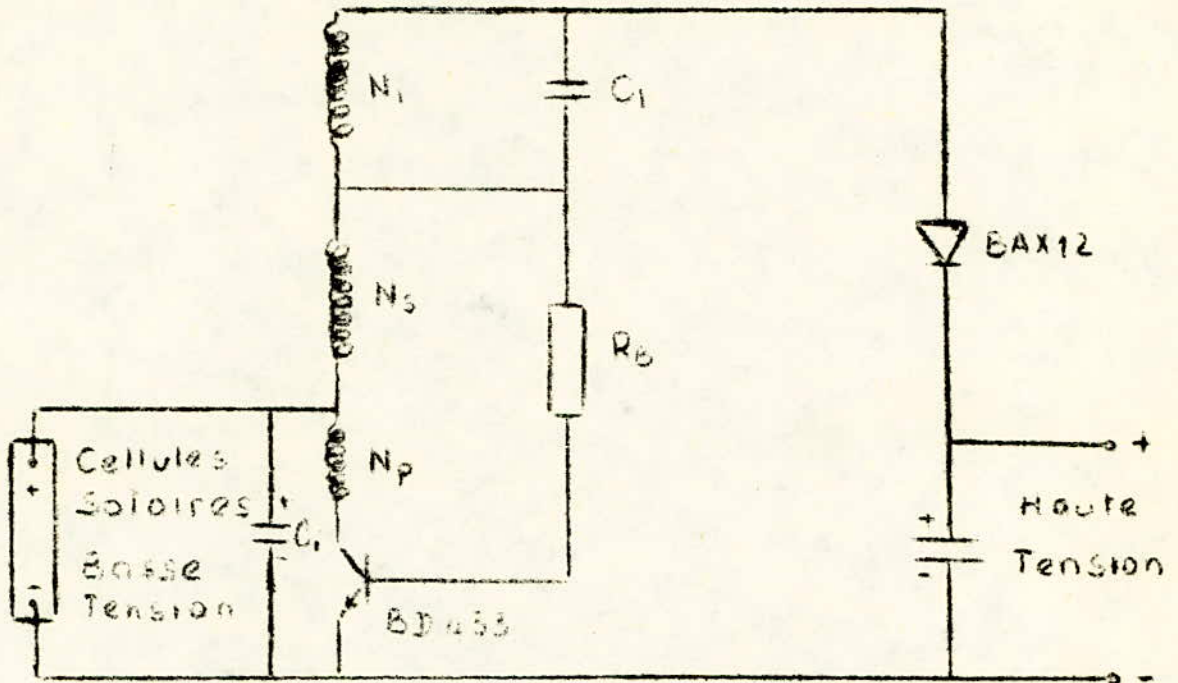


Figure 1.



- Lorsqu'une cellule est découpée en n morceaux d'égale surface, chaque morceau donnera la même tension mais un courant

$$I' = \frac{I}{n}$$

II.- ASSOCIATION DES CELLULES SOLAIRES : PANNEAUX SOLAIRES

L'association de plusieurs cellules sous forme de panneaux permet d'obtenir des tensions plus élevées avec des courants non négligeables.

L'emploi des cellules solaires entièrement montées en série ou en parallèle ou en série-parallèle forme ce qu'on appelle des modules.

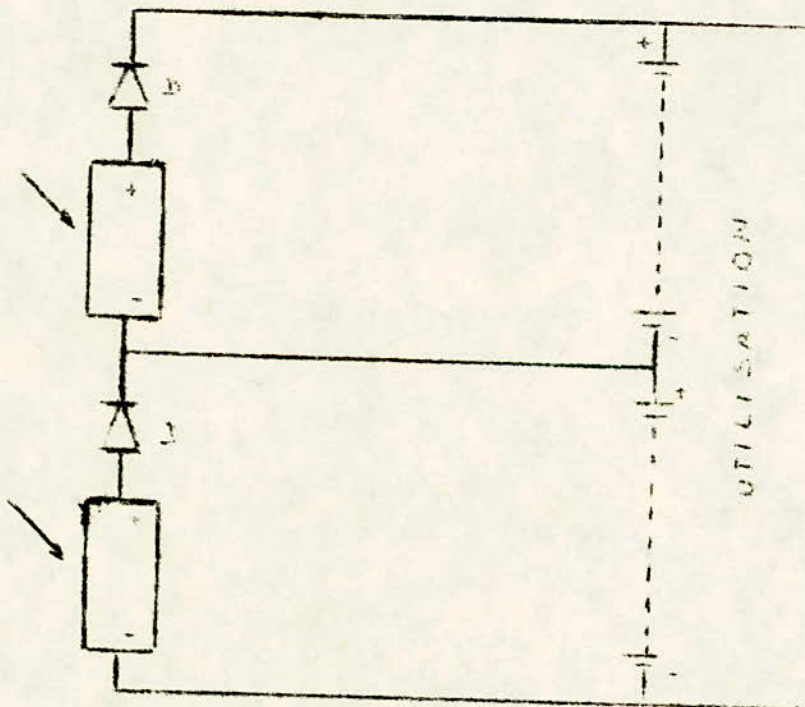
L'association de ces modules constitue les panneaux solaires.

L'association d'un certain nombre de panneaux constitue une centrale solaire.

Le groupement des modules selon les différentes associations donne un grand nombre de combinaisons de tensions et de courants.

1°) ASSOCIATION EN SERIE

Ce montage permet d'obtenir des tensions nominales d'utilisation supérieures à celle d'un module ; le courant nominal sera celui d'un module. La figure donnée ci-dessous représente deux modules, en série, associés à des diodes de protection et des batteries disposées également en série.



Les diodes empêchent qu'une source de tension débite d'une manière nuisible dans un autre. Grâce à ces semi-conducteurs, il sera impossible aux accumulateurs de se décharger dans les modules.

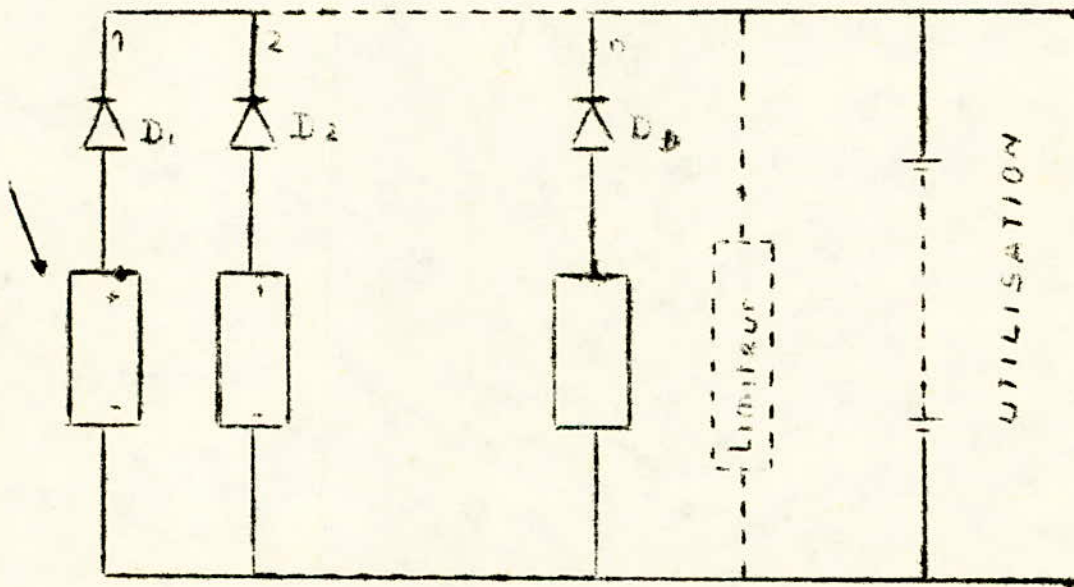
2°) ASSOCIATION EN PARALLELE

En associant en parallèle plusieurs modules de même tension, celle-ci sera maintenue tandis que le courant débité sera multiplié.

Il faut prendre certaines précautions tendant à éviter la destruction d'un module par un autre.

La protection de ces modules est assurée par des diodes placées en série avec chaque module.

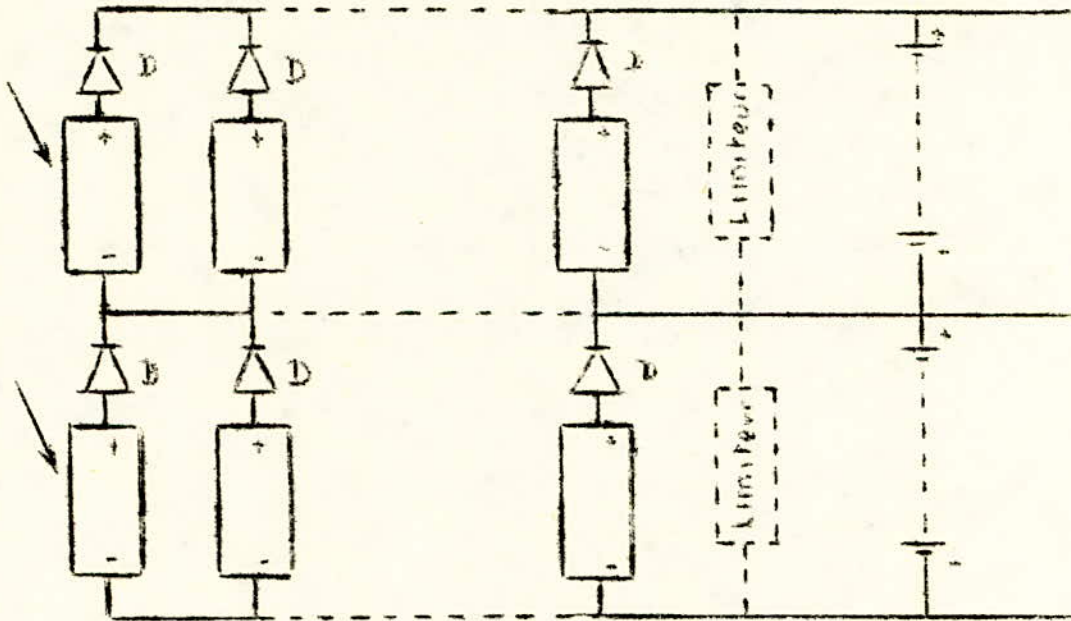
La figure qui suit représente cette association.



3°) ASSOCIATION SERIE-PARALLELE

C'est un fait l'association des deux groupements précédents, la tension nominale et le courant nominal seront supérieurs à ceux d'un seul module.

La figure ci-dessous donne ce groupement.



Les installations solaires sont composées de modules et des circuits auxiliaires indispensables tels que : accumulateur, diode, régulateur. L'utilisation est l'ensemble des dispositifs à alimenter par le système : module, limiteur, accumulateur.

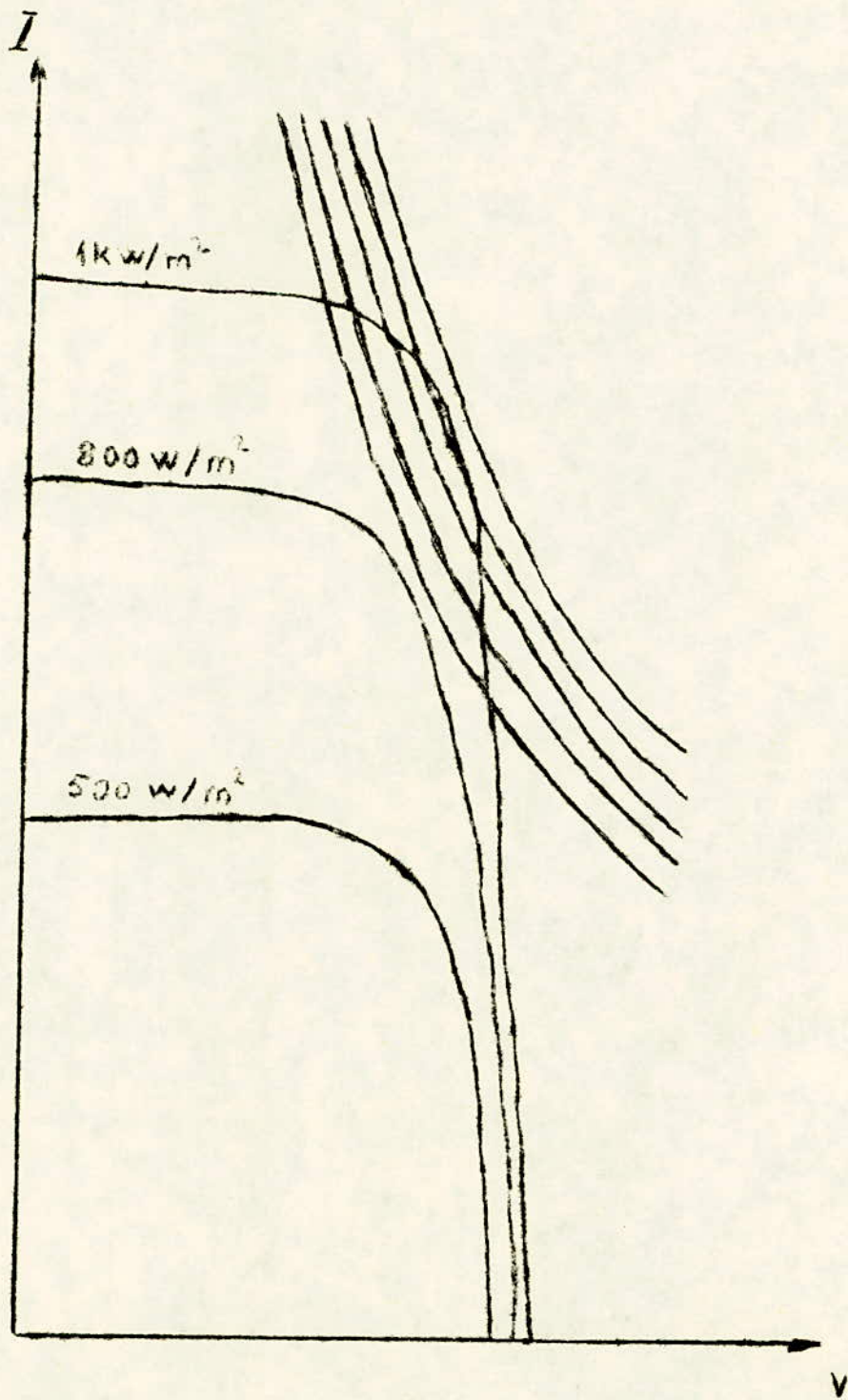
4°) FIXATION DES MODULES

Le constructeur donne le mode de fixation des modules et les conditions requises pour une meilleure adaptation aux différents paramètres intervenant dans la rentabilité du panneau.

