

Ecole Nationale Polytechnique
Département d'Electronique



Projet de Fin d'Etudes

INGENIORAT D'ETAT EN ELECTRONIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

THEME

*Simulation d'une photopile
par le logiciel (SPICE)*

Proposé et suivi par :

M. HABBABI

Étudié par :

K. ZIANI

Juin 1994

DEDICACE



Je dédie ce travail:

A ma mère, A ma mère, A ma mère

A mon père

A mes frères et soeurs

A la mémoire de mon cousin ZOUHIR

A tous mes amis particulièrement:

BRAHIM, LAID, YACINE, REDAH, SALAH, ALI et SAID.

R M E R C I E M E N T

Je remercie notre DIEU que tout le monde doit le remercier.

Je tiens à remercier:

Monsieur M. HADDADI, enseignant à l'ENP, d'avoir voulu m'encadrer et suivre mon travail.

Monsieur TRABELSSI qui m'a permis d'accéder aux laboratoires du département.

Tous les enseignants qui ont accepté d'être membres de jury.

Surtout, je n'oublie pas Naïma, Zahia et Fatiha secrétaires de l'ENP et tous mes amis qui ont participé à la réalisation de ce travail.

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة لوح كهروضوئي بواسطة البرنامج "SPICE" ثم تغذية محول مستمر-مستمر (DC-DC) بواسطة هذا الأخير. تستعمل هذه الدراسة نموذج كهربائي ذي خصائص شبيهة بالخصائص المعطاة للوح الحقيقي.

Abstract:

An objective of this work is the simulation of the solar panel with "SPICE" and to supply the DC-DC converter with these panel. The simulation use an electric model which have characteristics similar to the real panel.

Résumé:

L'objectif de ce travail est la simulation des panneaux solaires par le logiciel "SPICE" ainsi que l'alimentation des convertisseurs DC-DC par ces derniers. La simulation utilise un modèle électrique dont ses caractéristiques sont très proches de celles du panneau réel.

S O M M A I R E

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

I- INTRODUCTION

II- CHAPITRE 1 : LES CELLULES ET LES PANNEAUX SOLAIRE

I/ HISTORIQUE

II/ GENERALITES SUR L'ENERGIE SOLAIRE

1/ DISPONIBILITES DE L'ENERGIE SOLAIRE

2/ TRANSFORMATION DE L'ENERGIE SOLAIRE

III/ GENERALITES SUR LE RAYONNEMENT SOLAIRE

1/ LES COMPOSANTS DU RAYONNEMENT SOLAIRE

1-1/ LE RAYONNEMENT DIRECT

1-2/ LE RAYONNEMENT DIFFUS

1-3/ L'ALBEDO DU SOL

1-4/ LE RAYONNEMENT GLOBAL

2/ REMARQUES

IV/ L'EFFET PHOTOVOLTAIQUE

1/ PRINCIPE DE LA PHOTOPILE

2/ LE MATERIAU

3/ PHENOMENE DE L'EFFET PHOTOVOLTAIQUE

V/ LA CELLULE SOLAIRE (LA PHOTOPILE)

1/ PHOTOPILE A L'OBSCURITE

2/ PHOTOPILE ECLAIREE

2-1/ CARACTERISTIQUES COURANT-TENSION

3/ CELLULE REELLE

4/ DIFFERENTS TYPES DE PHOTOPILE

VI/ LES MODULES PHOTOVOLTAIQUES

1/ ASSOCIATION SERIE

2/ ASSOCIATION PARALLELE

VII/ LES PANNEAUX SOLAIRES

III- CHAPITRE 2 : SIMULATION PAR SPICE D'UN PANNEAU

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

I/ GENERALITES SUR SPICE

II/ POSSIBILITES OFFERTES PAR SPICE

III/ SIMULATION PAR SPICE

1/ FICHER D'ENTREE

2/ COMMANDES DE CONTROLES

3/ INFLUENCES DES DIFFERENTS PARAMETRES

3-1/ INFLUENCE DE LA RESISTANCE SERIE

3-2/ INFLUENCE DE LA RESISTANCE PARALLELE

3-3/ INFLUENCE DU CHOIX DU MODELE

4/ SIMULATION D'UN MODULE SOLAIRE

IV/ APPLICATIONS

IV- CHAPITRE 3 : APPLICATIONS (SIMULATION D'UN HACHEUR)

I/ ETUDE THEORIQUE

1/ INTRODUCTION

2/ ETUDE DU HACHEUR

3/ DIFFERENTS TYPES DU HACHEUR

3-1/ HACHEUR SERIE

3-2/ HACHEUR ENTRELACEES

3-3/ HACHEUR PARALLELE

4/ TRANSISTOR DE PUISSANCE

4-1/ COMMUTATION

4-2/ COMPORTEMENT DYNAMIQUE DU TRANSISTOR

II/ LA SIMULATION

1/ LA COMMUTATION

2/ HACHEUR DEVOLTEUR ET SURVOLTEUR

V- CONCLUSION

Quoique la découverte de l'effet photovoltaïque remonte à très longtemps (1878), la fabrication de la photopile a connu un certain retard (1954) et dès lors le développement dans ce domaine n'a cessé de connaître une certaine évolution surtout après la crise du pétrole de 1973 .

Dans la mesure cependant où le prix de l'énergie traditionnelle augmente et où celui des modules photovoltaïques continue à baisser, l'énergie obtenue grâce aux photopiles devient rentable pour un nombre croissant d'applications.

Actuellement, pour mettre en évidence les caractéristiques de la photopile, on procède par simulation au lieu de faire des tests pratiques, ce qui résoud le problème du point de vue économique. Le but de ce travail est justement de faire une simulation des caractéristiques des photopiles par le logiciel SPICE. L'étude a été faite en suivant les étapes sous-citées.

Le chapitre 1 traite de l'aspect théorique des cellules et des panneaux solaires, tels que les caractéristiques et le fonctionnement.

Dans le chapitre 2, nous avons traité le modèle de la photopile qui n'existe pas dans le logiciel, plusieurs valeurs ont été données aux différents paramètres pour tester les modèles afin de choisir celui qui donne les résultats les plus proches de l'étude théorique.

Dans le chapitre 3 nous avons traité une application qui consiste à alimenter un hacheur par un panneau solaire qui délivre une tension d'environ 16v, pour obtenir à la sortie une tension variable qui a des applications diversifiées.

Chapitre I

I/ HISTORIQUE

L'effet photovoltaïque est connu depuis longtemps dès 1878 découvert par SMITH mais la première photopile n'a été fabriquée qu'en 1954 aux BELL laboratories avec un rendement de $\eta = 6\%$ [1]

L'utilisation des photopiles facilita la conquête de l'espace. Elles sont accrochées aux ailes des satellites pour les alimenter pendant des mois ou des années .

Depuis leur première utilisation dans l'espace, le champ d'application des photopiles s'est diversifié : la télécommunication, balisage radioélectrique et lumineux, pompage d'eau, etc ...

On les emploie dans les régions éloignées du réseau de distribution d'électricité.

Mais leur utilisation reste quand même limitée, car leur coût est élevé, de l'ordre de 2700\$/kw [1]

II/ GENERALITES SUR L'ENERGIE SOLAIRE

1/ DISPONIBILITE DE L'ENERGIE SOLAIRE

Chaque seconde, le soleil perd 4.5 millions de tonnes de sa substance transformée en rayonnement, soit 390 milliards de tonnes par jour.

Certes la terre n'intercepte qu'une partie de l'énergie envoyée par le soleil dans l'espace, mais cela correspond encore à une puissance de $3 \cdot 10^{18}$ kw/an et la consommation mondiale d'énergie est $6 \cdot 10^{13}$ kw/an c'est à dire l'énergie solaire reçue par la terre est 50000 fois la puissance installée sous toutes les formes d'énergie par l'homme sur la surface de la terre, mais elle nécessite une photopile ($\eta = 10\%$) de surface $300 \cdot 1000 \text{ km}^2$ pour la meilleure exploitation [2]

L'énergie solaire est certes considérable, mais elle est dispersée dans le temps et dans l'espace, ce qui pose à la fois le problème de sa captation, de sa conversion et de son stockage.

La dispersion nécessite que l'on concentre le rayonnement solaire et que l'on prévoie une surface importante de captage. L'intermittence pose le problème du stockage (dans notre cas le stockage par batteries est une solution possible).

La captation de l'énergie peut se faire de trois façons :

collecteurs thermiques

cellules photovoltaïques

par le biais de végétaux

III/ GENERALITES SUR LE RAYONNEMENT SOLAIRE

Le rayonnement solaire est un rayonnement électromagnétique compris dans une longueur d'onde variant de 0.22 à 10 μm .

La figure 2 représente la variation de la répartition spectrale énergétique.

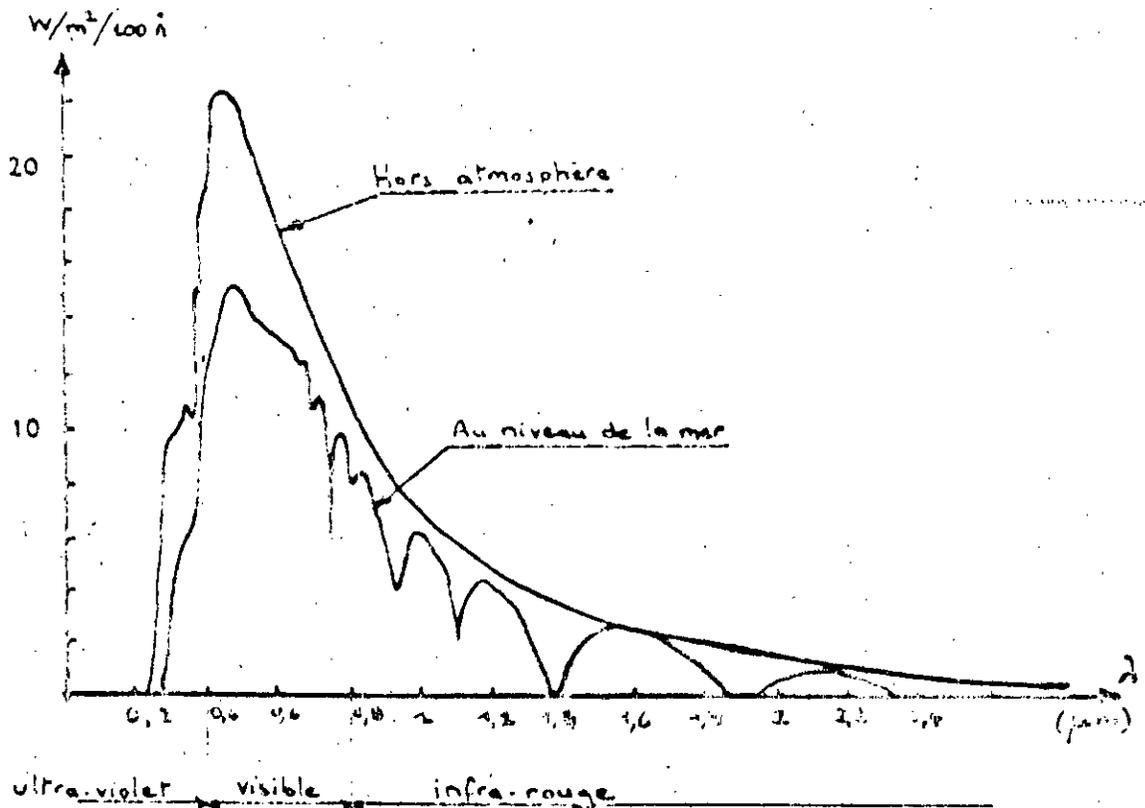


fig2: répartition spectrale énergétique [3]

Cet énergie se décompose approximativement ainsi :

9% dans la bande des ultraviolets ($\lambda < 0.4 \mu\text{m}$)

44% dans la bande des infrarouges ($\lambda > 0.8 \mu\text{m}$)

47% dans le visible ($0.4 < \lambda < 0.8 \mu\text{m}$)

1/ LES COMPOSANTS DU RAYONNEMENT SOLAIRE

1.1/ LE RAYONNEMENT DIRECT(S)

C'est l'éclairement énergétique reçu par une surface réceptrice normale aux rayons solaires. C'est le rayonnement provenant directement du disque solaire (ciel clair).

Il est mesuré par un pyréliomètre.

1.2/ LE RAYONNEMENT DIFFUS(D)

C'est l'éclairement énergétique provenant de toute la voûte céleste. Ce rayonnement est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages.

Il est mesuré par un pyranomètre avec écran masquant .

1.3/ L'ALBEDO DU SOL

C'est la part du rayonnement solaire réfléchi par le sol.

Il dépend directement de la nature du sol (neige, terre, etc..)

1.4/ LE RAYONNEMENT GLOBAL(G)

Résulte de la superposition des trois composantes Directe, Diffuse et l'albédo .

Il est mesuré par un pyranomètre .

2/ REMARQUES

1-Les convertisseurs photovoltaïques sont sensibles au rayonnement global

2-L'intensité réelle du rayonnement solaire est extrêmement variable suivant :

- la latitude du lieu
- la saison
- les conditions météorologiques
- l'altitude
- l'heure
-

IV/ L'EFFET PHOTOVOLTAIQUE

1/ PRINCIPE DE LA PHOTOPILE

Les photopiles sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité.

Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs .

2/ LE MATERIAU

La photopile la plus courante utilise le silicium, élément très répandu sous forme de silice (sable), mais qui doit être amené à un très grand état de pureté.

3/ PHENOMENE DE L'EFFET PHOTOVOLTAIQUE

L'effet photovoltaïque permet la conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique, il se définit comme l'apparition d'une différence de potentiel dans un S C éclairé.

Une cellule solaire sera obtenue en constituant une jonction de deux zones opposées (jonction PN). Au voisinage de la jonction apparait un champ électrique qui maintient la séparation des charges

Cette jonction reçoit un rayon lumineux d'énergie $h\nu > eE_g$.

Un photon peut entrer en collision avec un atome du réseau et lui céder son énergie.

REMARQUE: La probabilité de collision d'un photon avec électron de valence est fortement prédominante.

Quand un photon entre en collision avec un électron de la bande de valence, il lui cède une énergie égale ou supérieur à eE_g .

L'électron est extrait de la bande de valence et monte dans la bande de conduction laissant un trou derrière lui figure3

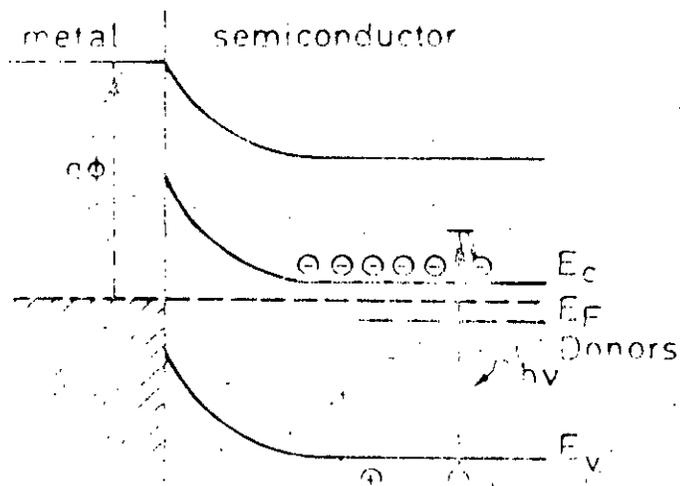


fig3: phénomène de création de paire (électron, trou)

Ce phénomène de création de paire (électron, trou) a lieu en différents points de la jonction soit la fig4

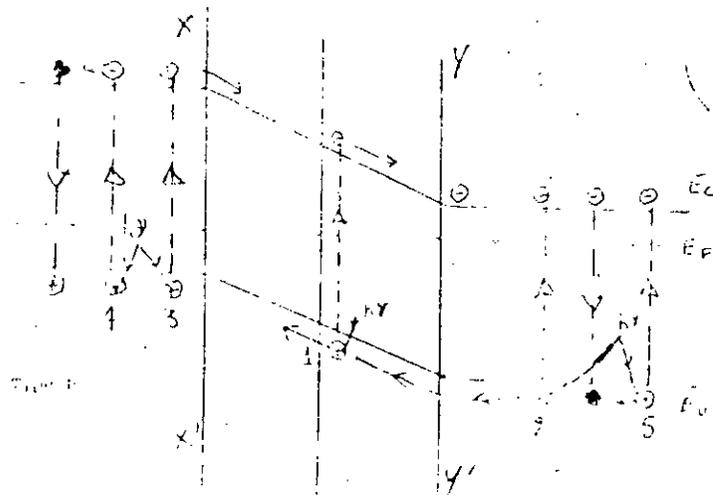


fig4:

Si la paire (électron-trou) apparaît entre A et B, où règne un gradient de potentiel élevé, le champ accélère l'électron libre vers le côté N et le trou vers le côté P ce qui correspond à un transfert de charge positive du côté N au côté P.

Si la paire (électron-trou) est générée du côté N (n°2 de la figure 4) et que le porteur minoritaire (trou) se déplace vers la jonction et la traverse, il y a encore transfert de charge positive du côté N vers le côté P (l'énergie de la particule majoritaire est en général insuffisante pour franchir la barrière de potentiel).

Si la paire (électron-trou) est créée du côté P (n°3 de la figure 4), et que l'électron se déplace vers la jonction, il atteint le côté N, et à nouveau il y a transfert de charge positive du côté N vers le côté P.

Les particules minoritaires ainsi créées peuvent aussi s'éloigner de la jonction et se recombiner avec les porteurs majoritaires (n°4 et 5 de la figure 4).

Alors les porteurs minoritaires seront la principale composante du courant photovoltaïque (I_{ph}).

On a ce phénomène (création de charges par l'absorption de la lumière dans la diode), si les porteurs ont été créés à une distance du champ inférieure à la longueur de diffusion L_d .

La longueur de diffusion représente donc la distance en-dessous de laquelle un photon absorbé a une forte probabilité de se convertir en courant électrique à travers la jonction.

V/ LA CELLULE SOLAIRE (LA PHOTOPILE)

On sait que la photopile transforme la lumière en électricité.

1/ PHOTOPILE A L'OBSCURITE

La photopile à l'obscurité se comporte comme une jonction P N c'est à dire comme une diode. Vue de l'extérieur c'est un récepteur, elle ne produit ni courant ni tension : composant non actif.

Si elle est soumise à un circuit extérieur, la théorie montre que la tension et le courant répondent à l'équation de la diode

$$I_d = I_s (\exp(qv/nkT) - 1)$$

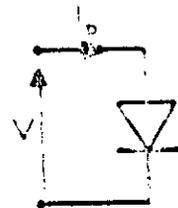
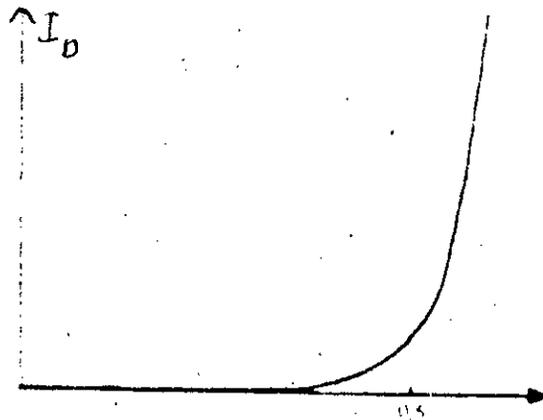
I_d : courant traversant la jonction

I_s : courant inverse

v : tension aux bornes de la jonction

kT/q : 26mv à 300K (27°C)

n : coefficient d'idéalité de la diode $1 < n < 2$



Caractéristique d'une diode

fig5: photopile à l'obscurité.

2/ PHOTOPILE ECLAIREE

Si la photopile est éclairée, il y a création d'un photocourant (I_{ph}) dû au rayonnement solaire.

Cellui-ci va apparaître aux bornes de la jonction P N et sera directement proportionnel au flux lumineux (ϕ) $I_{ph} = K \cdot \phi$

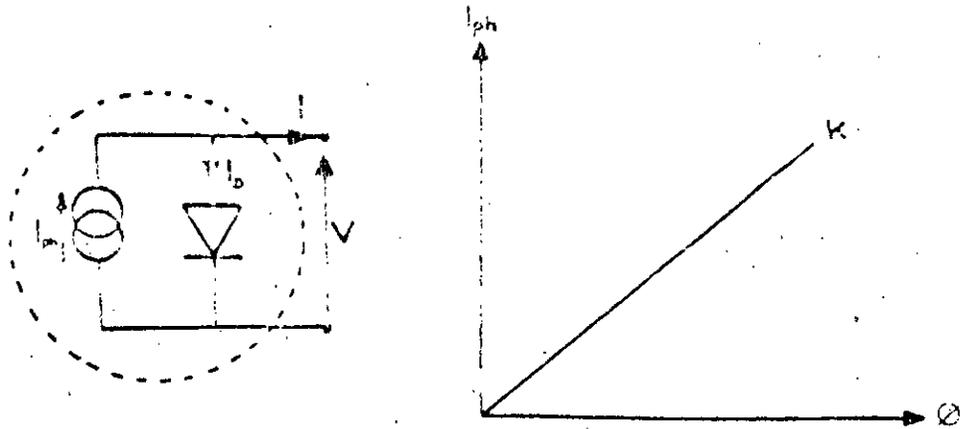


fig6: photopile éclairée

Le courant I généré par la cellule est disponible à ses bornes et il est égal à $I = I_{ph} - I_d$

$$I = I_{ph} - I_s (\exp(qv/nKT) - 1)$$

I : courant disponible

I_{ph} : courant photogénéré

I_d : courant de diode

2-1 / CARACTERISTIQUE COURANT-TENSION

La caractéristique $I = f(V)$ de la photopile se déduit graphiquement par soustraction de la caractéristique $I_d(V)$ à celle de $I_{ph}(V)$.

$$I(V) = I_{ph}(V) - I_d(V)$$

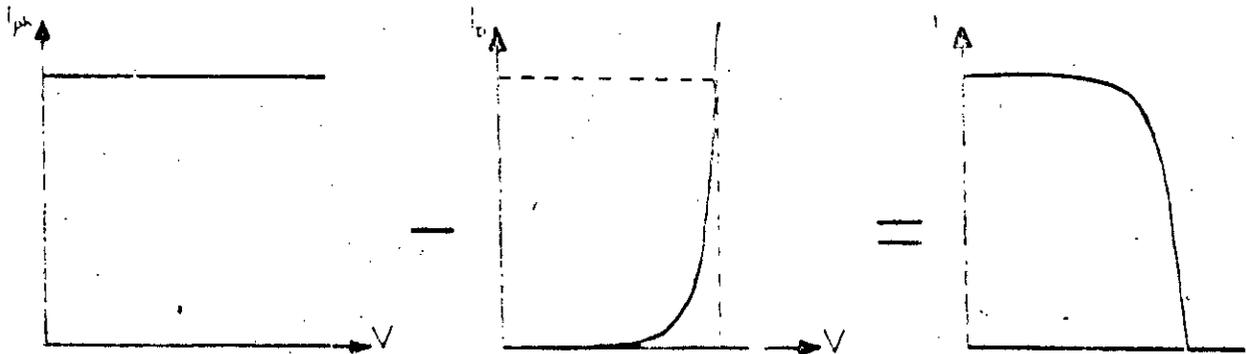
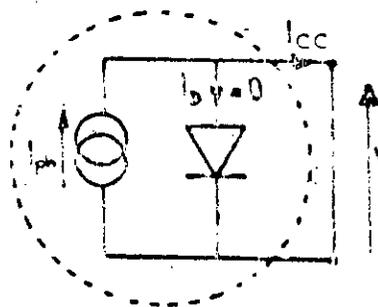


fig7: caractéristique courant-tension

REMARQUE : cette caractéristique est selon le modèle de la photopile

2-2: COURANT DE COURT-CIRCUIT:



$$V = 0 \Rightarrow I_d = 0 \quad \text{d'où} \quad I_{cc} = I_{ph}$$

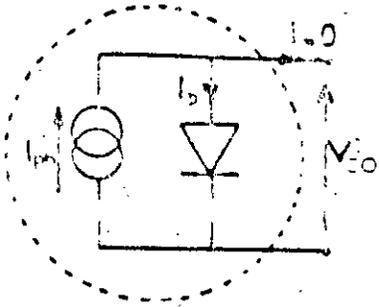
$V=0 \Rightarrow$ le courant de court-circuit est directement proportionnel à l'ensoleillement (ϕ).

2-3: TENSION DE CIRCUIT OUVERT

$(I = 0) \Rightarrow I_{ph} = I_d$

$\Rightarrow \ln((I_{ph} + I_s)/I_s) = eV_{co}/nKT$

$\Rightarrow V_{co} = (nKT/e) \ln(1 + I_{ph}/I_s)$



c'est à dire la tension de circuit-ouvert égale la tension de la jonction P N lorsque celle-ci est traversée par le courant photogénéré.

2-4: COURBE DE PUISSANCE

Soit la caractéristique $I = f(V)$ pour un éclairement donné f et une température fixe T .

