

SESSION 2009

**CONCOURS EXTERNE
DE RECRUTEMENT DE PROFESSEURS AGRÉGÉS**

Section : GÉNIE ÉLECTRIQUE

COMPOSITION D'ÉLECTRONIQUE

Durée : 6 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

Dictionnaire technique anglais-français autorisé.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout autre dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : *Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.*

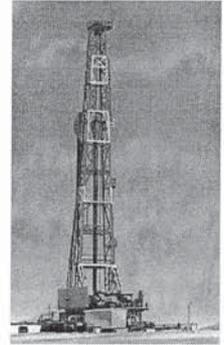
Tournez la page S.V.P.

A

Présentation



Le support de l'étude qui va suivre est un **système de sécurité autonome** destiné à être embarqué sur des plateformes pétrolières. Il peut s'agir aussi bien de plateformes « offshore » que de plateformes mobiles à chenilles utilisées pour les gisements terrestres de petites tailles (on déplace la plateforme de gisement en gisement).



Pour ce type d'installation, il est essentiel de disposer d'un système de sécurité **modulaire et autonome** en énergie :

- La modularité permet au dispositif de s'adapter, tout en utilisant les mêmes composants de base, à des installations très diverses de part la nature des dispositifs de sécurité à piloter.
- L'autonomie permet de s'affranchir des sources d'énergies usuelles en cas de problèmes.

La société qui commercialise ce type de produit, propose, pour les projets de ses clients, des fonctionnalités très variées et capables de s'adapter aux systèmes les plus divers. Parmi les fonctionnalités de bases on peut citer :

- Les alimentations autonomes ou secourues qui permettent de garantir la disponibilité de la chaîne de sécurité.
- Les affichages disponibles sous formes de textes, d'indicateur ou d'éclairage de secours.
- Les capteurs pour les différentes grandeurs que l'on souhaite mesurer (température, présence de gaz, détecteurs d'inclinaison...).
- Les dispositifs de supervision permettant de consigner les informations relevées et de piloter les composants du système.

La modularité est à la base de la conception de ce type de système car ce sont en général des équipements unitaires ou de petites séries qu'il faut pouvoir produire rapidement.

La société a choisi de proposer une gamme de modules simples s'interconnectant par un bus « système » permettant de véhiculer à la fois l'énergie nécessaire et les informations en utilisant pour ces dernières le bus de terrain CAN.

On représente ci-dessous la solution élaborée pour une plateforme pétrolière « offshore ». C'est cette structure qui servira de support à notre étude.

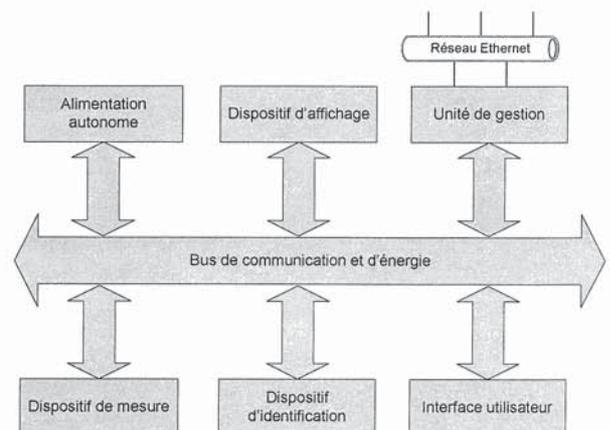
Le bus de communication et d'énergie est constitué d'un bus CAN pour les informations et de lignes d'alimentations permettant la distribution d'énergie aux autres modules.

L'alimentation autonome est constituée de batteries rechargées par un panneau solaire orientable.

Le dispositif d'affichage permet d'afficher sous forme de texte, des messages visibles à grande distance.

Le dispositif de mesure permet la mesure de différentes grandeurs physiques au moyen de capteurs spécifiques (température, présence de gaz, inclinaison, fumées...).

Le dispositif d'identification permet de centraliser les accès des personnels dans les différentes zones de sécurité de la plateforme.

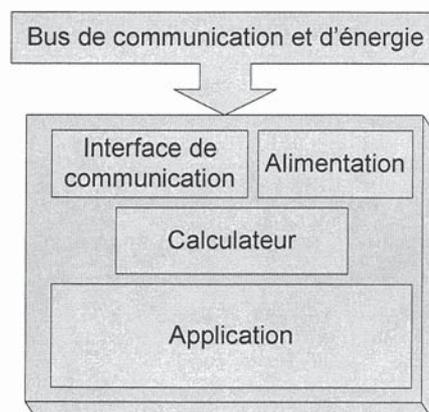


L'interface utilisateur, optionnelle, permet d'utiliser une interface homme machine (IHM) constituée d'un clavier de 12 touches et d'un afficheur de 2 lignes de 16 caractères.