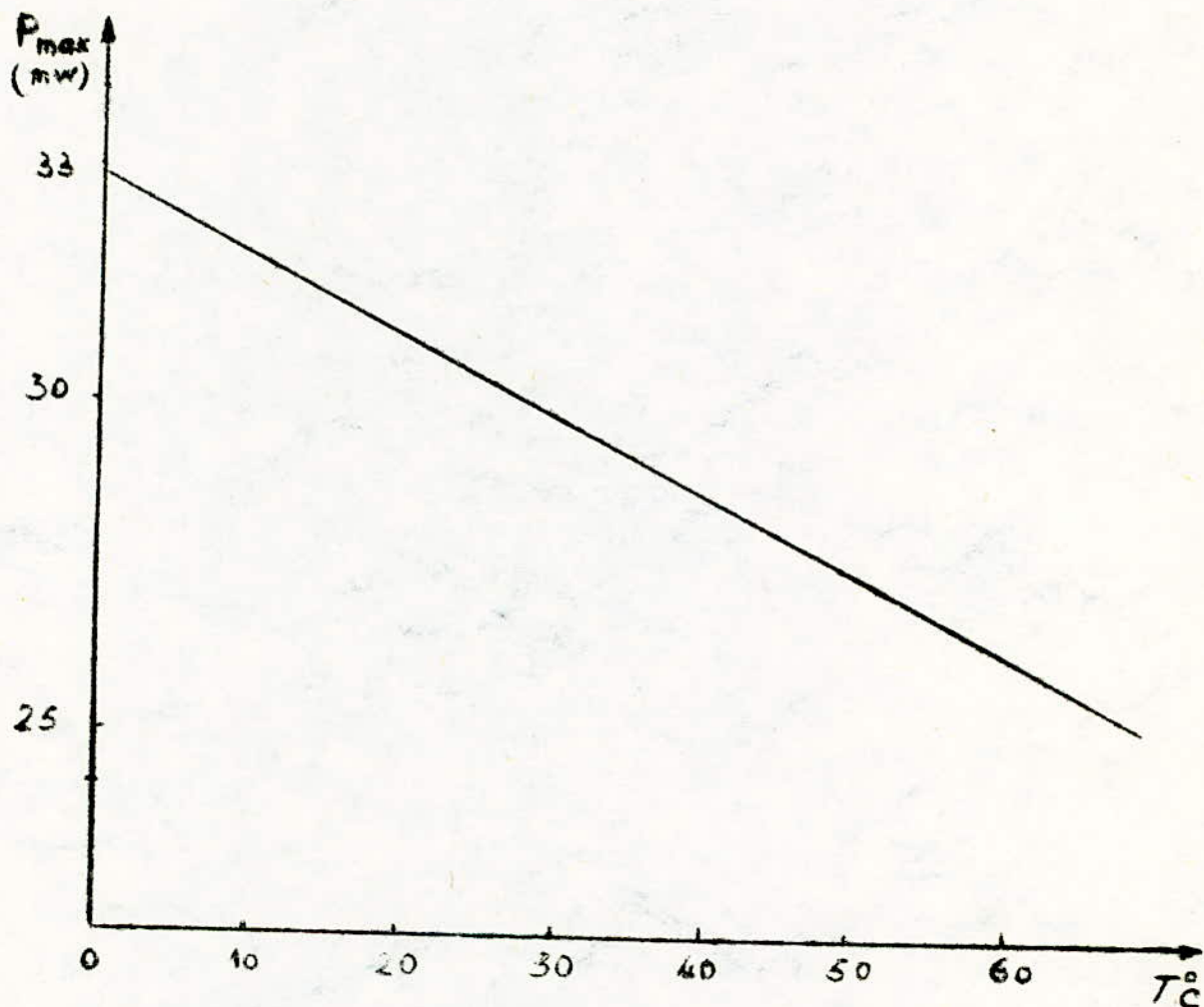
III.- CARACTERISTIQUES D'UN PANNEAU SOLAIRE

La caractéristique d'un panneau solaire varie avec l'éclairement. Si l'ensoleillement donne une puissance captée moindre, la puissance utile sera moindre. La tension requise pourra être obtenue mais le courant sera moindre.

La figure ci-dessous donne la caractéristique pour différents éclairements à une température donnée (25°c.)



Cependant le point de puissance maximale varie avec la température.
La figure ci-dessous représente sa variation. On note une diminution
de P_{max} avec une augmentation de la température.



D'une manière générale, pour un bon rendement, un panneau solaire
débitant dans une charge d'utilisation doit travailler à sa puissance
maximale. La détermination de son point de fonctionnement optimal
s'avère dans ces conditions, indispensable.

CHAPITRE II.

LA POURSUITE DU POINT DE PUISSANCE MAXIMALE

INTRODUCTION

Lorsqu'un générateur photovoltaïque est en service et que l'on fait varier la charge représentant la résistance de l'utilisation, la tension V et le courant I correspondant varient l'un en sens opposé de l'autre selon la loi représentée par la figure (2).

Sur cette caractéristique de sortie, il existe un point pour lequel, la puissance délivrée à la charge par le générateur photovoltaïque est maximale ; il est défini par ses coordonnées V_M et I_M .

Ce point de puissance maximale est obtenu pour une résistance de charge optimale. L'aire hachurée du rectangle représente cette puissance maximale.

Sur la même figure est donnée une autre famille de courbes représentant des hyperboles de puissance constante ; parmi elles, il existe une hyperbole tangente à la caractéristique courant-tension au point de puissance maximale.

Ce point est le point de fonctionnement optimale pour toute utilisation et sa connaissance est indispensable.

L'appareil conçu à ces fins est le M.P.T. ; il permet de déterminer ce point et de suivre ses évolutions sous l'influence de différents facteurs. Ce même appareil permettra de caractériser un panneau solaire en tension et en courant. (V_{oc} , I_{oc} et $I = f(V)$).

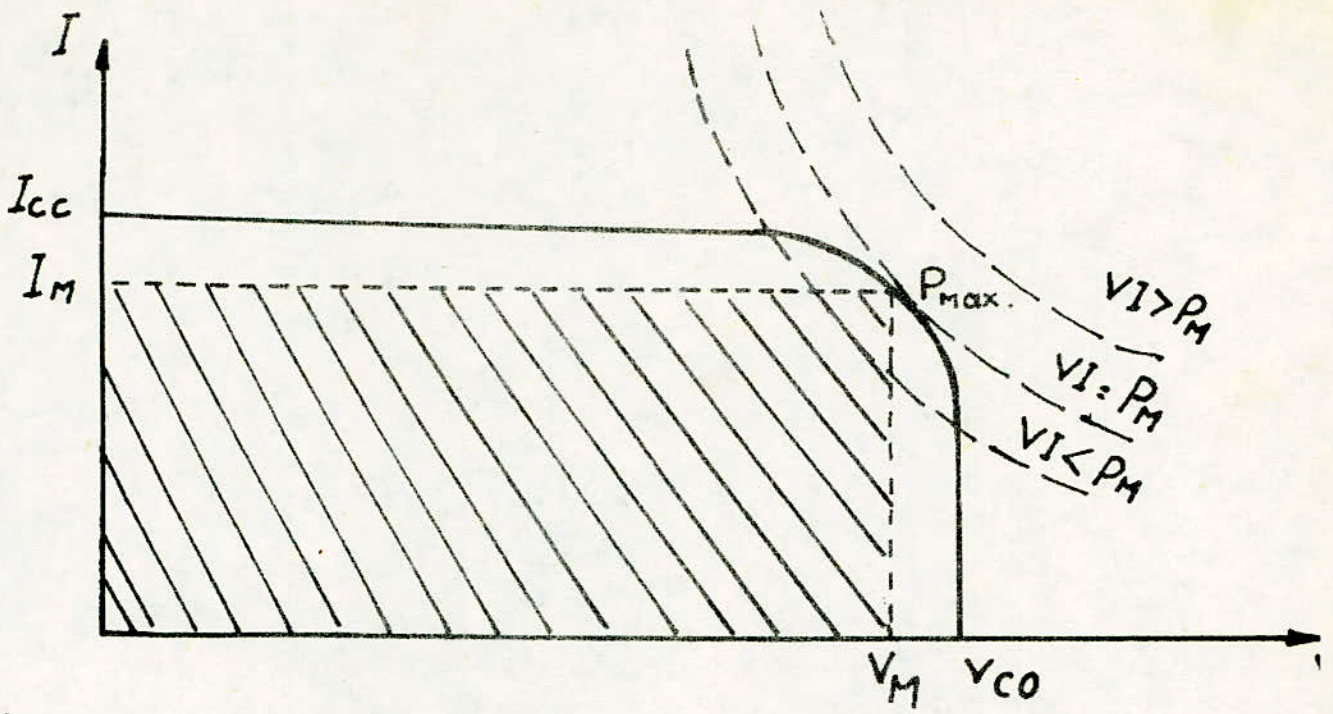


Figure: 2

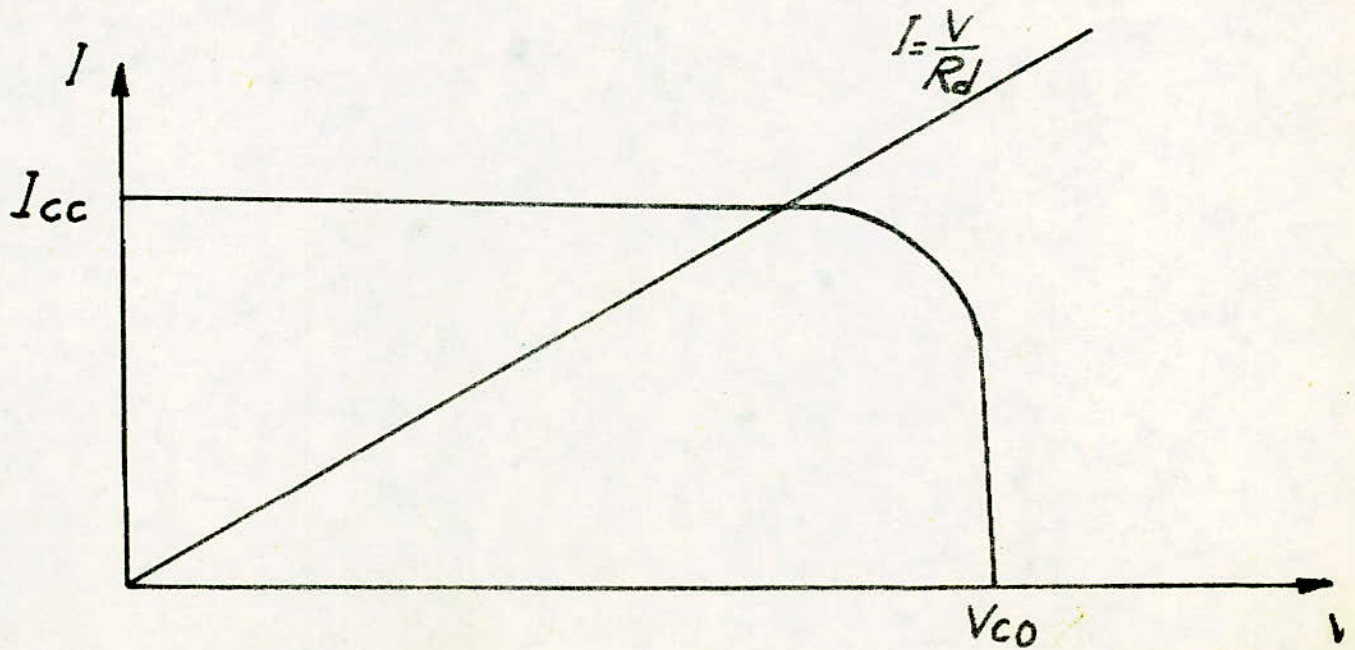


Figure: 5

X I.- SCHEMA DE PRINCIPLE

Le schéma synoptique du système de poursuite du point de puissance maximale donné à la figure 3 comporte :

- (- Un transistor de puissance utilisé en charge variable dans lequel débite le panneau à caractériser figure 4.
- Un multiplicateur analogique effectuant le produit de la tension et du courant prélevés respectivement aux bornes du générateur et d'un shunt en série avec le panneau.
- Un différenciateur délivrant $\frac{dP}{dt}$ synchronise un astable.

Il n'est tenu compte pour la poursuite de P_{max} que de $\frac{dP}{dt}$ négatif (P décroissante).

- Une bascule bistable ne se déclenchant que sur les fronts négatifs fournis par le différenciateur.
- Un intégrateur fournissant une rampe. Le signe de la charge de l'intégrateur imposant I_b est commandé par le bistable.

II.- FONCTIONNEMENT

1°) Relevé de la caractéristique - Principe et choix de la méthode

- Principe :

Selon la valeur prise par la charge apparente du transistor, on définit un point de fonctionnement. Ce point est à l'intersection de la caractéristique courant-tension et de la droite de charge (fig. 5).

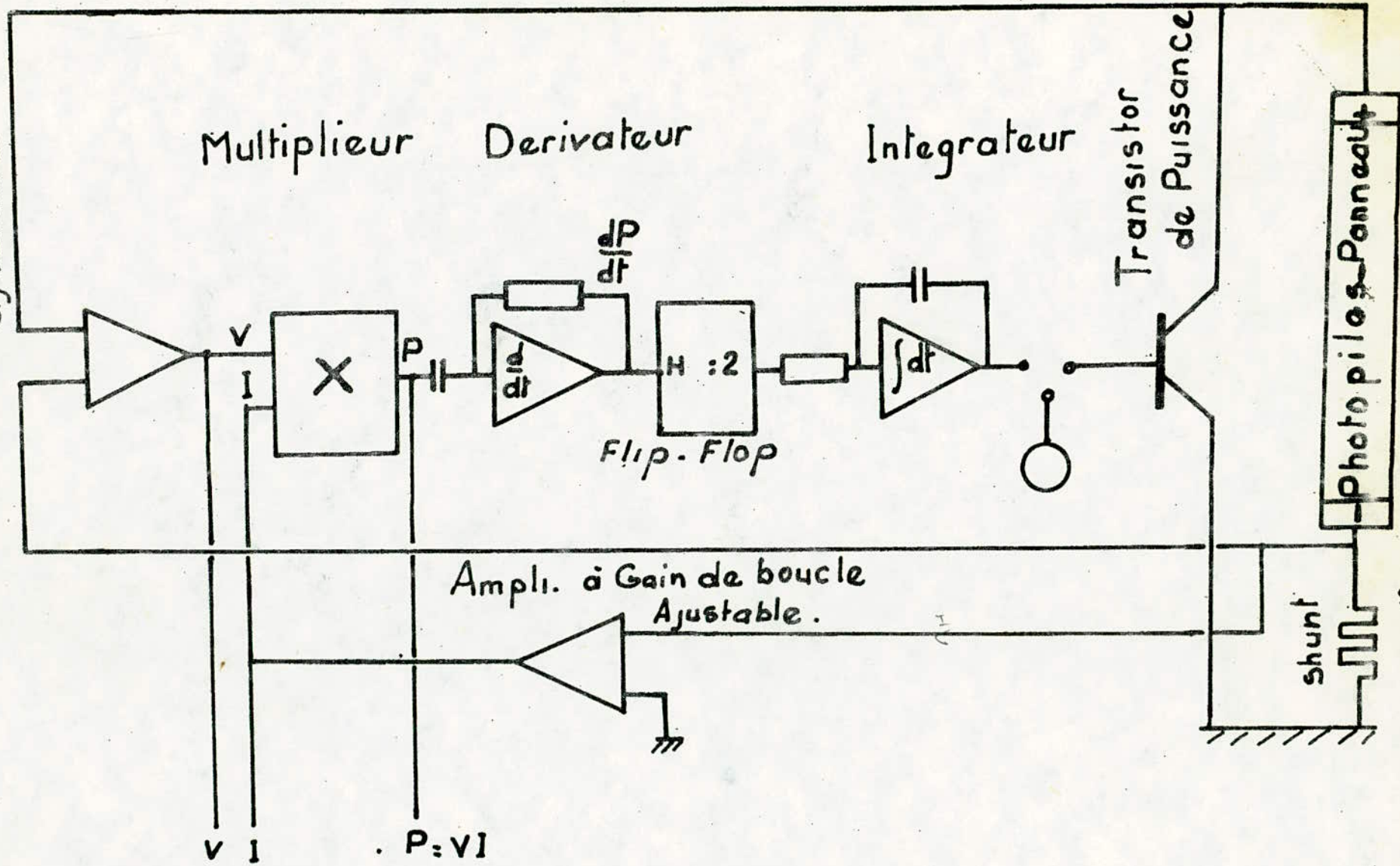
Les caractéristiques I_{cc} , V_{co} et P_{max} sont obtenues respectivement lorsque :

- $R = 0$ (transistor saturé)
- $R = \infty$ (transistor bloqué)
- $R = R_{opt}$.

- Choix de la méthode :

Pour charger le panneau le dispositif de mesure doit-être capable de dissiper P_{max} . Un transistor de puissance sera utilisé à cet effet.

Ampli. Diff. à gain de boucle ajustable.



Ampli. à Gain de boucle Ajustable.