Si on branche une résistance variable aux bornes de la cellule alors le point de fonctionnement sera déterminé par l'intersection de la caractéristique $I = f(V)$ et de la droite $I = V/R$.

la puissance délivrée à la charge résistive dépend de R

la valeur max de puissance est obtenue pour la valeur de $R=R_{opt}$ où la caractéristique est tangente aux hyperboles d'équipuissances

$R_{opt} = V_{opt}/I_{opt}$

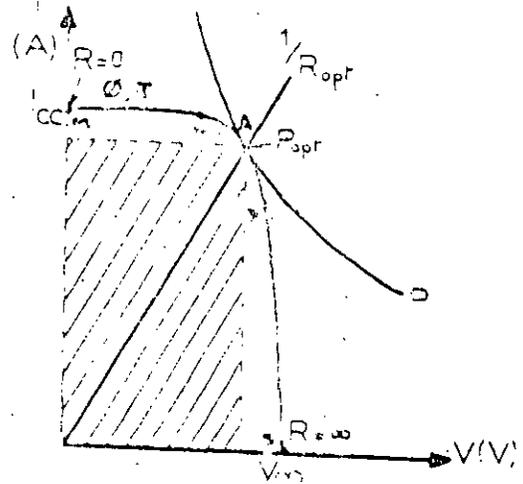
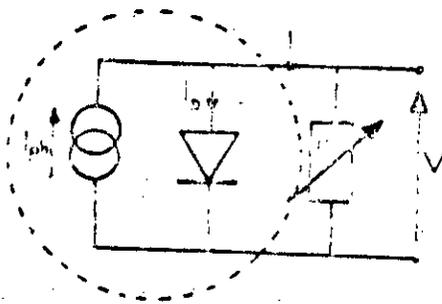


fig8: courbes de puissance

3/ CELLULE REELLE

Le schéma qui rend compte du fonctionnement de la cellule est représenté à la figure 9.

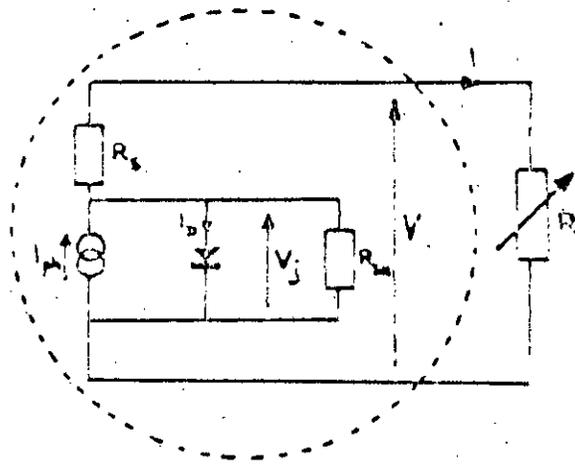


fig9: cellule réelle

Ce schéma fait apparaître deux résistances R_s et R_{sh} .

REMARQUE : le facteur de forme est défini, comme étant le rapport

$$FF = \frac{V_{opt} I_{opt}}{V_{co} I_{cc}}$$

L'influence des résistances série et shunt baisse le facteur de forme.

R_s , résistance série, est due à la résistance interne du matériau et aux contacts ohmiques au niveau des électrodes.

La puissance fournie par la cellule est conditionnée par la valeur de cette résistance.

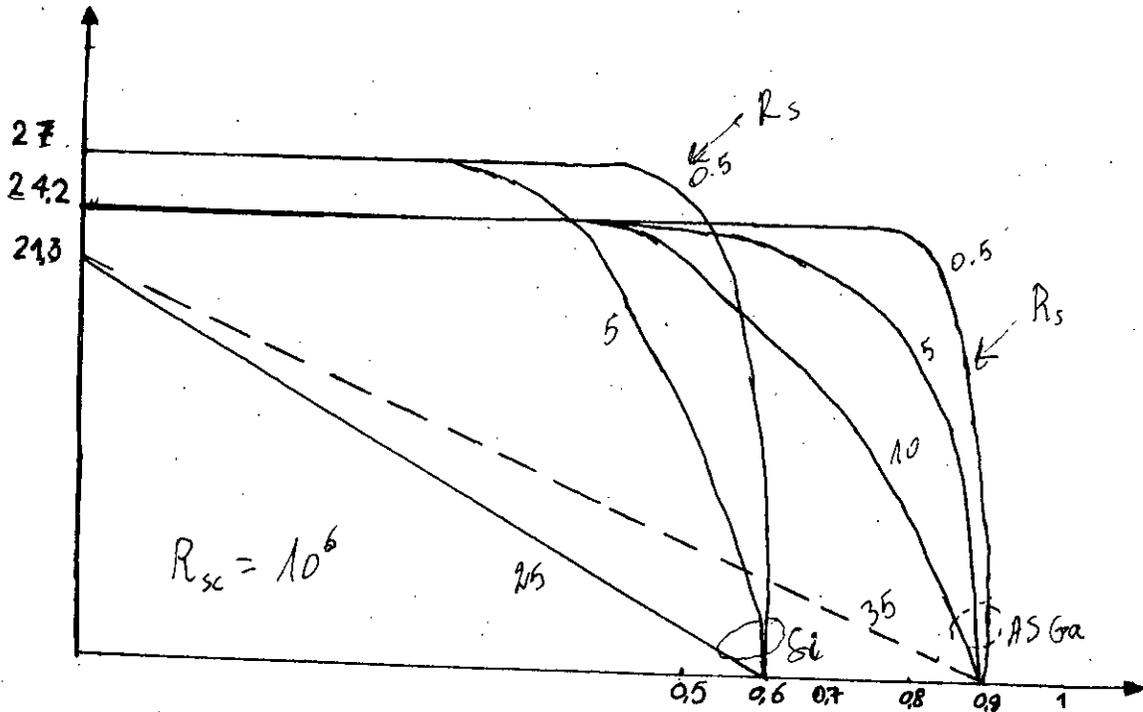


fig10: influence de la résistance série [9]

R_{sh} , résistance shunt, est due aux effets de surface, elle augmente quand la cellule fonctionne sous éclaircissement alors, l'expression du courant est:

$$I = I_{ph} - J_d(V_j) - \frac{V_j}{R_{sh}} \quad \text{avec} \quad V_j = V + R_s I$$

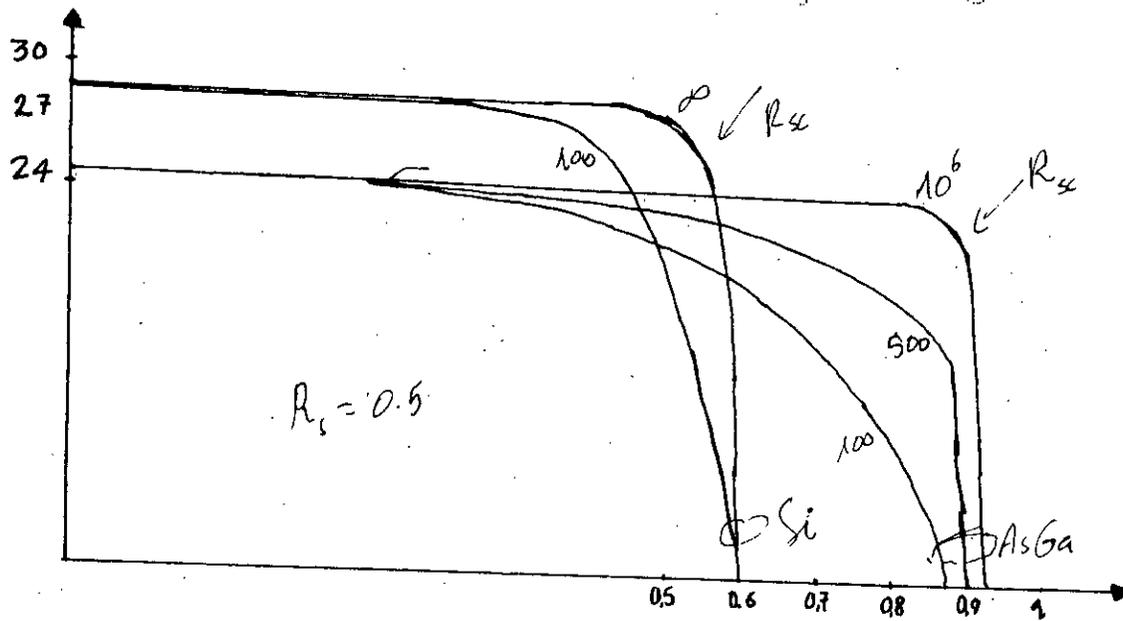


fig11: influence de la résistance parallèle [9]

4/ LES DIFFERENTS TYPES DE PHOTOPILE

4-1/ PHOTOPILE AU SILICIUM MONOCRISTALLIN

Le Si monocristallin est le matériau de base de l'électronique c'est pour ça que les photopiles au Si monocristallin constituent la quasi totalité de la production mondiale actuelle, le produit de base est le sable (SiO_2), le coût de fabrication est élevé

4-2/ PHOTOPILE AU SILICIUM POLYCRISTALLIN

Fabriquées à partir de lingots parallélépipédiques formés de cristaux fibreux, ces lingots sont obtenus en faisant refroidir d'une manière contrôlée un moule rempli de Si fondu. Elle est moins chère, mais son rendement est faible ($\approx 9\%$)

4-3/ PHOTOPILE AU Si AMORPHE

Elles ont un rendement assez faible ($\approx 5\%$), mais elles sont faciles à élaborer (utilisées dans les calculettes,...)

4-4/ PHOTOPILE A L'ARSENURE DE GALLIUM

Elles ont un rendement de l'ordre de 20% , leur coût est très élevé

4-5/ PHOTOPILE $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$

Elles ont un rendement de l'ordre de 5% , mais leur fabrication facile (simple) et leur coût est faible.

VI/ LES MODULES PHOTOVOLTAIQUES

Les caractéristiques des cellules solaires :

tension faible $< 0.6\text{V}$

[4]

fragile (épaisseur $\approx 0.3\text{ mm}$)

exigent leur utilisation sous forme de modules solaires. C'est un élément standard directement utilisable qui assure :

- L'association des cellules pour obtenir des caractéristiques courant-tension intéressantes pour applications.
- La protection des cellules vis-à-vis des agressions atmosphériques extérieures pour que leur durée de vie soit significative.

1/ ASSOCIATION SERIE

En mettant N cellules identiques en série (figure 12)

- Le courant de la branche reste le même
- La tension de la branche est N fois plus grande que celle d'une cellule unique.

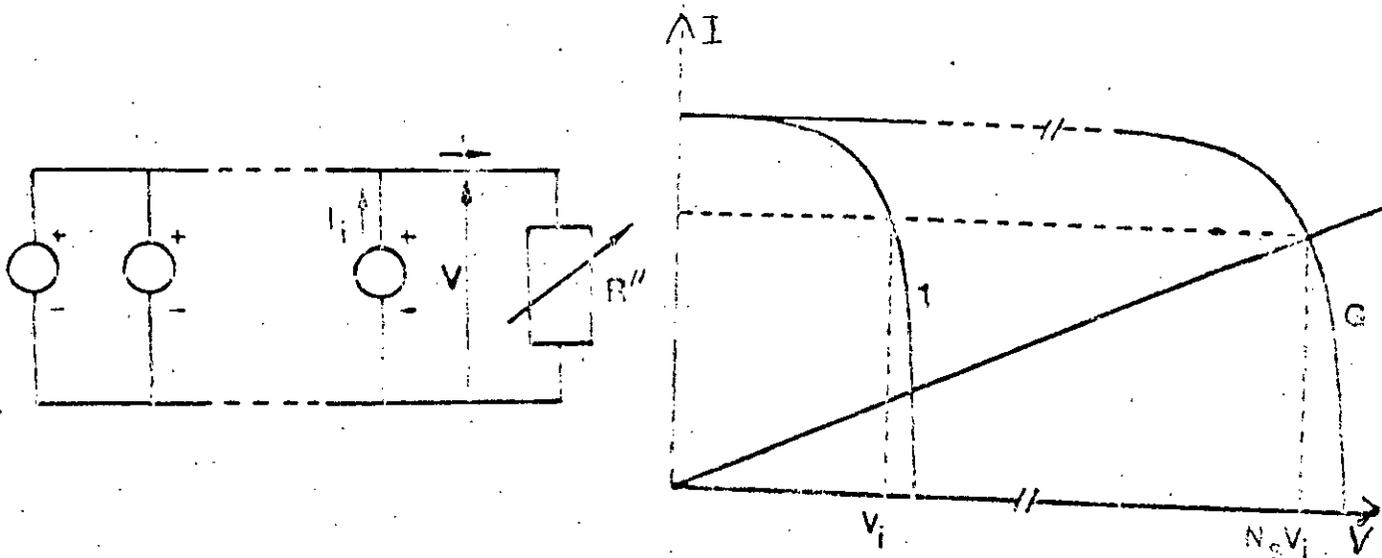


fig12: association série des cellules

2/ ASSOCIATION PARALLÈLE

En mettant N cellules identiques en parallèle (figure 13)

- La tension reste la même
- Le courant est N fois le courant d'une cellule

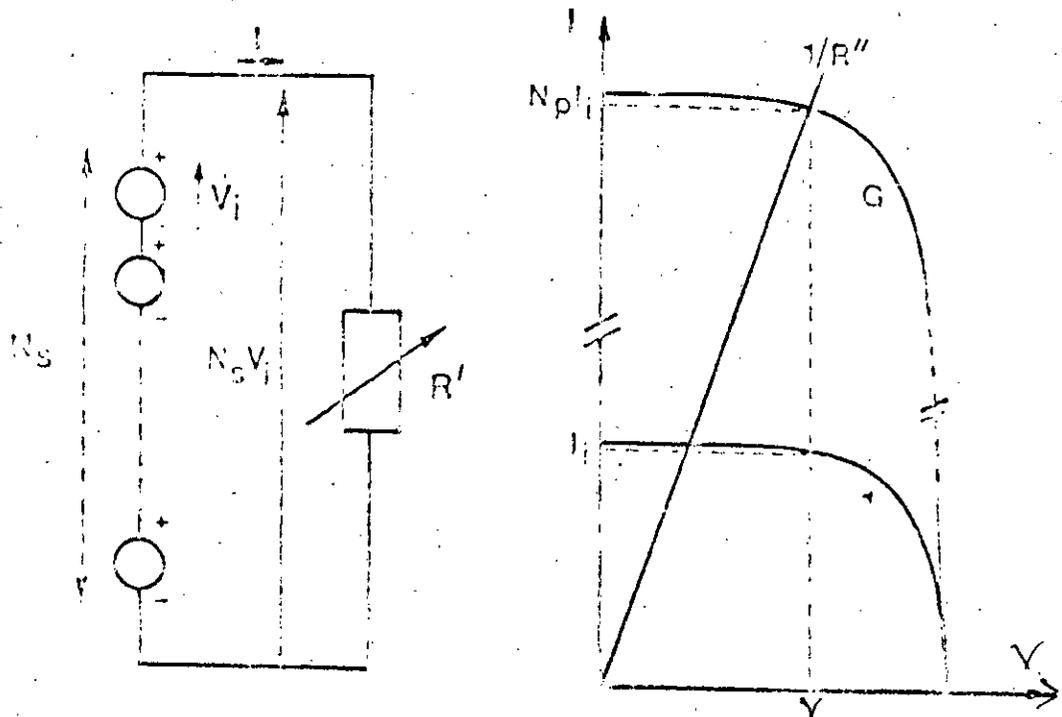


fig13: association parallèle des cellules

REMARQUE

En général dans les modules solaires, on regroupe les cellules en série et en parallèle pour obtenir :

- Une tension ≈ 17 à 20 v
- Un courant ≈ 2 à 3 A

sous un éclairement et une température standards ($\phi = 1 \text{ kw/m}^2$)

VII/ LES PANNEAUX SOLAIRES

On associe les modules solaires pour obtenir des puissances importantes cette association constitue un panneau solaire.

Les panneaux solaires sont reliés électriquement et assemblés sur un châssis.

Il est nécessaire de définir le mode de groupement des modules pour qu'on puisse définir le système.

Chapitre II

1/ GENERALITES SUR SPICE

La progression de la technologie va permettre d'éliminer complètement les modèles des plaquettes d'essai (breadboard), qui posent des problèmes à cause des capacités et des inductances parasites qu'ils introduisent.

Ainsi en micro-ondes, optoélectronique et électronique de puissance, on n'aura pas un bon fonctionnement sur une plaquette d'essai tout comme lorsqu'on a une faute catastrophique ou quand une erreur de conception est commise.

Ces problèmes, ajoutés au coût et à la perte de temps, permettent de voir l'intérêt de la simulation par l'ordinateur.

La simulation permet de porter des modifications sur le circuit et de voir l'effet sur ce dernier, ce qui ne peut pas se faire facilement avec le Hardware.

Seule l'utilisation de la simulation et les modèles de Hardware peuvent produire une conception robuste dans un temps très court.

SPICE offre la possibilité de changer les paramètres jusqu'au dessus de la capacité ordinaire des équipements de test et processus de fabrication.

Ainsi il fournit un environnement unique pour valider une nouvelle ou ancienne conception.

II/ POSSIBILITES OFFERTES PAR SPICE

Avec le développement des PC et de la C.A.O il est devenu nécessaire d'améliorer SPICE pour le rendre très simple à manipuler, plusieurs autres types d'analyses comme, Montécarlo, les paramètres de balayage, l'optimisation des circuits et les cas les plus difficiles sont tous introduits en base des PC utilisant SPICE

SPICE peut servir maintenant à toute personne effectuant n'importe quel genre d'analyse des circuits électroniques indépendamment du type d'ordinateur utilisé.

Les autres améliorations et possibilités d'analyse qui sont introduites sont les suivantes :

1-APPROCHE GRAPHIQUE: l'introduction du schéma sur PC s'effectue par le dessin du circuit étudié.

2-ANALYSE DE MONTE-CARLO: l'évaluation de la performance du circuit est basé sur les déviations statistiques des paramètres de tolérance des composants.

3-OPTIMISATION DU CIRCUIT: capacité de sélectionner automatiquement les valeurs des paramètres basées sur l'analyse et les spécifications particulières des performances du circuit.

4-LES CAS EXTREMES: la recherche des valeurs des paramètres dans une gamme bien spécifiée et d'évaluer la performance du circuit quand le paramètre varie.

5-EXTRACTION DES PARAMETRES HARDWARE ET SOFTWARE: les moyens utilisés pour développer les modèles des paramètres de SPICE pour l'utilisation en simulation.

6-SORTIE GRAPHIQUE ET MANIPULATION DU CIRCUIT: manipulation des valeurs de sortie pour une série d'opérations telles que l'intégration, la différentiation, la transformée de FOURIER rapide (FFT), la manipulation algébrique des formes des ondes, les filtres et autres mesures de tension. [5]

111/ SIMULATION PAR SPICE

1/ COMMENT FAIRE SON PROPRE FICHER D'ENTREE ?

Les circuits sont simulés en fournissant à SPICE un fichier liste donné. Le fichier liste est le groupement de plusieurs commandes. Il explicite le nombre et le type des éléments dans un circuit, détaille leurs connexions et enfin indique au simulateur à l'aide d'instructions, le type d'analyse à effectuer.

La première ligne est réservée au titre, elle contient des informations spécifiques sur le programme.

La dernière ligne doit être un `^END^`.

L'ordre des commandes est totalement arbitraire

Lorsqu'on veut créer un fichier d'entrée à partir d'un schéma sur l'éditeur graphique, on vérifie que le schéma soit à jour et que le nombre des noeuds y soit clairement indiqué

2/ LES COMMANDES DE CONTROLES

Elles indiquent au simulateur SPICE d'une part quel type d'analyse, il doit effectuer et d'autre part de quelle manière, il va l'accomplir.

Elles commencent toutes par un point "."

Exemples :

```
.AC [TYPE] MODULE PHASE  
.DC [VALUE] [PARAMETRES]  
.TRAN [PAS] [INTERVALLE]
```

2-1/ L'ANALYSE DC

Une analyse DC est opérée après une analyse AC ou TRAN afin de trouver le point de fonctionnement pour linéariser les modèles du système et trouver les conditions initiales du circuit.

Elle se fait aussi pour calculer le rapport des variables de sortie à la source d'entrée et les impédances d'entrée et de sortie.

Les modèles non linéaires tels diode et transistor sont linéarisés, ensuite l'analyse en petits signaux est opérée.

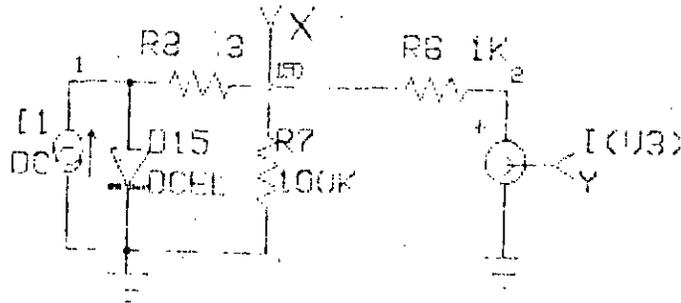
3/ REALISATION DES CONNEXIONS

Toutes les connexions entre les différents éléments sont déterminées à partir de leur numéro de noeud respectif.

Le noeud "0" est réservé à la masse.

Après l'introduction du modèle de la cellule solaire, on va étudier sa caractéristique c à d on va voir l'influence des différents paramètres. [5]

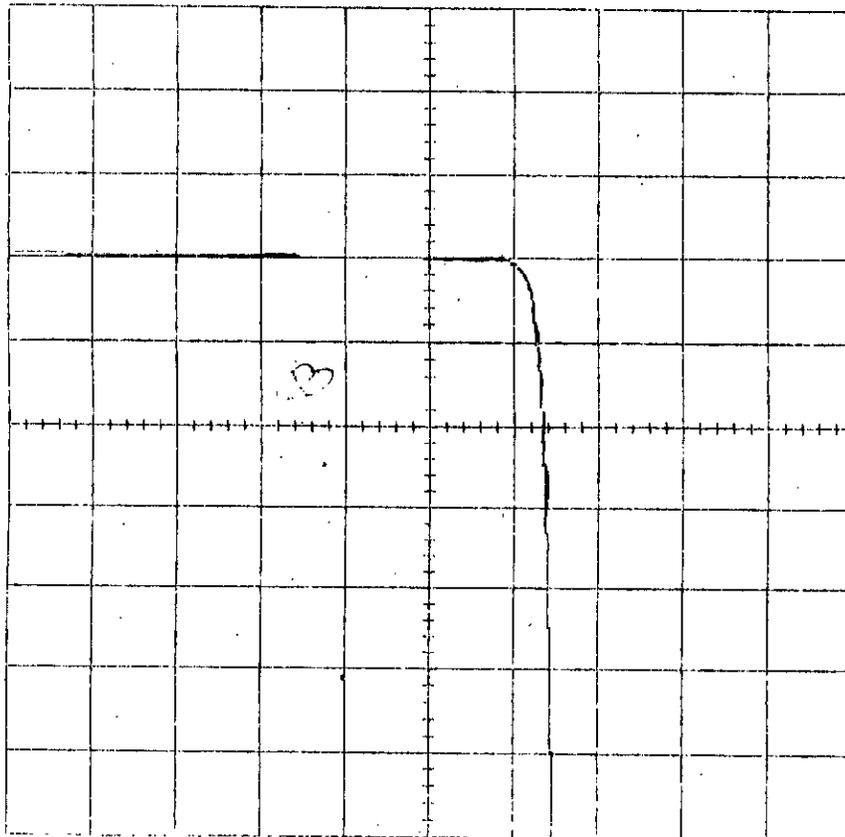
Le modèle de la cellule introduit est le suivant :



```

I1 1A
*SPICE_NLT
.DC U3 5 -5 .05
*INCLUDE DEVICE.LIB
.MODEL DCCEL D(1S=2E-10 RS=.9 BV=50 VJ=.5 CJO=12PF N=1.H)
*ALIAS I(U3)=Y
*ALIAS V(150)=X
.PRINT DC I(U3) V(150)
U3 2 0 DC 0
D15 1 0 DCCEL
R6 150 2 1K
R7 150 0 100K
R8 1 150 .3
I1 0 1 DC 1A
.END
    
```