L'unité de gestion permet de piloter l'ensemble du système de sécurité en se raccordant au bus CAN. L'accès au réseau Ethernet permet l'ouverture du système vers le réseau informatique de la plateforme.

Les différents sous-ensembles du système qui se raccordent au bus de communication et d'énergie utilisent le schéma fonctionnel suivant :

- Une interface de communication qui permet au calculateur d'échanger des informations sur le bus de communication CAN.
- Une alimentation qui permet de prélever, à partir d'une source externe ou depuis le bus, l'énergie nécessaire. L'alimentation est dite autonome si toute l'énergie est puisée sur le bus, elle est mixte si une partie de l'énergie provient d'une autre source et elle est indépendante si aucune énergie n'est issue du bus.
- Un calculateur dont la nature dépend des performances et des fonctionnalités attendues.
- L'application embarquée qui caractérise le sous-ensemble (capteurs, affichage, dialogue...).



Questionnement

L'épreuve se compose de 3 parties indépendantes.

A l'intérieur de chaque partie, de nombreuses questions sont également indépendantes.

Le candidat est donc invité à lire rapidement et entièrement l'énoncé avant de commencer à composer afin de bien répartir le temps de composition entre les différentes parties.

Une rédaction soignée, une écriture lisible et des résultats encadrés seront appréciés par les correcteurs.

Si au cours de l'épreuve, le candidat détecte ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale par écrit dans sa copie et poursuit sa composition en indiquant précisément les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

Sommaire

A- Production de l'énergie.

Dans cette partie, on se propose d'étudier certains aspects de la chaîne de production et de stockage de l'énergie.

B- Transmission de données.

Cette partie portera surtout sur l'étude de certains aspects de la transmission de données sur un bus CAN et un réseau Ethernet.

C- Les capteurs.

Plusieurs types de capteurs sont présentés dans cette partie. L'étude et la mise en œuvre de ces derniers seront étudiés aux travers de questions diverses.

Production de l'énergie

L'alimentation du système est prise en charge par le module énergie (alimentation autonome). Ce dernier est associé à un panneau solaire et à un ensemble de batteries au plomb. Les puissances mises en jeu dépendent de l'autonomie envisagée pour le système.

Dans le cas de notre étude, on dispose des informations suivantes :

Le panneau solaire fournit une puissance nominale de 140W et ce, dans le cas le plus favorable.

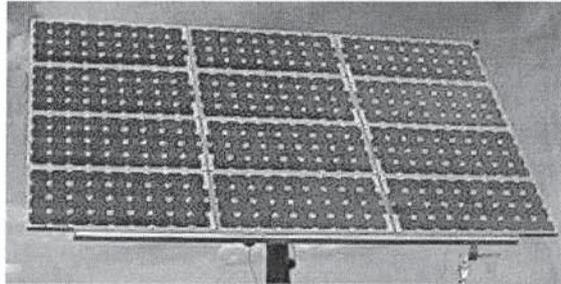
Les batteries, associées en parallèle, ont une tension de service de 12V. Cette tension sera distribuée sur le bus système.

Le module délivre, une tension fixe de 8V destinée à l'alimentation des autres modules connectés au bus. Cette tension sera distribuée sur le bus système.

Le module est raccordé au bus de communication (CAN) du bus système afin de permettre sa supervision à distance.

Dans l'étude qui suit nous allons aborder différents aspects du fonctionnement du module énergie.

Le panneau solaire.



Le panneau solaire est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques destinées à produire une tension et un courant exploités par le module énergie.

Nous allons dans la suite déterminer les performances d'un tel générateur.

Potentiel solaire.

Le Soleil est une « petite étoile » de 696 000 km de rayon (R_S) et de masse $1,99 \times 10^{30}$ kg. Sa température intérieure, supérieure à 10 millions de degrés, permet aux réactions nucléaires de fusion de transformer à chaque seconde environ 6 millions de tonnes de sa masse en énergie rayonnée dans l'espace.

