

ROYAUME DU MAROC
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE, DE
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR, DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET DE LA FORMATION DES CADRES
ACADEMIE REGIONALE DE L'EDUCATION ET DE FORMATION
REGION DU GRAND CASABLANCA
DELEGATION FIDA - MERS SULTANE

LYCEE AL KHAOUARIZMY

Examen de Sortie

Session Mai 2009

Brevet de Technicien Supérieur

Section : Electrotechnique

Epreuve de l'Electronique de puissance

Coefficient : 12

Durée : 3 heures

AVERTISSEMENTS

- *Aucun document n'est autorisé.*
- *La lecture de l'ensemble du sujet est vivement conseillée avant la rédaction des réponses.*
- *Inscrire le numéro de la question avant la rédaction de la réponse correspondante et encadrer le résultat final.*
- *Les parties A et B sont indépendantes*

Documents constituant le sujet :

- *texte sujet : 13 pages*

Documents à rendre avec la copie : 2 Documents réponse 1 et 2

Etude d'une microcentrale photo-solaire d'appoint

CONTEXTE : MINI-CENTRALE SOLAIRE RACCORDEE AU RESEAU

Un ancien petit château est situé en moyenne montagne. Il est relié au village le plus proche par une ancienne ligne triphasée 400 V, longue (4 km) et de faible puissance de court-circuit, compte tenu des besoins modestes initiaux (éclairage essentiellement).

Récemment, le château a été revendu à un comité d'entreprise qui l'a transformé en centre de loisir utilisé essentiellement durant les mois de juillet et d'août et durant les périodes de vacances.

Cependant, le centre rénové et modernisé pour accueillir davantage de touristes voit sa consommation d'électricité s'accroître sensiblement durant l'été, causant des chutes de tension, le papillotement de l'éclairage et l'usure prématurée des équipements électriques et électroniques.

Une étude économique tenant compte de la topologie des lieux (relief important) et de l'impact visuel a conclu à l'intérêt de conserver la ligne en l'état mais de la renforcer par une microcentrale photovoltaïque en extrémité de ligne, côté château. Celle-ci fournit le surcroît de consommation durant les mois d'utilisation du centre. Hors période de forte consommation, sa production est revendue à l'ONE pour amortir le coût d'installation.

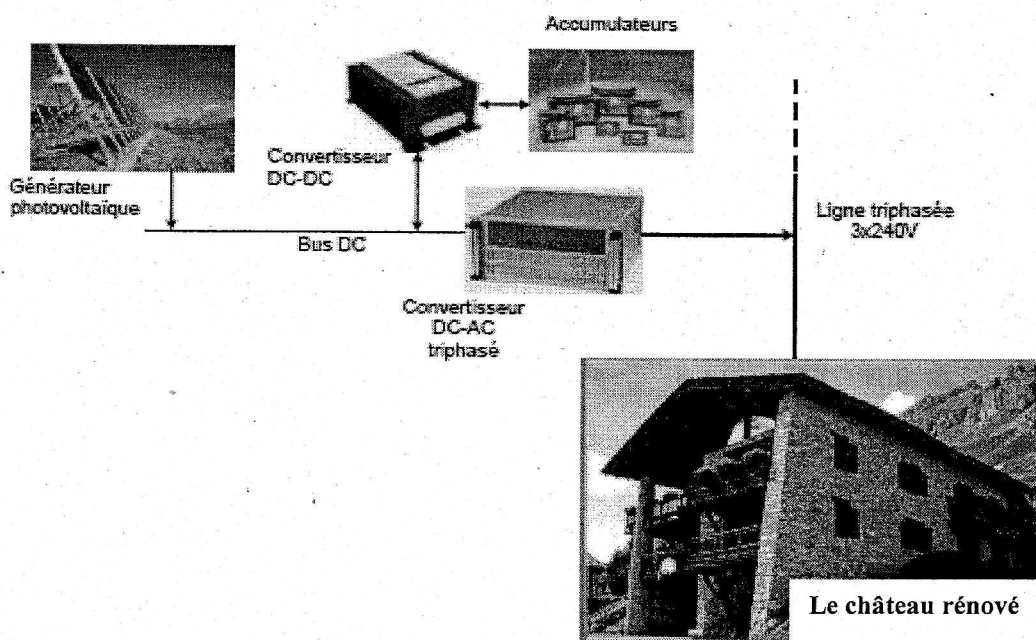


Figure 1 : Organisation de la micro-centrale photo-solaire

La structure du dispositif est représentée à la figure 1, le générateur photovoltaïque est constitué de panneaux en silicium poly cristallin qui alimentent un bus continu (bus DC) sur lequel est connecté un convertisseur DC/AC qui transfère l'énergie produite vers la ligne, un convertisseur DC-DC permet d'assurer la gestion du stockage de l'énergie.