SPICE ANALYSIS OF IACTFA.U01 on 6-15-74 page 1



| U3 | Y= vs X | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|--------|-----------|--------|--------|-------|------------|
| YSCALE | 500U /DIV | VER | -2.56M | 1.03M | 3.59M |
| YZERO | 0.00E0 | HOR | 725M | -3.10 | -3.82 |
| XSCALE | 500M /DIV | | | | |
| XZERO | 104N | | | | |

fig 1 : le modèle de la cellule

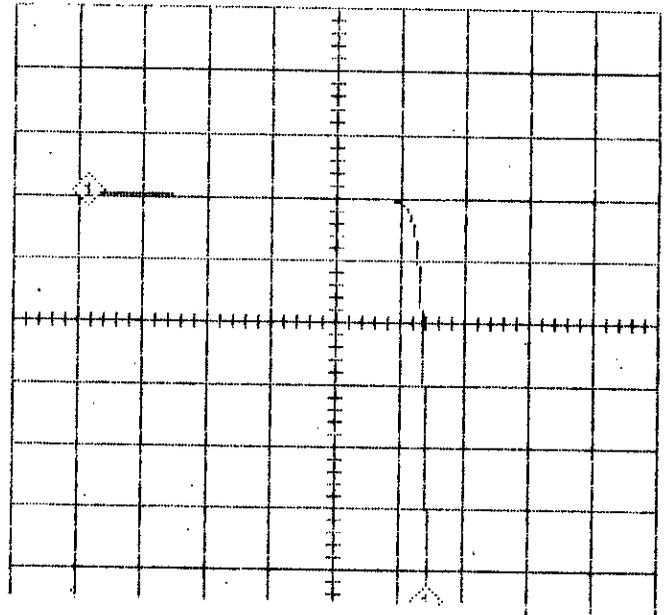
III-1/ INFLUENCES DES DIFFERENTS PARAMETRES DE LA CELLULE

1/ INFLUENCE DE LA RESISTANCE SERIE

On fait varier la valeur de la résistance série de la cellule solaire, en fixant la valeur de la résistance schunt à

$$R_{sch} = 100 \text{ k}\Omega$$

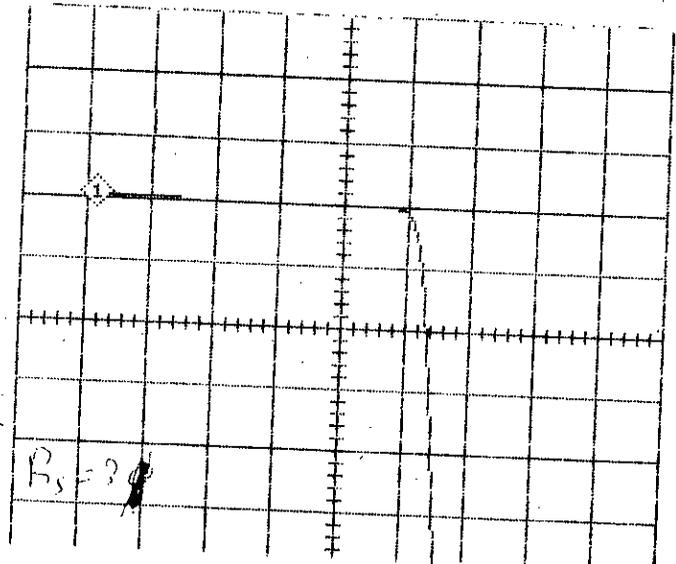
$$R_s = 0.3 \Omega$$



| CH 1 Y- vs X | CURSOR | LEFT | RIGHT |
|------------------|--------|--------|-------|
| YSCALE 500U /DIV | | | |
| YZERO 0.00E0 | VER | -2.27M | 1.02M |
| XSCALE 500M /DIV | | | |
| XZERO 14.9N | HOR | 719M | -1.94 |

fig 1a influence de la resistance serie

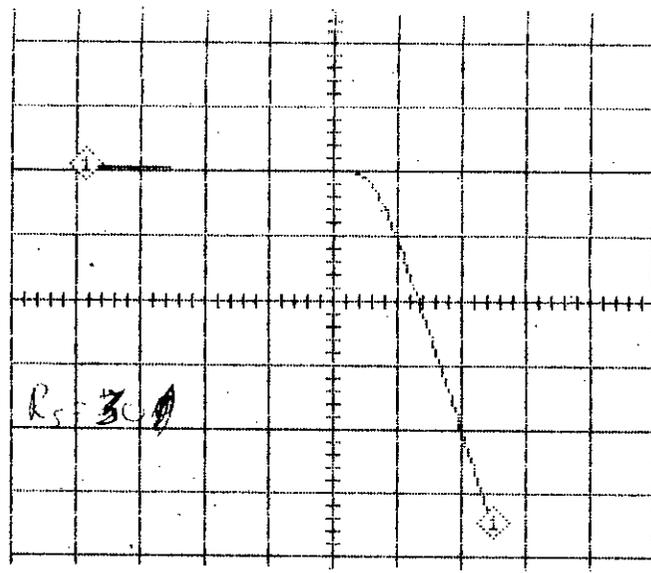
$$R_s = 3 \Omega$$



| CH 1 Y- vs X | CURSOR | LEFT | RIGHT |
|------------------|--------|--------|-------|
| YSCALE 500U /DIV | | | |
| YZERO 0.00E0 | VER | -1.76M | 1.02M |
| XSCALE 500M /DIV | | | |
| XZERO 14.9N | HOR | 1.25 | -1.94 |

fig 1b influence de la resistance serie

$R_s = 30 \Omega$



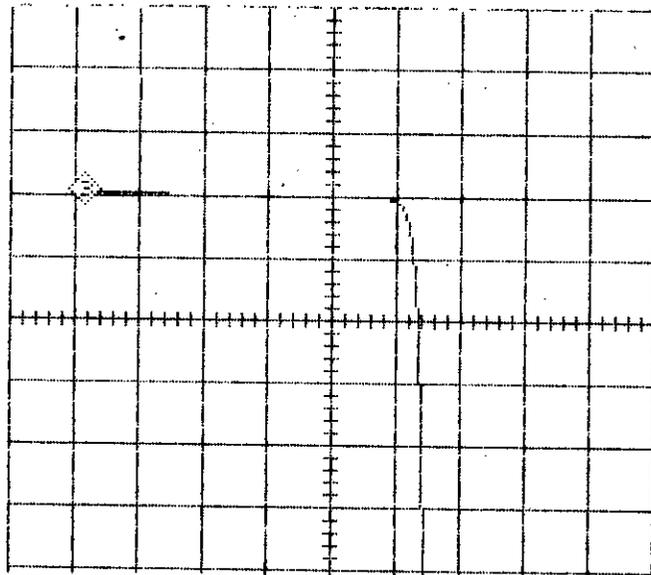
| CH 1 | Y- vs X | CURSOR | LEFT | RIGHT |
|------|------------------|--------|--------|-------|
| | YSCALE 500U /DIV | | | |
| | YZERO 0.00E0 | VER | -2.21M | 1.02M |
| | XSCALE 500M /DIV | | | |
| | XZERO 14.9N | HOR | 781M | -1.94 |

fig 1c

2/ INFLUENCE DE LA RESISTANCE SCHUNT

On fait varier la valeur de la resistance schunt en fixant la valeur de la resistance serie à $R_s = 0.3$

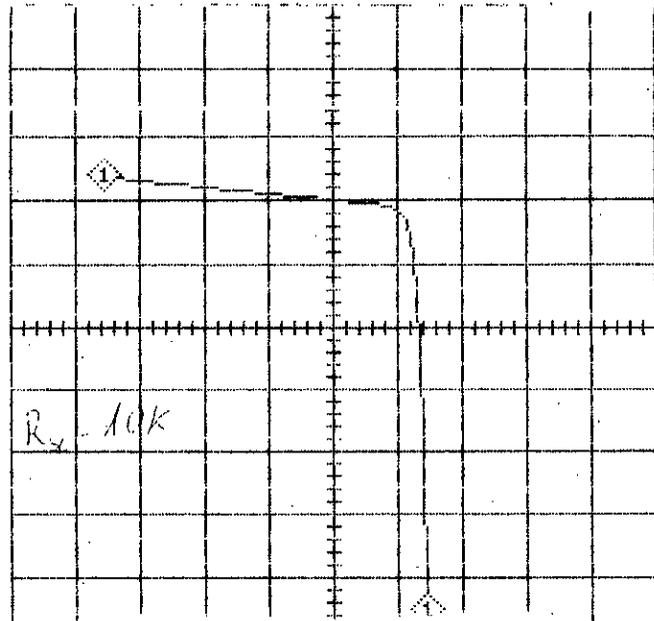
$R_{sch} = 100 \text{ k}\Omega$



| CH 3 | Y- vs X | CURSOR | LEFT | RIGHT |
|------|------------------|--------|--------|-------|
| | YSCALE 500U /DIV | | | |
| | YZERO 0.00E0 | VER | -2.27M | 1.02M |
| | XSCALE 500M /DIV | | | |
| | XZERO 14.9N | HOR | 719M | -1.94 |

fig 2a influence de la resistance schunt

$R_{sch} = 10 \text{ k}\Omega$

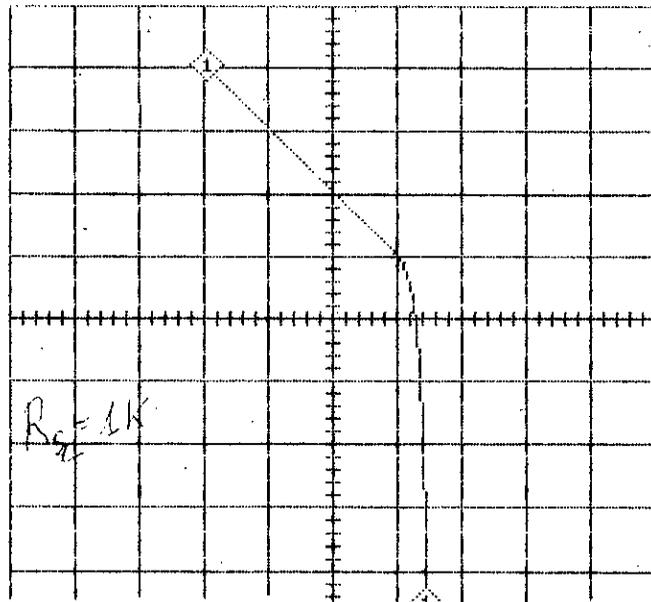


| CH 1 | Y- vs X | CURSOR | LEFT | RIGHT |
|------|------------------|--------|--------|-------|
| | YSCALE 500U /DIV | | | |
| | YZERO 0.00E0 | VER | -2.28M | 1.18M |
| | XSCALE 500M /DIV | | | |
| | XZERO 14.9N | HOR | 719M | -1.78 |

fig 2b influence de la resistance schunt

SPICE ANALYSIS OF tahar.OI

$R_{sch} = 1 \text{ K}\Omega$



| CH 1 | Y- vs X | CURSOR | LEFT | RIGHT |
|------|------------------|--------|--------|-------|
| | YSCALE 500U /DIV | | | |
| | YZERO 0.00E0 | VER | -2.29M | 1.99M |
| | XSCALE 500M /DIV | | | |
| | XZERO -20.0M | HOR | 899M | -989M |

fig 2c

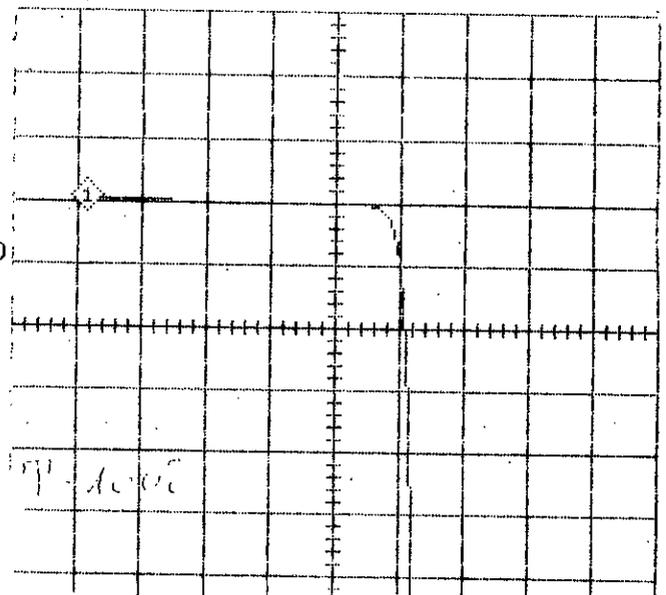
3/ INFLUENCE DE LA TEMPERATURE

SPICE ANALYSIS OF tahar

```

tahar
*SPICE_NET
*INCLUDE DEVICE.LIB
*INCLUDE SCN.LIB
.DC V1 3 -3 .03
.MODEL DCEL D(RS=.9 IS=6E-10)
.TEMP 100
*ALIAS I(V1)=Y
*ALIAS V(11)=X
.PRINT DC I(V1) V(11)
D1 10 0 DCEL
R1 10 11 .3
R2 11 0 100K
R3 11 12 1K
V1 12 0 DC 0
I2 0 10 DC 1M
.END
    
```

T = 100°C



| CH 1 | Y- vs X | CURSOR | LEFT | RIGHT |
|------|------------------|--------|--------|-------|
| | YSCALE 500U /DIV | | | |
| | YZERO 0.00E0 | VER | -2.39M | 1.02M |
| | XSCALE 500M /DIV | | | |
| | XZERO 14.9N | HOR | 625M | -1.94 |

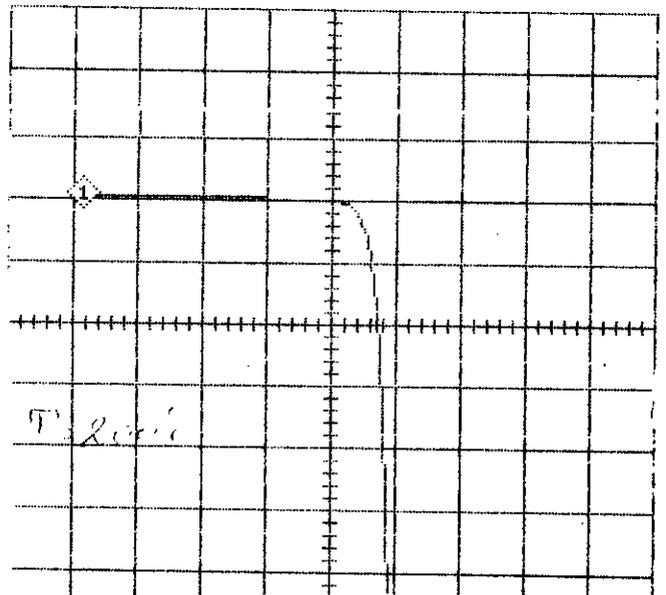
fig 3a : influence de la température

SPICE ANALYSIS OF tahar

```

tahar
*SPICE_NET
*INCLUDE DEVICE.LIB
*INCLUDE SCN.LIB
.DC V1 3 -3 .03
.MODEL DCEL D(RS=.9 IS=6E-10)
.TEMP 200
*ALIAS I(V1)=Y
*ALIAS V(11)=X
.PRINT DC I(V1) V(11)
D1 10 0 DCEL
R1 10 11 .3
R2 11 0 100K
R3 11 12 1K
V1 12 0 DC 0
I2 0 10 DC 1M
.END
    
```

T = 200°C



| CH 1 | Y- vs X | CURSOR | LEFT | RIGHT |
|------|------------------|--------|--------|-------|
| | YSCALE 500U /DIV | | | |
| | YZERO 0.00E0 | VER | -2.49M | 1.03M |
| | XSCALE 500M /DIV | | | |
| | XZERO 14.9N | HOR | 437M | -1.94 |

fig 3b :

4/ INFLUENCE DU CHOIX DU MODELE DE LA DIODE

On a choisi le modèle de la diode en fonction des paramètres suivants :

$R_s = .9 \Omega$ $I_s = .6 \text{ nA}$ $N = 1.8$
 $C_{jo} = 12 \text{ pF}$ $V_j = .5 \text{ v}$ $bv = 22 \text{ v}$

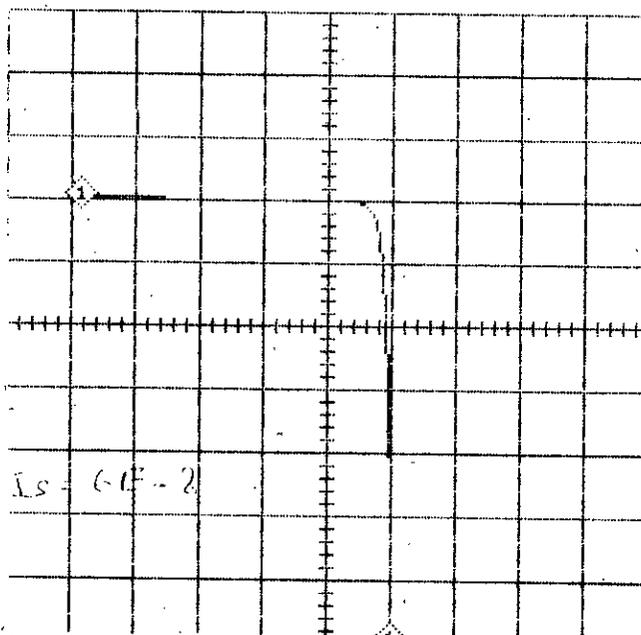
En va prendre en considération (I_s , N)

4-1/ INFLUENCE DE I_s DE LA DIODE

En fixant $R_s = .9$ et $N = 1.8$

SPICE ANALYSIS OF tahar.OUT

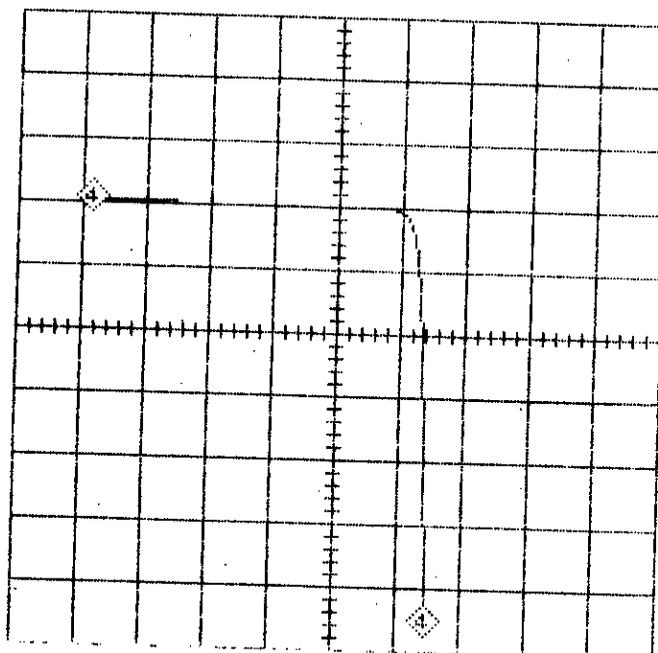
$I_s = 6E-08 \text{ A}$



| CH 1 | Y- vs X | CURSOR | LEFT | RIGHT |
|------|------------------|--------|--------|-------|
| | YSCALE 500U /DIV | VER | -2.48M | 1.02M |
| | YZERO 0.00E0 | | | |
| | XSCALE 500M /DIV | HDR | 500M | -1.94 |
| | XZERO 14.9N | | | |

fig 4a

$I_s = 6E-10$ A

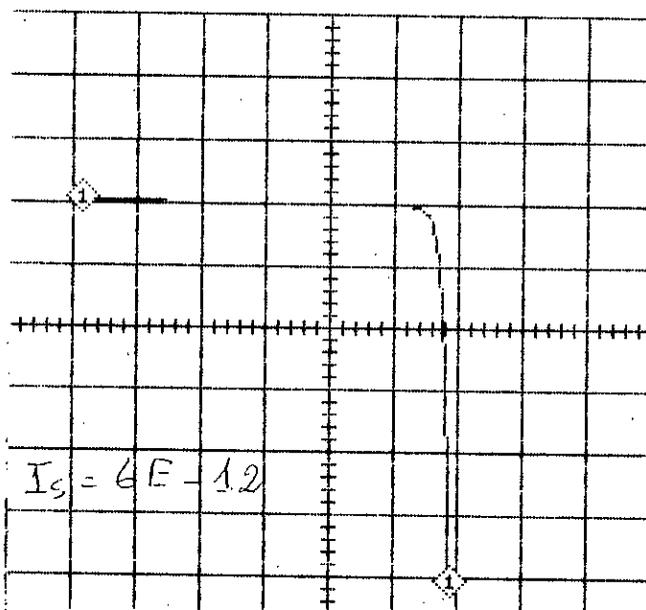


| CH 4 Y- vs X | CURSOR | LEFT | RIGHT |
|------------------|--------|--------|-------|
| YSCALE 500U /DIV | | | |
| YZERO 0.00E0 | VER | -2.27M | 1.02M |
| XSCALE 500M /DIV | | | |
| XZERO 14.9N | HOR | 719M | -1.94 |

fig 4b influence de I_s

SPICE ANALYSIS OF tahrar.OUT

$I_s = 6E-12$ A



| CH 1 Y- vs X | CURSOR | LEFT | RIGHT |
|------------------|--------|--------|-------|
| YSCALE 500U /DIV | | | |
| YZERO 0.00E0 | VER | -2.06M | 1.02M |
| XSCALE 500M /DIV | | | |
| XZERO 14.9N | HOR | 937M | -1.94 |

fig 4c

4-2/ INFLUENCE DU FACTEUR D'IDEALITE

En fixant $R_s = 0.9$ et $I_s = 6E-10$

N = 1.5

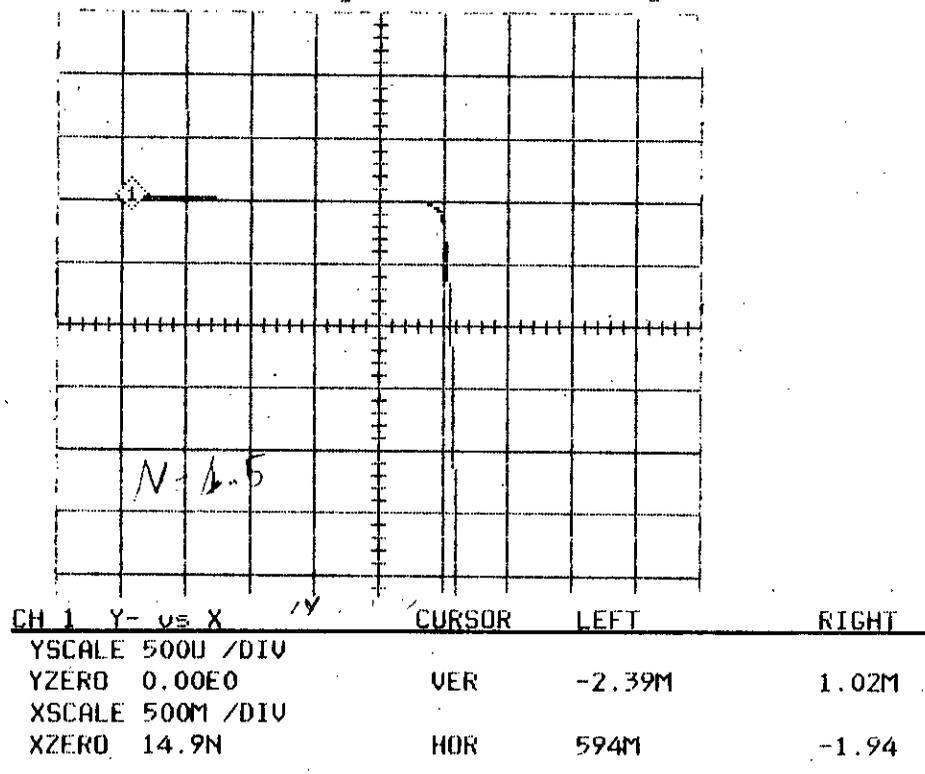


fig 5a

N = 1.8

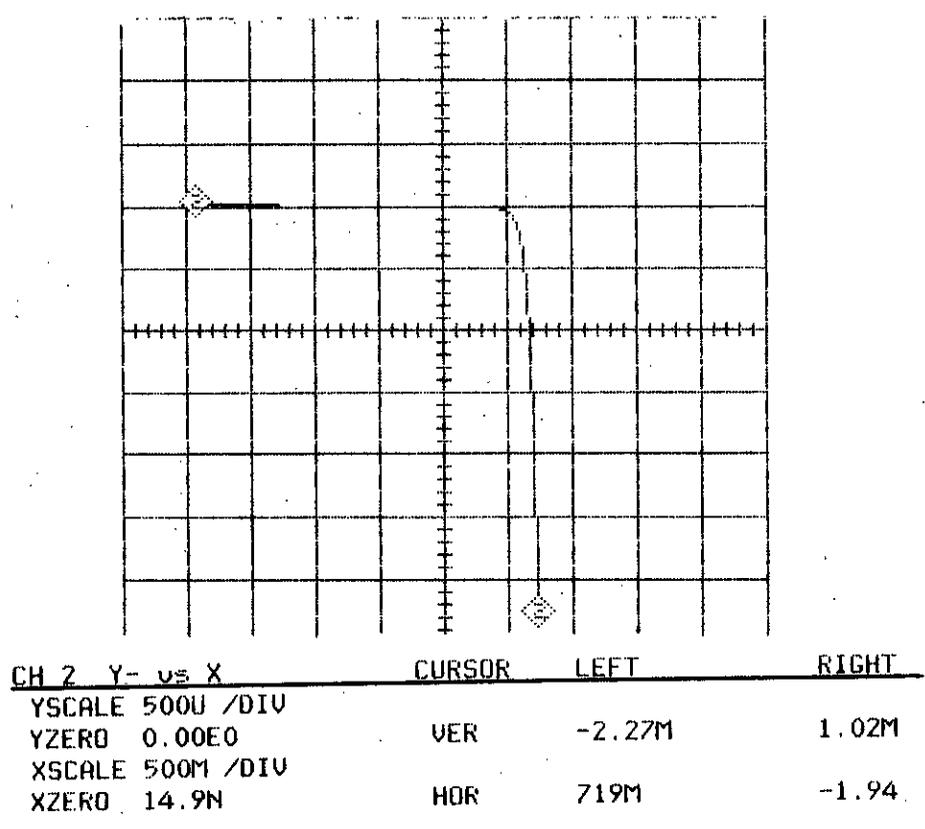
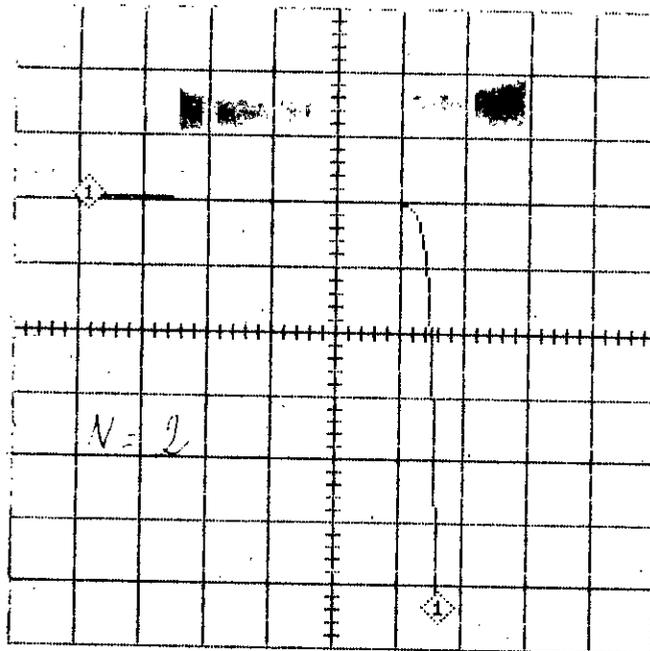


fig 5b

N = 2



| CH 1 Y- vs X | CURSOR | LEFT | RIGHT |
|------------------|--------|--------|-------|
| YSCALE 500U /DIV | | | |
| YZERO 0.00E0 | VER | -2.19M | 1.02M |
| XSCALE 500M /DIV | | | |
| XZERO 14.9N | HOR | 812M | -1.94 |

fig 5c Influence de N

III-2/ SIMULATION D'UN MODULE SOLAIRE

On a indiqué dans la partie théorique que le module solaire se constitue de plusieurs cellules solaires en série et en parallèle pour avoir une grande puissance à la sortie, c'est à dire pour augmenter la tension ainsi que le courant.