En première approximation, le Soleil rayonne globalement comme un corps noir de température $T_S = 5\,777$ K. Le flux d'énergie $d\Phi$ émis par unité de temps pour une surface dS de Soleil est donné par la loi de Stéphan-Boltzmann :

$$M_S = \frac{d\Phi}{dS} = \sigma T^4 \quad \text{où}$$

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3}$$

M_S ($W \cdot m^{-2}$) émittance énergétique,
 T (K) température absolue,
 k ($J \cdot K^{-1}$) constante de Boltzmann ($k = 1,38 \times 10^{-23} J \cdot K^{-1}$),
 c ($m \cdot s^{-1}$) vitesse de la lumière ($c = 3 \times 10^8 m \cdot s^{-1}$),
 h ($J \cdot s$) constante de Planck ($h = 6,62 \times 10^{-34} J \cdot s$).

La conservation de l'énergie totale Φ_S émise par le Soleil par unité de temps s'écrit :

$$\Phi_S = 4\pi R_S^2 M_S = 4\pi D_{TS}^2 E_{SC}$$

Φ_S (W) flux solaire,
 D_{TS} (km) distance moyenne Terre-Soleil ($D_{TS} = 149,6 \times 10^6$ km),
 E_{SC} ($W \cdot m^{-2}$) flux d'énergie incident par unité de temps au niveau de la Terre.

E_{SC} correspond à la densité du flux d'énergie incidente reçue par unité de temps par un plan de front de terre. On l'appelle généralement l'éclairement ou constante solaire.

Q1 - Déterminer la constante solaire E_{SC} .

L'atmosphère terrestre va absorber une partie de cette énergie et cette absorption dépendra de la zone géographique considérée.

Conversion photon-électron

Le rayonnement solaire est constitué de photons transportant une énergie donnée par la relation :

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

$E(J)$ énergie,
 $\lambda (m)$ longueur d'onde
 $\nu (Hz)$ fréquence.

Q2 - L'énergie solaire, au niveau du sol terrestre, est, pour une grande partie, disponible dans la gamme des longueurs d'ondes visibles (0,4 à 0,78 μm).

Déterminer, pour ces 2 limites, le niveau d'énergie mis en jeu (les résultats seront exprimés en eV).

Le flux de photons par seconde et par centimètre carré $N(\lambda)$ de longueur d'onde λ est donné par la relation :

$$N_{(\lambda)} = M \frac{\lambda}{hc} d\lambda$$

$N(\lambda) (cm^{-2} \cdot s^{-1} \cdot \mu m)$ flux de photons,
 $d\lambda(\mu m)$ tranche de longueur d'onde (de largeur $1\mu m$ en général (largeur spectrale normalisée))
 $M (eV \cdot s^{-1} \cdot cm^{-2})$ le flux d'énergie par unité de temps

Q3 - Exprimer N en fonction de M, E et $d\lambda$ puis déterminer, pour les 2 limites du spectre visible, le flux de photons obtenu si on prend pour M la valeur de la constante solaire.

Pour convertir en énergie les photons obtenus avec l'énergie solaire, il faut que ces derniers puissent être absorbés par un matériau. Dans celui-ci, on a alors obtention d'une énergie thermique et d'une énergie potentielle.

L'énergie potentielle (qui nous intéresse ici) est transmise aux électrons et si elle est correctement collectée, permet de produire du courant.

On donne sur le document réponse R-Q4 une représentation souvent utilisée pour expliquer l'excitation des électrons dans un atome et ce pour différentes familles de matériaux.

Q4 - On demande de compléter ce document en y plaçant les légendes (semi-conducteur, métal, isolant) et les mots clés suivants : bande de valence, bande interdite, bande de conduction, gap, niveau de Fermi.

On demande de rappeler (sur votre copie) la définition des termes : bande de valence, bande interdite, bande de conduction, gap, niveau de Fermi

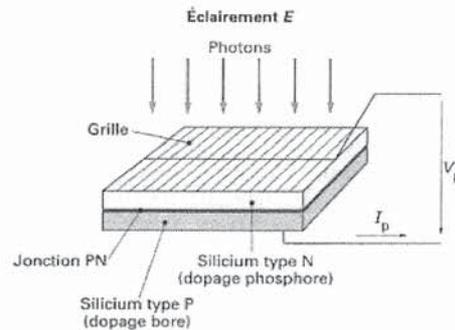
Q5 - On demande pourquoi les semi-conducteurs sont les plus aptes à permettre une conversion photon-électron. Le silicium (dont la largeur du gap, E_g est de l'ordre de 1,17 eV) peut-il convenir ?

Les photons dont l'énergie est supérieure à E_g peuvent faire passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction laissant ainsi un trou dans la bande de valence. L'électron et le trou ainsi libérés doivent rapidement être collectés pour participer ensuite à la conduction électrique avant leur recombinaison.