Figure: 3

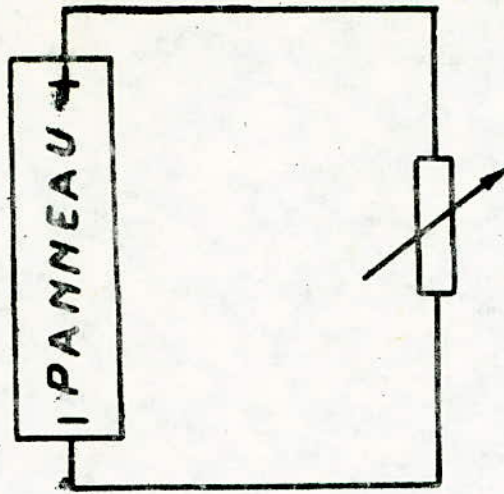


Figure: 4

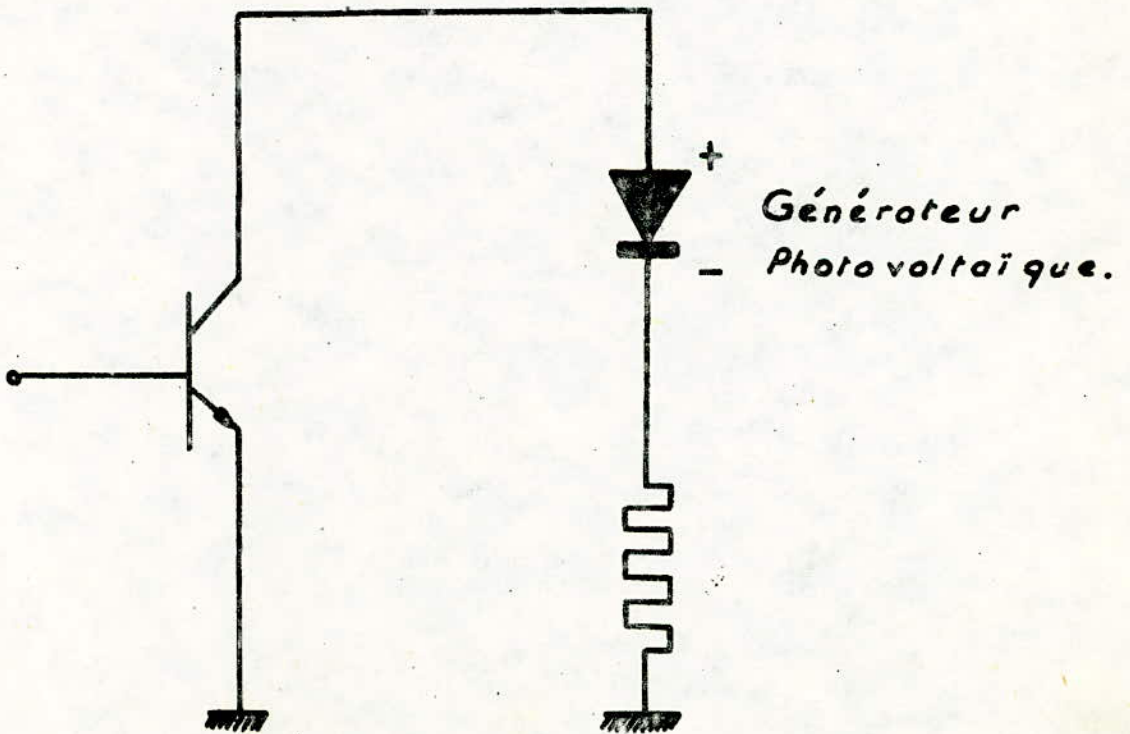


Figure: 5

Un potentiomètre P commande son courant de base ; on peut ainsi modifier à volonté sa résistance apparente $R_d = K I_b$.

A chaque position du potentiomètre correspond un point sur la caractéristique défini par une tension et un courant.

Cette méthode permet le relevé point par point de la caractéristique de sortie d'un panneau solaire.

a) Mesure de V

La tension aux bornes du panneau prélevée et amplifiée à l'aide d'un amplificateur différentiel à haute impédance d'entrée dont le schéma est représenté par la fig. 7, attaque un sélecteur de sensibilité V (composé des 3 calibres).

En sortie, un voltmètre indiquera la tension développée par le panneau.

b) Mesure de I

Le courant est prélevé à partir d'un shunt de 0,3 Ω . Cette valeur de la résistance du shunt se confond avec les quelques dizaines de milliohms des fils de liaison. Elle ne perturbe pas la mesure mais le signal recueilli, même à un courant de court circuit est faible.

Pour cette raison, un montage amplificateur opérationnel **non** inverseur est utilisé pour permettre de descendre jusqu'à 2 mA de courant de charge. La limite inférieure étant donnée par la tension d'offset et de sa dérive.

Le circuit de mesure à galvanomètre placé à la sortie du sélecteur de sensibilité à 3 calibres indiquera le courant débité par le panneau.

c) Mesure de la puissance

Des sorties U et I attaquent un multiplicateur analogique. Ce circuit effectuant le produit entre la tension U et le courant I, délivre $P = - \frac{UI}{10}$

Le circuit multiplicateur analogique utilisé est le MC 1595 L. Son principe de fonctionnement est basé sur la transconductance variable fig. 8.

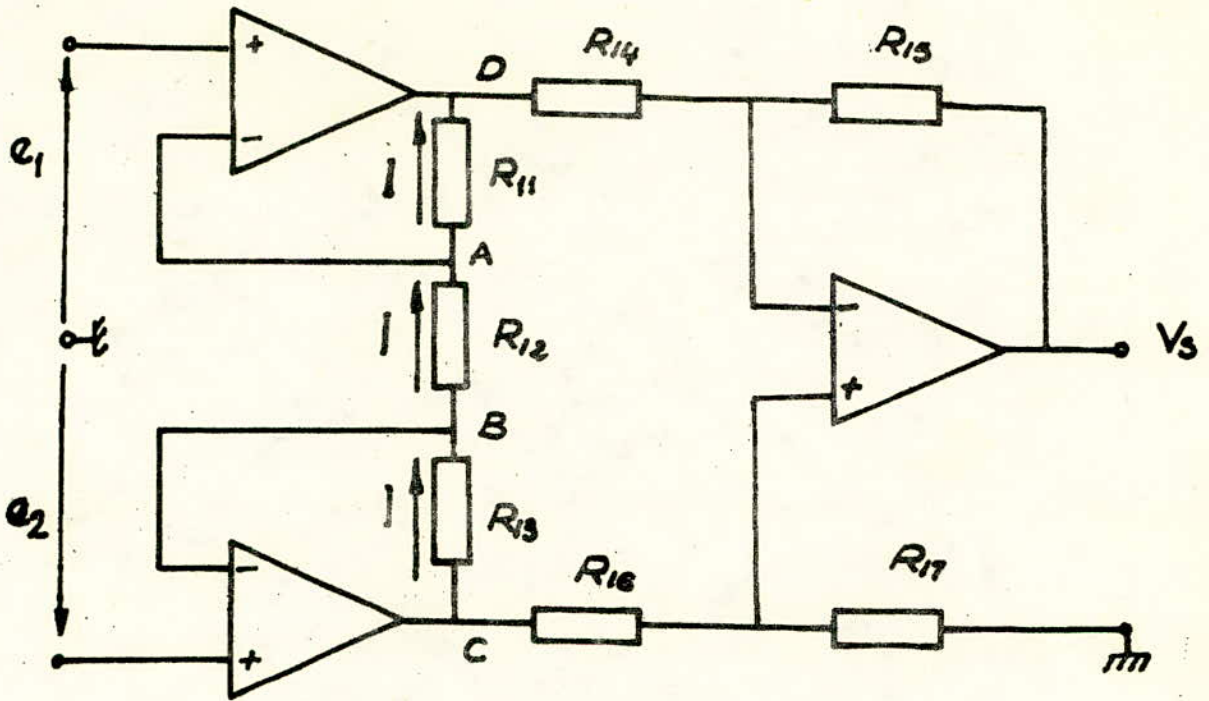


Figure: 7

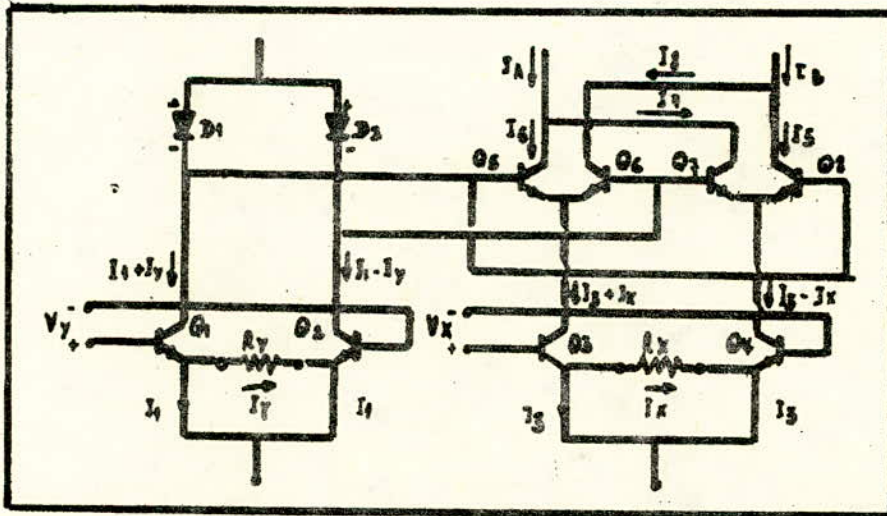


Figure 8

Si on note par V_x et V_y les tensions appliquées aux entrées X et Y. La tension de sortie sera donnée par :

$$V_o = \frac{2R_L V_x V_y}{R_x R_y I_3} = K V_x V_y.$$

$$\text{ou } K \text{ (facteur d'échelle)} = \frac{2 R_L}{R_x R_y I_3}$$

PROCEDURE DE CONCEPTION ET DE REGLAGE DES COMPOSANTS PERIPHERIQUE DU MC 1595/L.

L'examen de la figure 10 va nous permettre de calculer d'une manière logique les valeurs des principaux composants périphériques utilisés.

Avant d'aborder les calculs remarquons, en considérant la figure 10.

- qu'un diviseur résistif de tension par deux est cablé devant chacune des entrées x et y de telle sorte que :

$$V_x = V'_x = \pm 5 \text{ V lorsque :}$$

$$V''_x = V''_y = \pm 10 \text{ V}$$

De ce fait :

pour un facteur d'échelle : $K = 1/10$ correspondant à V''_x et V''_y . On a :

$$V_o = \frac{V''_x V''_y}{10} = \frac{2V_x V_y}{10} = \frac{4 V_x V_y}{10}$$

Soit on faisant abstraction du diviseur résistif : $K = \frac{4}{10}$

- Vu que le multiplicateur travaille en régime de tensions continues, il est désirable de convertir la tension de sortie différentielle en une simple tension de sortie référencée par rapport à la masse.

L'amplificateur opérationnel choisi doit posséder de très faibles courants de décalage et de polarisation ainsi qu'une tension d'entrée et un taux de rejection en mode commun les plus élevés. Le μ A 741 convient dans ce genre d'application.

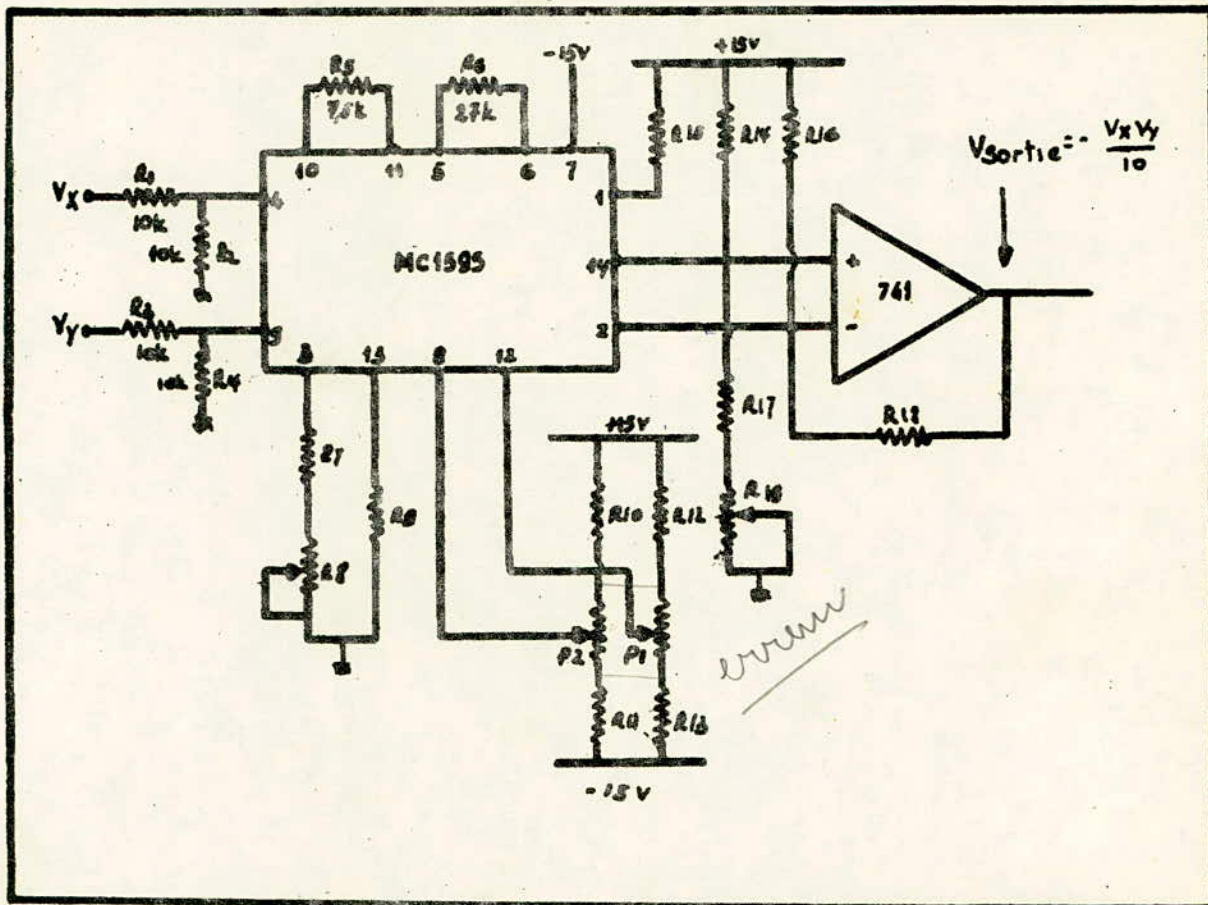


Figure 10

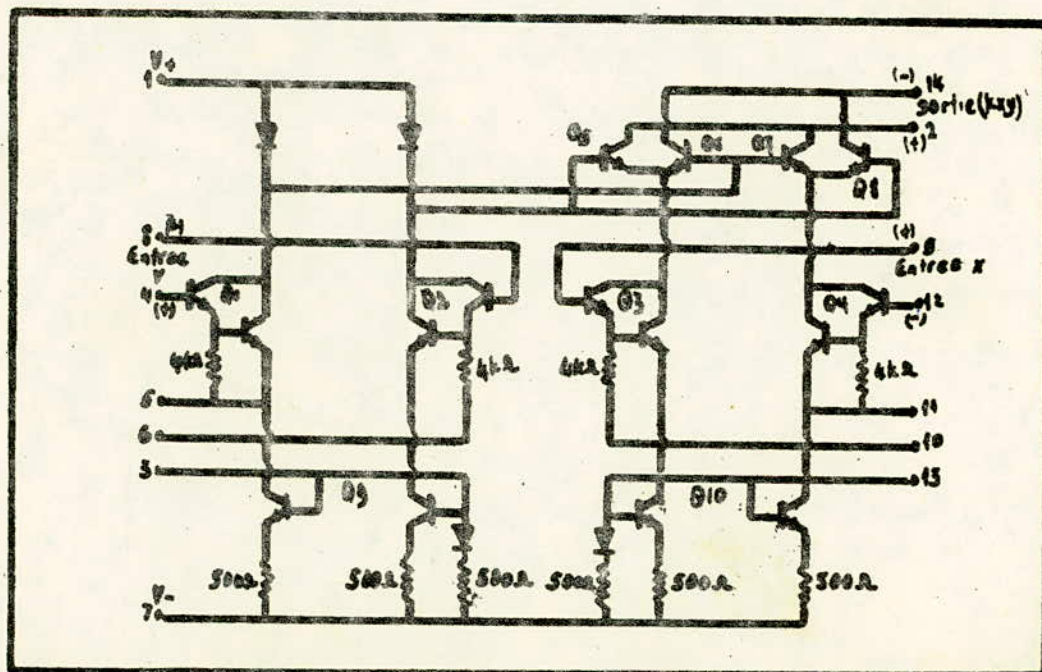


Figure 9

DETERMINATION DE R₁ (figures 8 et 9)

C'est la résistance qui fixe la tension à la connection 1 à partir de laquelle se trouvent polarisées les bases des transistors Q₅, Q₆, Q₇ et Q₈. La tension à la connection 1 est au moins de 2 V plus élevée que le maximum de tension d'entrée. Ainsi, si les entrées V_x et V_y supportent une tension de 5 V, la tension de la connection 1 doit être au moins de + 7 V.