Pour le modèle simulé, on a choisi un panneau de 36 cellules en série.

1/ CELLULE EN SERIE

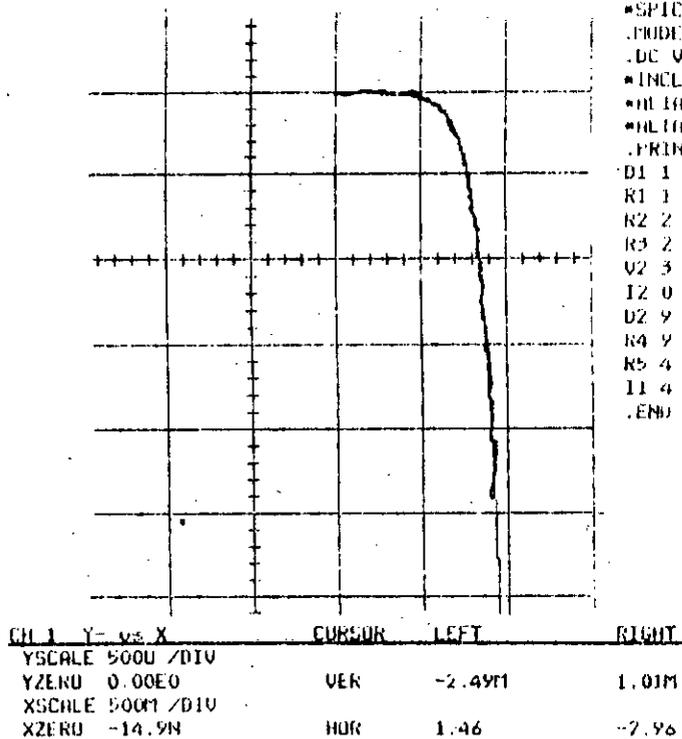


fig 6a: deux cellules en serie

```

*SPICE.NET
.MODEL DCEL D(RS=.9 IS=6E-10 VJ=.5 BU=22 N=1.8)
.DC V2 4 -4 .04
*INCLUDE DEVICE.LIB
*DI I(R2) I(V2)=Y
*DL I(R5) V(2)=X
.PRINT DC , I(V2) V(2)
D1 1 4 DCEL
R1 1 2 .5
K2 2 4 100K
R3 2 3 1K
V2 3 0 DC 0
I2 0 9 DC 1M
U2 9 0 DCEL
R4 9 4 .5
R5 4 0 100K
I1 4 1 DC 1M
.END
    
```

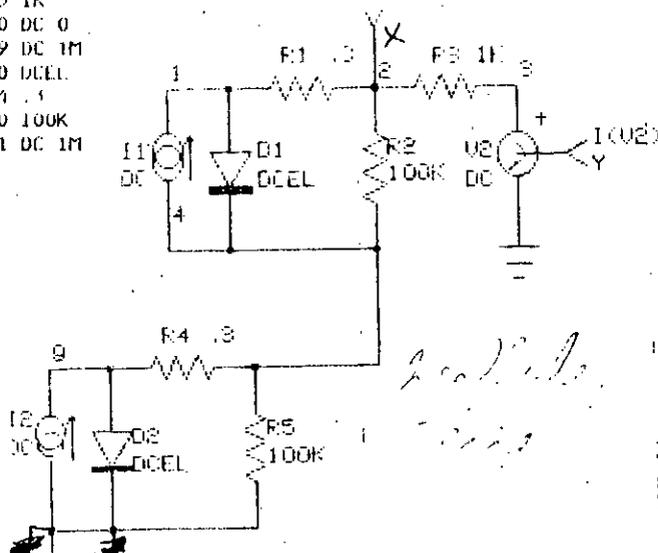
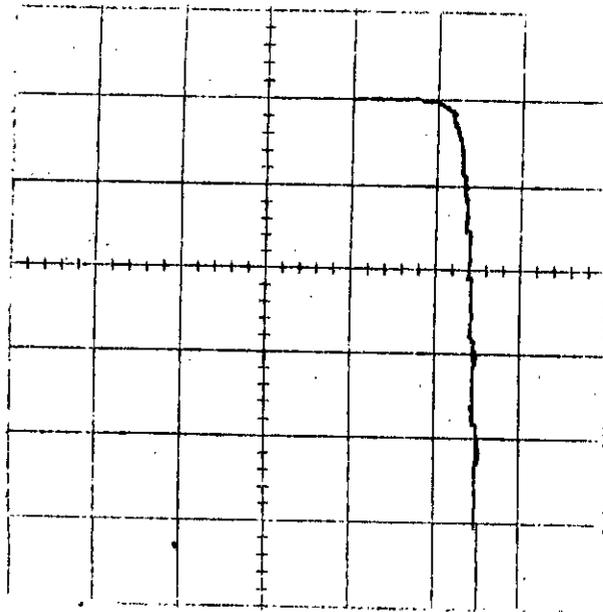


fig 6b

On utilise la cellule présentée dans la figure 7b comme macrocellule (cellule equivalente des deux cellules de la fig 6b) dont les caractéristiques sont:

Le courant reste le même

La tension double

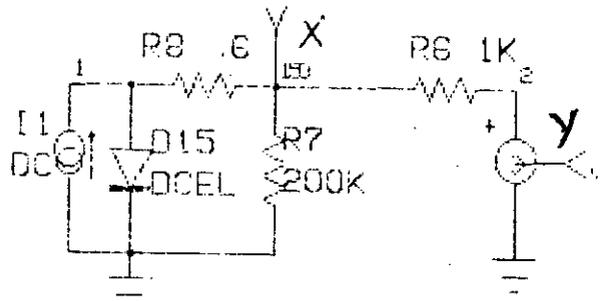


```

*atifa
*SPICE_NET
.DC U3 5 -5 .05
*INCLUDE DEVICE.LIB
.MODEL DCEL D(IS=6E-15, RS=.9 BV=50 UJ=.5 CJO=12PF N=1.0)
*ALIAS I(U3)=Y
*ALIAS U(U150)=X
.PRINT DC I(U3) U(U150)
U3 2 0 DC 0
D15 1 0 DCEL
R6 150 2 1K
R7 150 0 200K
R8 1 150 .6
I1 0 1 DC 1M
.END

```

| CH 1 | Y= U3 X | CURSOR | LEFT | RIGHT |
|--------|-----------|--------|--------|-------|
| YSCALE | 5000 /DIV | VER | -2.49M | 1.01M |
| YZERO | 116P | HOR | 1.26 | -3.06 |
| XSCALE | 500M /DIV | | | |
| XZERO | -462M | | | |



CELLULE EQUIVALENTE A DEUX CELL

a)

b)

fig 7: cellule equivalente

Pour la résistance série, si on néglige R_{SC} des deux cellules le courant I_c passe à travers la résistance série deux fois c'est à dire R_{s1} et R_{s2} ($R_{s1}=R_{s2}$ cellules identiques) alors $R_s = 2R_{s1}$ (elle introduit des petites variations).

Comme la résistance série a une très petite valeur, on peut considérer les résistances en parallèle comme deux résistances en série.

$$\text{alors } R_{scheq} = 2 \cdot R_{sch1}$$

Pour les courants de saturation on a :

pour les deux cellules:

$$I_c = I_{s1} \exp(qV_d/nKT)$$

pour la cellule equivalente:

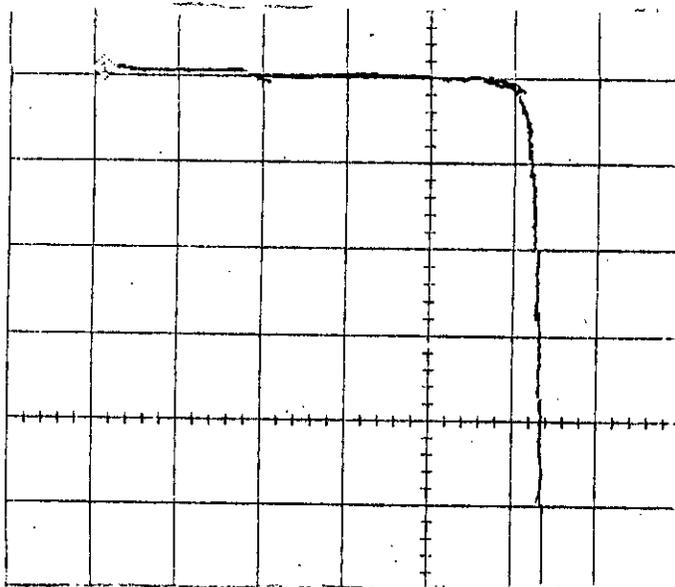
$$I_c = I_{s2} \exp(2qV_d/nKT)$$

alors

$$I_{s2}/I_{s1} = \exp(-qV_d/nKT)$$

Ce modèle est un modèle théorique qui n'a rien avoir avec la réalité.

2/ CELLULE EN PARALLELE



| CH 1 | Y= | V= | X | CURSOR | LEFT | RIGHT |
|--------|--------|------|---|--------|--------|-------|
| YSCALE | 500U | /DIV | | VER | -2.49M | 2.04M |
| YZERO | 0.00E0 | | | | | |
| XSCALE | 500M | /DIV | | HOR | 713M | -1.95 |
| XZERO | 14.9N | | | | | |

fig 8a:deux cellules en parallèle

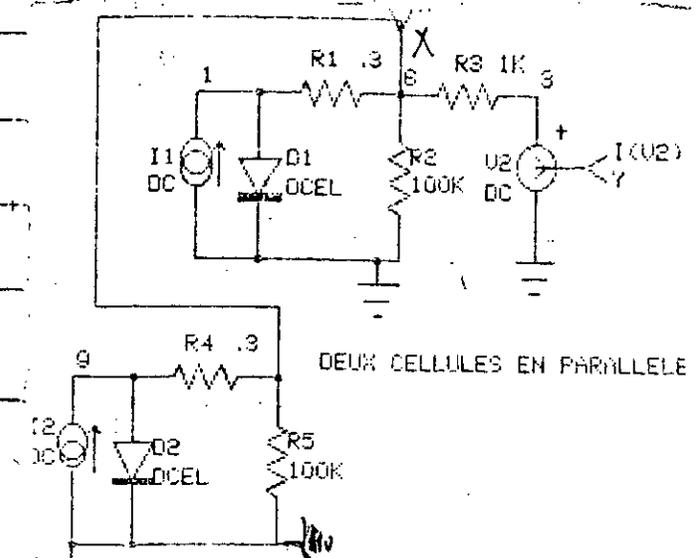
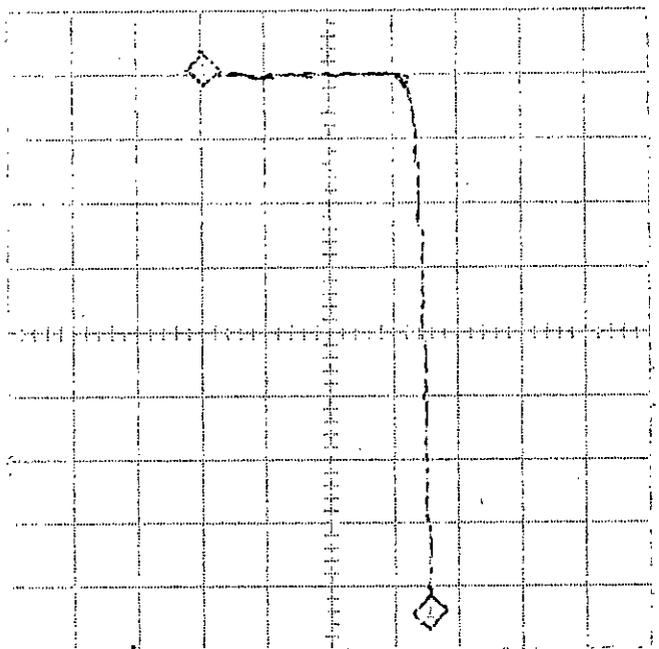


fig 8b:

On utilise la cellule présentée dans la figure 9b comme macrocellule (cellule équivalente des deux cellules de la fig 8b) dont les caractéristiques sont:

- la tansion reste la même
- le courant double



```

Editor
*SPICE JOB
*INCLUDE DEVICE.LIB
*INCLUDE SCH.LIB
DC V1 2 -3 .05
.MODEL DCEL D(RS=.9 IS=4E-10 UJ=.5 BV=22 n=1.0)
TEMP 5
*ALIAS I(V1)=Y
*ALIAS V(17)=X
.PRINT DC I(V1) V(17)
D1 10 0 DCEL
R1 10 17 .15
R2 17 0 100K
R3 17 11 1K
V1 11 0 DC 0
I2 0 10 DC 2M
.END
    
```

| CH 1 | Y= | U=X | CURSOR | LEFT | RIGHT |
|--------|--------|------|--------|--------|-------|
| YSCALE | 500U | /DIV | | | |
| YZERO | 0.00E0 | | VER | -2.23M | 2.01M |
| XSCALE | 500M | /DIV | | | |
| XZERO | -127M | | HOR | 781M | -969M |

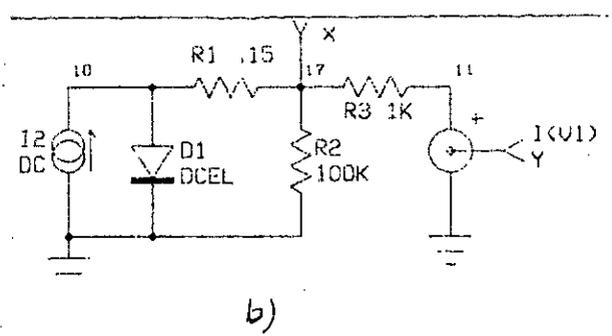


fig 9 : cellule equivalente

3/ SIMULATION D'UN PANNEAU

On prend un modèle de diode avec les caractéristiques citées avant (simulation d'une cellule).

Vue la capacité limitée de SPICE dans le calcul du courant de saturation (on ne peut pas y aller au dessous de 10^{-34}), on prend un modèle d'une cellule équivalente à six cellules dont les caractéristiques sont :

une tension entre 3v et 4v

un courant de saturation d'environ 10^{-32} A

On regroupe six cellules équivalentes en série, on obtient un panneau de 36 cellules pour avoir une tension de 15 à 18v

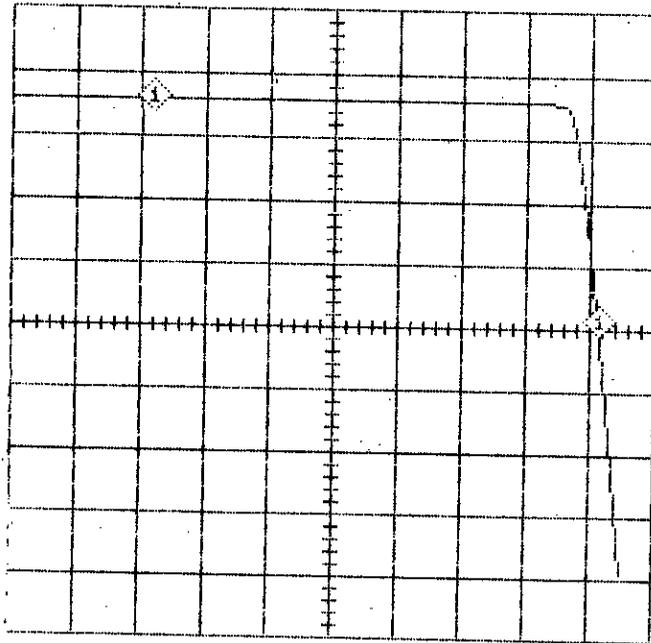
IV/ APPLICATIONS:

1/ SIMULATION D'UN PANNEAU BPX47A

Les valeurs choisies par le constructeur sont les suivantes :

| | | | | |
|----------|----------|--------|-------|-------|
| I_{sc} | V_{oc} | I_M | V_M | P_M |
| 0.72 A | 20.5v | 0.70 A | 15.5v | 11w |

Le modèle simulé est :



SPICE ANALYSIS OF bpx47a.UU

```

*SPICE_NET
.DC 03 800 -000 B
*INCLUDE DEVICE.LIB
.MODEL DCEL D(1S-6E-20 N=1.8 UJ=.5 BV=22 )
*ALIAS I(U3)=Y
*ALIAS V(124)=X
.PRINT DC I(U3) V(124)
D1 73 144 DCEL
R1 73 96 .3
R6 96 144 500K
R7 124 3 1K
U3 3 0 DC 0V
I2 138 1 720M
D2 1 150 DCEL
R11 1 144 .3
R12 144 138 500K
I3 142 92 720
D3 92 142 DCEL
R13 92 138 .3
R14 138 142 500K
I4 120 116 720M
D4 116 120 DCEL
R15 116 142 .3
R16 142 120 500K
I5 232 118 720M
D5 118 232 DCEL
R17 118 120 .3
R18 120 232 500K
I11 96 128 DC 720M
D11 128 96 DCEL
R29 128 124 .3
R30 124 96 500K
I12 0 227 720M
D12 227 0 DCEL
R31 227 232 .3
R32 232 0 500
I1 144 73 720M
.END
    
```

| CH 1 | Y- vs X | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|--------|-----------|--------|-------|-------|------------|
| YSCALE | 200M /DIV | | | | |
| YZERO | 0.00E0 | VER | 20.5M | 720M | 700M |
| XSCALE | 5 /DIV | | | | |
| XZERO | 0.00E0 | HOR | 20.6 | -14.1 | -34.7 |

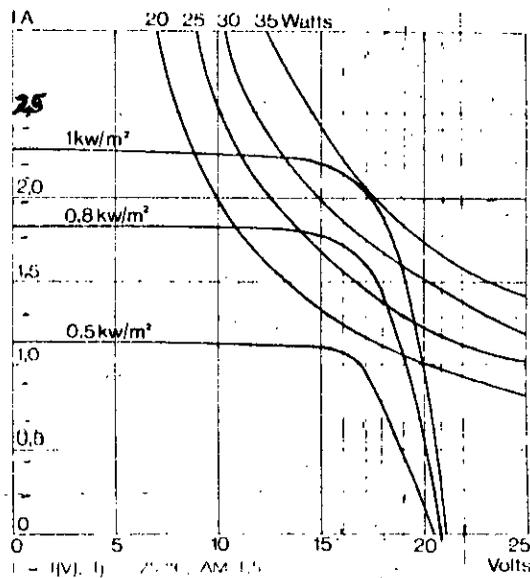
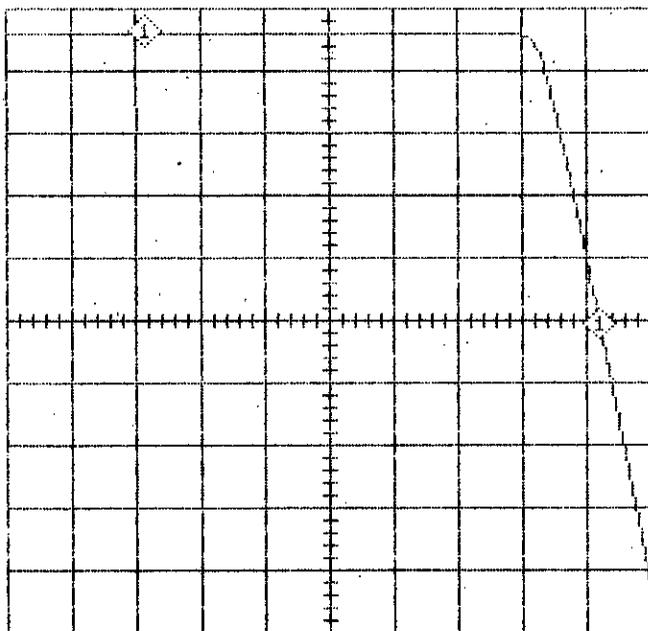
1/ SIMULATION D'UN PANNEAU BPX47CE

Les valeurs choisies par le constructeur sont les suivantes :

| | | | | |
|----------|----------|--------|-------|-------|
| I_{sc} | V_{oc} | I_M | V_M | P_M |
| 2.30 A | 21.2v | 2.06 A | 17.0v | 35w |

Le modèle simulé est :

SPICE ANALYSIS OF bpx47ce.01



| | | | | |
|------|----------|------|------|------|
| (°C) | T | 25 | 45 | 60 |
| (V) | V_M | | 17 | |
| (W) | P_M | 35 | 37.7 | 31 |
| (V) | V_{oc} | 21.2 | 19.7 | 18.7 |
| (A) | I_M | 2.06 | 2.15 | 2.17 |
| (A) | I_{sc} | 2.3 | 2.33 | 2.35 |
| (V) | V_{oc} | 21.2 | 19.7 | 18.7 |
| (°C) | | | 35 | |

dit. Elles peuvent être modifiées sans preuve et sans engagement de constructeur.

$\delta = -0,00353$
valeurs choisies par le constructeur.

| CH 1 Y- vs X | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|------------------|--------|--------|-------|------------|
| YSCALE 500M /DIU | | | | |
| YZERO 0.00E0 | VER | -50.8M | 2.30 | 2.35 |
| XSCALE 5 /DIU | | | | |
| XZERO 0.00E0 | HOR | 20.9 | -14.4 | -35.3 |

3/ SIMULATION D'UN PANNEAU MSP02A10:

Les valeurs choisies par le constructeur sont les suivantes :

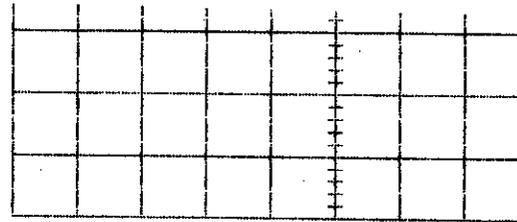
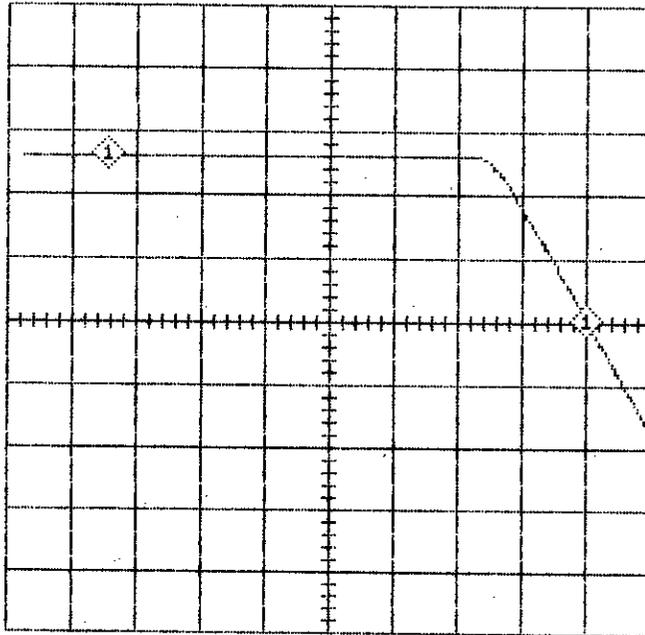
| | | | | |
|----------|----------|-------|-------|-------|
| I_{sc} | V_{oc} | I_M | V_M | P_M |
| 1.3 A | 20.0v | 1.2 A | 16.0v | 18.0w |

Le modèle simulé :

```

*SPICE_NET
.DC V5 1350 -1350 14
*INCLUDE DEVICE.LIB
.MODEL DCELSOL D(1S-8E-32 N=1.8 UJ=.5 BU=22)
*ALIAS U(96)=X
*ALIAS I(U3)=Y
.PRINT DC U(96) I(U3)
D1 23 144 DCELSOL
R1 23 96 .9
R6 96 144 600K
R7 96 3 1K
V5 3 0 DC 0V
I2 130 1 DC 1.3
D2 1 130 DCELSOL
R11 1 144 .9
R12 144 138 600K
I3 142 92 DC 1.3
D3 92 142 DCELSOL
R13 92 138 .9
R14 138 142 600K
I4 120 116 DC 1.3
D4 116 120 DCELSOL
R15 116 142 .9
R16 142 120 600K
I5 127 118 DC 1.3
D5 118 127 DCELSOL
R17 118 120 .9
R18 120 127 600K
I6 0 122 DC 1.3
D6 122 0 DCELSOL
R19 122 127 .9
R20 127 0 600K
I1 144 23 DC 1.3
.END
    
```

SPICE ANALYSIS OF msp02a10.OUT



| CH 1 Y- vs X | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|------------------|--------|---------|-------|------------|
| YSCALE 500M /DIV | VER | -0.00E0 | 1.30 | 1.30 |
| YZERO 0.00E0 | HOR | 20.0 | -17.2 | -37.2 |
| XSCALE 5 /DIV | | | | |
| XZERO 0.00E0 | | | | |