Q6 - Comment peut-on collecter les électrons libérés lors de la conversion photon-électron ?

On donne l'aspect d'une cellule photovoltaïque :

On peut aisément calculer le courant de conversion d'une cellule idéale à partir des hypothèses et des calculs précédents.



Q7 - On demande de calculer quel serait le courant produit par un faisceau incident composé d'un flux de $3,2 \times 10^{17}$ photons par centimètre carré et par seconde ?

On aborde maintenant le principe de fonctionnement et les équations fondamentales de la jonction PN en nous limitant aux rappels et aux équations nécessaires au fonctionnement de la cellule photovoltaïque.

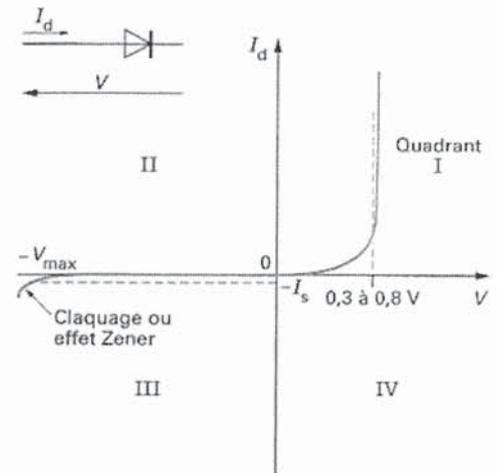
Si l'on polarise une jonction PN, on obtient la caractéristique $I_d = f(V)$ donnée. Le modèle mathématique associé à cette caractéristique est également donné.

$$I_d = I_s \left(\exp \frac{V}{\eta V_T} - 1 \right)$$

I_s (A) courant d'obscurité des porteurs minoritaires (saturation),

V_T (V) potentiel thermique (25 mV à 20°C),

η coefficient dépendant du matériau qui, dans le cas des cellules photovoltaïques au silicium, a pour valeur 1.



Si l'on soumet une jonction PN de faible épaisseur à un flux lumineux, des paires électron-trou sont créées par les photons dont l'énergie est supérieure à la largeur de la bande interdite du matériau.

Il en résulte une augmentation du courant inverse de saturation proportionnelle au flux lumineux. Physiquement, cet effet se traduit de deux manières selon le quadrant de fonctionnement du dispositif :

- dans le 3^{ème} quadrant, la jonction PN travaille dans le mode photoconducteur. Le courant inverse varie alors en fonction de l'éclairement;
- dans le 4^{ème} quadrant, le système fonctionne en générateur dont le courant de court-circuit est proportionnel à l'éclairement et dont la tension à vide est celle de la diode en polarisation directe (0,5 à 0,8 V pour Si) ; c'est la cellule photovoltaïque à jonction PN.

Q8 - On demande de représenter l'évolution de la caractéristique de la diode dans le cas d'une cellule photovoltaïque (on précisera en représentant la courbe pour 3 valeurs d'éclairement).

Nous allons maintenant nous intéresser uniquement au quadrant IV pour la réalisation de générateurs photovoltaïques à partir de cellules photovoltaïques.

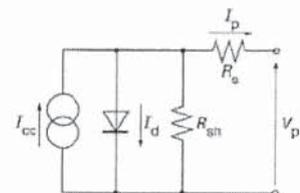
Pour cela, nous allons représenter les caractéristiques dans un nouveau repère $I_p = f(V_p)$ où le courant de saturation inverse est compté positivement. I_{cc} représente le courant de court-circuit et V_{c0} la tension en circuit ouvert de la cellule photovoltaïque.

Q9 - On demande de représenter, dans ce nouveau repère, la caractéristique de la diode dans le cas d'une cellule photovoltaïque.

On demande d'en déduire l'équation de la caractéristique ainsi que le schéma équivalent.

Le schéma équivalent de la cellule photovoltaïque réelle tient compte d'effets résistifs parasites dus à la fabrication et qui sont représentés sur le schéma équivalent par deux résistances :

- une résistance série R_s représentant les diverses résistances de contacts et de connexions ;
- une résistance R_{sh} (shunt) en parallèle sur le générateur de courant qui caractérise les divers courants de fuite dus à la diode et aux effets de bords de la jonction.



Q10 - On demande de représenter, pour plusieurs valeurs de l'éclairement, la caractéristique réelle de la diode dans le cas d'une cellule photovoltaïque.