Le courant circulant dans la connection 1 est toujours égal à 2 I₃; la tension à la connection peut être obtenue en plaçant une résistance R₁ entre connection 1 et V⁺ de :

$$R_1 = \frac{V^+ - V_1}{2 I_3}$$

Si V⁺ = 15 V et V₁ = 7 V

$$R_1 = \frac{(15 - 7)V}{(2 \times 1) \text{mA}} = 3,3 \text{ K } \sphericalangle \sphericalangle \text{ (normalisée).}$$

DETERMINATION DE R₀

R₀ fixe les potentiels de liaison entre les entrées 2 et 14 du multiplicateur, et les entrées 3 et 2 de l'amplificateur opérationnel. La valeur R₀ peut être calculée à partir de la valeur de la tension existante aux connections 2 et 14 (fig. 10) suivant la relation :

$$\frac{V_2}{R_L} + I_{13} = \frac{V^+ - V_2}{R_0}$$

on a : V₂ ou V₁₄ = V⁺ - V₁/V₂

ainsi pour : V⁺ = 15 V et V₁ = 9 V

$$V_2 \text{ ou } V_{14} = 15 - 9/2 = 10,5 \text{ V} \approx 11 \text{ V}$$

on trouve d'après ce qui suit :

$$\frac{11 \text{ V}}{20 \text{ K } \sphericalangle \sphericalangle} + 1 \text{ mA} = \frac{15 \text{ V} - 11 \text{ V}}{R_0}$$

d'où la valeur normalisée R₀ = 3,3 K $\sphericalangle \sphericalangle$

LES TENSIONS DE DECALAGE DU MULTIPLICATEUR

Il est indispensable de considérer l'erreur de linéarité née de la tension de décalage en entrée X ou en entrée Y ou encore directement en sortie du circuit. Le moyen de compensation des tensions de décalage est représenté sur la fig. 10.

Les termes des tensions de décalage sont explicités dans la formule suivante :

$$V_o = K (V_x \pm V_{10X} \pm V_{Xoff}) (V_y \pm V_{10Y} \pm V_{Yoff}) \pm V_{oo}$$

ou K = facteur d'échelle

V_x = tension d'entrée en X

V_y = tension d'entrée en Y

V_{10X} = tension de décalage d'entrée en X

V_{10Y} = tension de décalage d'entrée en Y

V_{xoff} = ajustage de la tension de décalage en entrée X

V_{yoff} = ajustage de la tension de décalage en entrée Y

V_{oo} = tension de décalage en sortie.

LE FACTEUR D'ECHELLE K DU MULTIPLICATEUR

Le facteur d'échelle se règle à l'aide du potentiomètre P_3 . P_3 fait varier I_3 qui est inversement proportionnel au facteur d'échelle K. Le courant I_3 est moitié du courant qui traverse R_1 . R_1 définit le point de polarisation de $Q_5 - Q_6 - Q_7$ et Q_8 .

Il faut prendre soin d'ajuster P_3 de telle sorte que le facteur d'échelle demeure constant dans toute la gamme des tensions admissibles.

MISE AU POINT

La procédure d'ajustage des tensions de décalage et du facteur d'échelle peut être ainsi déterminée.

- décalage à l'entrée x (V_{10X})

- connecter l'entrée x (borne 9) à la masse
- connecter un générateur d'oscillation sinusoïdales (1KHz - 5 Vcc) à l'entrée y (borne 4).
- ajuster P_2 (à la borne 12) pour une tension de décalage en alternatif nulle à la sortie V.

- Décalage à l'entrée Y (V_{10Y})
 - Connecter l'entrée Y (borne 4) à la masse
 - connecter un générateur d'oscillation sinusoïdales (1 KHz - 5 Vec) à l'entrée X (borne 9)
 - ajuster P, (borne 8) pour une tension de décalage en alternatif nulle à la sortie Vo (borne 6 au MC1741)
- Décalage en sortie (V_{00})
 - Connecter les entrées "X" et "Y" à la masse
 - ajuster le potentiomètre de décalage en sortie P4 jusqu'à ce que la tension de sortie Vo soit nulle en en valeur continue (P4 est branché entre borne 2 et masse).
- Facteur d'échelle K
 - Appliquer + 10 dc à la fois aux entrées X et Y
 - ajuster P₃ de sorte que l'on ait en sortie Vo = + 10 dc
 - répéter les opérations 1 à 4 tant que cela est nécessaire vu les interdépendances pouvant exister entre ces divers réglages.

Le dispositif est prêt à fonctionner.

La sortie du multiplicateur délivrant $P = \frac{UI}{10}$ sera appliquée à un circuit de mesure qui indiquera la puissance fournie par le panneau solaire. La sensibilité de la puissance est le produit des sensibilités de la tension et du courant.

2°) Mesure de I_{cc} et de V_{co}

Les valeurs extrêmes de la charge permettent de caractériser le panneau solaire en tension et en courant (I_{cc} et V_{co}).

a) Mesure de V_{co}

- La tension en circuit-ouvert " V_{co} " s'obtient par le blocage du transistor de puissance. Sa charge fictive présente entre le collecteur et l'émetteur est très grande voire infini.

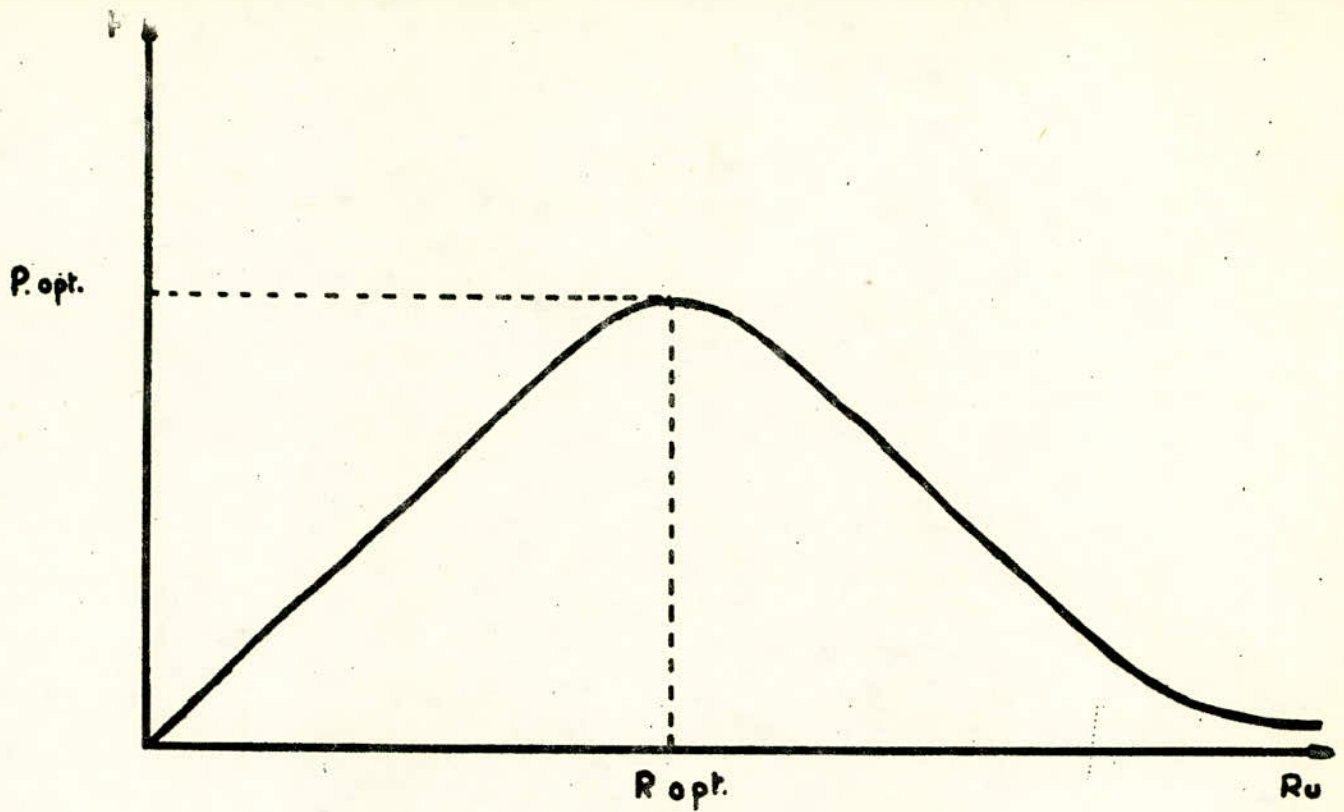


Figure 11

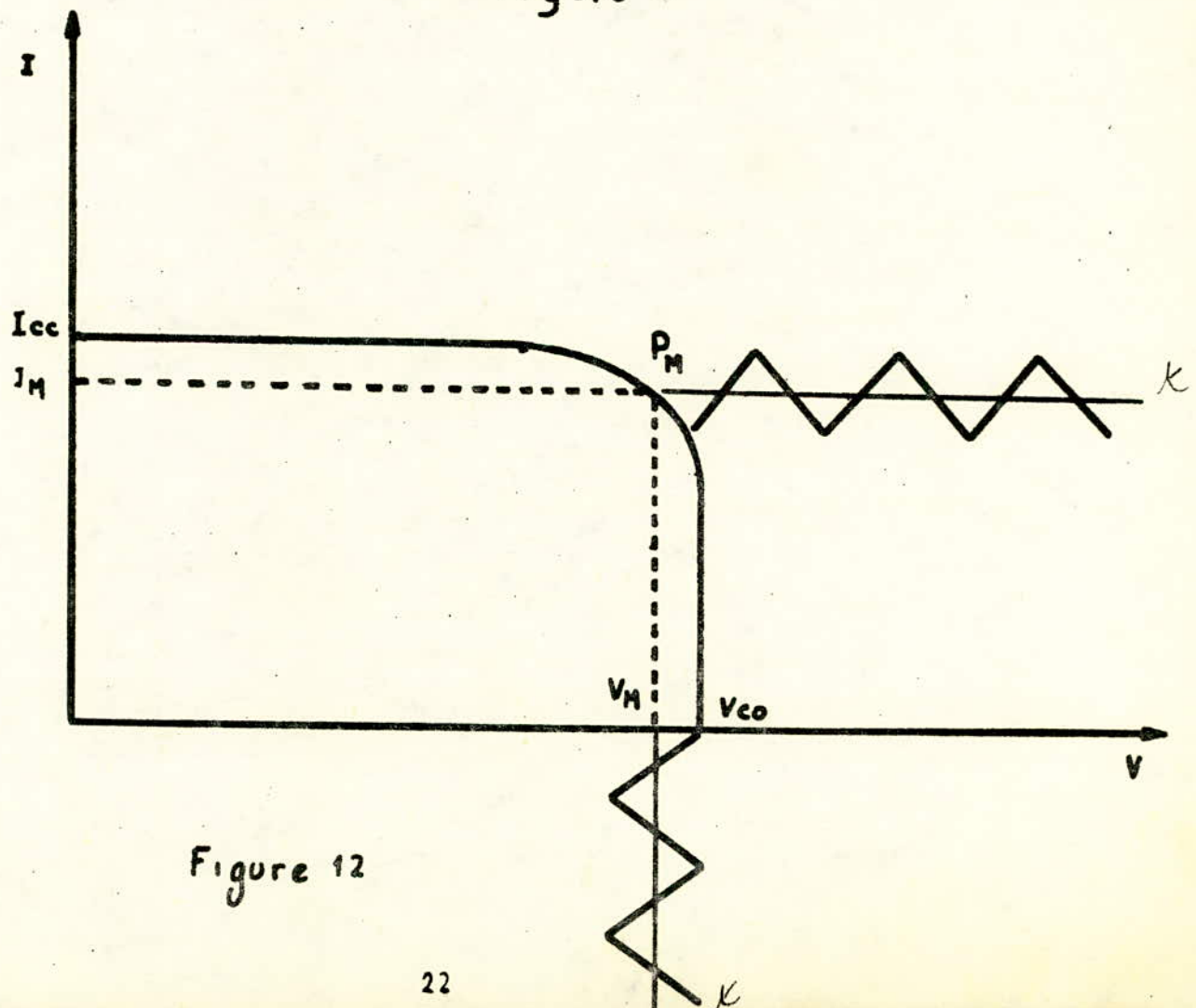


Figure 12

Le courant débité par la photo-pile est négligeable (de l'ordre du courant de blocage I_{bo}).

La tension prélevée aux bornes du panneau représente la tension en circuit ouvert.

b) Mesure de I_{cc}

La saturation de l'amplificateur de puissance conduit à la détermination du courant de court-circuit. Le transistor présente dans ce cas, une charge fictive très faible. Le courant observé sur le shunt est pratiquement celui de court-circuit.

Dans les deux cas les courants de fuites (entrées des ampl.Op) sont rendus négligeables grâce aux montages différentiels à haute impédance d'entrée.

3°) Poursuite du point de puissance maximale

a) Position du problème

En vue d'une application quelconque d'un panneau solaire, la connaissance du point de fonctionnement optimale du montage est indispensable. Ce point optimal correspond en général au point de puissance maximale du panneau.

Sa localisation se fait par le biais d'un système de poursuite.

La variation de la puissance d'un panneau solaire en fonction d'une charge d'utilisation R_u est représentée selon la figure (11). On distingue 2 zones :

- une zone correspondant à la croissance de P ($R_u < R_{opt}$)
- une zone correspondant à la décroissance de P ($R_u > R_{opt}$).

Une variation infinitésimale de la charge autour de sa valeur optimale, lui correspond une variation de la puissance autour de sa valeur maximale.

Il n'est tenu compte pour la poursuite du point de puissance maximale de la partie ^{pas} croissante de la courbe représentative de P . En effet dans cette zone la puissance tend à atteindre le point de fonctionnement optimal, par contre dans la zone décroissante,

elle tend à s'en éloigner, d'où le système initialement prévu est de s'opposer à cette évolution défavorable.

b) Technique de poursuite

Les variations de la puissance sont transmises par une capacité C. L'amplificateur alternatif à gain variable dans un rapport de 1 à 10 permet de régler le gain de boucle (accrochage et stabilité) et compenser les variations du gain en courant de l'étage de puissance. Le circuit différenciateur réalisé à l'aide d'un amplificateur opérationnel 741 délivre $\frac{dP}{dt}$.

Le signal est ensuite mis en forme par la trigger de schmidt et pilote la bascule JK qui mémorise les décroissance de P.