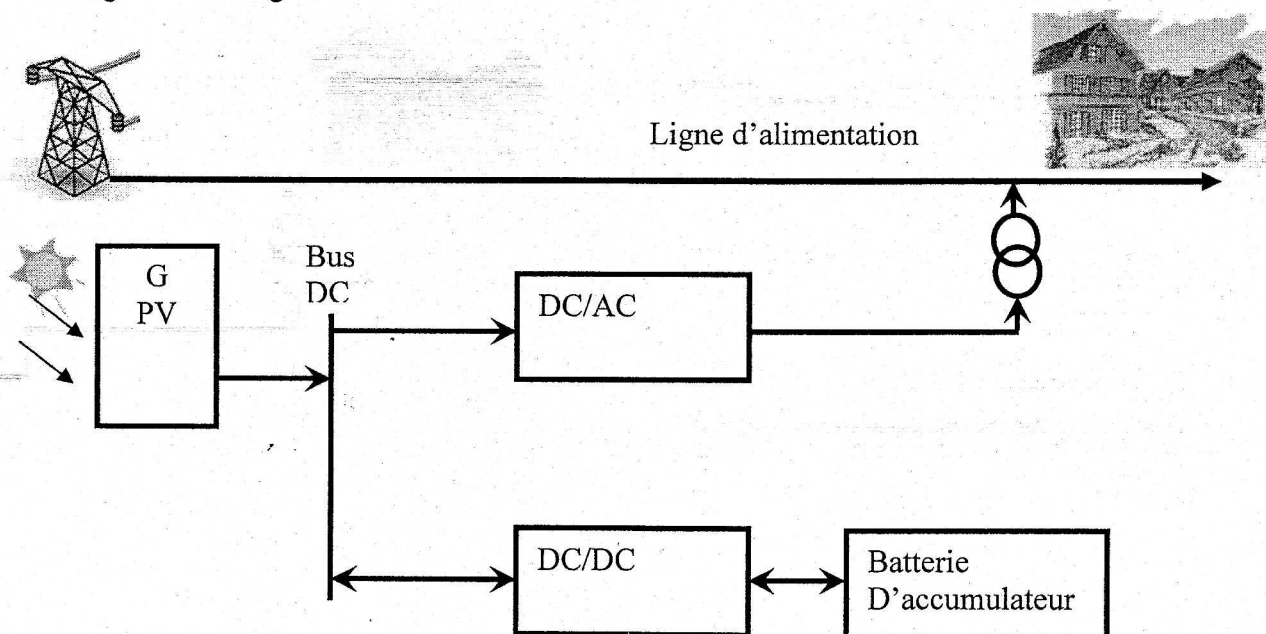


Figure 2 : Synoptique de la micro-centrale solaire associée à la ligne

Le schéma ci-dessus de la figure 2 montre comment s'opèrent les flux d'énergie dans le dispositif : le générateur photovoltaïque transfère l'énergie électrique directement à la ligne via l'onduleur et un transformateur, une partie est stockée dans la batterie via un convertisseur DC/DC puis restituée au bus DC selon les besoins. Dans cette solution, pour améliorer le bilan économique tout en restant dans les capacités d'alimentation de la ligne triphasée, on choisit un générateur photovoltaïque constitué par **88 panneaux** dont la documentation technique est donnée en annexe. Ils sont associés en **8 voies** parallèles de **11 panneaux** en série. On considérera que la température pourra fluctuer de 25 à 60°C. Un dispositif de supervision déconnecte le générateur lorsque la tension élémentaire de panneau chute sous **12V**. Ainsi un panneau peut délivrer, en fonction de l'ensoleillement et de l'ombrage, une tension comprise entre **12 et 18.8 Volts** et une puissance maximale $P_{PVMAX} = 85W$.

Ce sujet est donc consacré à l'étude des convertisseurs statiques utilisés dans cette centrale photovoltaïque à travers deux parties :

- La première partie est dédiée à l'étude du générateur photovoltaïque associé au convertisseur DC-AC lors du fonctionnement au fil du soleil, c'est-à-dire hors des périodes d'usage touristiques : le dispositif de stockage n'est pas utilisé, la production de la micro-centrale est donc directement fournie au réseau électrique.
- La deuxième partie concerne l'étude du convertisseur DC-DC permettant la gestion du stockage de l'énergie produite.

A. Etude du convertisseur DC/AC

1°. Etude de la tension V_{DC} à la sortie des panneaux.

A.1.1. Calculer la valeur minimale V_{DCMIN} et maximale de la tension V_{DCMax} délivrée au bus DC par le générateur photovoltaïque (l'ensemble des panneaux).

A.1.2. Calculer la puissance maximale que peut délivrer ce générateur.

2°. Etude de l'onduleur triphasé avec la commande pleine onde.