On repérera, pour une des courbes les 3 parties qui la constituent :

- la zone (a) où la cellule se comporte comme un générateur de courant I_{cc} proportionnel à l'éclairement ;
- la zone (b) où la cellule se comporte comme un générateur de tension V_{c0} ;
- la zone (c) où l'impédance interne du générateur varie rapidement.

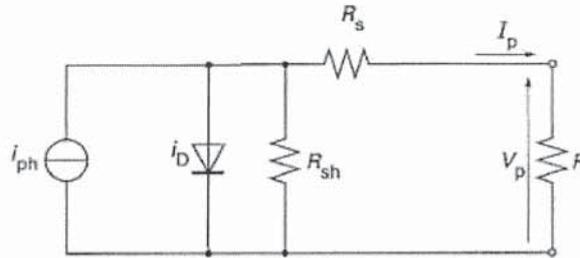
La cellule photovoltaïque est un générateur de puissance finie dont le maximum, pour un éclairement donné, correspond au point de contact avec l'hyperbole d'iso-puissance.

Tracer, sur le graphique précédent, la courbe de charge optimale en fonction des niveaux d'éclairement.

Tournez la page S.V.P.

En pratique, un panneau solaire est composé d'un grand nombre de cellules élémentaires placées en série pour augmenter I_p et en parallèle pour augmenter V_{oc} .

Q11 - Que devient le schéma équivalent de base suivant si on utilise un panneau constitué de n_p branches constituées chacune de n_s cellules de base ?



Lors de la mise en série et en parallèle de cellules élémentaires réelles, on doit résoudre des problèmes dus au déséquilibre du fonctionnement qui peut résulter de caractéristiques différentes ou plus simplement d'un éclairage différent (occultation d'une ou plusieurs cellules).

Q12 - Lors de la mise en série de plusieurs cellules que se passe-t-il si une cellule est totalement occultée et comment remédier à cet inconvénient ?

Q13 - Lors de la mise en parallèle de plusieurs cellules que se passe-t-il si une cellule ou un ensemble de cellules ont des seuils plus faibles (ou si on a une occultation de cellules) ? Comment remédier à cet inconvénient ?

Q14 - Proposer un schéma permettant de « protéger » les cellules d'un panneau constitué d'une matrice de cellules élémentaires.

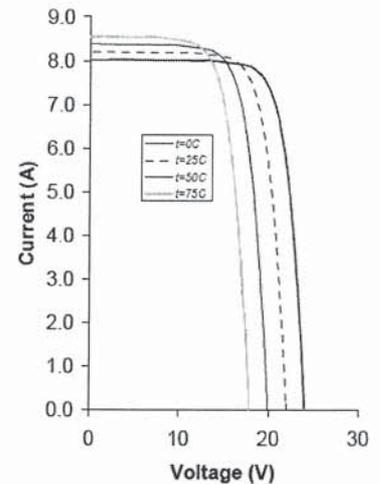
On donne la documentation partielle du panneau utilisé dans notre cas :

High-efficiency photovoltaic module using silicon cells

Performance		Electrical Characteristics ²		SX3140
Rated power (P_{max})	140W	Maximum power (P_{max}) ³		140W
Nominal voltage	12V	Voltage at P_{max} (V_{mp})		17.5V
		Current at P_{max} (I_{mp})		8.0A
		Warranted minimum P_{max}		127.4W
		Short-circuit current (I_{sc})		8.2A
		Open-circuit voltage (V_{oc})		22.0V

Mechanical Characteristics

Dimensions	Length: 1510mm (59.4")	Width: 674mm (26.5")	Depth: 50mm (1.97")
Weight	12.0 kg (26.5 pounds)		
Solar Cells	36 cells (156mm x 156mm) in a 4x9 matrix connected in series		
Diodes	IntegraBus™ technology includes Schottky by-pass diodes integrated into the printed circuit board bus		



Q15 - Sachant que pour un panneau $R_s = n_s \cdot r_s / n_p$ (n_s nombre de cellule en série, n_p nombre de branches en parallèle et r_s la valeur de la résistance série d'une cellule élémentaire), déterminer la valeur de R_s si r_s vaut 0,2 ohm.

En utilisant la courbe du constructeur, vérifier en donnant un ordre de grandeur de la résistance de sortie R_s du panneau utilisé en générateur de tension.