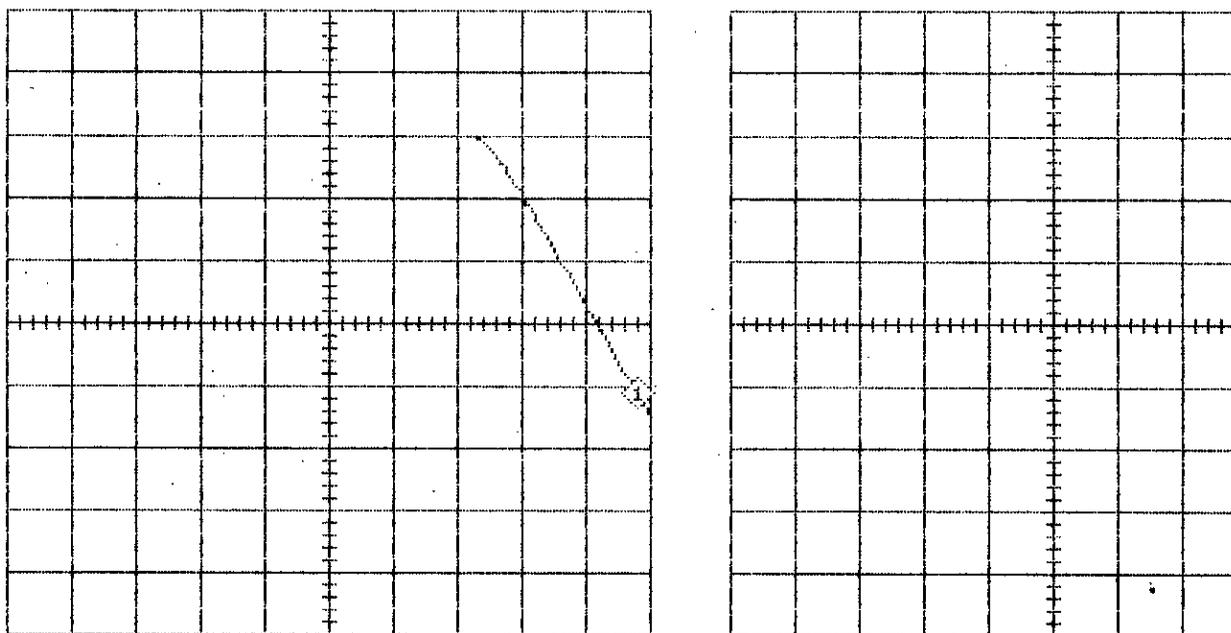
fig 12 :

Les valeurs choisies par le constructeur sont les suivantes :

| | | | | |
|----------|----------|--------|-------|-------|
| I_{sc} | V_{oc} | I_M | V_M | P_M |
| 1.5 A | 20.2v | 1.38 A | 16.1v | 21.0w |

Le modèle simulé :

SPICE ANALYSIS OF msp02a30.OUT on 6-20-94 page 1



| CH 1 | Y= v ₂ X | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENC |
|------|---------------------|--------|-------|-------|-----------|
| | YSCALE 500M /DIV | | | | |
| | YZERO 0.00E0 | VER | -581M | 1.50 | 2.08 |
| | XSCALE 5 /DIV | | | | |
| | XZERO 0.00E0 | HOR | 24.1 | -33.8 | -57.8 |

fig 13 :

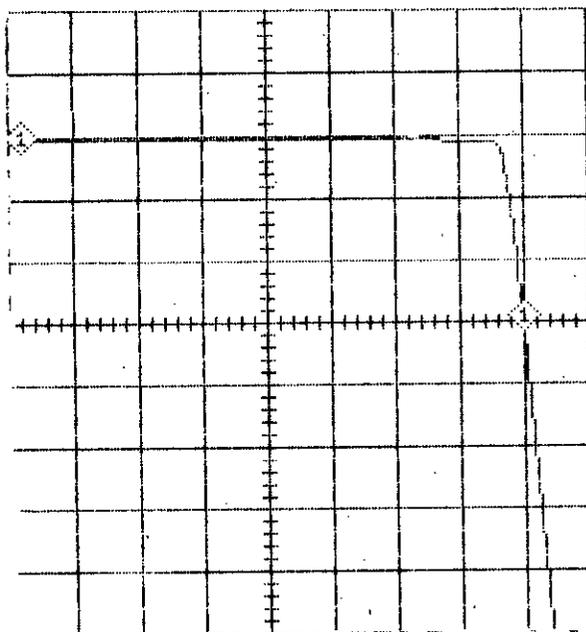
5/ SIMULATION D'UN PANNEAU MSP26A10:

Les valeurs choisies par le constructeur sont les suivantes :

| | | | | |
|----------|----------|--------|-------|-------|
| I_{sc} | V_{oc} | I_M | V_M | P_M |
| 0.59 A | 20.0v | 0.54 A | 16.0v | 8.1w |

Le modèle simulé :

SPICE ANALYSIS OF msp26a10.



```

*SPICE_NET
.DC U3 1550 -1550 16
*INCLUDE DEVICE.LIB
.MODEL DEEL D115-61-32 N=1.0 UJ=.5 BU=22 )
*PLOT5 I(U3)-Y
*PLOT5 V(124)-X
.PRINT DE I(U3) V(124)
D1 73 144 DEEL
R1 73 96 .3
R6 96 144 600K
R7 124 3 1K
U3 3 0 DC 00
I2 138 1 .59
D2 1 138 DEEL
R11 1 144 .3
R12 144 138 600K
I3 142 92 .59
D3 92 142 DEEL
R15 92 138 .3
R14 138 142 600K
I4 120 116 .59
D4 116 120 DEEL
R15 116 142 .3
R16 142 120 600K
I5 0 118 .59
D5 118 0 DEEL
R17 118 120 .3
R18 120 0 600K
I11 96 128 DC .59
D11 128 96 DEEL
R29 128 124 .3
R30 124 96 600K
I1 144 73 .59
.END
    
```

| CH 1 Y- vs X | CURSOR | LEFT | RIGHT |
|------------------|--------|-------|-------|
| YSCALE 200M /DIV | | | |
| YZERO 0.00E0 | VER | 6.03M | 590M |
| XSCALE 5 /DIV | | | |
| XZERO 0.00E0 | HOR | 20.0 | -19.1 |

Fig 14 :

6/ SIMULATION D'UN PANNEAU MSP26A30:

Les valeurs choisies par le constructeur sont les suivantes :

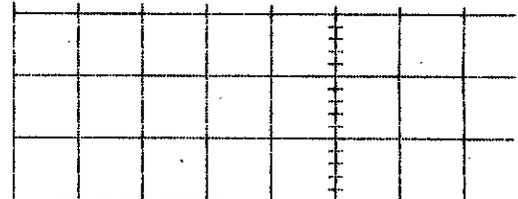
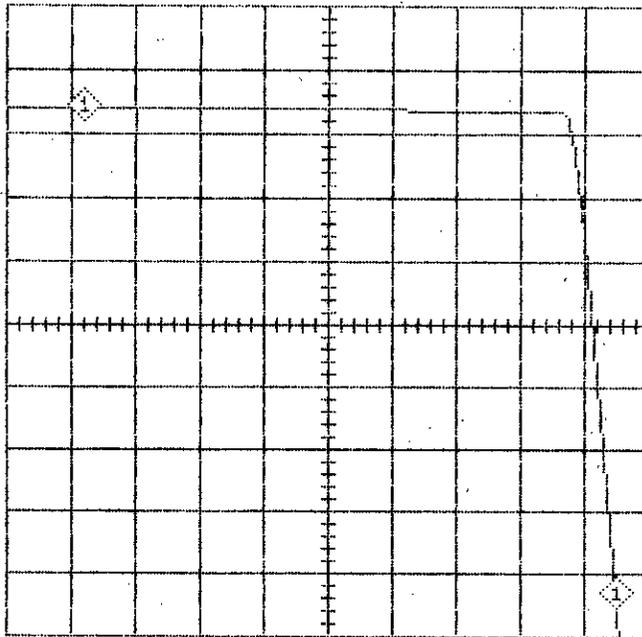
| | | | | |
|----------|----------|--------|-------|-------|
| I_{sc} | V_{oc} | I_M | V_M | P_M |
| 0.68 A | 20.2v | 0.62 A | 16.1v | 9.5w |

Le modèle simulé :

```

tatin
*SPICE_NET
.DC 03 1550 -1550 16
*INCLUDE DEVICE.LIB
.MODEL DCEL D(TS=6E-33 N=1.8 UJ=.5 BU=22 )
*ALIAS I(U3)=Y
*ALIAS U(124)=X
.PRINT DC I(U3) U(124)
D1 73 144 DCEL
R1 73 96 .5
R6 96 144 600K
R7 124 3 1K
U3 3 0 DC 0V
I2 138 1 .68
D2 1 138 DCEL
R11 1 144 .5
R12 144 138 600K
R5 142 92 .68
D3 92 142 DCEL
R13 92 138 .5
R14 138 142 600K
R4 120 116 .68
D4 116 120 DCEL
R15 116 142 .3
R16 142 120 600K
R5 0 118 .68
D5 118 0 DCEL
R17 118 120 .3
R18 120 0 600K
I1 96 128 DC .68
D11 128 96 DCEL
R29 128 124 .3
R30 124 96 600K
R1 144 73 .68
.END
    
```

SPICE ANALYSIS OF msp26a30.u



| CH 1 Y- vs X | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|------------------|--------|-------|-------|------------|
| YSCALE 200M /DIV | | | | |
| YZERO 0.00E0 | VER | -872M | 680M | 1.55 |
| XSCALE 5 /DIV | | | | |
| XZERO 0.00E0 | HOR | 22.5 | -19.1 | -41.6 |

fig 15 :

Chapitre III

I/ ETUDE THEORIQUE

1/ INTRODUCTION

L'électronique de puissance ou électronique des courants forts est très souvent une électronique de commutation, qui met en jeu des organes capables d'établir ou d'interrompre statiquement une connexion entre deux points d'un montage assurant un transfert d'énergie.

L'organe statique de commutation se situe sur le parcours du transfert d'énergie.

Les sources d'énergie existantes ne peuvent donc pas être utilisées directement et ne peuvent alimenter la machine dans des bonnes conditions que par l'intermédiaire d'un convertisseur statique "hacheur".

Les hacheurs élémentaires type "serie" et "parallele" sont maintenant connus et donnent lieu à de nombreuses réalisations, telles que la commande du moteur à courant continu qui doit fonctionner à vitesse variable à partir d'une source de tension continue.

Dans notre étude, nous avons choisi le "hacheur à transistor" pour les raisons suivantes:

- /Absence pour le transistor de circuit auxiliaire à l'extinction.
- /La fréquence maximale de travail est plus grande que pour les thyristors.
- /Les pertes de commutation sont plus faibles qu'en "thyristor".
- /Spice ne contient pas des thyristors dans sa bibliothèque, mais il contient des transistors de commutation.

2/ ETUDE DU HACHEUR

Le hacheur peut être assimilé à un organe de coupure, ou interrupteur, qui se ferme régulièrement à des intervalles de temps pour une période donnée T .

Il restera fermé pendant une durée θ ; $0 \leq \theta \leq T$.

Il peut être inséré aussi bien en série qu'en parallèle avec l'utilisation.

3/ DIFFERENTS TYPES DE HACHEUR

3-1/ HACHEUR SERIE

L'interrupteur est placé en série dans la liaison de la source au récepteur. Il permet de réduire de façon continue la tension U_{moy} appliquée à celui-ci.

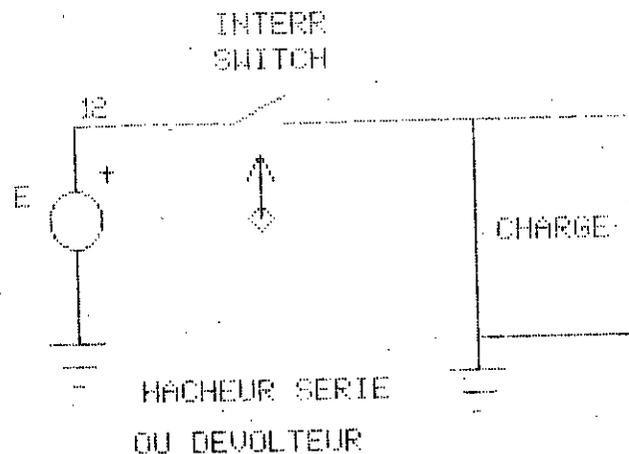


fig 1: hacheur serie

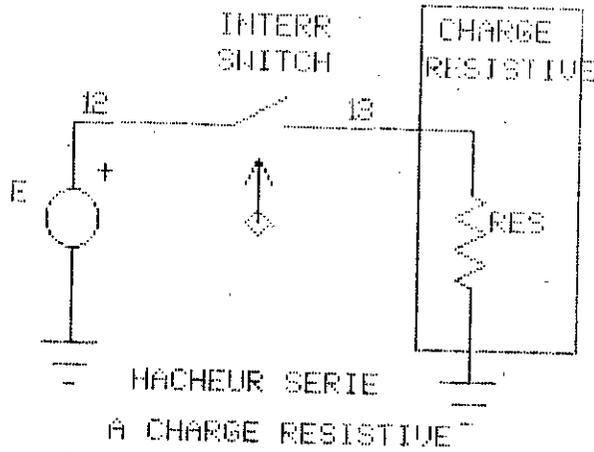


fig 2a: hacheur à charge résistive

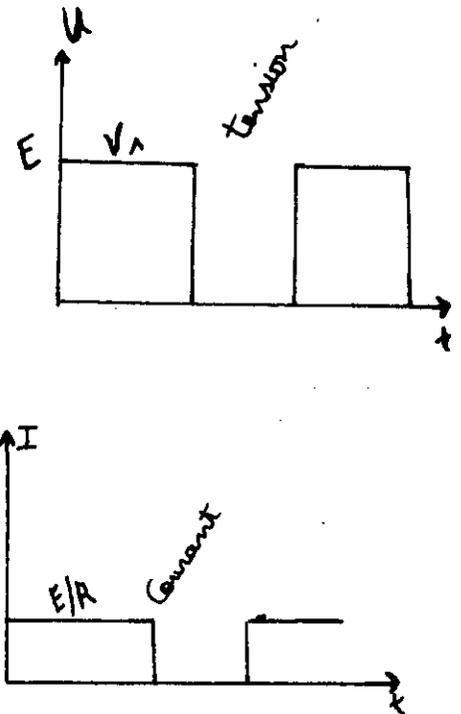


fig 2b:

Dans ce cas le fonctionnement est discontinu, car le courant et la tension sont en phase

$$U_{\text{moy}} = \alpha E$$

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

$$\alpha = \theta/T = T_{\text{on}} / (T_{\text{on}} + T_{\text{off}})$$

$$\theta = T_{\text{on}}$$

$$I_{\text{moy}} = U_{\text{moy}}/R = \alpha E/R$$

$$T = T_{\text{on}} + T_{\text{off}}$$

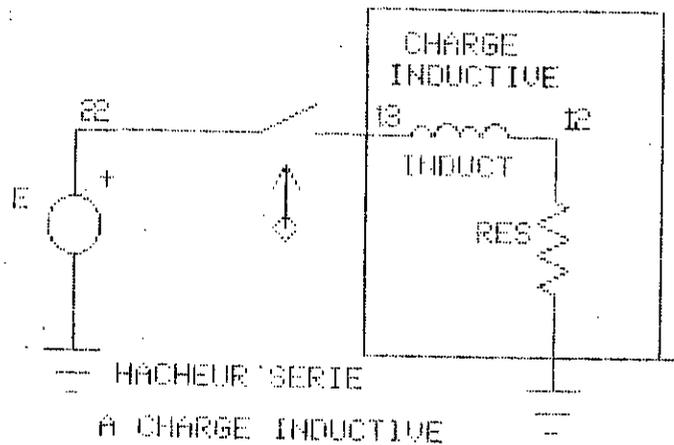


fig 3a: hacheur à charge inductive

L'utilisation d'une diode D_{RL} (diode de roue libre) en parallèle avec la charge (R , L) permet la récupération de l'énergie électromagnétique stockée dans l'inductance lorsque l'interrupteur H est ouvert.

Le courant I_L est alors continu, il évolue entre I_{min} et I_{max} d'une manière exponentielle.

a/ $0 \leq t \leq \theta$

L'équation du circuit est : $E = R I + L \frac{dI}{dt}$

avec $t=0 \Rightarrow I = I_m$

La solution est : $I = I_h = E/R + (I_m - E/R) e^{-t/\tau}$

avec $\tau = L/R$

b/ $\theta \leq t \leq T$

L'équation du circuit est : $0 = R I + L \frac{dI}{dt}$

avec $t=0 \Rightarrow I = I_M$

La solution est : $I = I_d = I_M e^{-(t-\theta)/\tau}$

Le courant moyen : $U = R I + L \frac{dI}{dt}$

$$\Rightarrow \int_0^T U dt = \int_0^T R I dt + \int_{I_m}^{I_M} L di$$

$$\Rightarrow I_{\text{moy}} = \frac{E\theta}{RT} = \frac{E\alpha}{R} \quad (\text{ne depend pas de } L)$$

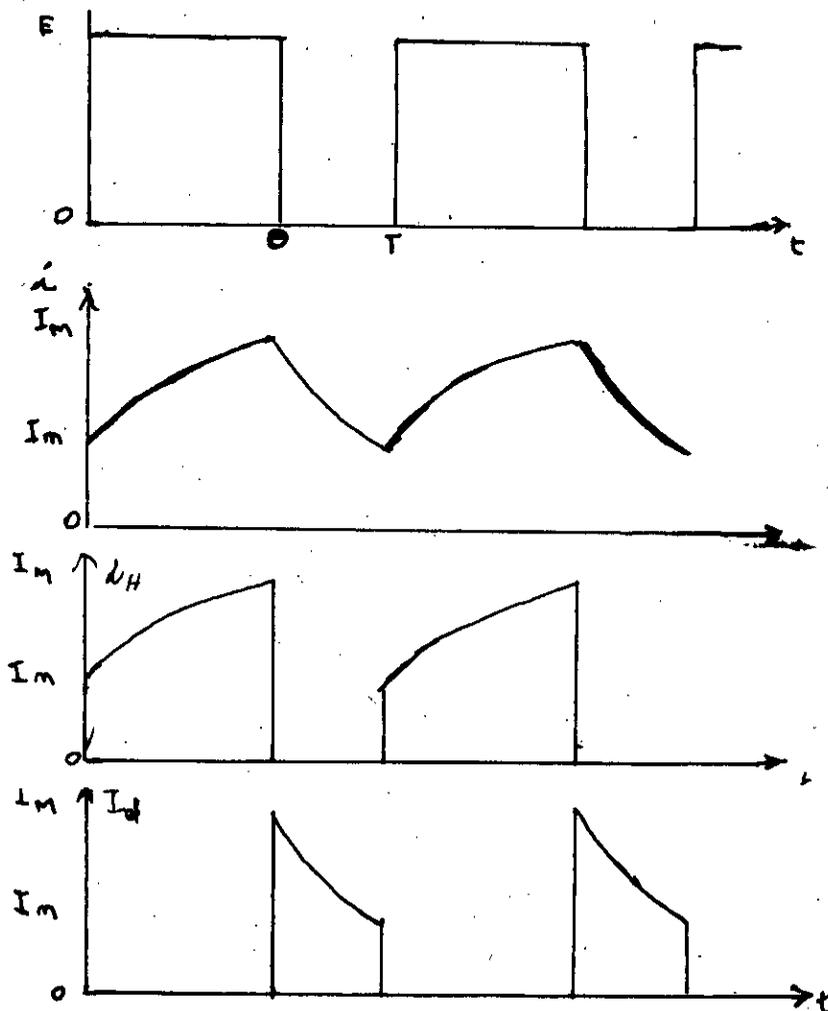


fig 3b: forme de courant et de tension

3-1-3/ CALCUL DE L'ONDULATION

Il est très important d'apprécier l'importance de l'ondulation $\Delta I = I_M - I_m$ du courant I_L dans un hacheur.

$$I_M = I(\theta) = E/R + (I_m - E/R)e^{-\theta/\tau}$$

$$I_m = I(0) = I_M e^{-(T-\theta)/\tau}$$

$$\Rightarrow I_m = E/R \frac{1-e^{-\theta/\tau}}{1-e^{-T/\tau}} \quad \text{et} \quad I_M = I_m e^{(T-\theta)/\tau}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \Delta I &= I_M - I_m = I_m (e^{(T-\theta)/\tau} - 1) \\ &= E/R \frac{1-e^{-\theta/\tau}}{1-e^{-T/\tau}} (e^{(T-\theta)/\tau} - 1) \end{aligned}$$

Pour simplifier les calculs et minimiser les ondulations, on prend $\tau = L/R \gg T$

$$\Rightarrow e^{-T/\tau} = 1 - T/\tau$$

$$\Rightarrow \Delta I = E/R (\theta/T)(T-\theta)/\tau$$

$$\text{avec : } \tau = \theta/T \quad \text{et} \quad \tau = L/R$$

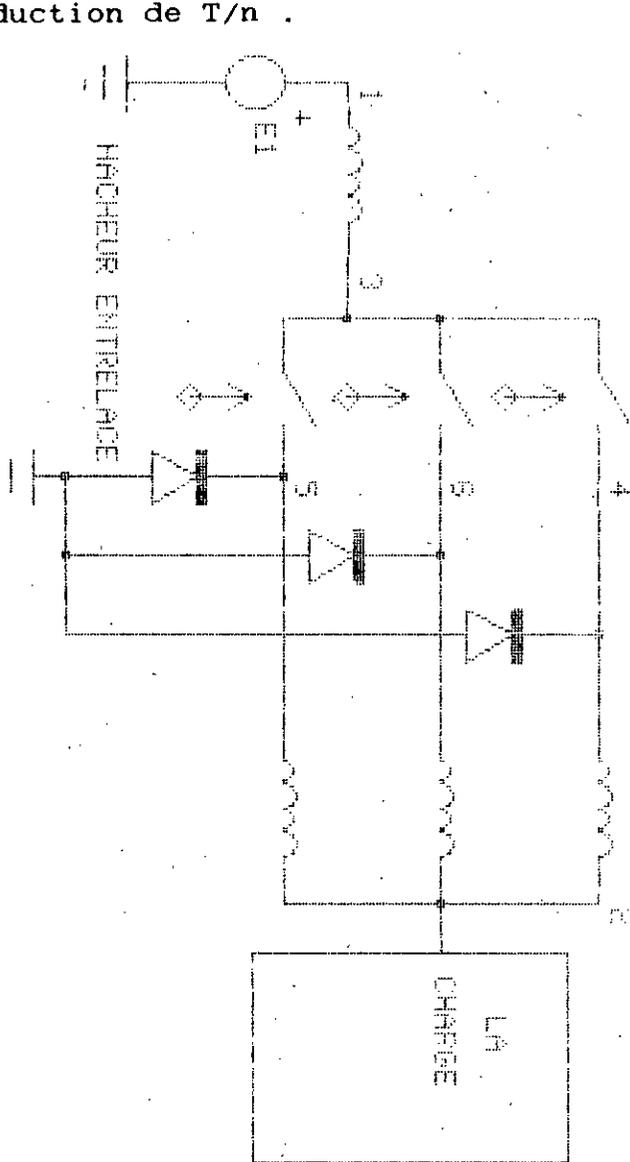
déterminons la valeur max $d(\Delta I)/d\alpha = 0 \Rightarrow \alpha = 0.5$ et $\Delta I_{\max} = \frac{E}{4Lf}$

alors pour atténuer l'ondulation il faut monter en fréquence

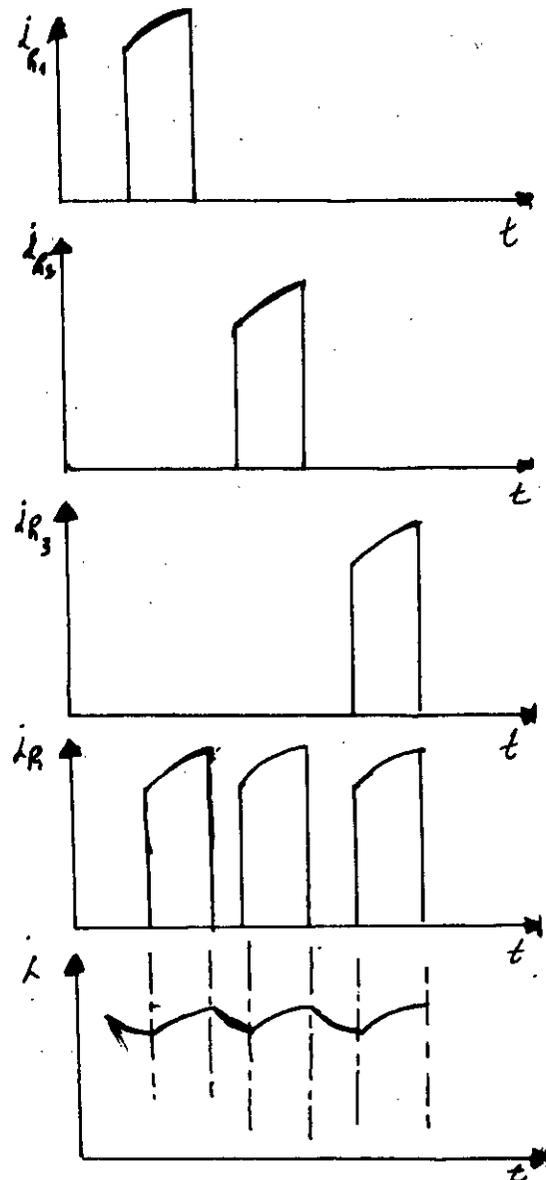
3-2/ HACHEUR ENTRELACES

L'augmentation de la fréquence réduit l'ondulation du courant fourni au récepteur et facilite le filtrage du courant pris à la source .