Le sens de la rampe fournie par l'intégrateur à amplificateur opérationnel (741) est inversé chaque fois que la bascule voit un front négatif sur son entrée horloge (Toggle : J = K = 1).

Le transistor de puissance est attaqué par le transistor bipolaire 2N 2222, une résistance $1\text{ K } \Omega$ limite le courant I_b à $\frac{V_{cc}}{1\text{ K}}$.

c) Paramètres intervenant dans le gain de boucle

Soit V_i la tension délivrée par l'intégrateur

V_a la tension d'alimentation.

- Le gain de l'intégrateur :

$$A_i = \frac{V_i}{V_a} = - \frac{1}{j\omega C_i R_i} = - \frac{1}{j\omega R_i C_i} = - \frac{1}{P Z_c}$$

$$P = j\omega$$

$$Z_c = R_i C_i$$

- Le gain de l'étage de puissance : fig (0)

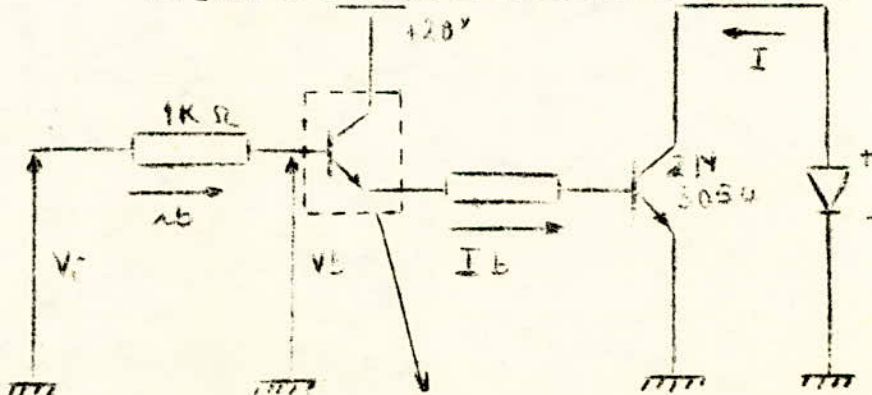


Fig 24

Pour le transistor de puissance (2 N 3054), on donne un gain en courant de 40.

Pour le transistor 2 N 2222, le gain en courant est de 50.

Alors :

$$I = 2 \cdot 10^3 i_b$$

$$V_b = 20 \cdot 50 i_b$$

$$i_b = \frac{V_i - V_b}{10^3} = \frac{V_i}{10^3} - i_b$$

$$i_b = \frac{V_i}{2 \cdot 10^3}$$

d'où :

$$I = 2 \cdot 10^3 \frac{V_i}{2 \cdot 10^3} = V_i$$

$$I = V_i$$

- Le gain au niveau du générateur photovoltaïque multiplicateur, amplificateur, alternatif.

Le multiplicateur effectue $\frac{V_i}{10}$, la relation entre V et I est donnée par la courbe $I = f(V)$ au voisinage de V_M , I_M point de puissance maximum $V I = P_{max}$.

$$\frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta I}{I} = 0 \quad \frac{\Delta V}{\Delta I} = - \frac{V}{I}$$

Si K est le gain potentiomètre + ampli-alternatif, en sortie de l'ampli-alternatif la tension est :

$$K \frac{\Delta V \Delta I}{10} = - K \frac{(\Delta V)^2 \left(\frac{V}{I}\right)}{10}$$

- Le gain du différentiateur

$$A_d = \frac{R_d}{\frac{1}{j\omega C_d}} = - j\omega R_d C_d = - p \tau_d$$

$$P = j\omega$$

$$\tau_d = R_d C_d$$

- Le "gain" Trigger - Dascule

Pour obtenir une transistion à l'entrée de l'intégrateur, la tension de sortie du différentiateur doit varier de 0 à 1,5 V (seuil du trigger).

$AV = 1,5$ ----- $AV = va = 15 V$
 en entrée trigger en entrée de l'intégrateur

Le gain est alors de 10.

- Le gain de boucle

$$G = - K (10 A_i) \times (AV_i)^2 \left(\frac{V}{I} \right) \times Ad \times 1/10$$

$$G = \frac{- K (10 A_i)^2 \frac{V}{I} \times Ad}{10} = K 10 \frac{1}{f^2 \tau_i^2} \frac{V}{I} P \tau_d$$

$$\boxed{G = 10 K \frac{\tau_d}{\tau_i^2} \frac{V}{I} \times \frac{I}{P}}$$

K varie de 1 à 10 pour compenser la perte de gain en courant dans l'étage de puissance quand on opère à faible V (3v)

$$\tau_d = 18 \cdot 10^3 \cdot 47 \cdot 10^9 = 0.85 \text{ ms}$$

$$\tau_i = 120 \cdot 10^3 \cdot 0.33 \cdot 10^{-6} = 39 \text{ ns}$$

$$/G/ = \frac{K}{1} \frac{V}{I} = \left(5 \frac{V}{I} \text{ à } 50 \frac{V}{I} \right)$$

G est en $\frac{1}{\tau_p}$, la forme d'onde sera une dent de scie en sortie de l'intégrateur.

Ondulation de la puissance, Fréquence de Relaxation

Le régime stationnaire est atteint ($/G/ \rightarrow 1$) par saturation de l'étage différentiateur dont le gain en boucle ouverte est $25/0^3$ une transistion de l'ordre de 1 mv à son entrée provoque son basculement.

Quelle est l'ondulation de puissance minimum susceptible de provoquer la saturation du différentiateur ; c'est-à-dire atteindre un régime stationnaire ?

$$K \frac{XV}{10} = K \frac{\Delta P}{10} = 10^{-3}$$

$$\Delta P = \frac{10^{-2}}{K}$$

Pour : $K = 1$; $\Delta P = 0,01 \text{ W}$
 $K = 10$; $\Delta P = 0,001 \text{ W}$

Mais aussi :

$$(\Delta V_i)^2 \frac{V}{I} = \Delta P$$

$$\Delta V_i = \sqrt{\Delta P \frac{I}{V}}$$

Pour : $K = 1$

$$\Delta V_i = 0,1 \sqrt{\frac{I}{V}}$$

Pour $K = 10$

$$\Delta V_i = 0,1 \sqrt{\frac{I}{10V}}$$

La variation de tension en sortie de l'intégrateur donne la période de relaxation. (R_2 sortie intégrateur).

$$T = \frac{\Delta V_i Z_i}{V_a}$$

$$T = \frac{Z_i}{10 V_a} \sqrt{\frac{I}{KV}}$$

Pour : $K = 1$; $\frac{I}{V} = 1$

$$T = 2,64 \text{ ms}$$

$$F = 3 \text{ KHz}$$

Pour : $K = 10$; $\frac{I}{V} = 1$

$$T = 0,85 \text{ ms}$$

$$F = 11 \text{ KHz}$$

e) Mise en oeuvre - Précision

La précision des mesures dépend de la qualité du multiplacteur, pour un MC 1595 L elle est de l'ordre de 1% pleine échelle ($\frac{\Delta P}{P}$) = 1%.

L'amplificateur de V et I se fait avec une imprécision de 2%.

$$\left(\frac{\Delta P}{P}\right)_2 = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta I}{I}$$

$$\left(\frac{\Delta P}{P}\right)_2 = 4 \%$$

L'erreur totale :

$$\frac{\Delta P}{P} = \left(\frac{\Delta P}{P}\right)_1 + \left(\frac{\Delta P}{P}\right)_2 = 5 \%$$

4°) Alimentation et circuit de mesure

- Alimentation

Pour le fonctionnement des éléments actifs du circuit, une tension d'alimentation de ± 15 V est prévue. Une autre de 20 V est destinée à la polarisation de l'amplificateur de courant. Le schéma est donné à la figure 13.

- Circuit de mesure

Le circuit de mesure est donné à la figure 14 ; il est constitué par un galvanomètre à cadre mobile utilisé en ~~voltage~~ à haute impédance d'entrée. La pleine déviation est obtenue pour une tension d'entrée de 10 V correspondant à un courant de 1 mA dans le galvanomètre dont la classe est de 1,5.

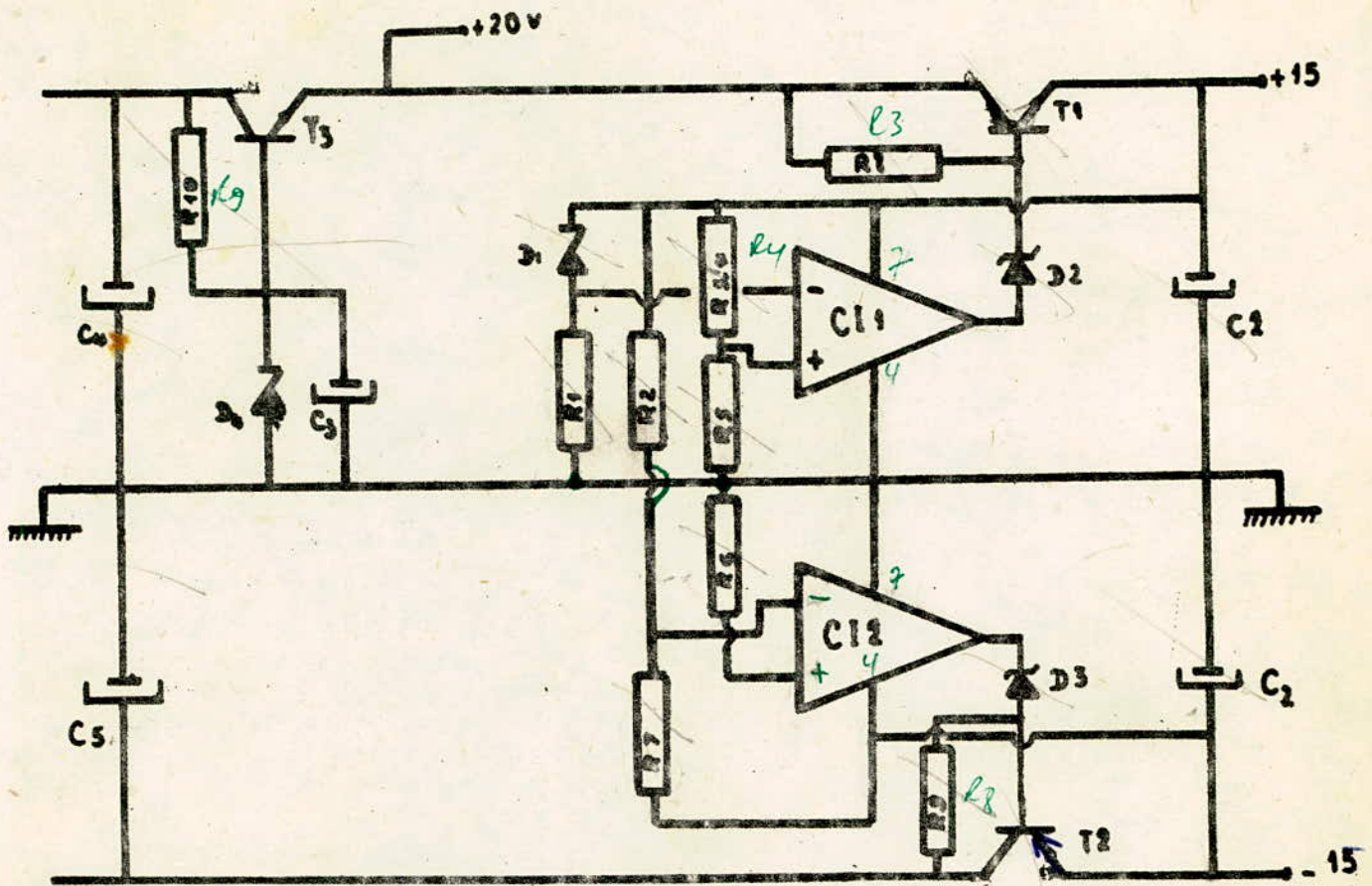


Figure 13

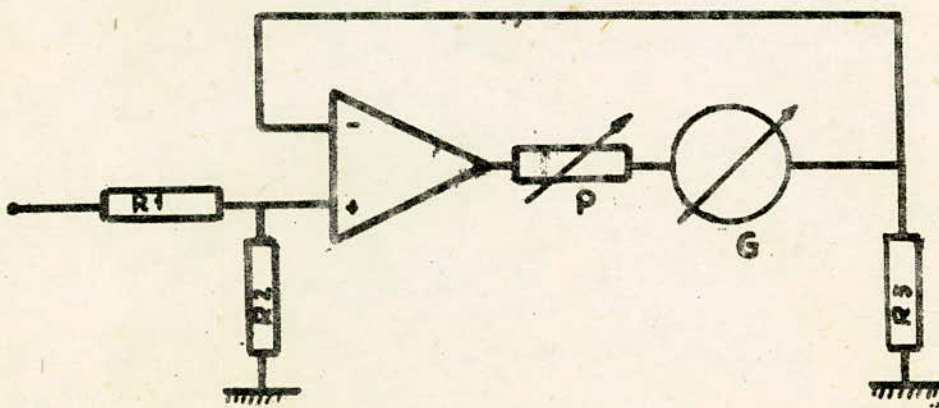


Figure 14

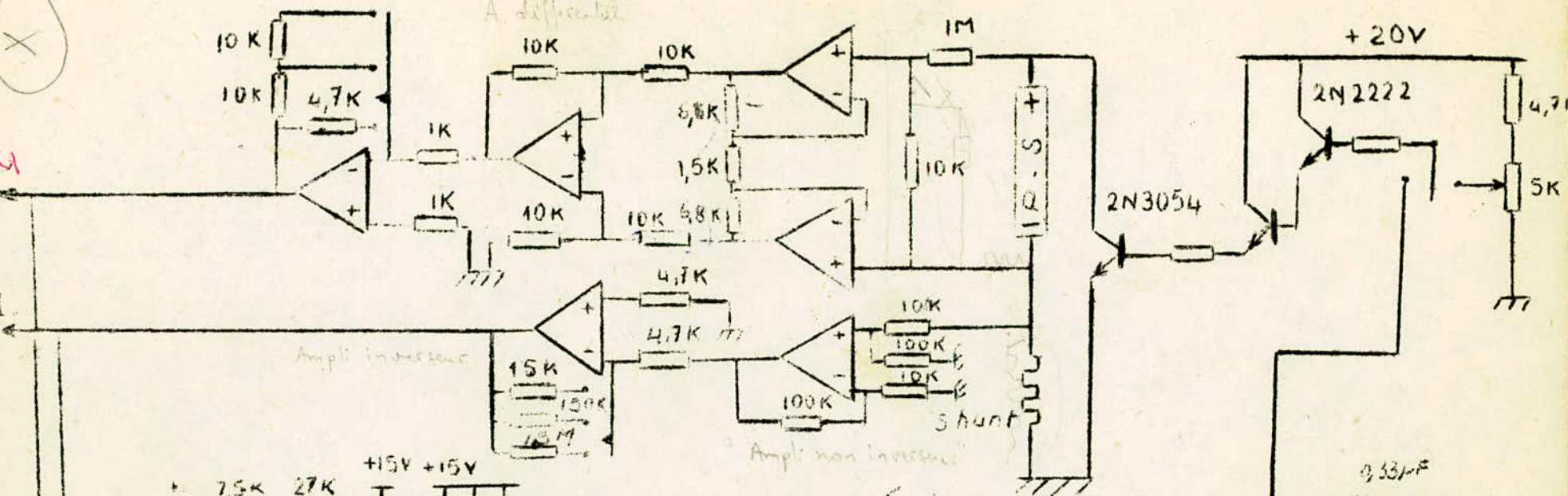
(X)