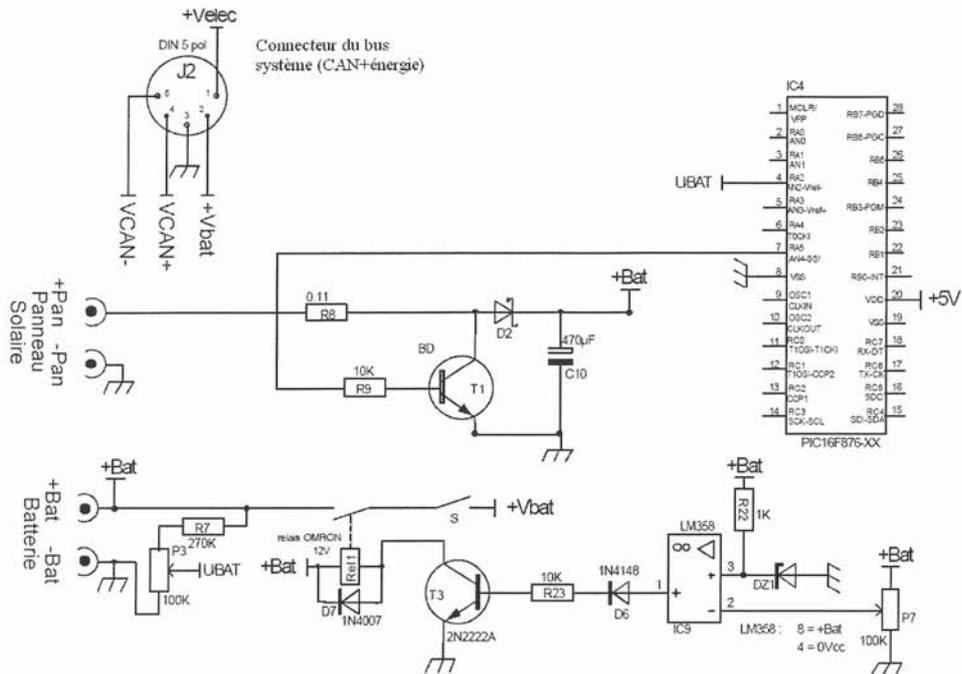
La charge de la batterie.

Pour stocker l'énergie, on utilise un ensemble de batteries au plomb spécifiques dites « semi-stationnaires à décharge lente ». Elles présentent la particularité de supporter une décharge jusqu'à 80% de leur capacité tout en permettant d'avoir 500 à 600 cycles de charge (avec ce type d'utilisation, une batterie de démarrage classique ne supporte que quelques dizaines de cycles).

Pour assurer une durée de vie importante aux batteries utilisées, il convient de respecter 2 limitations importantes :

- La tension d'une batterie ne doit pas dépasser 13,7V (ce qui correspond à la pleine charge)
- La tension d'une batterie ne doit pas être inférieure à 11,4V (ce qui correspond à la décharge profonde)

On donne un schéma partiel du module énergie qui présente les éléments permettant de respecter ces contraintes.



On donne quelques extraits du programme de traitement :

```

.....
int16 en_vbat;      //tension de
batterie
.....
int full;          //indicateur de
charge complète
int empty;        //indicateur de
décharge
.....
#define ON output_low(PIN_A5)
#define OFF output_high(PIN_A5)

/* programme principal */
void main()
{
    init();        //valeur pleine échelle 5V
    sur 10 bits
    while (1)
    {
        .....
        gest_bat();
        mesure();
        .....
    }
}

/* définitions des fonctions */
void gest_bat(){
    if (en_vbat > 137){
        full = 1;
        OFF;      //limitation de la charge
de la batterie
    }
    if (en_vbat < 134) {
        full = 0;
        ON;      //activation de la charge
    }
    if (en_vbat < 115){empty = 1;}
    else {empty = 0;}
    .....
}

void mesure(){
    .....
    set_adc_channel(2);
    delay_us(100);
    a=read_adc();
    en_vbat = (a*20)/100;
    .....
}

```

Q16 - Justifier le choix des composants de la structure utilisée pour mesurer la tension aux bornes de la batterie. Indiquer la valeur optimale du réglage en tenant compte du traitement réalisé sur la donnée par le microcontrôleur.

Q17 - Préciser comment on protège la batterie contre une surcharge. On indiquera le rôle des composants et on précisera comment dimensionner les composants dont la valeur n'est pas précisée.

Q18 - La majorité des circuits électroniques sont alimentés par la tension +Vbat. Préciser comment on protège la batterie contre une décharge profonde. On indiquera le rôle des composants, on précisera comment dimensionner les composants dont la valeur n'est pas précisée et on indiquera la ou les valeurs à régler s'il y a lieu.