Pour multiplier par n la fréquence de ces courants on peut utiliser n hacheurs "entrelacés", si T est la période de fonctionnement de chacun d'eux, on décale leurs intervalles de conduction de T/n .



4a



4b

fig 4: hacheurs entrelacés avec forme de courant

3-3/ HACHEUR PARALLELE

On connecte l'interrupteur H en parallèle avec la charge.

L'interrupteur court-circuite la charge pendant une durée θ d'une façon périodique

3-3-1/ ALIMENTATION D'UNE CHARGE RESISTIVE

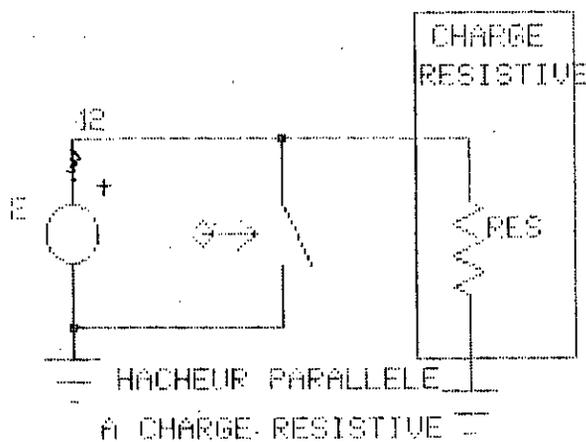


fig 5 :hacheur parallèle avec charge résistive

La présence de l'inductance atténue l'ondulation du courant I_s .
 Nous supposons que cet inductance est suffisamment grande pour que le courant I_s puisse être considéré comme constant

$$a/ 0 \leq t \leq \theta \quad \Rightarrow \quad U = 0 \quad \text{et} \quad I = 0$$

$$b/ \theta \leq t \leq T \quad \Rightarrow \quad U = R I_s \quad \Rightarrow \quad U_{\text{moy}} = \frac{T-\theta}{T} R I_s$$

$$\Rightarrow \quad U_{\text{moy}} = (1-\alpha) R I_s \quad \Rightarrow \quad I_{\text{moy}} = I_s (1-\alpha)$$

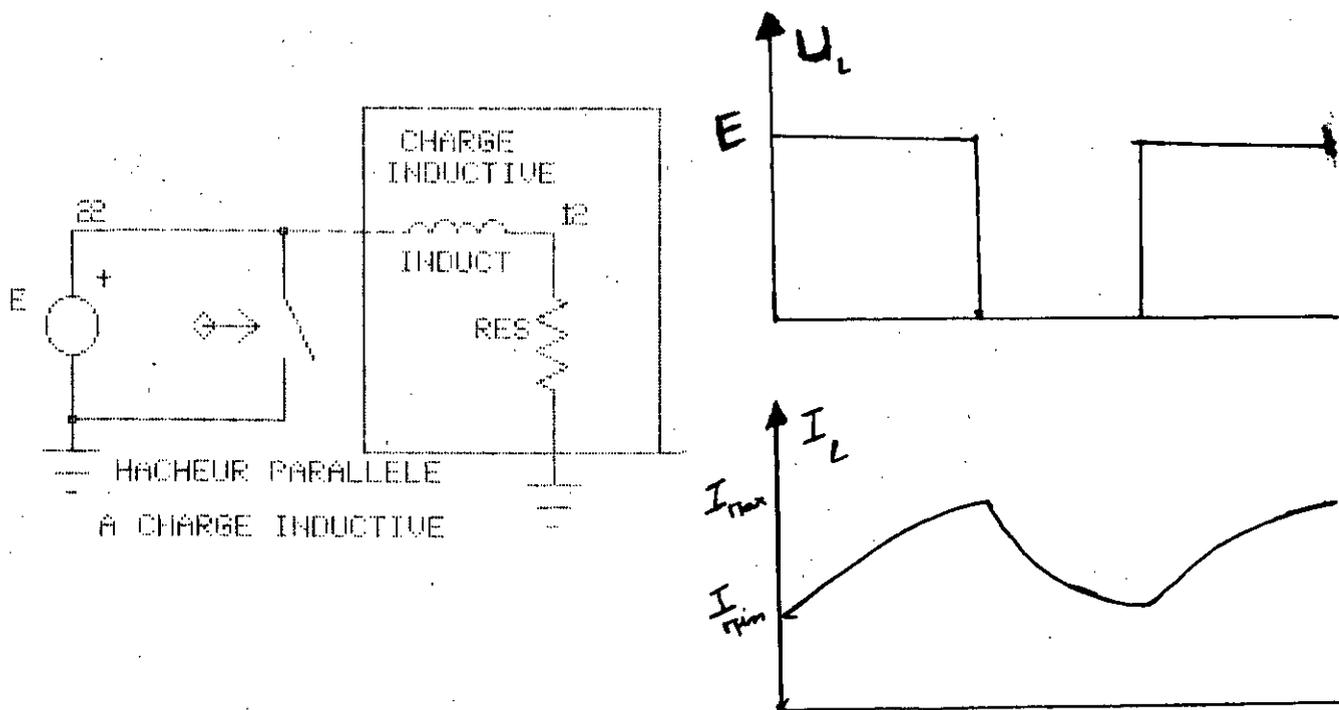


fig 6a: hacheur parallèle avec charge inductive

La capacité C est suffisamment grande pour que la tension U_C aux bornes du récepteur soit constante.

La diode D empêche la décharge du condensateur dans la partie ament du montage

a/ $0 \leq t \leq \theta$ H fermé \Rightarrow D bloquée

$$\Rightarrow E - L \frac{dI_s}{dt} = 0 \quad \Rightarrow \quad I_s = \frac{E}{L} t + I_m$$

Le courant varie linéairement en fonction du temps

$$I_s(\theta) = I_{\max} \quad \Rightarrow \quad I_M = \frac{E}{L} t + I_m$$

b/ $\theta \leq t \leq T$ H ouvert $\Rightarrow U_C = C \frac{st}{t} = E$

$\Rightarrow E = L \frac{dI_S}{dt} + U_C \Rightarrow I = I_S = \frac{E-U_C}{L} (t-\theta) + I_M$

et $U_C = E \left(\frac{1}{1-\alpha} \right)$

Le hacheur est équivalent à un transformateur à courant continu, éleveur de tension

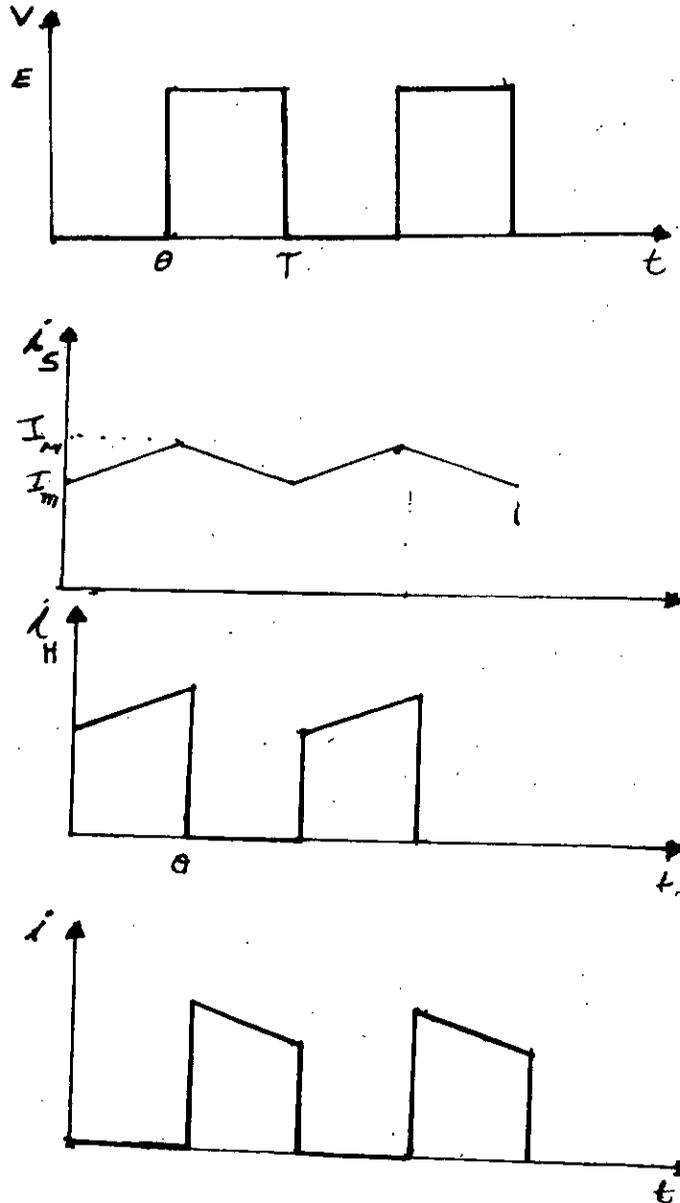


fig 6b: forme de courant et de tension

4/ TRANSISTOR DE PUISSANCE

Le transistor de puissance permet la réalisation de convertisseurs de plusieurs centaines de KW, pouvant bloquer des tensions directes de plusieurs dizaines d'Ampères.

Il peut fonctionner à des fréquences très élevées en comparaison à celles du thyristor, sauf qu'il faut atténuer les pertes dues à la commutation.

4-1/ LES COMMUTATIONS

Le fonctionnement du transistor en régime de commutation est défini par deux états, l'état "bloqué" et l'état "saturé" et la commutation entre ces deux états.

4-2/ LE COMPORTEMENT DYNAMIQUE DU TRANSISTOR

On attaque la base avec un signal caré unidirectionnel

la figure suivante montre le comportement dynamique d'un transistor de puissance avec les paramètres sont :

| | | | |
|-------|----------------|-------|-------------------|
| t_d | : delay-time | c.à.d | temps de retard |
| t_r | : rise-time | c.à.d | temps de montée |
| t_f | : fall-time | c.à.d | temps de descente |
| t_s | : storage-time | c.à.d | temps de stockage |

à la fermeture.

$$t_{\text{on}} = t_d + t_r$$

à l'ouverture

$$t_{\text{off}} = t_s + t_f$$

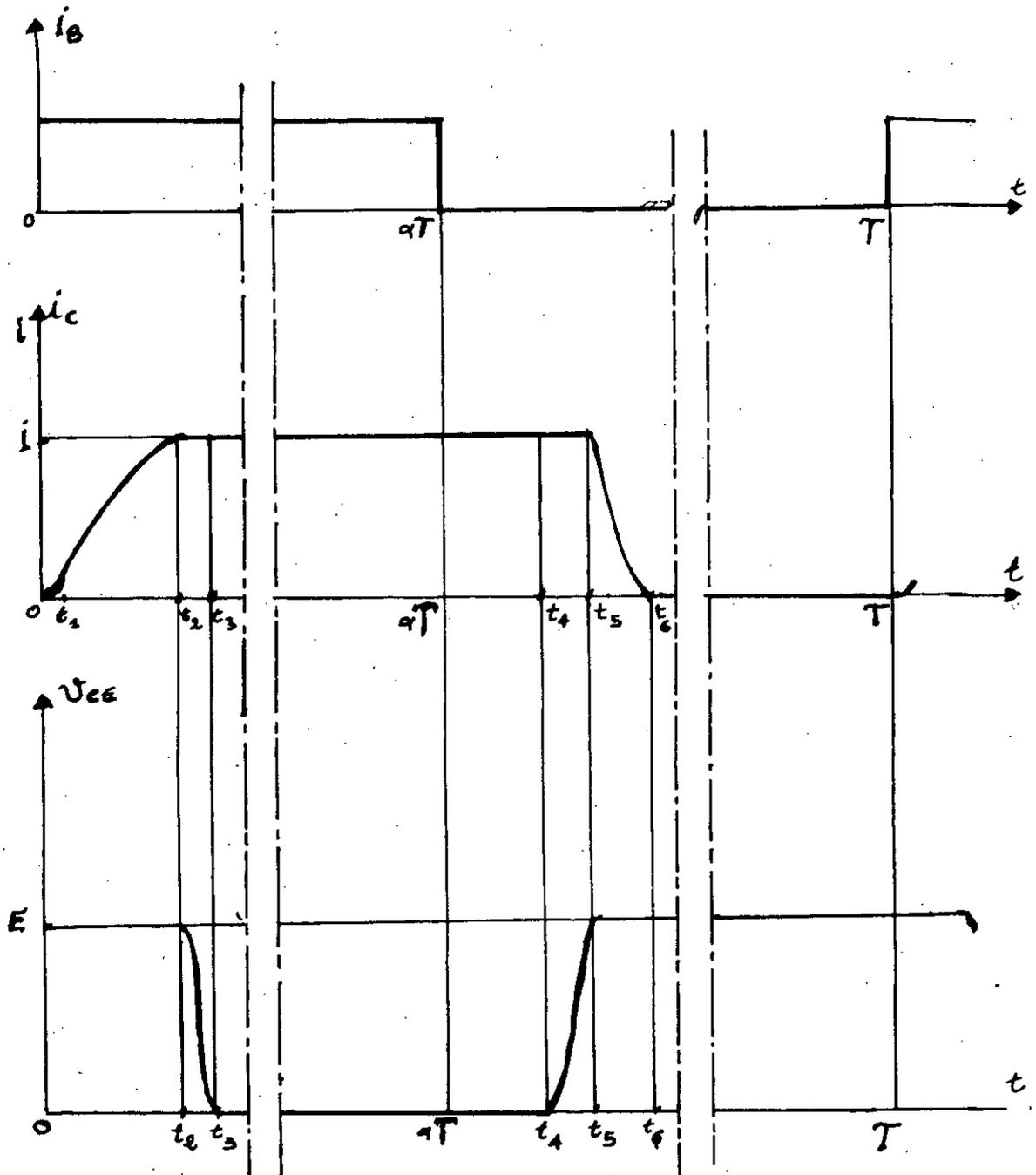


fig 7 : comportement dynamique du transistor

Si on envoie un courant de base positif à t_1 , il y a d'abord un temps de retard de t_d nécessaire pour que la tension v_{be} atteigne le seuil de conduction, avant que I_c commence à croître.

pendant le temps de montée de I_c , v_{ce} reste égale à E et quand I_c atteint sa valeur de saturation, alors v_{ce} commence à décroître.

Si on supprime le courant de base à t_2 , d'abord il y a un temps de stockage t_s .

Pendant le temps de montée de v_{ce} , I_c reste égale à I de saturation et quand v_{ce} atteint la tension E le courant I_c commence à décroître.

On voit que les pertes $v_{ce} I_c$ pendant les commutations sont importantes. C'est la raison pour laquelle on proposera un hacheur avec des paramètres qui permettent l'amélioration du fonctionnement, c'est à dire la minimisation des pertes de commutation par un circuit CALC ou circuit d'aide à la commutation.

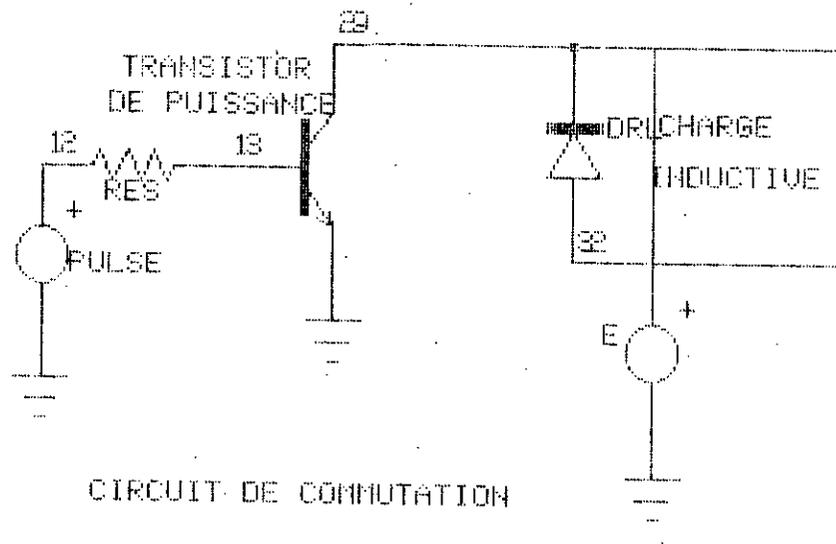


fig 8 : circuit de commutation [6] [6]

D_{RL} : diode de roue libre

elle règle le courant I débité par une source de tension E dans un récepteur résistant et inductif.

Pour diminuer les pertes de commutation, on va ajouter des circuits qui réalisent cette fonction.

1°/ On ralentit la montée du courant I_c lors du déblocage en insérant une inductance L_s de quelques dizaines de μH en série avec le transistor, et on monte en parallèle avec L_s une résistance R_s et une diode D_s qui constituent le circuit de décharge de l'énergie $L_s I^2 / 2$ émagasinée à chaque période dans L_s

2°/ on monte en parallèle avec le transistor une capacité C_p de quelques centièmes de μF pour ralentir la montée de la tension v_{ce} lors du blockage. La croissance de v_{ce} nécessite la charge à travers la diode D_p , le condensateur C_p se décharge à travers R_p à l'amorçage suivant quand v_{ce} diminue.

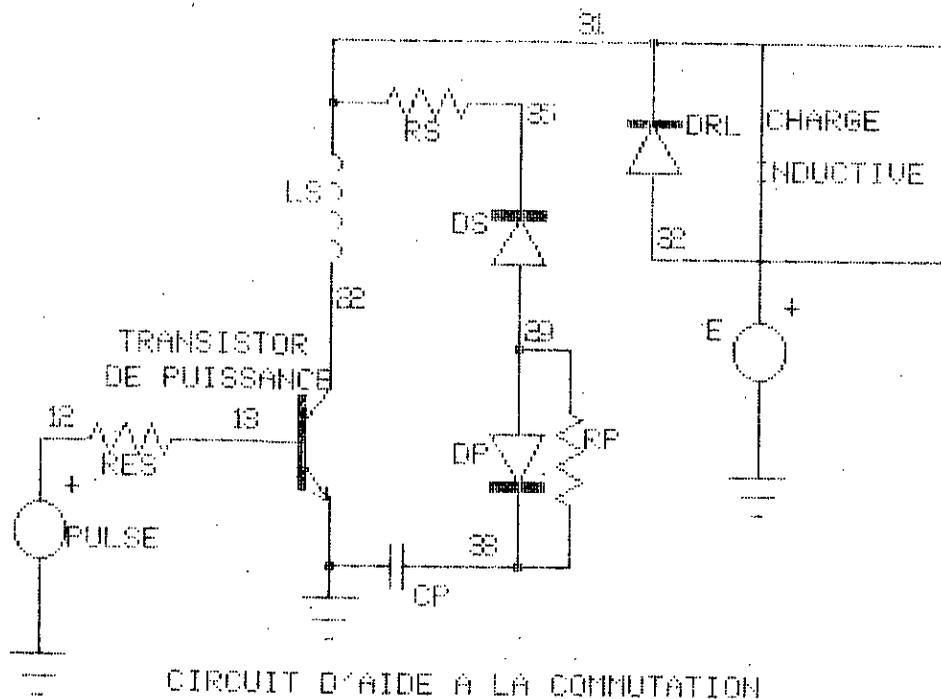


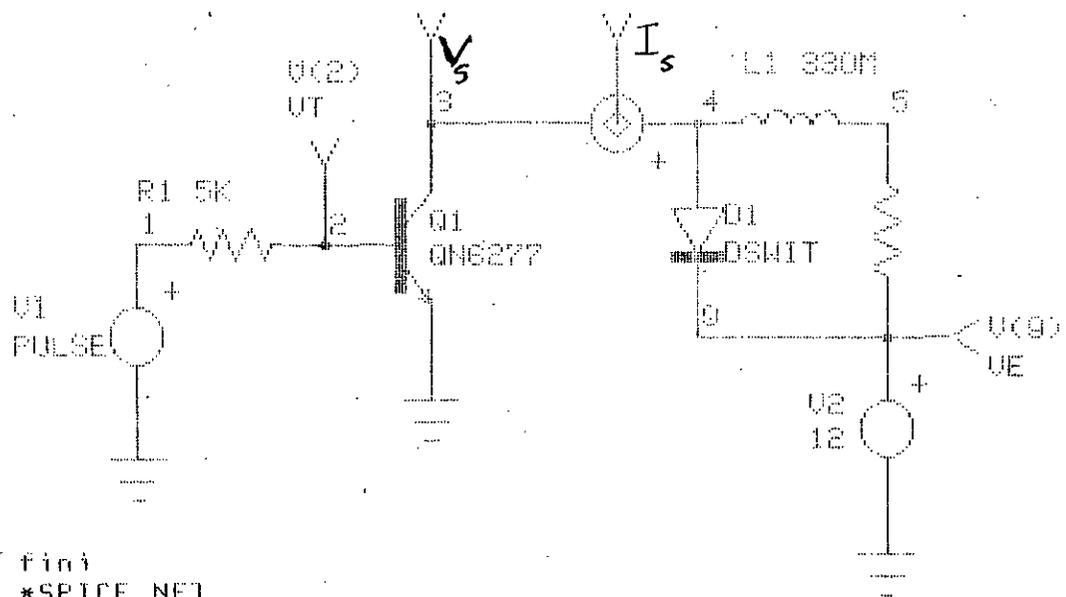
fig 9 : circuit d'aide à la commutation [5]

II/ LA SIMULATION

1/ LA COMMUTATION

Avant d'entamer les spécifications de l'hacheur il faut tout d'abord spécifier les caractéristiques du transistor de commutation utilisé.

Afin de répondre aux exigences ci-dessus on a choisi le transistor (QN 6277)



```
fini
*SPICE_NET
.MODEL DSWIT D(RS=.01 BV=100 VJ=.5 N=1.7)
.TRAN 1M 20M
*INCLUDE DEVICE.LIB
*ALIAS V(2)=V1
*ALIAS V(3)=V3
*ALIAS V(9)=VE
*ALIAS I(V4)=IS
.PRINT TRAN V(2) V(3) V(9) I(V4)
R1 1 2 5K
Q1 3 2 0 QN6277
D1 4 9 DSWIT
L1 4 5 330M
R2 5 9 10
V2 9 0 12
V4 4 3 DC 0
V1 1 0 PULSE 0 5 0 0 0 1M 4M
.END
```

Fig 10. transistor de commutation

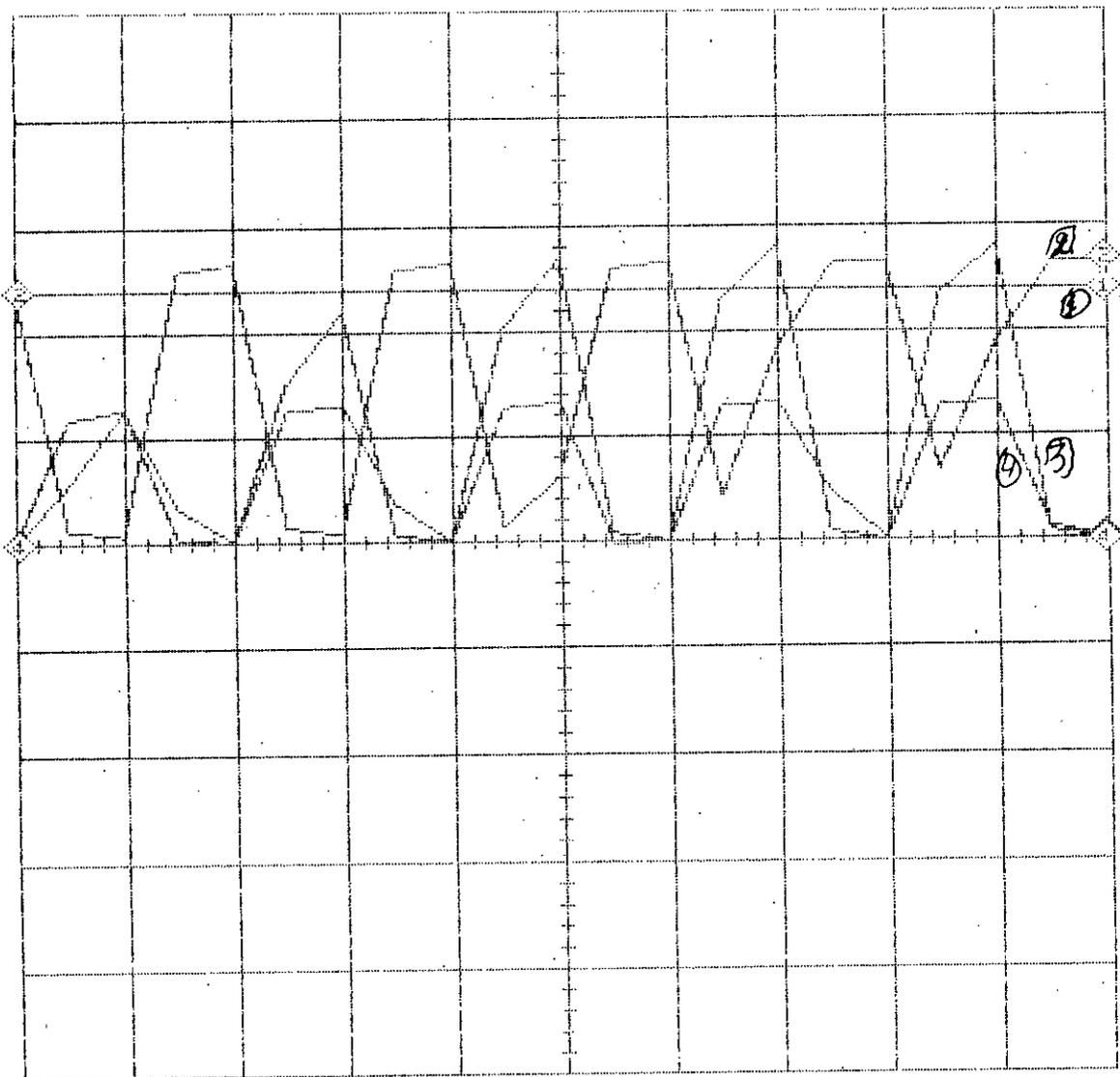


fig 11 : forme de courant et de tension

| CH 1 VE vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|------------------|--------|----------|----------|------------|
| YSCALE 50/DIV | | | | |
| YZERO 1.890V | VER | 12.0 V | 12.0 V | 0.00E0V |
| XSCALE 2MSEC/DIV | | | | |
| XZERO 10.0MSEC | HOR | 233PSEC | 19.9MSEC | 19.9MSEC |
| CH 2 VS vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
| YSCALE 50/DIV | | | | |
| YZERO -298mV | VER | 12.0 V | 13.3 V | 1.33 V |
| XSCALE 2MSEC/DIV | | | | |
| XZERO 10.0MSEC | HOR | 233PSEC | 19.9MSEC | 19.9MSEC |
| CH 3 VT vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
| YSCALE 500mV/DIV | | | | |
| YZERO -22.4mV | VER | -0.00E0V | 3.04mV | 3.04mV |
| XSCALE 2MSEC/DIV | | | | |
| XZERO 10.0MSEC | HOR | 233PSEC | 19.9MSEC | 19.9MSEC |
| CH 4 IS vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
| YSCALE 50mA/DIV | | | | |
| YZERO 931pA | VER | -0.00E0A | -21.7uA | -21.7uA |
| XSCALE 2MSEC/DIV | | | | |
| XZERO 10.0MSEC | HOR | 233PSEC | 19.9MSEC | 19.9MSEC |