On considère maintenant l'onduleur triphasé de la figure. 3 alimentant un transformateur dont le secondaire est connecté à une charge triphasée représenté par 3 sources de courants supposés sinusoïdaux formant un système direct équilibré :

- $i_1(t) + i_2(t) + i_3(t) = 0$ avec $i(t) = I \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t - \rho)$
- $V_1 + V_2 + V_3 = 0$

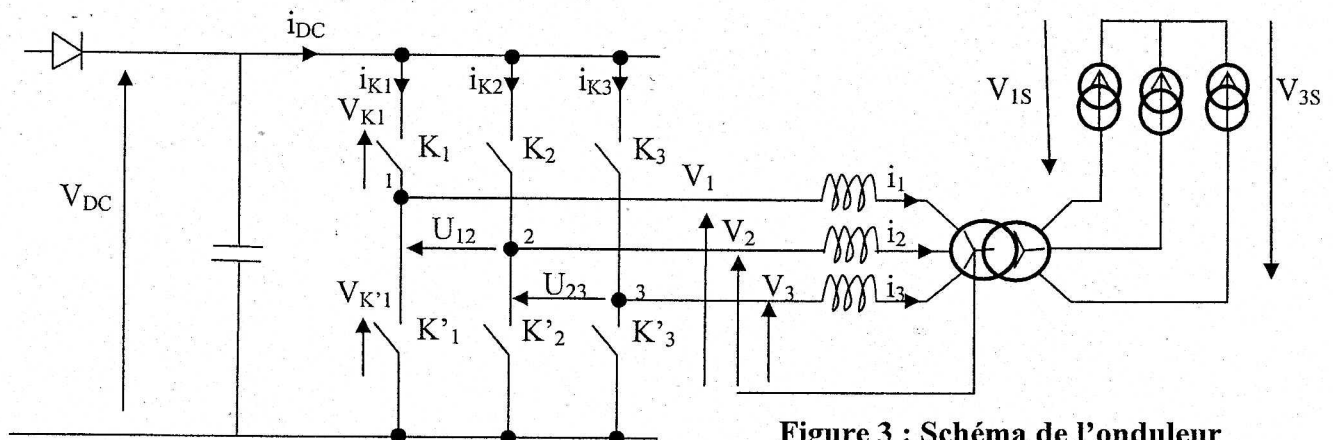


Figure 3 : Schéma de l'onduleur

A.2.1. Sur le **Document réponse 1**, proposer une séquence temporelle de commande des interrupteurs de cet onduleur pour obtenir des tensions dont les fondamentaux forment un système triphasé équilibré de séquence direct.

A.2.2. Tracer les formes d'ondes des tensions U_{12} , U_{31} et U_{23} sur le **document réponse 1**.

A.2.3. Exprimer U_{12} , U_{31} et U_{23} en fonction de V_1 , V_2 et V_3 .

A.2.4. Exprimer V_1 , V_2 et V_3 en fonction de U_{12} , U_{31} et U_{23} .

A.2.5. Sur le **document réponse 1**, tracer les formes d'onde de la tension simple V_1 et de la tension V_{K1} du courant i_{K1} dans l'interrupteur K_1 .

A.2.6. Donner, en fonction de V_{DC} la décomposition en série de Fourier les ondes de tensions U_{12} et V_1 .

A.2.7. En déduire U_{1eff} et V_{1eff} : valeurs efficaces des fondamentaux.

A.2.8. Calculer $V_{1eff min}$ et $V_{1eff max}$ pour V_{DC} comprise entre V_{DCmin} et V_{DCmax} .

A.2.9. Peut-on régler V_{1eff} à une valeur fixe lorsque V_{DC} varie entre V_{DCmin} et V_{DCmax} ?

A.2.10. Placer les trois sinusoïdes représentant les fondamentaux des courants i_1 , i_2 et i_3 sur le **document réponse 1** pour un angle $\varphi = 30^\circ$.

A.2.11. Tracer la forme d'onde $i_{DC}(t)$ et du courant $i_{K1}(t)$ dans l'interrupteur K_1 sur le **document réponse 1**.

A.2.12. Exprimer la valeur moyenne I_{DCMOY} en fonction de I et φ .