4

1

Ampli inversore

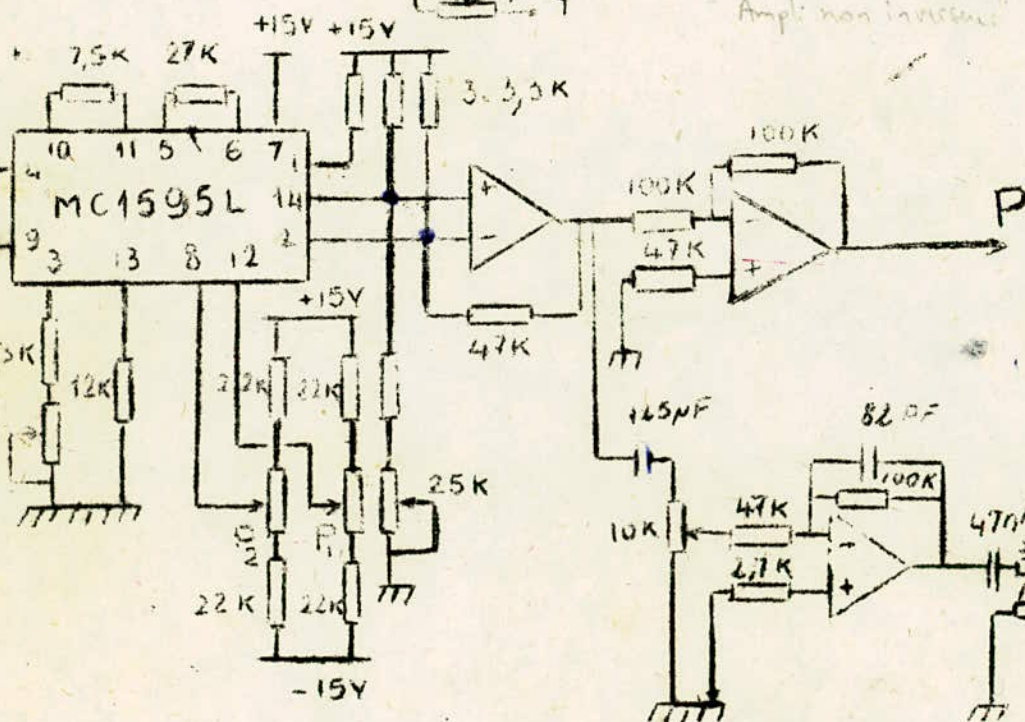
A. differential



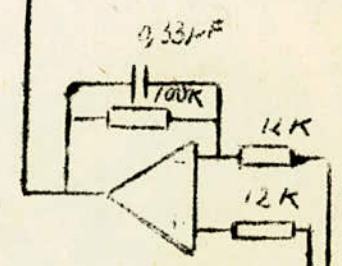
Ampli inversore

Ampli non inversore

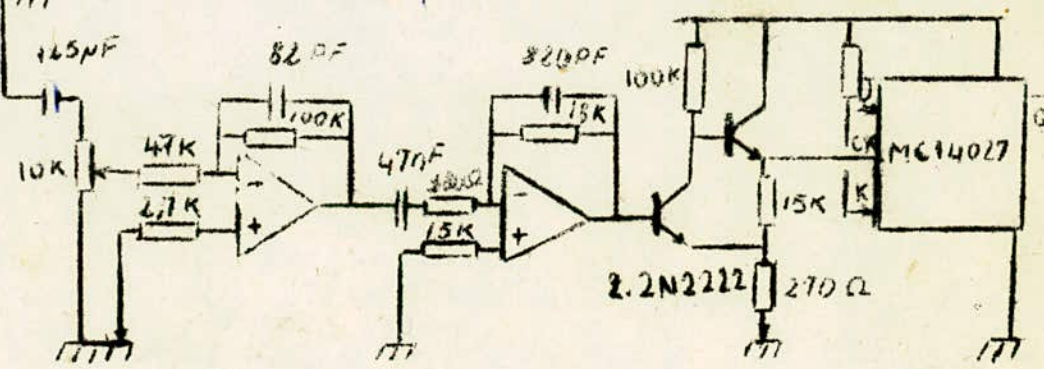
shunt



P



30

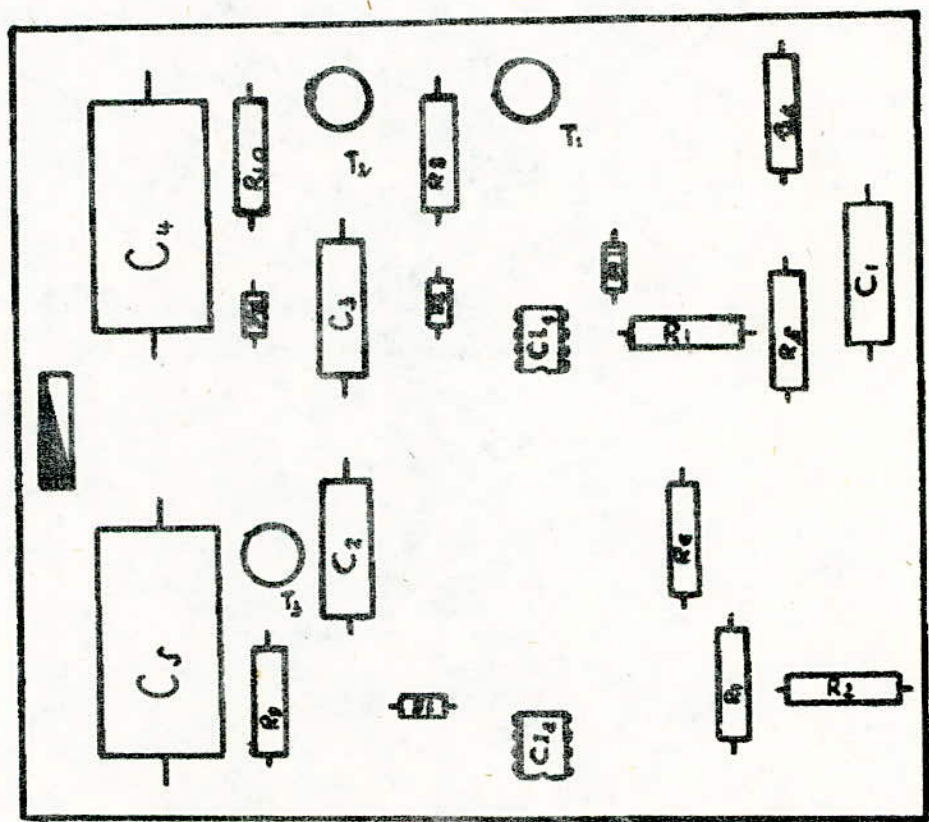


- Schema general -

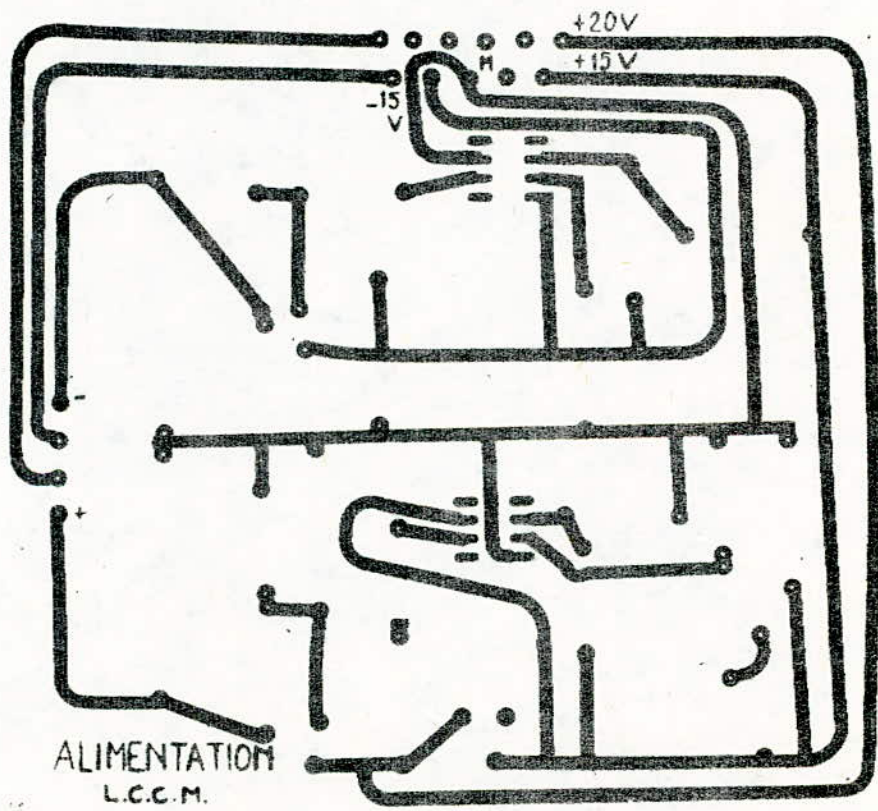
CHAPITRE III

I. PLAQUETTES MODULAIRES

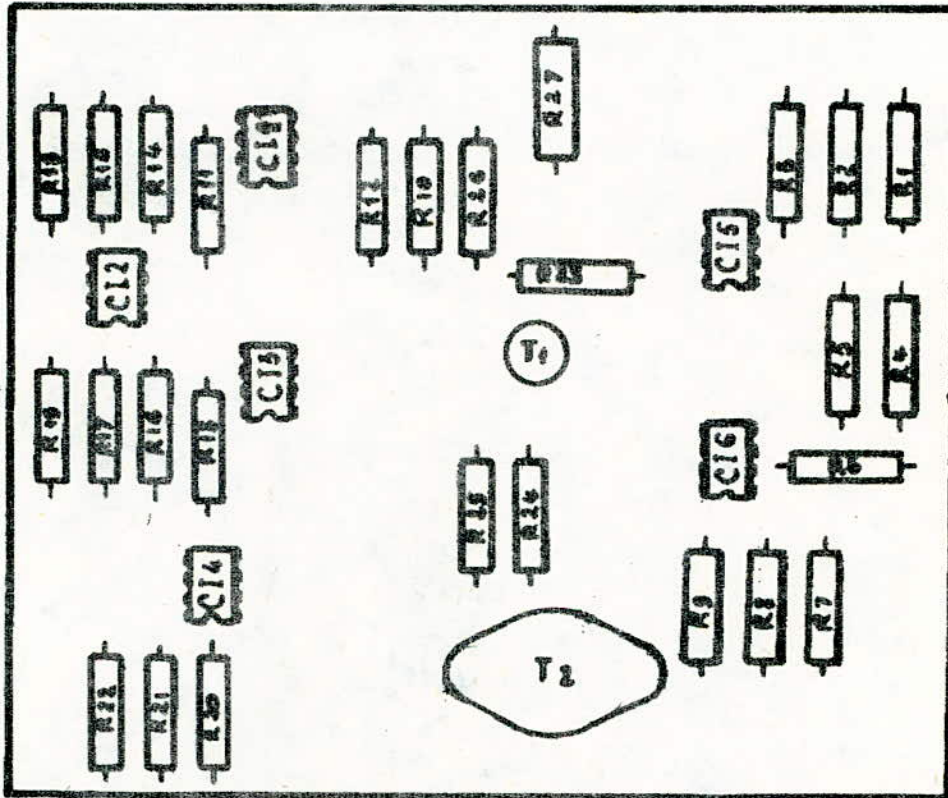
1/ Module Alimentation
- face element



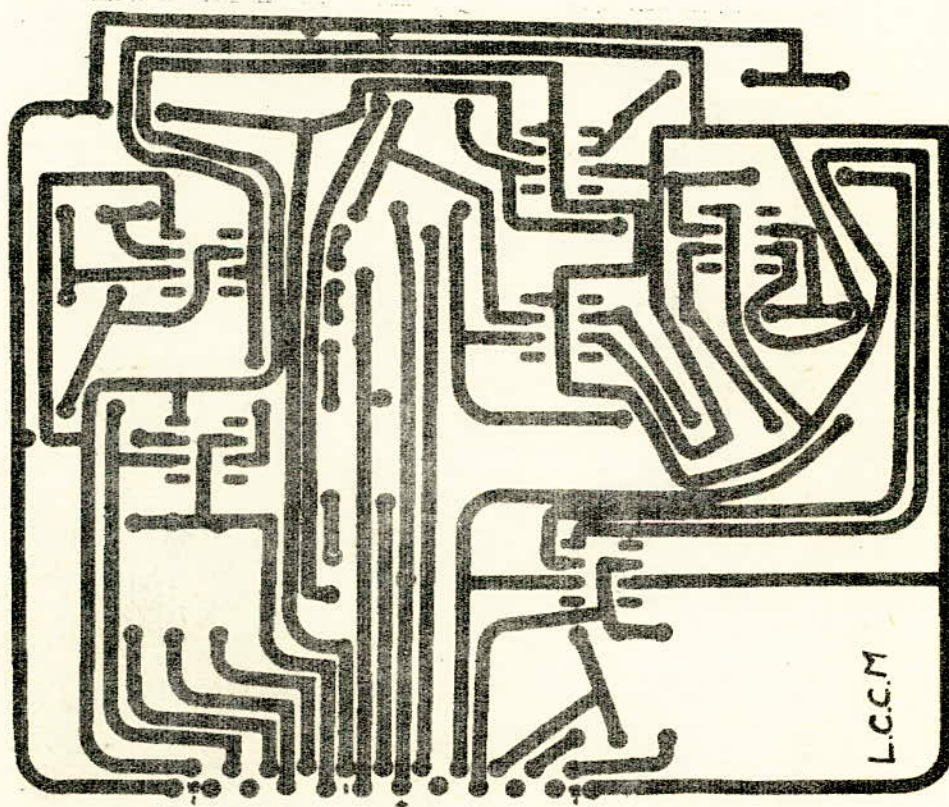
Module Alimentation
- circuit imprime.