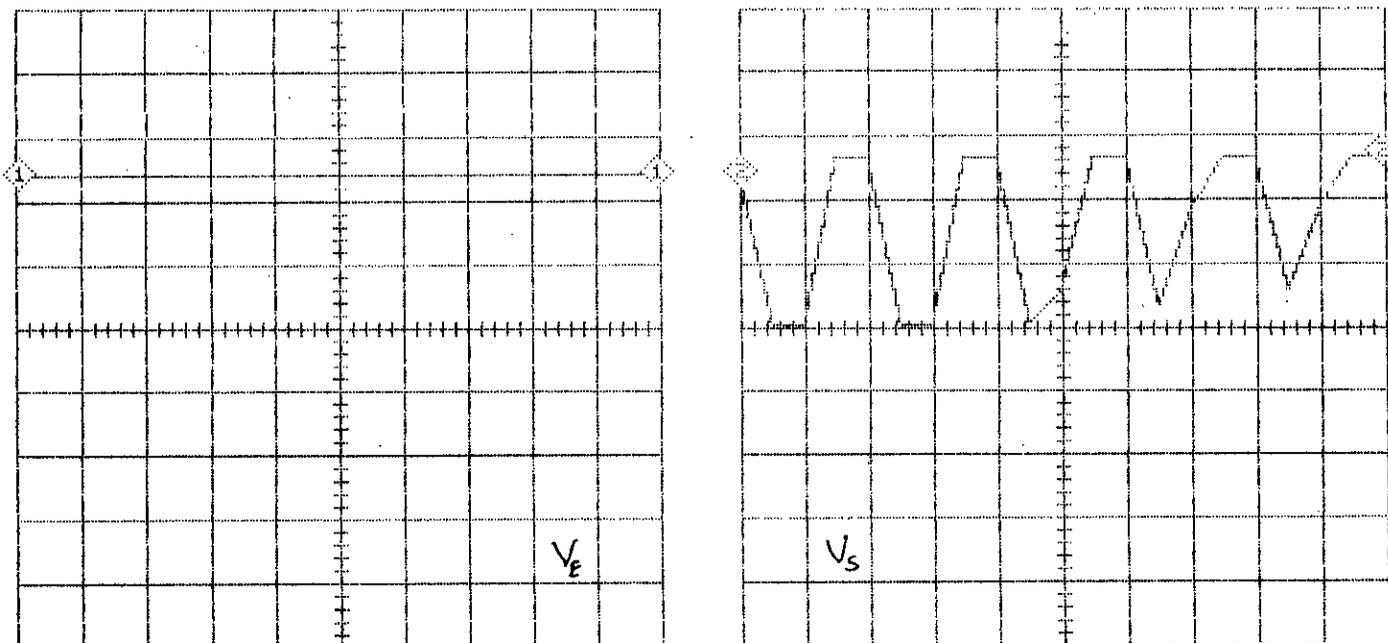


Fig 12a : forme de tension

| CH 1 VE vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|------------------|--------|---------|----------|------------|
| YSCALE 50/DIV | | | | |
| YZERO 1.890V | VER | 12.0 V | 12.0 V | 0.00E0V |
| XSCALE 2MSEC/DIV | | | | |
| XZERO 10.0MSEC | HOR | 233PSEC | 19.9MSEC | 19.9MSEC |

| CH 2 VS vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|------------------|--------|---------|----------|------------|
| YSCALE 50/DIV | | | | |
| YZERO -59.6mV | VER | 12.0 V | 13.3 V | 1.33 V |
| XSCALE 2MSEC/DIV | | | | |
| XZERO 10.0MSEC | HOR | 815PSEC | 19.9MSEC | 19.9MSEC |

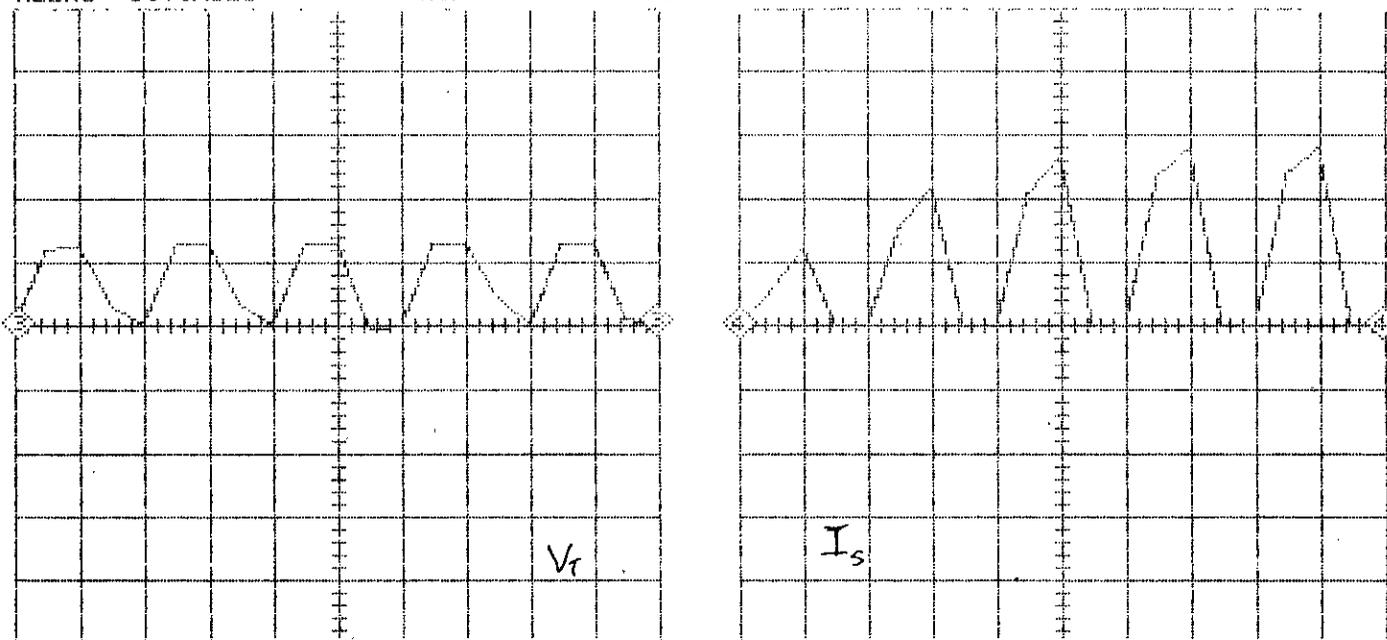


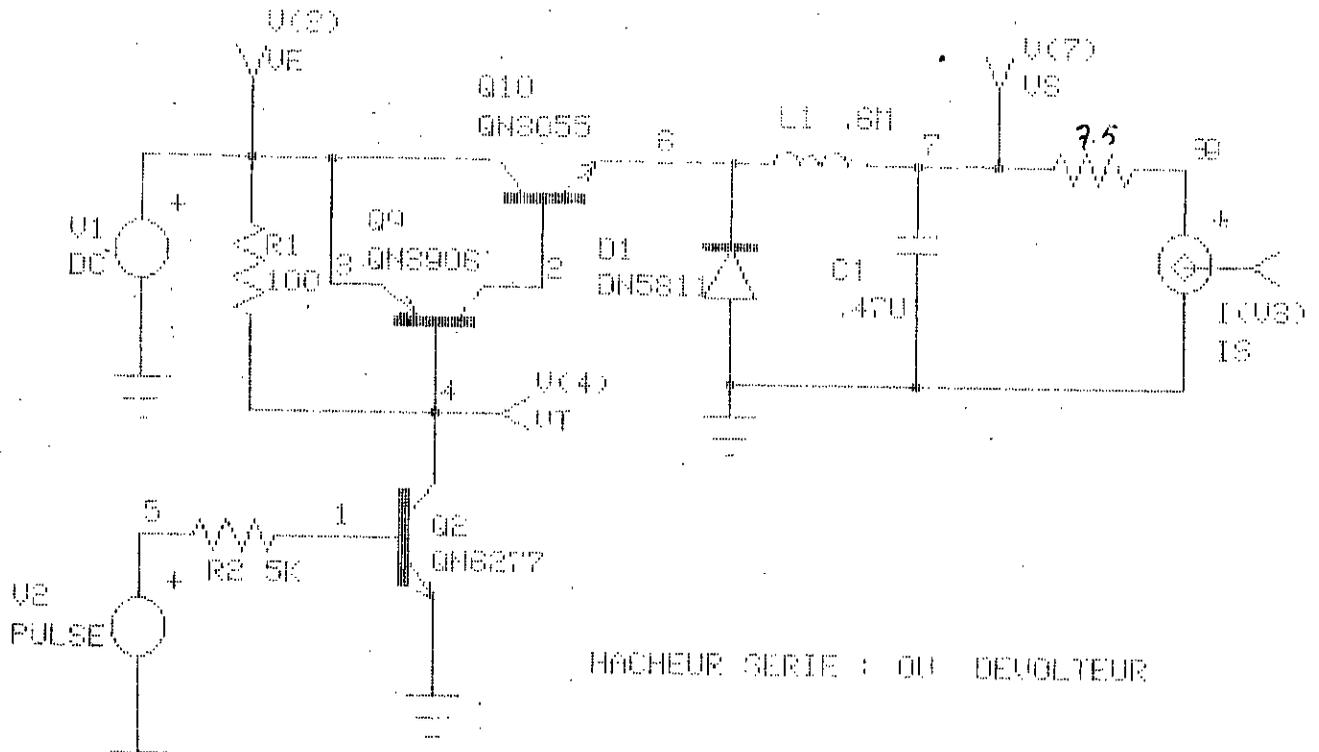
Fig 12b : forme de courant

| CH 3 VT vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|------------------|--------|----------|----------|------------|
| YSCALE 500mV/DIV | | | | |
| YZERO -22.4mV | VER | -0.00E0V | 8.93mV | 8.93mV |
| XSCALE 2MSEC/DIV | | | | |
| XZERO 10.0MSEC | HOR | 233PSEC | 19.9MSEC | 19.9MSEC |

| CH 4 IS vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|------------------|--------|----------|----------|------------|
| YSCALE 50mA/DIV | | | | |
| YZERO -931uA | VER | -0.00E0A | -0.00E0A | 0.00E0A |
| XSCALE 2MSEC/DIV | | | | |
| XZERO 10.0MSEC | HOR | 815PSEC | 19.9MSEC | 19.9MSEC |

2/ SIMULATION DU HACHEUR

Pour la simulation du hacheur on va utiliser le modèle suivant



malik

*SPICE_NET

.TRAN 100U 2M

.MODEL DSWIT D(RS=.01 BV=100 VJ=.5 N=1.7)

*INCLUDE DEVICE.LIB

*ALIAS V(7)=VS

*ALIAS V(3)=VE

*ALIAS V(4)=VT

*ALIAS I(V3)=IS

.PRINT TRAN V(7) V(3) V(4) I(V3)

Q9 2 4 3 QN3906

V1 3 0 DC 16

R1 3 4 100

R2 1 5 5K

V2 5 0 PULSE 0 5 0 0 0 .1U .2U

D1 0 6 DN5811

L1 6 7 .6M

R3 7 39 7.5

C1 7 0 .47U

Q10 3 2 6 QN3055

V3 39 0 DC 0

Q2 4 1 0 QN6277

.END

fig 13 : hacheur serie

On va voir la commutation

```

malik
*SPICE_NET
.TRAN 100U 2M
.MODEL DSWIT D(RS=.01 BV=100 VJ=.5 N=1.7)
*INCLUDE DEVICE.LIB
*ALIAS V(7)=VS
*ALIAS V(3)=VE
*ALIAS V(4)=VT
*ALIAS I(V3)=IS
.PRINT TRAN V(7) V(3) V(4) I(V3)
Q9 2 4 3 QN3906
V1 3 0 DC 16
R1 3 4 100
R2 1 5 5K
V2 5 0 PULSE 0 5 0 0 0 .5M 1M
D1 0 6 DN5811
L1 6 7 .6M
R3 7 39 6
C1 7 0 .47U
Q10 3 2 6 QN3055
V3 39 0 DC 0
Q2 4 1 0 QN6277
.END
    
```

2

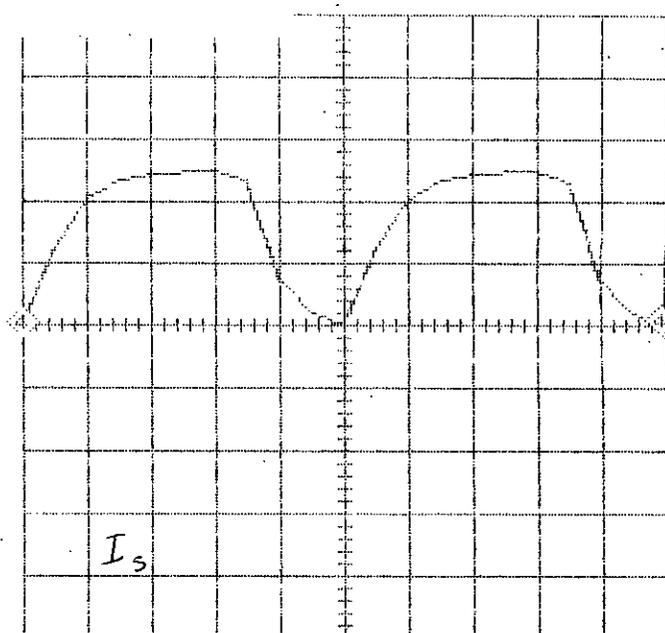
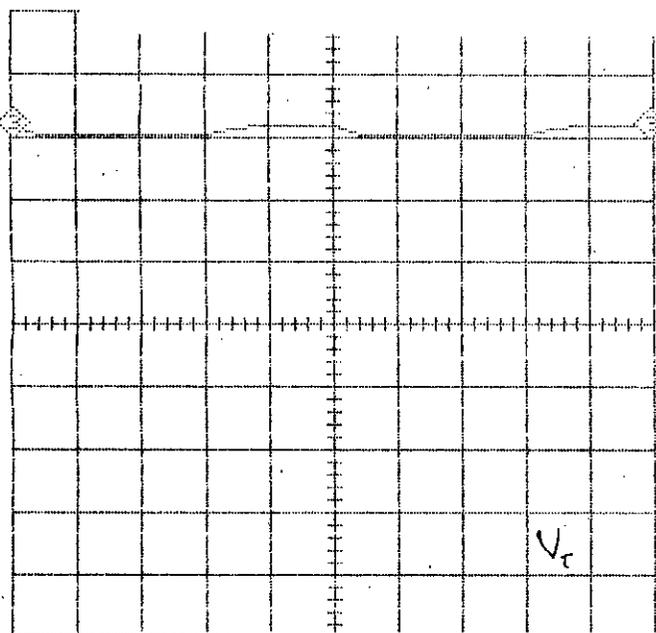
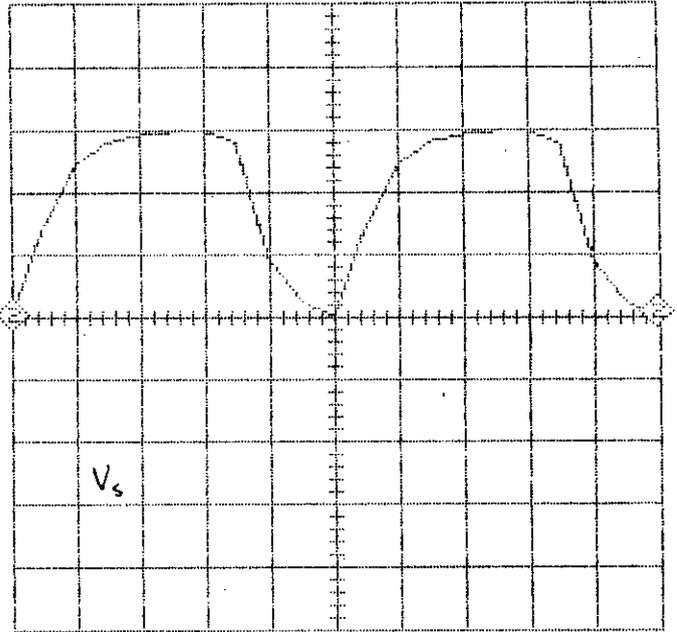
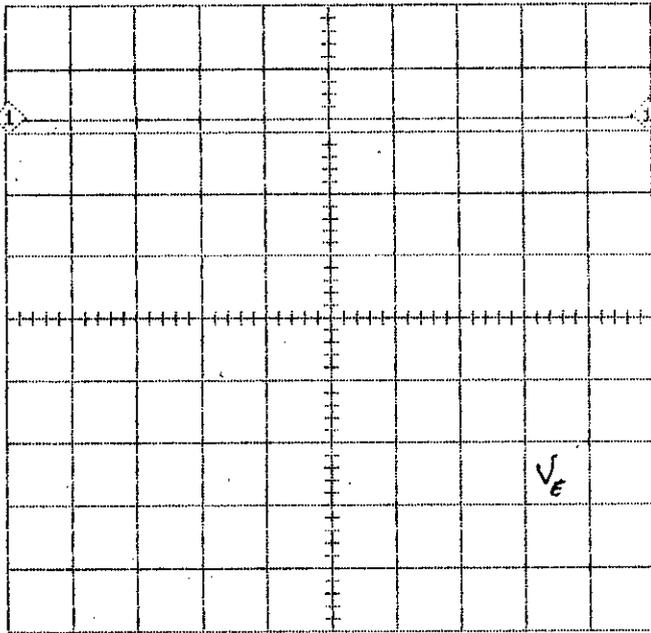


fig 14a : forme de courant

| CH 3 VT vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|--------------------|--------|-----------|----------|------------|
| YSCALE 5V/DIV | | | | |
| YZERO -20.0MV | VER | 16.0 V | 16.0 V | 0.00E0V |
| XSCALE 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO 1.00MSEC | HOR | -43.7PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |
| CH 4 IS vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
| YSCALE 1A/DIV | | | | |
| YZERO -74.5NA | VER | -0.00E0A | 40.2MA | 40.2MA |
| XSCALE 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO 1.00MSEC | HOR | -7.28PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |



| CH 1 V _E vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|-----------------------------|--------|-----------|----------|------------|
| YSCALE 5V/DIV | | | | |
| YZERO 939NV | VER | 16.0 V | 16.0 V | 0.00E0V |
| XSCALE 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO 1.00MSEC | HOR | -43.7PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |

| CH 2 V _s vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|-----------------------------|--------|-----------|----------|------------|
| YSCALE 5V/DIV | | | | |
| YZERO -596NV | VER | -0.00E0V | 201MV | 201MV |
| XSCALE 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO 1.00MSEC | HOR | -7.28PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |

fig 14b : forme de tension

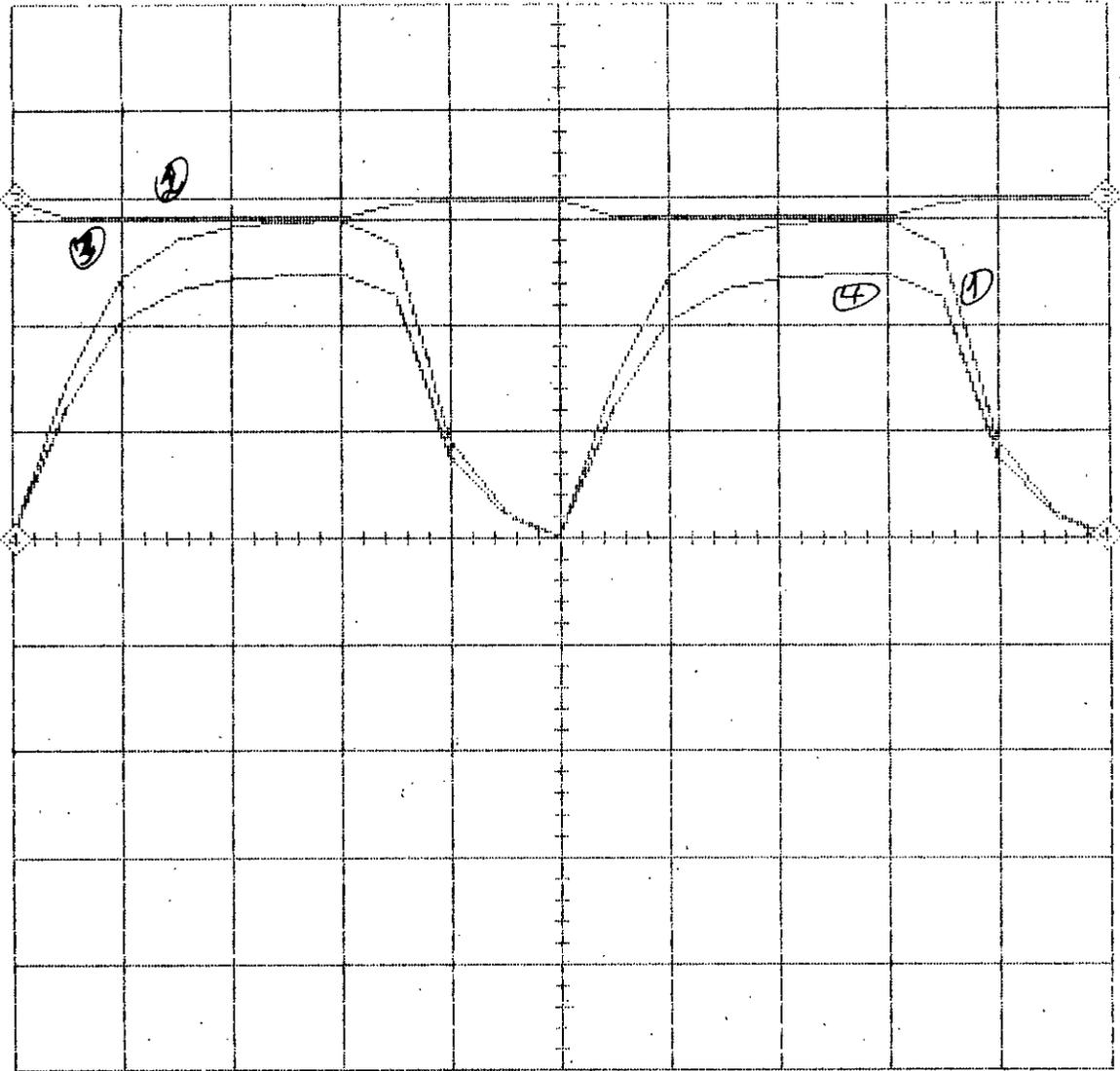


fig 15 - forme de courant et de tension

| CH 1 VS | vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|---------|-------------|--------|-----------|----------|------------|
| YSCALE | 5V/DIV | | | | |
| YZERO | -104NV | VER | -0.00E0V | 148MV | 148MV |
| XSCALE | 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO | 1.00MSEC | HOR | -43.7PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |

| CH 2 VE | vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|---------|-------------|--------|-----------|----------|------------|
| YSCALE | 5V/DIV | | | | |
| YZERO | 2.65UV | VER | 16.0 V | 16.0 V | 0.00E0V |
| XSCALE | 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO | 1.00MSEC | HOR | -43.7PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |

| CH 3 VT | vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|---------|-------------|--------|-----------|----------|------------|
| YSCALE | 5V/DIV | | | | |
| YZERO | 80.0MV | VER | 16.0 V | 16.0 V | 0.00E0V |
| XSCALE | 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO | 1.00MSEC | HOR | -43.7PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |

| CH 4 IS | vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|---------|-------------|--------|-----------|----------|------------|
| YSCALE | 1A/DIV | | | | |
| YZERO | 29.8NA | VER | -0.00E0A | 23.4MA | 23.4MA |
| XSCALE | 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO | 1.00MSEC | HOR | -43.7PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |