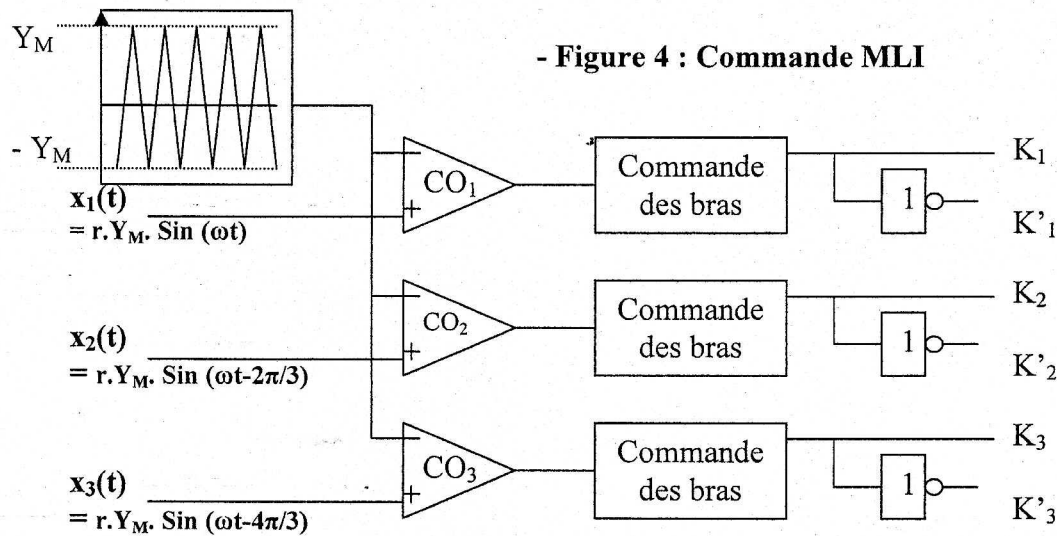
A.2.13. Donner la caractéristique courant-tension $i_{K1} = f(V_{K1})$. Proposer une solution technologique pour réaliser les interrupteurs.

3°. Etude de l'onduleur triphasé avec la commande MLI.

Pour limiter la valeur des courants harmoniques dans le transformateur et pour pouvoir régler la tension V_{1EFF} à une valeur fixe, on utilise une commande MLI : Le principe du circuit de commande de cet onduleur est basé sur la comparaison de sinusoïdes de références ($x_1(t)$, $x_2(t)$ et $x_3(t)$) à un signal triangulaire $y(t)$ de fréquence élevée (f_{MLI}). Le schéma synoptique de la figure 4 explique ce principe.

Les comparateurs CO_1 , CO_2 et CO_3 sont dotés de sorties logiques dont les niveaux sont compatibles avec les inverseurs et les entrées du circuit de commandes

rapprochée. Le coefficient de réglage en tension (r), défini par $r = X_M / Y_M$ est obligatoirement inférieur ou égal à 1.



On admet que, lorsque la fréquence de découpage (f_{MLI}) est grande par rapport à la fréquence des sinusoïdes de références, les valeurs instantanées des composantes basses fréquences des tensions simples fournies par l'onduleur suivent les signaux de références. Les fondamentaux des tensions simples peuvent donc être décrits par les expressions suivantes:

- $V_{1f}(t) = (x_1(t) / Y_M) * (V_{DC} / 2)$.
- $V_{2f}(t) = (x_2(t) / Y_M) * (V_{DC} / 2)$.
- $V_{3f}(t) = (x_3(t) / Y_M) * (V_{DC} / 2)$.

On note V_{1EFF} est la valeur efficace du fondamental de la tension $v_1(t)$.

A.3.1. Donner l'expression de V_{1EFF} en fonction de r et V_{DC} .

La tension V_{DC} délivrée par le générateur photovoltaïque varie entre $V_{DCMIN} = 132 \text{ V}$ et $V_{DCMAX} = 207 \text{ V}$.

A.3.2. Calculer la plage de variation de r de manière à avoir :

$$r * V_{DC} = V_{DCMIN} = 132 \text{ V}$$

Quelque soit l'ensoleillement et donc quelque soit V_{DC} entre **132 et 207 V**.

A.3.3. Calculer la valeur numérique de V_{1EFF} .

On considère maintenant le cas où l'onduleur et le transformateur sont connectés à la ligne **240V/400V**.

A.3.4. Donner la condition que doit vérifier le rapport de transformation m pour pouvoir assurer la connexion. Les signaux de commandes $x_1(t)$, $x_2(t)$ et $x_3(t)$ sont respectivement en phase avec les tensions de la ligne $V_{1L}(t)$, $V_{2L}(t)$ et $V_{3L}(t)$.

A.3.5. Calculer alors la valeur numérique de m .

B. Etude du convertisseur DC/DC

Cette partie s'intéresse au convertisseur **DC-DC** chargé de la gestion du stockage et de la mise à disposition de l'énergie stockée dans la batterie. Il est commandé à fréquence de découpage fixe et à rapport cyclique variable. On rappelle que :

$$132 \text{ V} < V_{DC} < 207 \text{ V}$$

$$V_{bat} = 96 \text{ V}$$

La puissance maximale de **7 500 W** est transmise pour $V_{DC}=190 \text{ V}$

On note :

$\langle X \rangle$: valeur moyenne d'une grandeur,

$x(t)$: valeur instantanée (domaine temporel),

x_m , valeur instantanée maximale,

i_s : courant instantané de sortie de la structure DC-DC,

α : rapport cyclique de commande d'un interrupteur

T_d , F_d : respectivement période et fréquence de découpage,

Structure simple

La structure de base du convertisseur est représentée à la figure 5.