Que pensez-vous du choix de cette structure ? Quelles améliorations peut-on apporter ?

Le contrôle du bon fonctionnement du module énergie est assuré par la surveillance :

- de la tension aux bornes de la batterie (voir ci-dessus),
- de la tension aux bornes du panneau solaire,
- du courant délivré par le panneau solaire,
- du courant délivré par la batterie.

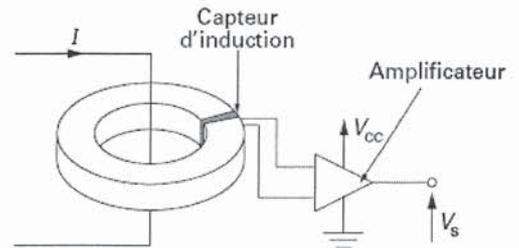
Ces informations sont soit utilisées par le microcontrôleur local du module énergie soit transmises via le bus CAN à un module de supervision.

Nous allons maintenant nous intéresser à la mesure des courants. Après une analyse des principes physiques mis en jeu, on se propose d'analyser la mise en œuvre du capteur dans le cas de notre module.

Le principe utilisé par le capteur est basé sur la proportionnalité entre le champ d'induction B et le courant qui le crée I .

Un capteur d'induction est placé dans l'entrefer du circuit magnétique. Il mesure le champ d'induction créé par le passage du courant I .

Le rôle du circuit magnétique est de concentrer les lignes de champ dans l'entrefer, ce qui accroît sa sensibilité et limite l'influence du décentrage du conducteur central.



Le circuit magnétique doit présenter de faibles pertes pour éviter un échauffement et avoir un champ rémanent faible.

Q19 - On demande d'exprimer le champ magnétique B disponible dans l'entrefer lors du passage d'un courant I en fonction des caractéristiques du circuit magnétique.

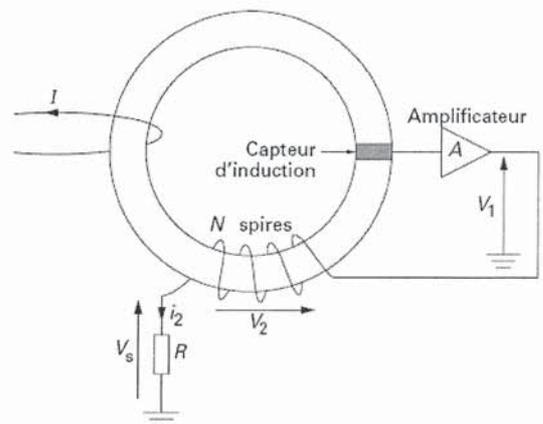
Si le capteur placé dans l'entrefer fournit une tension du type $V_s = k.B$ en déduire $V_s = f(I)$ en fonction de L (longueur moyenne du circuit magnétique) et μ_e (perméabilité équivalente du circuit magnétique).

Q20 - Après avoir rappelé la courbe caractérisant l'évolution du champ magnétique B dans le circuit magnétique en fonction de l'intensité I (ou H), indiquer quel défaut majeur comporte ce principe de mesure.

On se propose de modifier le capteur afin de travailler, dans le matériau magnétique, à flux nul (on parlera de capteur à compensation de flux).

On utilise le schéma de principe ci-contre.

On suppose que la tension $V_1 = k.B$ où k est un coefficient constant.

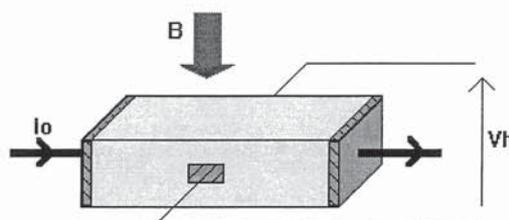


Q21 - Indiquer comment on peut travailler à flux nul dans le cas de ce capteur.

Quel est l'intérêt de ce principe par rapport au précédent ?

Déterminer la tension de sortie V_s en fonction de I et des différents éléments caractérisant le capteur.

Le capteur d'induction utilisé dans les principes précédents est un capteur à effet Hall dont on présente une vue simplifiée mettant en évidence les grandeurs en jeu :



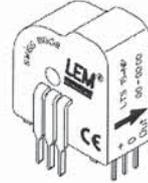
Q22 - Après avoir indiqué la nature des matériaux présentant ce phénomène et les causes de ce dernier, on demande d'énoncer le principe de l'effet Hall.

On propose la notice partielle du capteur utilisé dans notre cas.