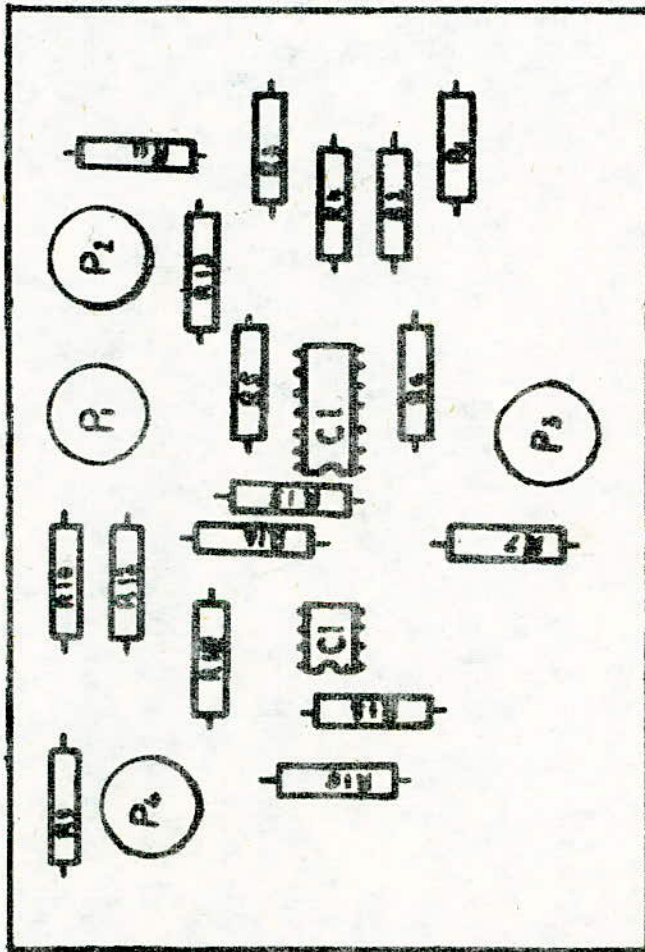
27 Module courant-tension.
- face element



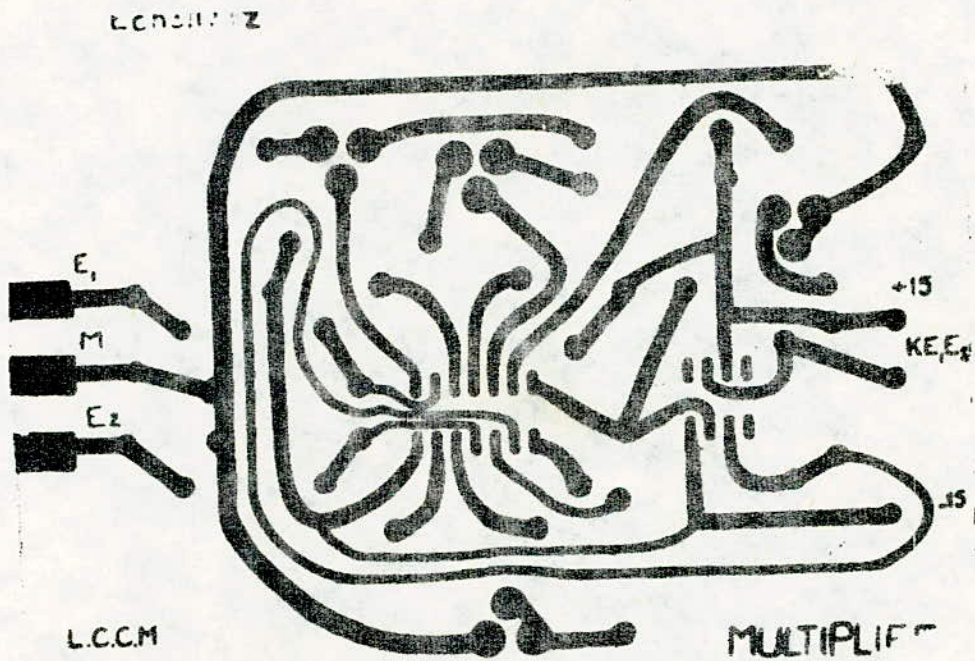
*Module courant-tension
- circuit imprimé*



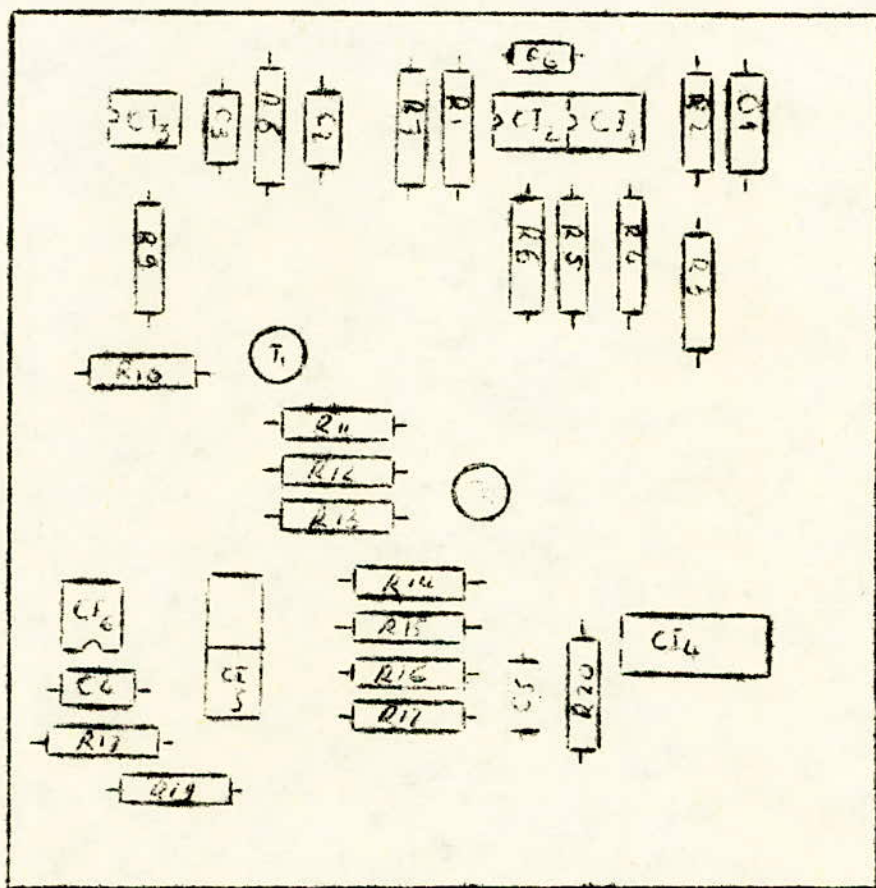
37 Module Multiplicateur
Face element.



Module Multiplicateur
- circuit imprimé

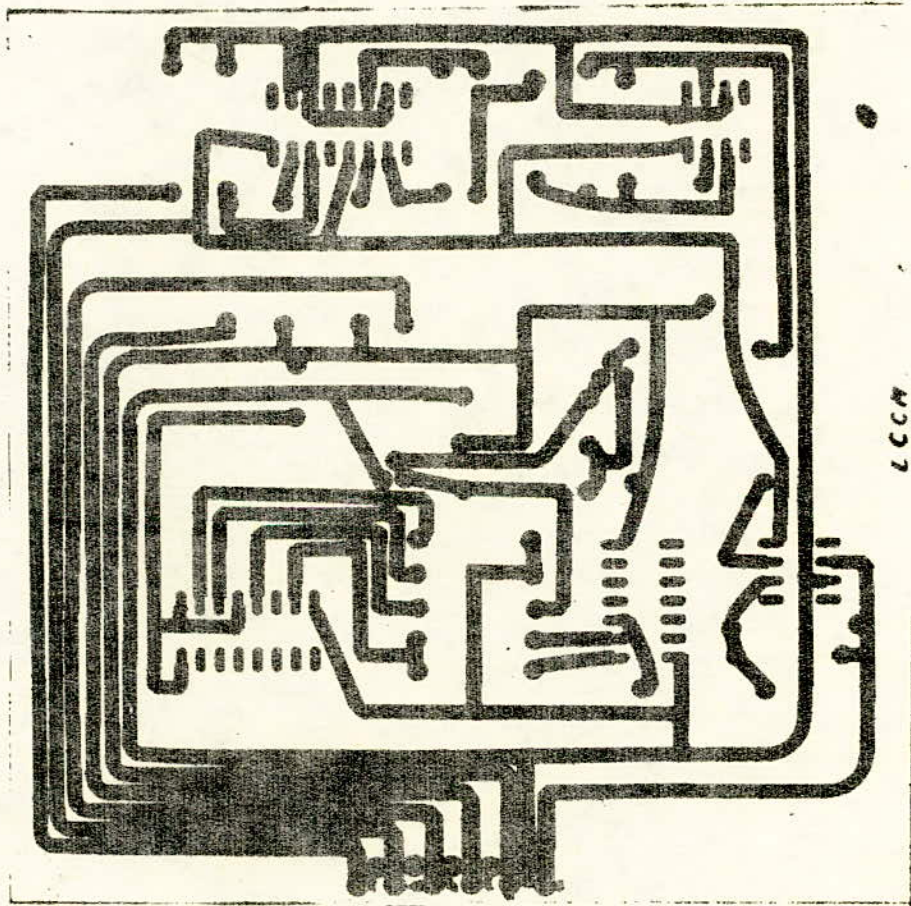


4/ Module poursuite de Pmax
 - face element



4^e Module : Poursuite de P.max.

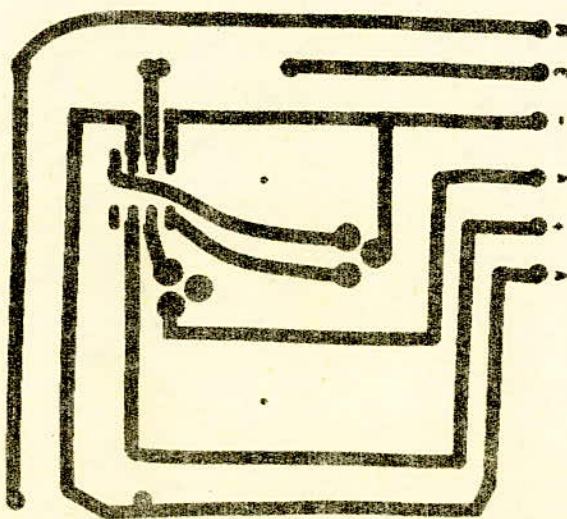
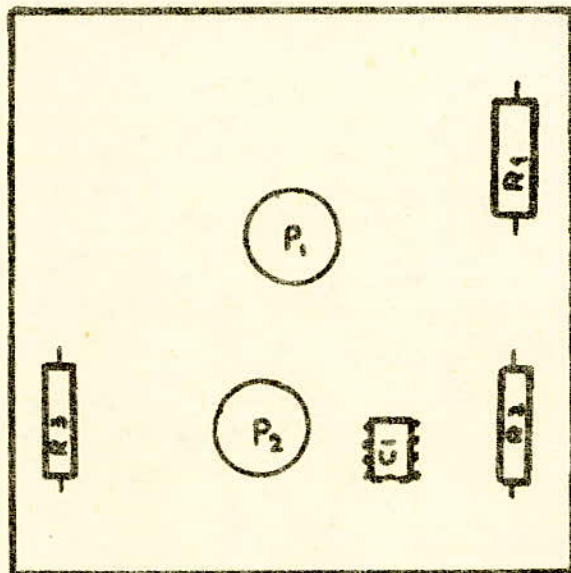
↳ circuit imprimé



57 Module : circuit de mesure

- circuit imprime.

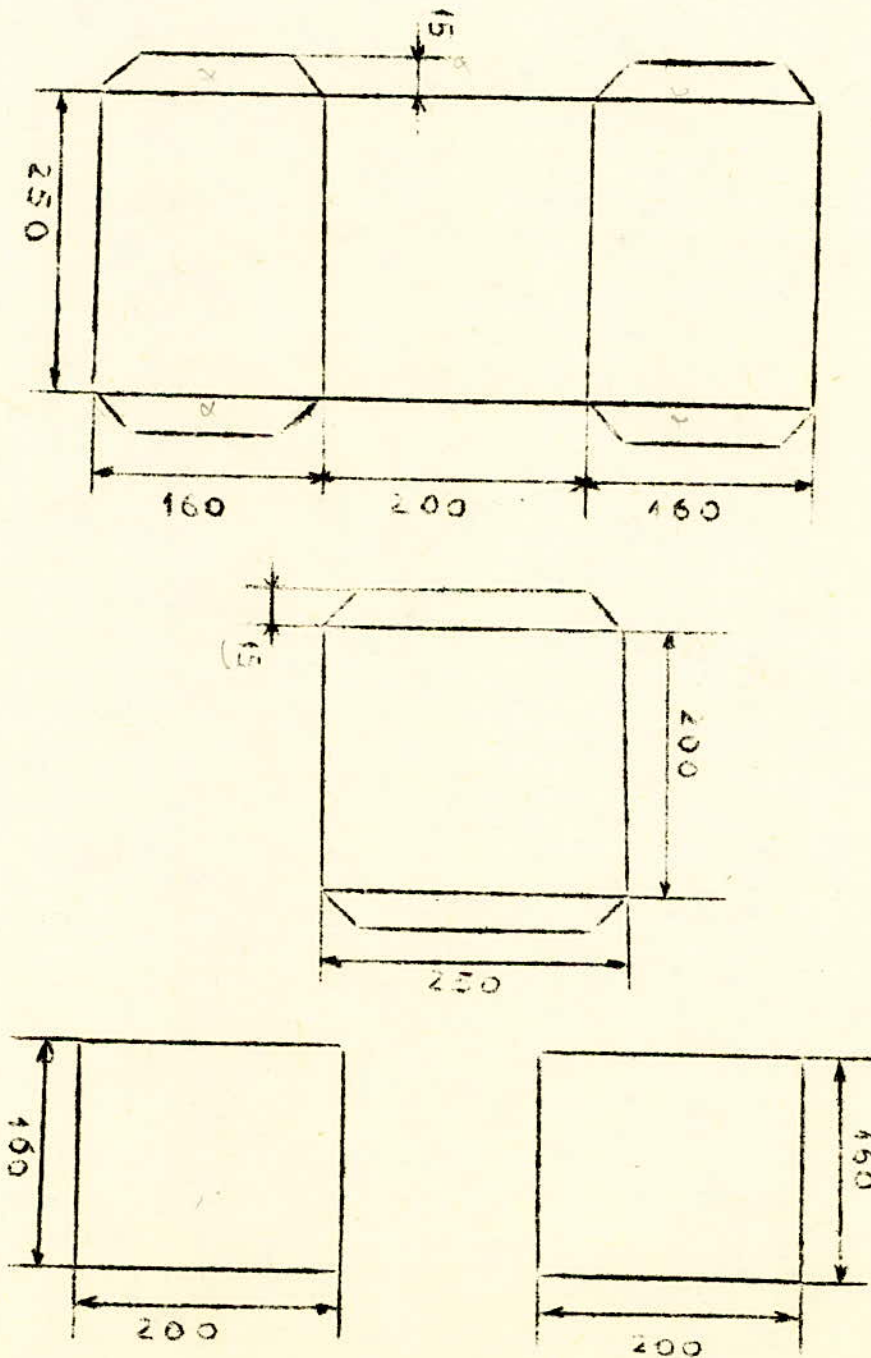
- face element



L C C M. VOLTMETRE

II.- C O F F R E T

- Schémas des Plaquettes



III - NOMENCLATURE

1/ Multiplicateur

<i>Resistances</i>				<i>Potentiometres</i>			
R1	:	10	kΩ				
R2	:	10	kΩ				
R3	:	10	kΩ	P1	:	2,2	kΩ
R4	:	10	kΩ	P2	:	2,2	kΩ
R5	:	7,5	kΩ	P3	:	4,7	kΩ
R6	:	27	kΩ	P4	:	22	kΩ
R7	:	43	kΩ				
R9	:	42	kΩ				
R10	:	22	kΩ	<i>Circuits Integres</i>			
R11	:	22	kΩ				
R12	:	22	kΩ				
R13	:	22	kΩ				
R14	:	3,3	kΩ				
R15	:	3,3	kΩ	C11	:	MC1595L	
R16	:	3,3	kΩ	C12	:	μA 741	
R17	:	33	kΩ				
R18	:	47	kΩ				

2/ Alimentation

<i>Resistances</i>		<i>Condensateurs</i>	
R1	: 1 kΩ	C1	: 1 100 μF
R2	: 22 kΩ	C2	: 100 μF
R3,4	: 2,2 kΩ	C3	: 100 μF
R5	: 6,8 kΩ	C4	: 1000 μF
R6	: 18 kΩ	C5	: 1000 μF
R7	: 22 kΩ	<i>Semi-Conducteurs</i>	
R8	: 2,2 kΩ	DZ1	:
R9	: 1 kΩ	DZ2	: C5 V6
R10	: 330 Ω	DZ3	: C10
<i>Circuits Integres</i>		DZ4	: 10 BZ4
C11	: μA741	T1	: 2N 3914
C12	: μA741	T2	: 2N 2904
		T3	: 2N 2219

3/ Circuit de mesure.