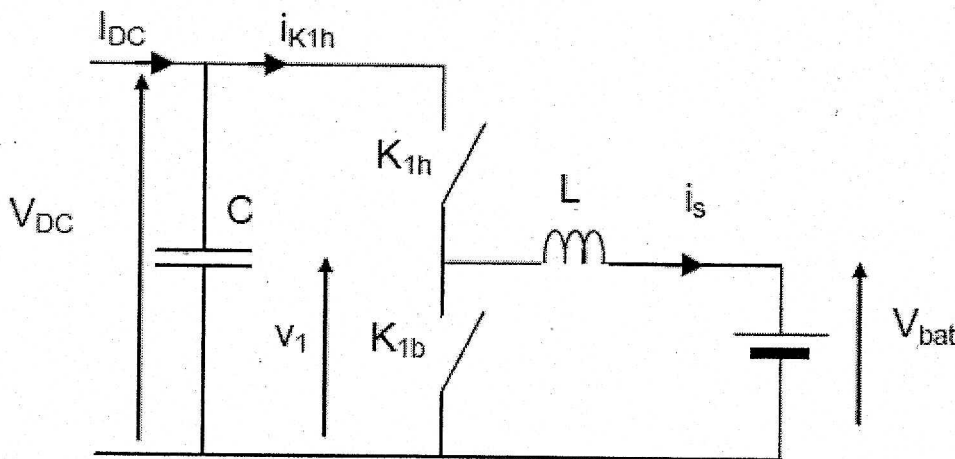


Figure 5 : structure de base du convertisseur DC-DC

B.1. Compte tenu des modes de gestion de l'énergie que doit assurer ce convertisseur, préciser la nature des interrupteurs, leurs segments de fonctionnement statique et leur mode de commande. Proposer en le justifiant un choix technologique de ces composants, indiquer les critères de choix de leur calibre.

B.2. Rappeler les relations entre V_{DC} , $\langle V_{bat} \rangle$, $\langle I_{DC} \rangle$ et $\langle I_s \rangle$ en fonction de α_{1h} .

Donner l'expression de l'ondulation de courant Δi_s dans l'inductance en fonction de L , F_d , V_{DC} et α_{1h} . Donner l'expression de sa valeur maximale Δi_{sM} .

Structure entrelacée

Pour optimiser le volume de cette structure, on la modifie comme représenté à la figure 6, cette opération est appelée « entrelacement » de structures.

On rappelle que $F_{K1h}(t)$: fonction de connexion temporelle d'un interrupteur haut K_{1h}
 $F_{K1h}(t)=1$ si l'interrupteur est passant : pour $0 < t < \alpha_{1h} \cdot T_d$

La commande des interrupteurs de la cellule de rang m est obtenue à partir de celle de rang 1, selon la relation suivante (décalage temporel de $mT_d/3$) :

$$F_{K2h}(t) = F_{K1h}(t - T_d/3)$$

$$F_{K3h}(t) = F_{K1h}(t - 2T_d/3)$$

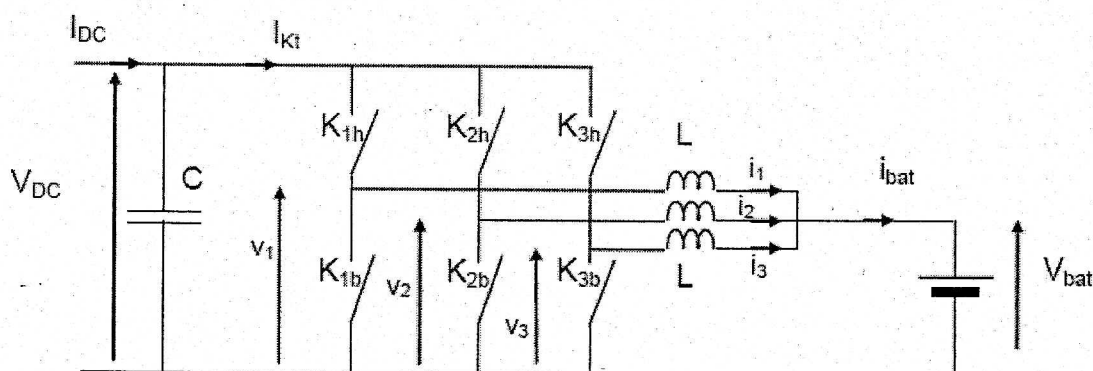


Figure 6 : structure entrelacée à 3 cellules

B.3. Etablir la relation entre V_{DC} et $\langle V_{bat} \rangle$ puis celle entre $\langle I_{DC} \rangle$ et $\langle I_{bat} \rangle$ en fonction de α_{1h} .