Current Transducer LTS 15-NP

For the electronic measurement of currents : DC, AC, pulsed, mixed, with a galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (electronic circuit).

$$I_{PN} = 5 - 7.5 - 15 \text{ A}$$

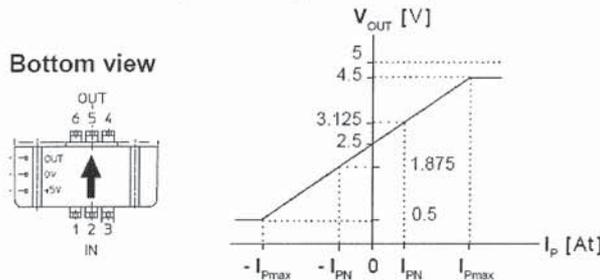


Electrical data			
I_{PN}	Primary nominal r.m.s. current	15	At
V_{OUT}	Analog output voltage	$I_p = 0$ 2.5 ¹⁾	V
		$\pm I_{PN}$ 2.5 \pm 0.625	V
N_S	Number of secondary turns ($\pm 0.1\%$)	2000	
R_L	Load resistance	≥ 2	k Ω
R_{IM}	Internal measuring resistance ($\pm 0.5\%$)	83.33	Ω
TCR_{IM}	Thermal drift of R_{IM}	< 50	ppm/K
V_C	Supply voltage ($\pm 5\%$)	5	V
I_C	Current consumption @ $V_C = 5 \text{ V}$	Typ 20 + I_S	mA

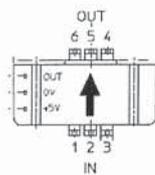
Features

- Closed loop (compensated) multi-range current transducer using the Hall effect
- Unipolar voltage supply
- Compact design for PCB mounting
- Insulated plastic case recognized according to UL 94-V0
- Incorporated measuring resistance
- Extended measuring range.

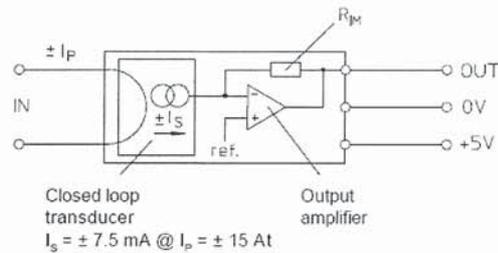
Output Voltage - Primary Current



Bottom view



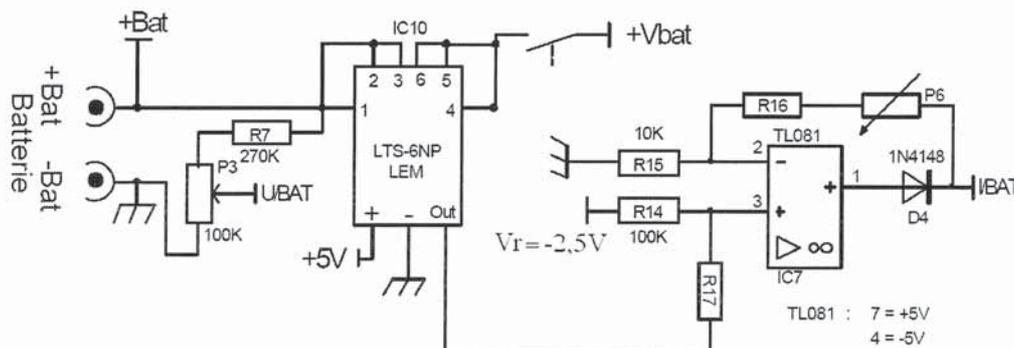
Operation principle



Number of primary turns	Primary nominal r.m.s. current I_{PN} [A]	Nominal output voltage V_{OUT} [V]	Primary resistance R_p [m Ω]	Primary insertion inductance L_p [μ H]	Recommended connections
1	± 15	2.5 ± 0.625	0.18	0.013	
2	± 7.5	2.5 ± 0.625	0.81	0.05	
3	± 5	2.5 ± 0.625	1.62	0.12	

Q23 - Le capteur utilisé dispose de plusieurs calibres de mesures. On demande d'expliquer le principe utilisé pour fixer les calibres et l'impact du choix sur les caractéristiques du capteur.

La mesure des courants, depuis les entrées analogiques, par le microcontrôleur nécessite d'adapter le niveau de tension issu du capteur. On propose le montage suivant :



La sortie I/BAT fournit la tension V_{IBAT} à une entrée analogique du microcontrôleur.