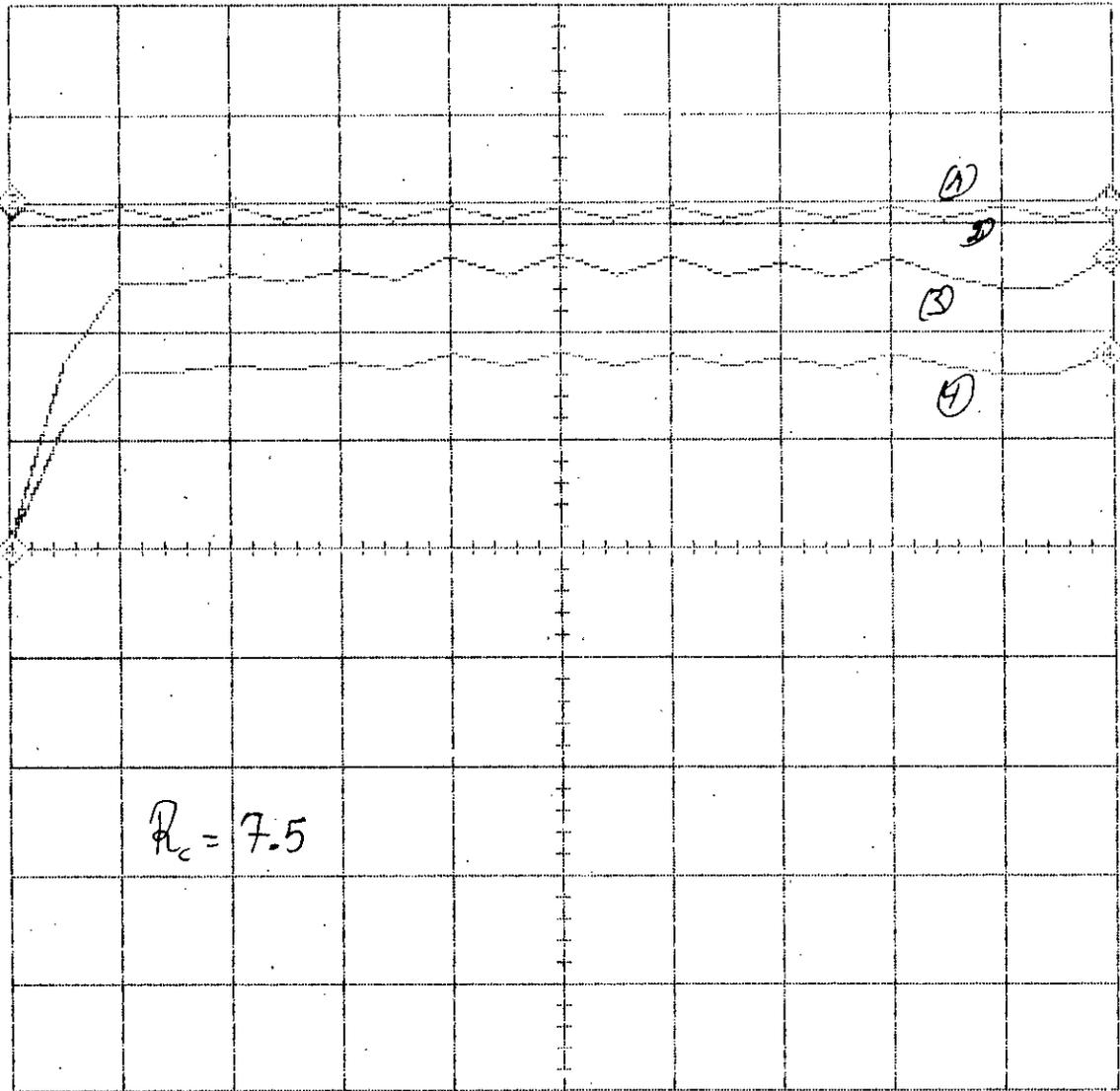


fig 16 - forme de courant et de tension

| CH 1 VE vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|--------------------|--------|-----------|----------|------------|
| YSCALE 5V/DIV | | | | |
| YZERO 939NV | VER | 16.0 V | 16.0 V | 0.00E0V |
| XSCALE 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO 1.00MSEC | HOR | -43.7PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |

| CH 2 VT vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|--------------------|--------|----------|----------|------------|
| YSCALE 5V/DIV | | | | |
| YZERO -20.0MV | VER | 16.0 V | 15.7 V | -252MV |
| XSCALE 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO 1.00MSEC | HOR | 72.8PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |

| CH 3 VS vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|--------------------|--------|-----------|----------|------------|
| YSCALE 5V/DIV | | | | |
| YZERO -298NV | VER | -0.00E0V | 13.4 V | 13.4 V |
| XSCALE 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO 1.00MSEC | HOR | -43.7PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |

| CH 4 IS vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|--------------------|--------|-----------|----------|------------|
| YSCALE 1A/DIV | | | | |
| YZERO 22.4NA | VER | -0.00E0A | 1.79 A | 1.79 A |
| XSCALE 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO 1.00MSEC | HOR | -43.7PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |

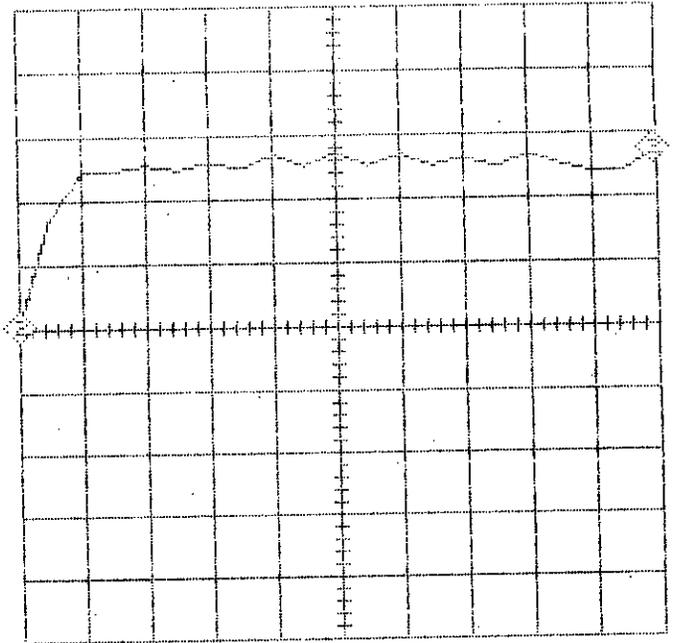
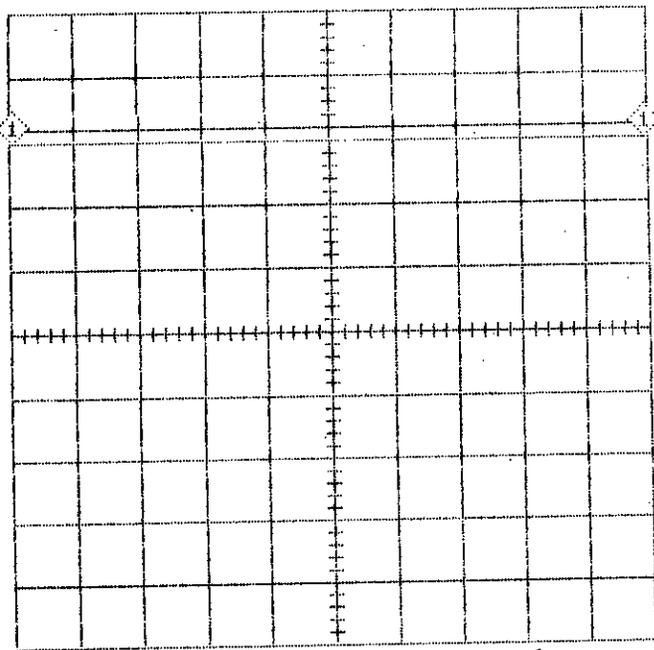


fig 17a - forme de tension

| CH 1 VE vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|--------------------|--------|-----------|----------|------------|
| YSCALE 5V/DIV | | | | |
| YZERO 939NV | VER | 16.0 V | 16.0 V | 0.00E0V |
| XSCALE 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO 1.00MSEC | HOR | -43.7PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |

| CH 2 VS vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|--------------------|--------|----------|--------|------------|
| YSCALE 5V/DIV | | | | |
| YZERO -298NV | VER | -0.00E0V | 13.3 V | 13.3 V |
| XSCALE 200USEC/DIV | | | | |

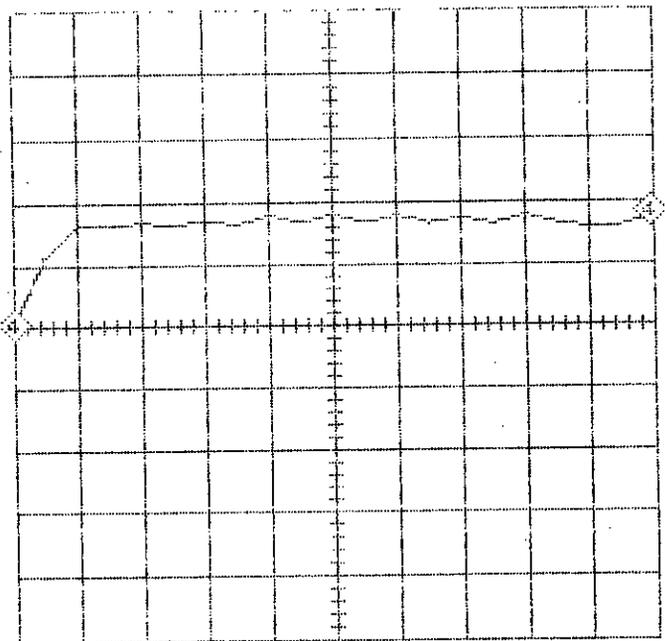
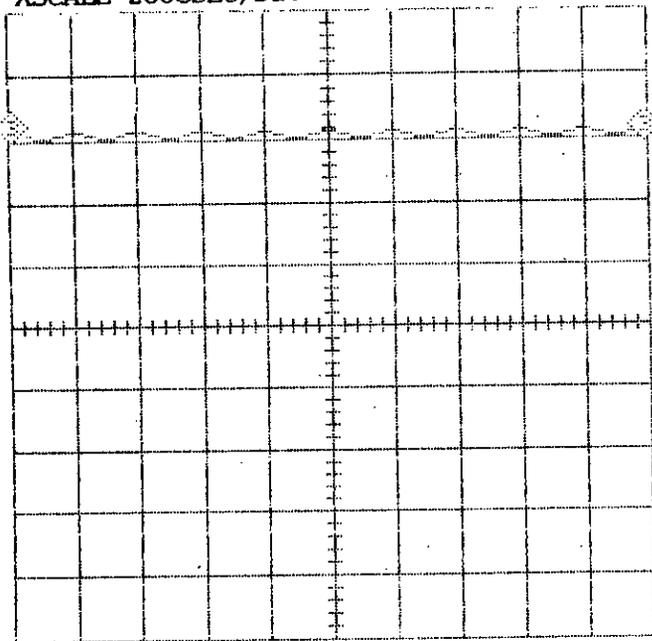


fig 17b - forme de courant

| CH 3 VI vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|--------------------|--------|-----------|----------|------------|
| YSCALE 5V/DIV | | | | |
| YZERO -25.2UV | VER | 16.0 V | 15.7 V | -324MV |
| XSCALE 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO 1.00MSEC | HOR | -43.7PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |

| CH 4 IS vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|--------------------|--------|-----------|----------|------------|
| YSCALE 1A/DIV | | | | |
| YZERO -59.6NA | VER | -0.00E0A | 1.77 A | 1.77 A |
| XSCALE 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO 1.00MSEC | HOR | -7.28PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |

Pour une charge

$$R_c = 6 \Omega$$

```

malik
*SPICE_NET
.TRAN 100U 2M
.MODEL DSWIT D(RS=.01 BV=100 VJ=.5 N=1.7)
*INCLUDE DEVICE.LIB
*ALIAS V(7)=VS
*ALIAS V(3)=VE
*ALIAS V(4)=VT
*ALIAS I(V3)=IS
.PRINT TRAN V(7) V(3) V(4) I(V3)
Q9 2 4 3 QN3906
V1 3 0 DC 16
R1 3 4 100
R2 1 5 5K
V2 5 0 PULSE 0 5 0 0 0 .1U .2U
D1 0 6 DN5811
L1 6 7 .6M
R3 7 39 6
C1 7 0 .47U
Q10 3 2 6 QN3055
V3 39 0 DC 0
Q2 4 1 0 QN6277
.END
    
```

SPICE ANALYSIS OF malik.OUT on 6-23-94 page 2

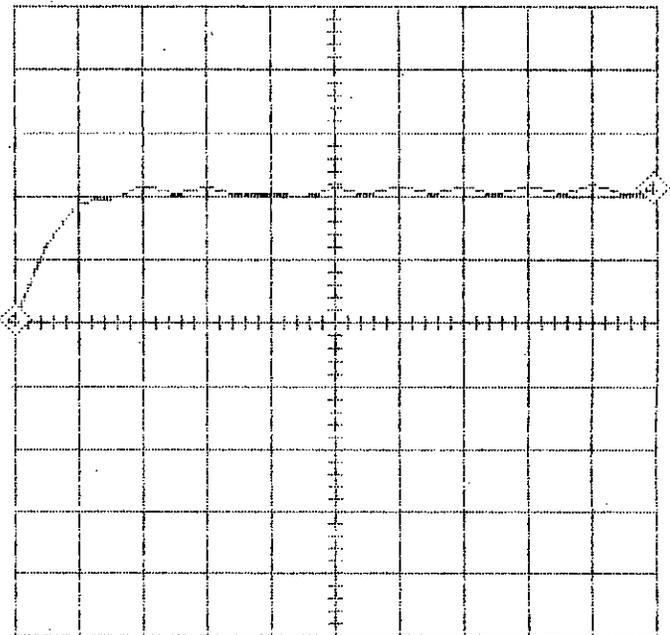
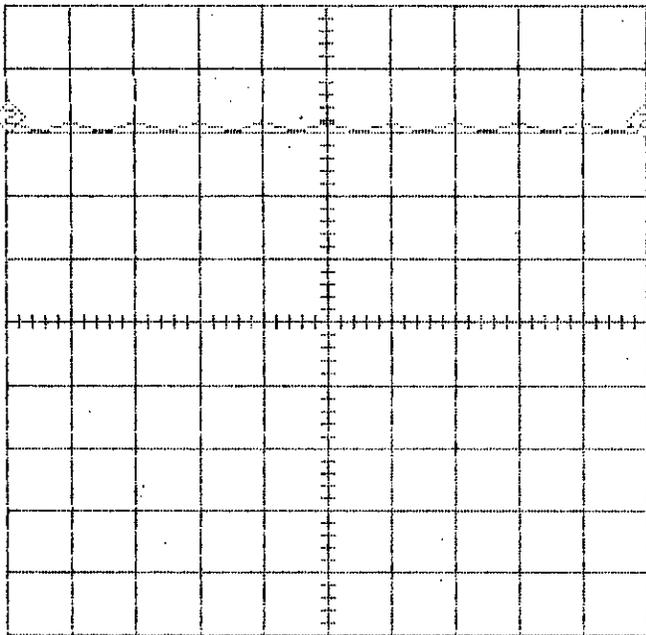
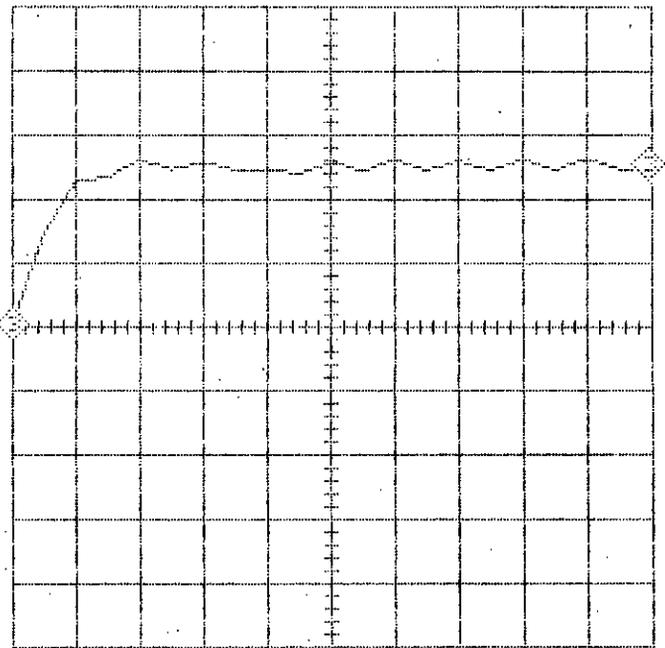
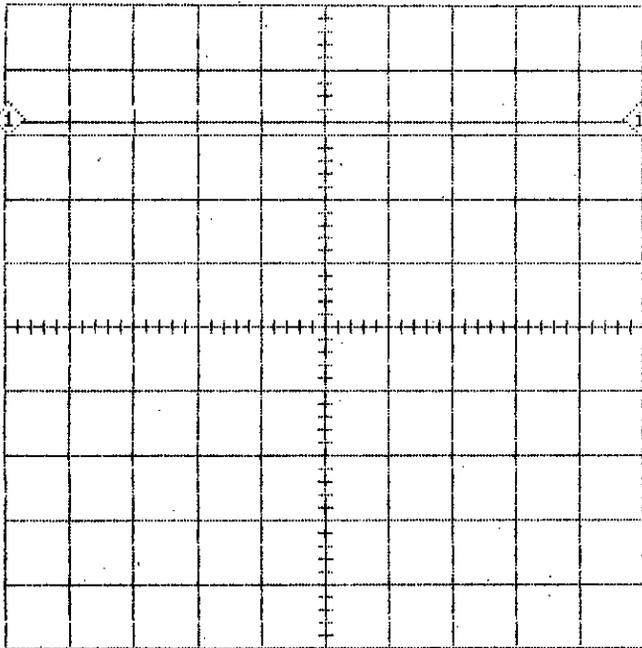


fig 18 a: forme de courant

| CH 3 VS vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|--------------------|--------|-----------|----------|------------|
| YSCALE 5V/DIV | | | | |
| YZERO 0.00E0V | VER | -0.00E0V | 12.5 V | 12.5 V |
| XSCALE 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO 1.00MSEC | HOR | -7.28PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |
| CH 4 IS vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
| YSCALE 1A/DIV | | | | |
| YZERO -104NA | VER | -0.00E0A | 2.08 A | 2.08 A |
| XSCALE 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO 1.00MSEC | HOR | -7.28PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |



| CH 1 VE vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|--------------------|--------|-----------|----------|------------|
| YSCALE 5V/DIV | | | | |
| YZERO 939NV | VER | 16.0 V | 16.0 V | 0.00E0V |
| XSCALE 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO 1.00MSEC | HOR | -43.7PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |

| CH 2 VT vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|--------------------|--------|-----------|----------|------------|
| YSCALE 5V/DIV | | | | |
| YZERO 2.79UV | VER | 16.0 V | 15.8 V | -246MV |
| XSCALE 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO 1.00MSEC | HOR | -43.7PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |

fig 1B b : forme de tension

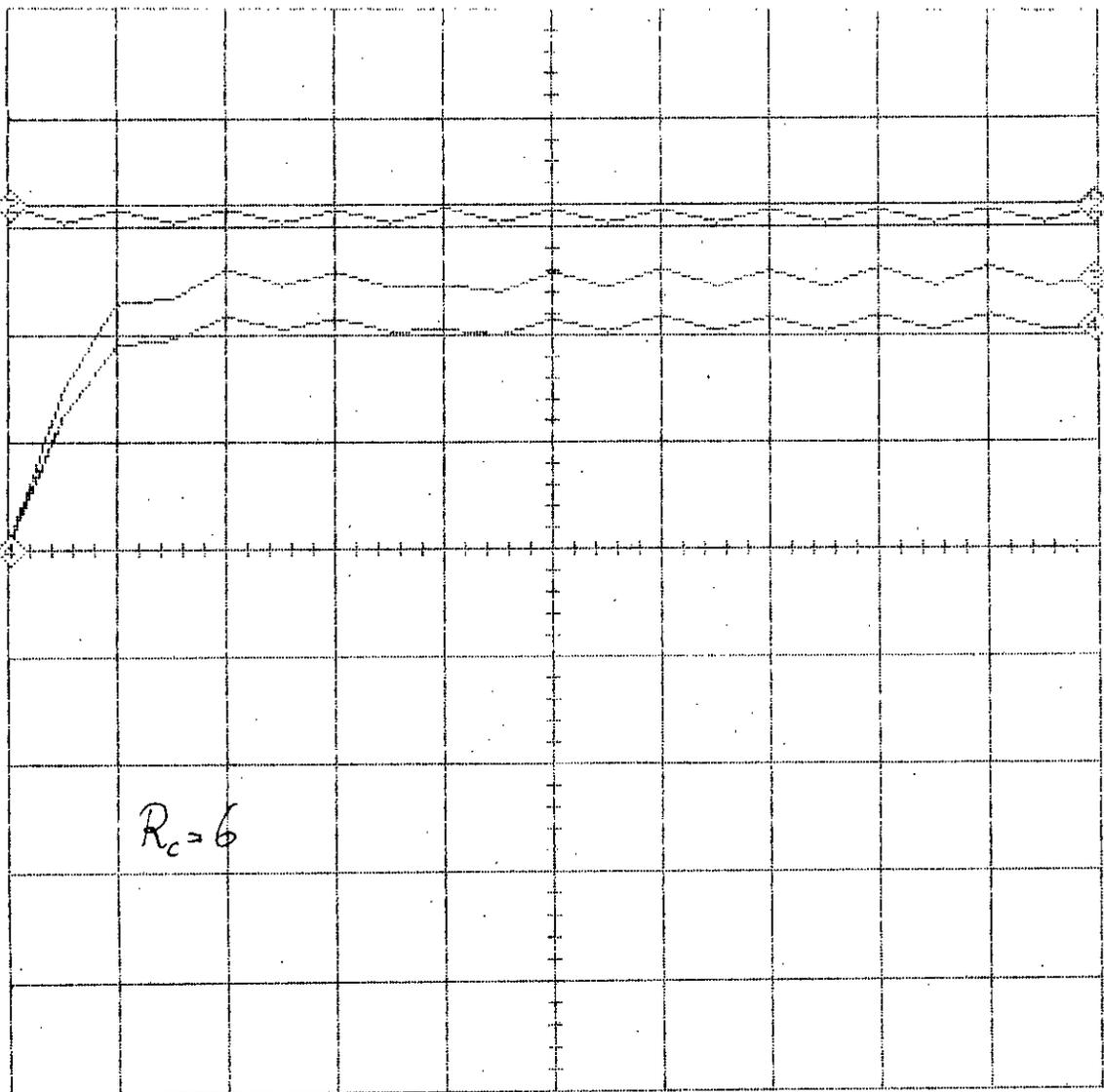


fig 19 : forme de courant et de tension

| CH 1 VE vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
|--------------------|--------|-----------|----------|------------|
| YSCALE 5V/DIV | | | | |
| YZERO 1.88UV | VER | 16.0 V | 16.0 V | 0.00E0V |
| XSCALE 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO 1.00MSEC | HOR | -43.7PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |
| CH 2 VT vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
| YSCALE 5V/DIV | | | | |
| YZERO 883NV | VER | 16.0 V | 15.8 V | -213MV |
| XSCALE 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO 1.00MSEC | HOR | -43.7PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |
| CH 3 VS vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
| YSCALE 5V/DIV | | | | |
| YZERO -417NV | VER | -0.00E0V | 12.5 V | 12.5 V |
| XSCALE 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO 1.00MSEC | HOR | -43.7PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |
| CH 4 IS vs TIME | CURSOR | LEFT | RIGHT | DIFFERENCE |
| YSCALE 1A/DIV | | | | |
| YZERO -104NA | VER | -0.00E0A | 2.08 A | 2.08 A |
| XSCALE 200USEC/DIV | | | | |
| XZERO 1.00MSEC | HOR | -43.7PSEC | 1.99MSEC | 1.99MSEC |

C O N C L U S I O N

En conclusion, nous avons fait la simulation des panneaux solaires, dont nous avons choisi six modèles de type (MSP** .BPX**)

Les résultats que nous avons obtenu sont très proches aux résultats donnés par le constructeur, sauf une petite différence au niveau de la puissance qui est dû surtout aux capacités limités du logiciel dans le calcul de quelque paramètres.

Ces panneaux nous ont donné des puissances importantes à des tensions continues de quelque dizaines de volts.

Enfin nous avons alimenté un hacheur qui nous donne à la sortie une tension réglable dépendant de son type, selon qu'il est dévolteur ou survolteur.

L'obtention de cette tension a plusieurs applications telque:

l'alimentation le ~~moteur~~ à courant continu.
ion du moteur

telles que

Nous avons trouvé des ~~bonnes~~ résultats concordant avec les valeurs de la pratique.

Bibliographie

B I B L I O G R A P H I E

- [11] : Michel AVEROUS "physique des semiconducteurs pour la
conversion photovoltaïque".
IV^{ème} séminaire sur l'énergie solaire 1984
- [12] : Said DIAF "application de la conversion photovoltaïque
au pompage d'eau".
Thèse -post graduation- " C D E R " Bouzareah
- [13] : Gerard MOINE "l'Electricité solaire photovoltaïque"
Ecole d'Eté 'UNESCO'
- [14] : F.C.Treble "performance test procédures for solar
cells and modules"
III^{ème} séminaire sur l'énergie solairee
Italy 6-17 sept 1984
- [15] : Manuel de SPICE
- [16] : G.Segier "Electronique de puissance"
- [17] : M Haddadi "les cellules solaires"
cours P.6
- [18] : Marg Orgert "les piles solaires" PARIS 1985
- [19] : Solar Cells " V 10 .. V 25 " revue mensuelle.
- [10] : Energy conversion " V 17 " revue mensuelle.