B.4. Pour $\alpha_{1h}=0,5$ et $V_{DC}=190$ V, $\langle I_{bat} \rangle=9$ A, $F_d=40$ kHz, $L=200$ μ H, donner les valeurs numériques de Δi_1 et de Δi_{bat} ,

B.5. Compléter la construction des tensions $v_1(t)$, $v_2(t)$, $v_3(t)$, et des courants $i_1(t)$, $i_2(t)$, $i_3(t)$, et $i_{bat}(t)$ dans le document réponse 2.

B.6. Donner la fréquence de l'ondulation Δi_{bat} et du courant i_{kt} en fonction de F_d . Quels sont les avantages de cette structure ?

FIN DE SUJET

FIN DE SUJET.

Barème sur 40 pts

Partie A: 26 pts

A.1.1°1 pt

A.1.2°1 pt

A.2.1°1 pt

A.2.2°2 pt

A.2.3°1 pt

A.2.4°1 pt

A.2.5°1 pt

A.2.6°1 pt

A.2.7°1 pt

A.2.8°1 pt

A.2.9°1 pt

A.2.10°1 pt

A.2.11°1 pt

A.2.12°1 pt

A.2.13°1 pt

A.3.1°2 pt

A.3.2°2 pt

A.3.3°2 pt

A.3.4°2 pt

A.3.5°2 pt

Partie B: 14 pts

B.1°3 pt

B.2°3 pt

B.3°2 pt

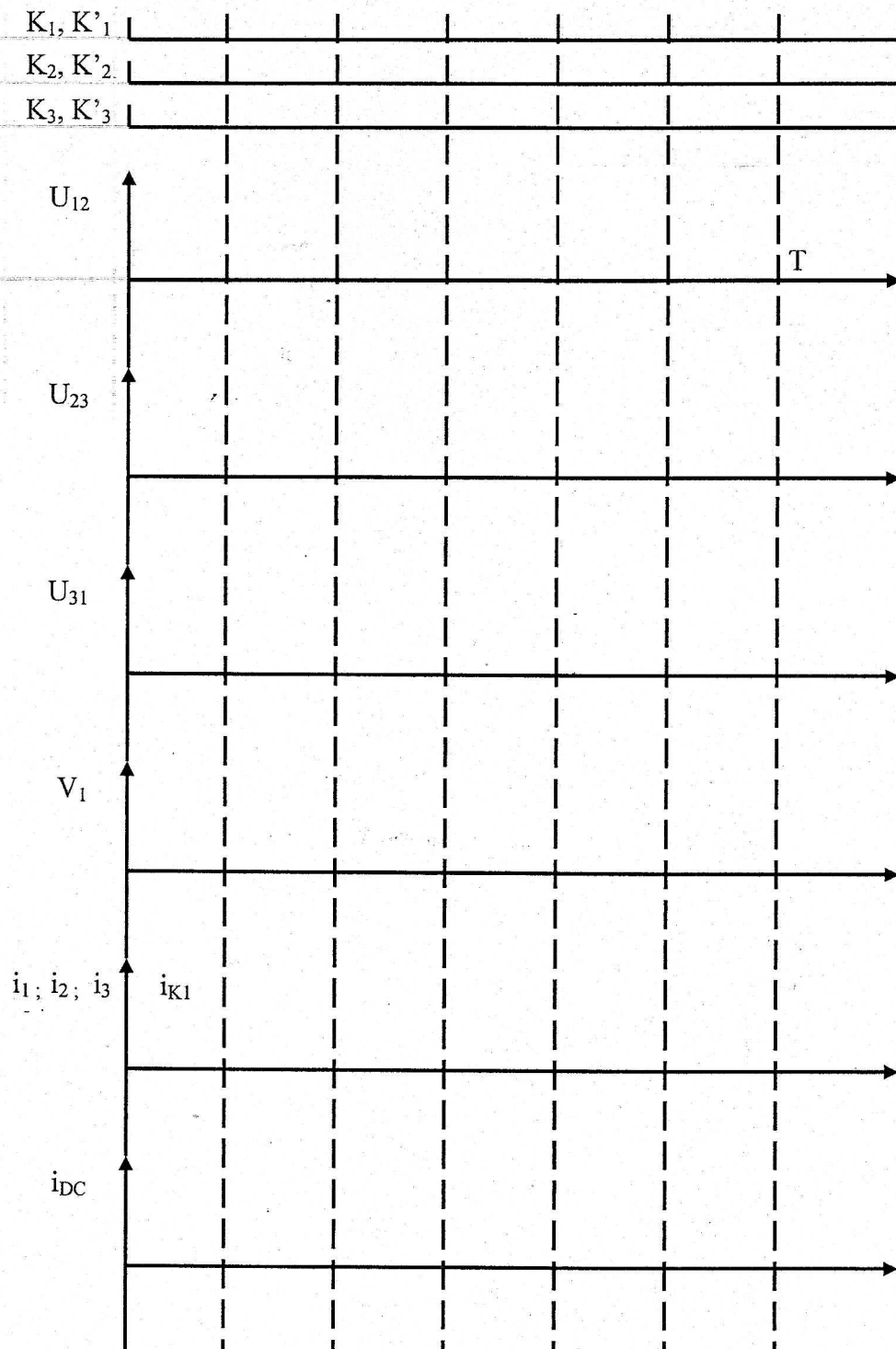
B.4°2 pt

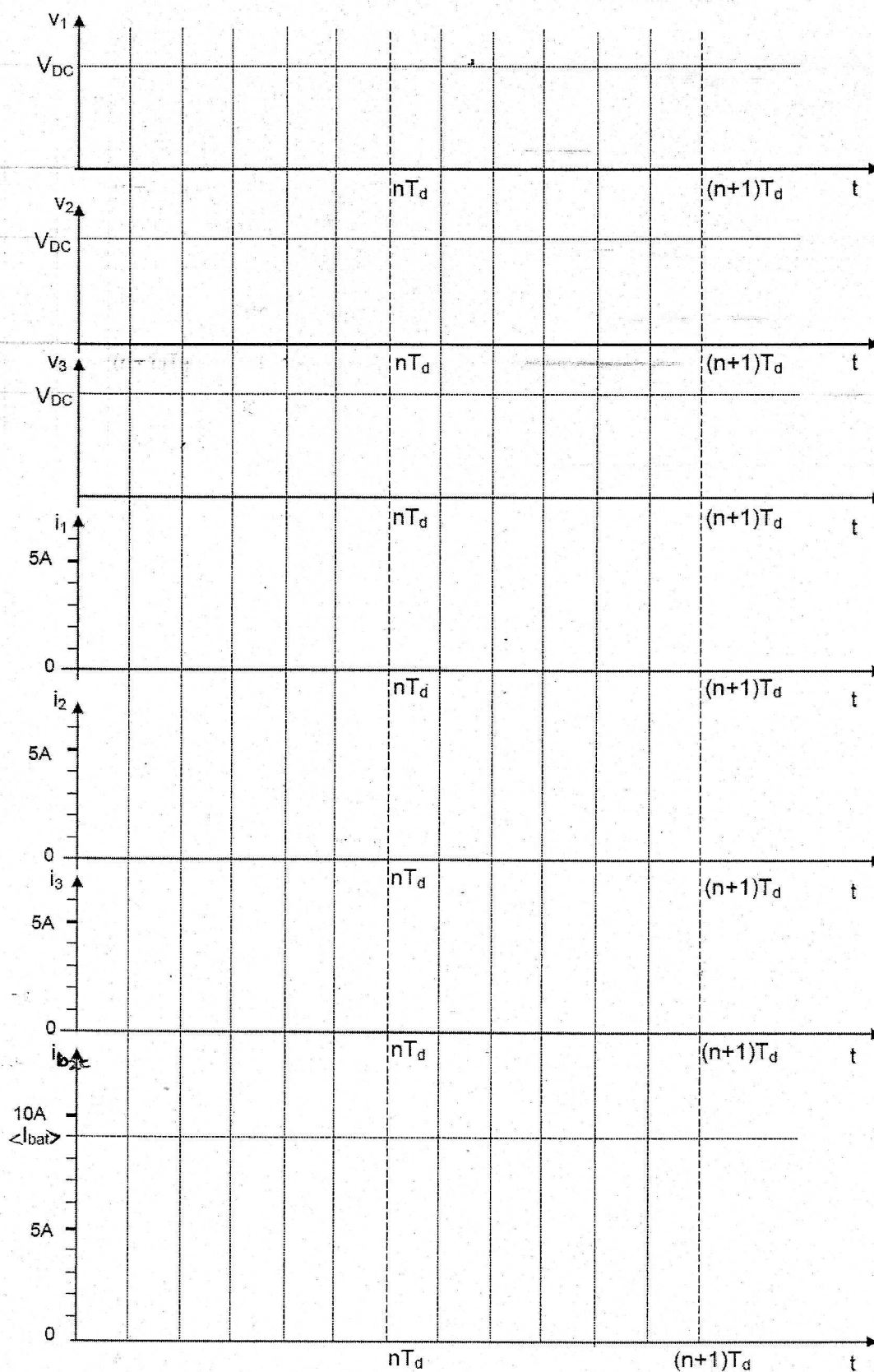
B.5°2 pt

B.6°2 pt

DOCUMENT REPONSE 1

(A rendre avec la feuille de composition)

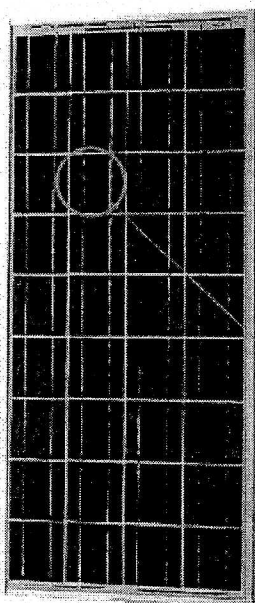


DOCUMENT REPONSE 2

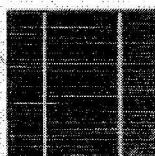
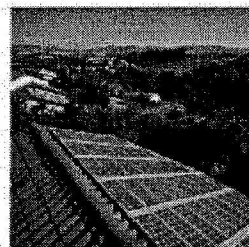
Annexe (2 pages)