<i>Resistances</i>		<i>Potentiometres</i>	
R1	: 10 MΩ	P1	: 10 kΩ
R2	: 100 kΩ	P2	: 2,5 kΩ
R3	: 100 Ω		
<i>Circuits Integres</i>			
C11	: μA741		

4°/ Module courant-tension

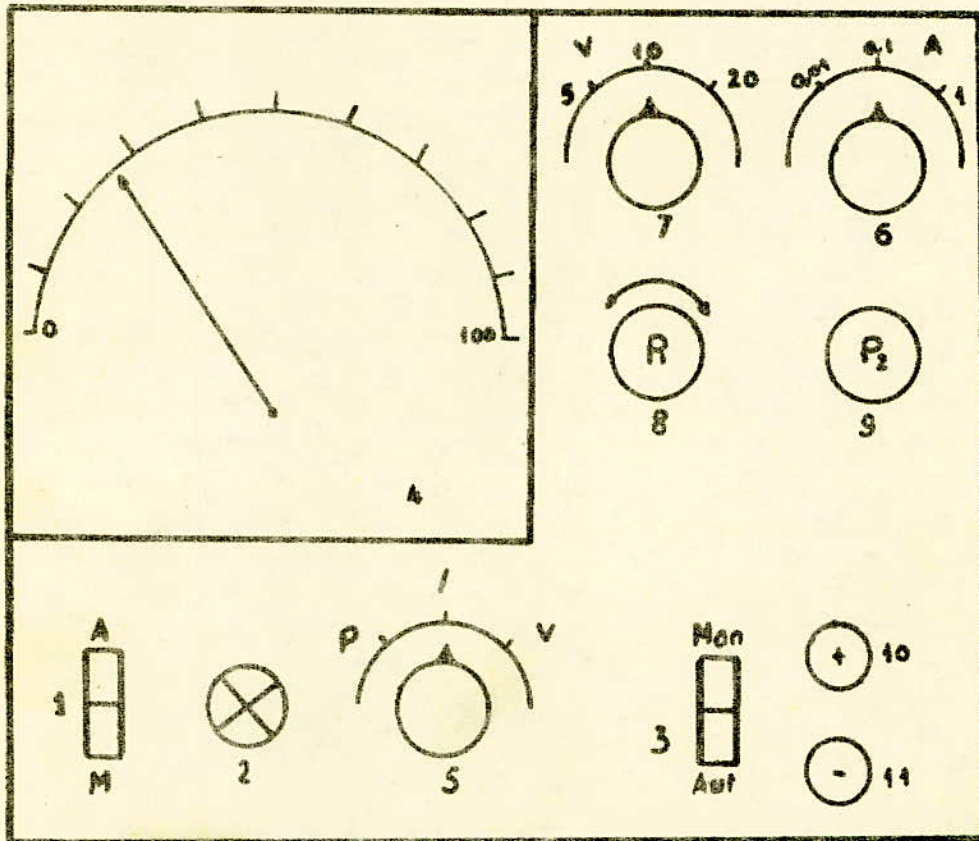
Resistances			Circuits Integres		
R ₁	:	10 KΩ	C11	:	μA 741
R ₂	:	100 KΩ	C12	:	μA 741
R ₃	:	10 KΩ	C13	:	μA 741
R ₄	:	100 KΩ	C14	:	μA 741
R ₅	:	4,7 KΩ	C15	:	μA 741
R ₆	:	4,7 KΩ	C16	:	μA 741
R ₇	:	1,5 MΩ	<i>Transistors</i>		
R ₈	:	150 KΩ			
R ₉	:	15 KΩ	T1	:	2N 2222
R ₁₀	:	1 MΩ	T2	:	2N 3054
R ₁₁	:	6,8 KΩ			
R ₁₂	:	1,5 KΩ			
R ₁₃	:	6,8 KΩ			
R ₁₄	:	10 KΩ			
R ₁₅	:	10 KΩ			
R ₁₆	:	10 KΩ			
R ₁₇	:	10 KΩ			
R ₁₈	:	1 KΩ			
R ₁₉	:	1 KΩ			
R ₂₀	:	10 KΩ			
R ₂₁	:	10 KΩ			
R ₂₂	:	4,7 KΩ			
R ₂₃	:	1 KΩ			
R ₂₄	:	1 KΩ			
R ₂₅	:	4,7 KΩ			
R ₂₆	:	10 KΩ			
R ₂₇	:	0,3 Ω			

5) Module : poursuite de P_{max}

Resistances		Condensateurs	
R ₁	: 100 kΩ	C ₁	: 125 nF
R ₂	: 100 kΩ	C ₂	: 0,047 nF
R ₃	: 100 kΩ	C ₃	: 820 pF
R ₄	: 47 kΩ	C ₄	: 0,33 nF
R ₅	: 47 kΩ	C ₅	: 10 μF
R ₆	: 2,7 kΩ	C ₆	: 82 pF
R ₇	: 390 Ω		
R ₈	: 18 kΩ	Circuits Integres	
R ₉	: 15 kΩ	CI ₁	: μA 741
R ₁₀	: 10 kΩ	CI ₂	: μA 741
R ₁₁	: 100 kΩ	CI ₃	: μA 741
R ₁₂	: 270 Ω	CI ₄	: MC14027
R ₁₃	: 15 kΩ	CI ₅	: μA 741
R ₁₄	: 6,8 kΩ	CI ₆	: μA 741
R ₁₅	-		
R ₁₆	-	Transistors	
R ₁₇	-	T ₁	: 2N2222
R ₁₈	: 100 kΩ	T ₂	: 2N2222
R ₁₉	: 12 kΩ		
R ₂₀	: 1,2 MΩ	Diodes	
		18J2	018

IV. NOTICE D'UTILISATION

1/ face avant de l'appareil



- 1 Interrupteur de mise en marche
- 2 Lampe
- 3 Interrupteur Manuel ou Automatique
- 4 Cadran
- 5 Commutateur à 3 positions V. I. P.
- 6 Calibre courant
- 7 Calibre tension
- 8 Potentiometre de contrôle manuel (balayage)
- 9 Potentiometre de gain de boucle
- 10 Entree (+) du generateur photovoltaïque
- 11 Entree (-) du generateur photovoltaïque

3°) INSTRUCTIONS D'UTILISATION

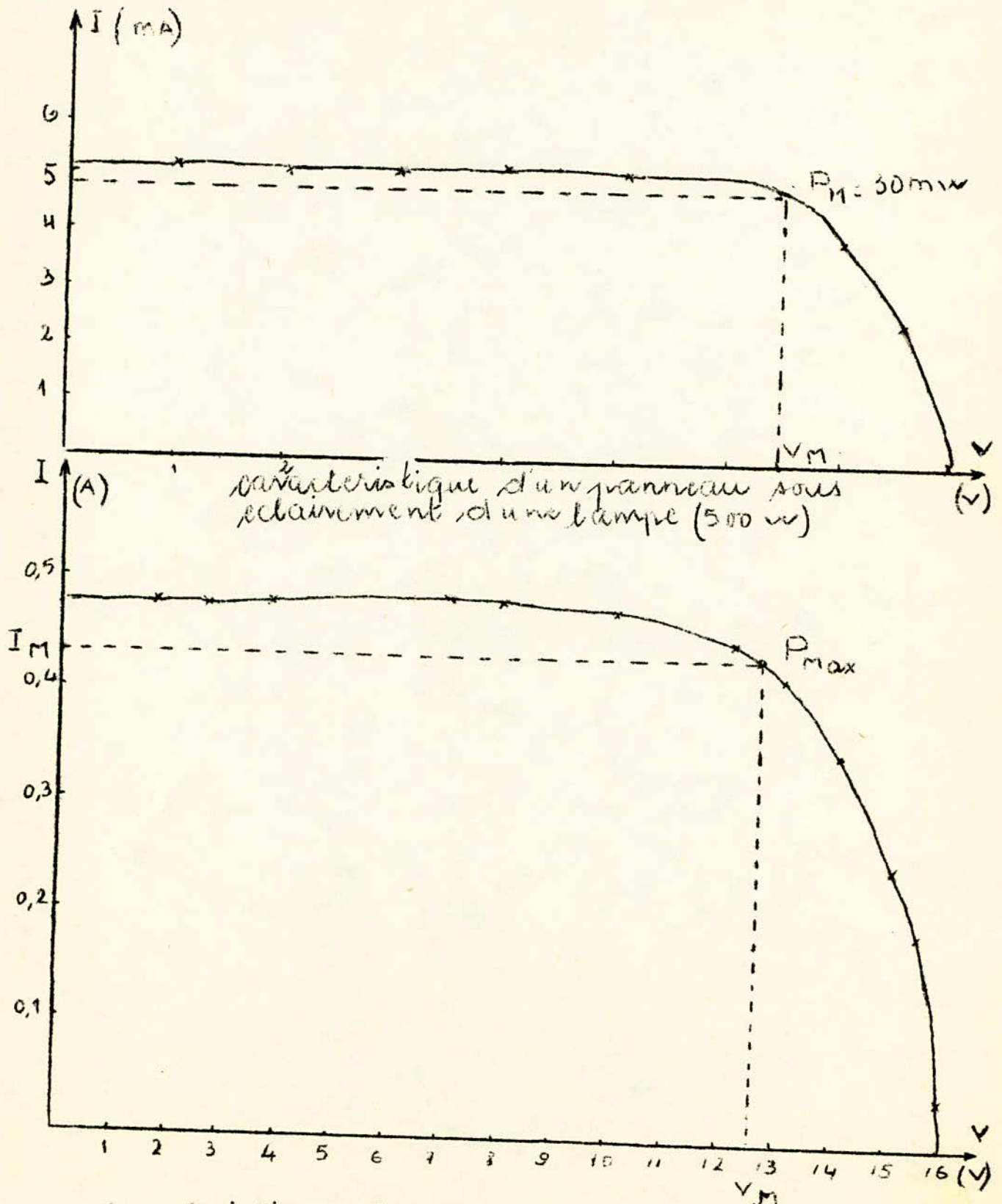
a) Branchement de l'appareil

- Le cordon du secteur sort de la face arrière de l'appareil.

b) Mode opératoire

- Connecter le générateur photovoltaïque aux bornes (10) et (11) sur la face avant de l'appareil -
 - Mettre en marche à l'aide de l'interrupteur (1) et vérifier que la lampe (2) est allumée -
 - Se placer sur le manuel à l'aide de l'interrupteur (3)
 - Se mettre en position tension avec le commutateur (V.I.P) (5)
 - Varier le potentiomètre de balayage (8) à sa valeur minimale ; la valeur lue sur le cadran (4) correspond à la tension en circuit ouvert V_{co} .
 - Choisir le calibre correspond à l'aide de (7)
 - Se mettre en position courant avec le commutateur (5)
 - Varier le potentiomètre de balayage (8) à sa valeur maximale ; la valeur lue dans le cadran (4) correspond au courant de court-circuit I_{cc} .
 - Choisir le calibre nécessaire à l'aide de (6) afin d'obtenir le maximum de déviation et permettre une bonne lecture.
 - Se mettre en position puissance ; la valeur de la puissance varie en tournant le potentiomètre de balayage.
 - Se placer en automatique à l'aide de l'interrupteur (3)
 - La valeur de P_{max} sera lue sur le cadran (4)
 - Les valeurs de V_{max} et I_{max} seront obtenus en se plaçant respectivement sur V et I à l'aide du commutateur (5).
- GAMME DE MESURE A RESPECTER :
- pour la tension : 0 - 20 V
 - pour le courant : 0 - 1 A
 - pour la puissance : 0 - 20 W

Trace de quelques caractéristiques
à l'aide de l'appareil réalisé.



caractéristique d'un panneau utilisant des cellules BPX474. Sous éclairage du jour.

Relevé des différents courbes

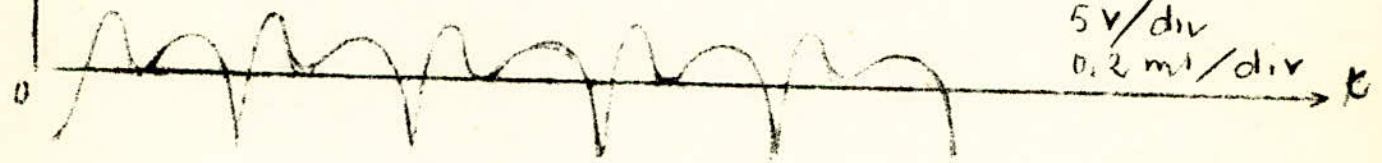
Signaux puissance

0,2 V/div
0,2 ms/div

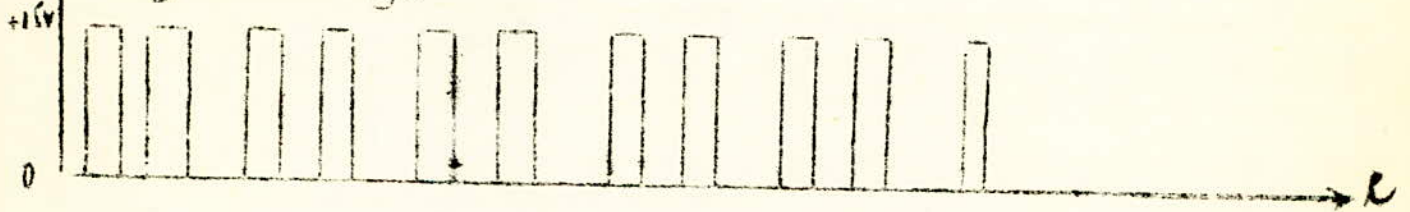


signaux dérivateur

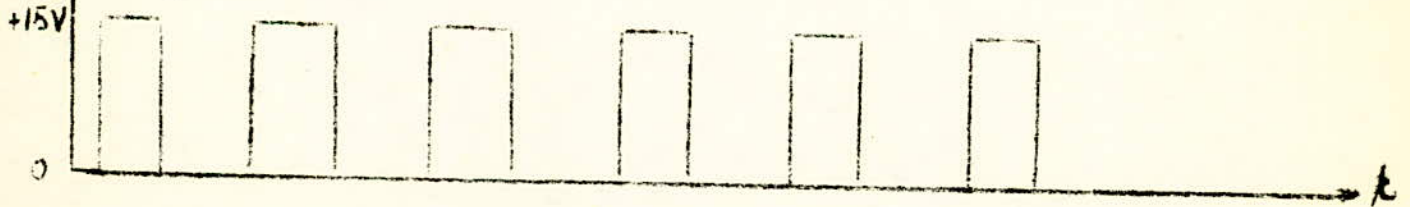
5 V/div
0,2 ms/div



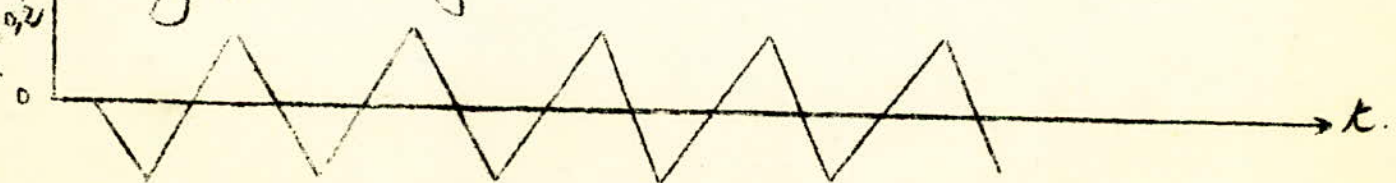
signaux trigger

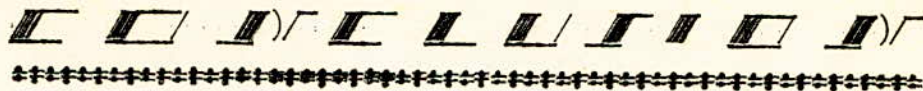


signaux bascule



signaux intégrateur





L'appareil que nous avons réalisé permet de tester avec précision suffisante les générateurs photovoltaïques qui se développent pour l'exploitation de l'énergie solaire. Cet appareil de mesure a été prévu pour les panneaux de faibles puissances (20 W maximum) mais la réalisation d'un M.P.P.T pour des puissances plus élevées n'en différerait que par le remplacement du transistor interrupteur par une mise en parallèle d'autres transistors de puissance convenablement refroidis . Notre appareil ne permet pas d'utiliser un panneau solaire à son point de puissance maximale car c'est un appareil de mesure mais son principe peut être étudié à des réalisations où les panneaux travailleraient à leur point de puissance maximale; nous pensons à des convertisseurs C.C ou C.A ou à des adaptateurs panneaux solaires / charge.

BIBLIOGRAPHIE

- * Radio-planet (Juillet 1979)
Emploi pratique des cellules solaires
- * Electronique applications N° 2 et 4
Multiplicateur analogique MC1595L
- * Au mieux.
Pratique de l'électronique
- * Acta Electronica