PW850-12V GRANDE PUISSANCE MODULE PHOTOVOLTAÏQUE - JBox

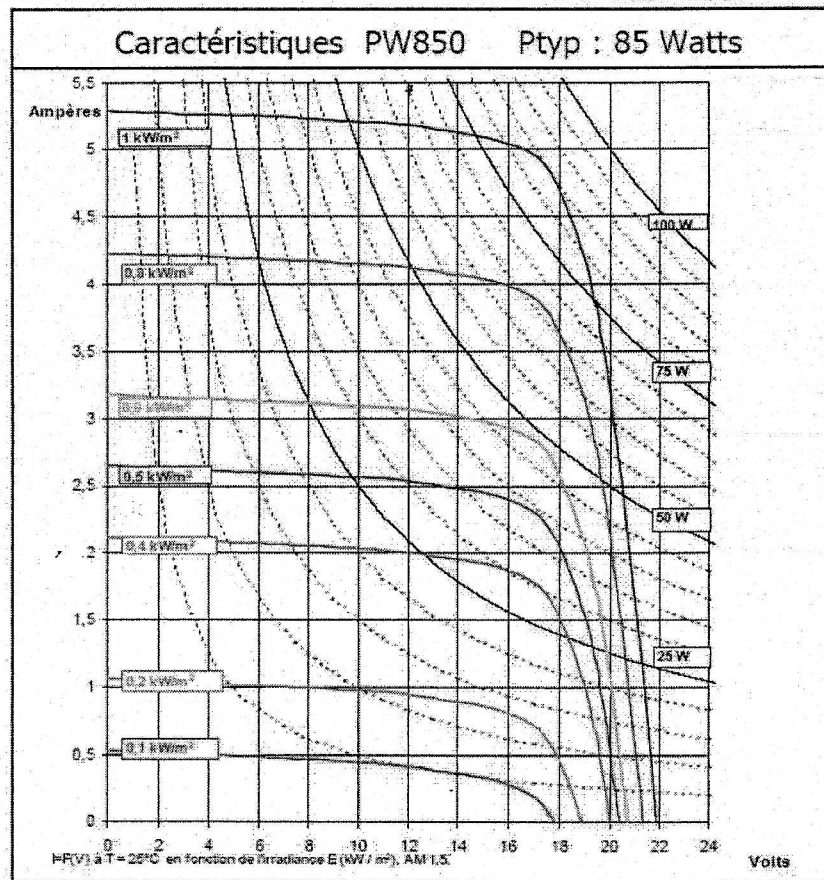


- Télécommunications
- Protection cathodique
- Pompage
- Signalétique
- Electrification rurale
- Résidences privées
- Intégration bâtiments
- Raccordement réseau



Le PW850 est fabriqué à partir de 4 X 9 cellules polycristallines 5 pouces (125,50 mm X 125, 50mm) à haut rendement (jusqu'à 15%), avec une couche anti-reflet en nitrure de silicium.

PW 850		Configuration 12 V		
Puissance typique	W	75	80	85
Puissance minimale	W	70,1	75,1	80,1
Tension à la puissance typique	V	17	17,3	17,6
Intensité à la puissance typique	A	4,4	4,6	4,8
Intensité de court circuit	A	4,7	5	5,2
Tension en circuit ouvert	V	21,5	21,6	21,6
Tension maximum du circuit	V	600V DC		
Coefficient de température	$\alpha = +1,46 \text{ mA/}^{\circ}\text{C}$; $\beta = -79 \text{ mV/}^{\circ}\text{C}$; $\gamma \text{ P/P} = -0,43 \% /^{\circ}\text{C}$			
Spécifications de puissance à 1000 W/m ² ; 25°C ; AM 1,5				

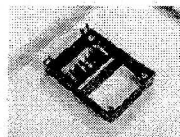


► Poids du Module : 7,8 kg

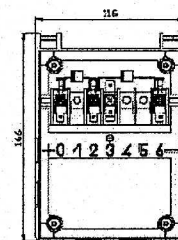
► Taille du Module :
1237 mm X 556 mm X 45 mm

► Emballage par 2 unités
1280 mm x 600 mm x 70 mm, 18,5 kg

► Taille maximum d'une palette (24 modules)
1400 mm x 1000 mm x 740 mm, 232 kg



Boîte universelle de
raccordement permettant
une section de câble de
1,5 mm² à 4 mm²
(AWG11 à AWG16)



Module protégé par 2 diodes
anti-retour (1 pour 18 cellules)