

Conception et réalisation d'un module électronique de contrôle de charge et de gestion optimale de l'énergie pour systèmes énergétiques hybrides éolien-diesel, photovoltaïque-diesel et éolien-photovoltaïque-diesel (MECCGOPSEH)

J.K. Tangka^{1*}, P. Tchakoua^{1,2}, H. Fotsin² et A. Fomethé³

¹ Laboratoire des Energies Renouvelables, 'LER', Université de Dschang, Cameroun

² Laboratoire d'Electronique, 'LE', Université de Dschang, Cameroun

³ Laboratoire de Mécanique et de Modélisation des Systèmes, 'L2MS', Université de Dschang, Cameroun

(reçu le 20 Novembre 2010 – accepté le 25 Décembre 2010)

Résumé - La production décentralisée d'énergie électrique, bénéficie actuellement d'un essor très important. Plusieurs sources d'énergie renouvelables et gratuites, telles que le vent (éoliennes), le soleil (thermiques ou photovoltaïques), sont de plus en plus utilisées pour produire l'énergie électrique localement sur des sites isolés. A cause de l'inconstance du vent et de la lumière, la gestion de l'énergie constitue l'un des défis majeurs dans les systèmes électriques éoliens déconnectés du réseau, ainsi que dans les systèmes photovoltaïque-diesel. Nous présentons, dans cet article, la conception et la réalisation d'un module électronique de contrôle de charge et de gestion optimale de la production pour systèmes énergétiques hybrides tout en assurant la gestion efficace et intelligente de l'énergie électrique dans les systèmes énergétiques hybrides éolien-diesel et photovoltaïque-diesel.

Abstract - Distributed generation of electricity, currently has a very important development. Several renewable and free energy sources like the wind (windmills), solar (photovoltaic or thermal) are increasingly used to produce electricity locally on remote sites. Because of the fickleness of the wind and light, energy management is one of the major challenges in wind power systems from the grid, as well as PV-diesel systems. We present in this paper, the design and implementation of an electronic load control module and optimal management of production for hybrid energy systems while ensuring the efficient and intelligent electric energy in hybrid energy systems Wind-diesel and solar-diesel.

Mots clés: Energies renouvelables - Systèmes énergétiques hybrides - Contrôle de charge - Gestions efficace et Intelligente.

1. INTRODUCTION

La combinaison de plusieurs sources d'énergies renouvelables permet d'optimiser au maximum les systèmes de production d'électricité, aussi bien du point de vu technique qu'économique. Il existe plusieurs combinaisons de systèmes hybrides, à savoir: éolien-diesel [1-3], photovoltaïque-diesel [4], et éolien-photovoltaïque-diesel [5-7]. Dans le but d'assurer une indépendance vis-à-vis du réseau publique, ces systèmes hybrides sont de plus en plus utilisés.

L'optimisation de l'énergie éolienne et photovoltaïque par un stockage électrochimique et avec ou sans apport de diesel dépend beaucoup des modèles

* tangkajk@yahoo.fr

économiques de chaque système pris séparément (éolien et photovoltaïque). Il existe d'autres solutions de stockage notamment l'utilisation de l'air comprimé et de l'hydrogène. Ces dernières permettent aisément d'obtenir une autonomie beaucoup plus importante que celle des batteries d'accumulateurs [8, 9].

L'avantage d'un système hybride par rapport à un système éolien seul ou photovoltaïque seul, dépend de beaucoup de facteurs fondamentaux. Un des plus importants de ces facteurs est sans conteste la gestion de la production et du stockage de l'énergie. Une telle gestion a pour but, d'une part de limiter les dépenses en carburant et, d'autre part de protéger la batterie contre les surcharges et les décharges profondes.

En effet, pour les systèmes d'énergie autonomes, le coût du stockage représente la plus grande contrainte du coût global du système pour les installations de moyennes et de grandes puissances. Minimiser le coût du stockage et optimiser sa capacité de production est la raison essentielle de la combinaison des systèmes éolien et photovoltaïque.

2. PRESENTATION DU SYSTEME HYBRIDE EOLIEN-DIESEL-PHOTOVOLTAÏQUE

Le système hybride de production de l'énergie dans sa vue la plus générale, est celui qui combine et exploite plusieurs sources disponibles et facilement mobilisables. Dans notre cas précis, on s'intéresse aux systèmes de petite ou de moyenne puissance produisant du courant continu convertible en courant alternatif grâce à l'intégration d'un onduleur.

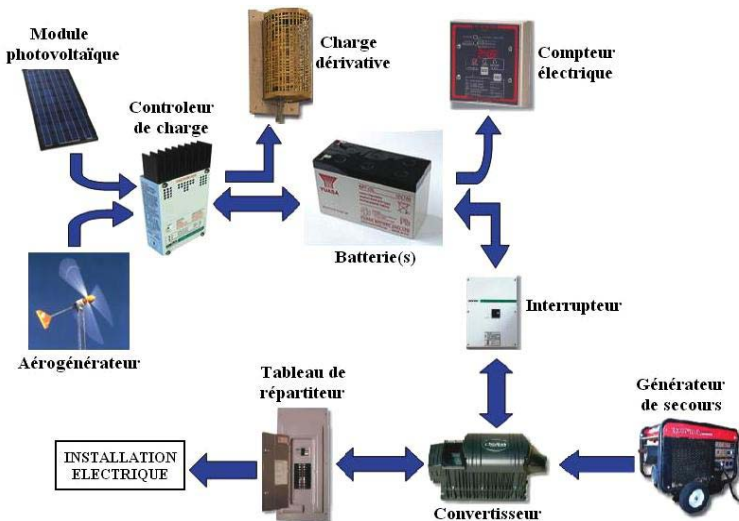


Fig. 1: Système Eolien-Photovoltaïque-Diesel déconnecté du réseau

Compte tenu de l'inconstance du vent et de la lumière, la gestion de la production énergétique est un élément déterminant dans la rentabilité et l'efficacité des systèmes éoliens et photovoltaïques. Pour tirer le meilleur parti de cette énergie, plusieurs types de systèmes de gestion ont été mis en place.

La figure 1 ci-dessus présente une architecture d'un système énergétique hybride éolien-photovoltaïque-diesel. Comme il est suggéré par la figure, la présence d'une source énergétique de secours est indispensable.

3. PROBLEMATIQUE

La gestion de l'énergie dans les systèmes éoliens reste relativement complexe. Dans la majorité des cas, le contrôleur de charge est une pièce maîtresse. Il protège la batterie en orientant le surplus de la production vers une charge dérivative. Toutefois, les batteries ne sont pas protégées contre une décharge excessive dans les systèmes présentés.

Pour ce faire, l'utilisation d'au moins deux dispositifs est nécessaire, mais alourdit les charges financières. Aussi, la gestion de l'énergie produite reste assurée par l'homme, ce qui ne garantit pas une efficacité énergétique optimale [10].

En somme, la mise en place d'un tel système énergétique dans bon nombre de région du monde est rendue difficile par un certain nombre de problèmes:

- Les coûts très élevés de l'aérogénérateur et du contrôleur de charge les rendent pratiquement hors de portée;
- La protection de la batterie à la fois contre les charges excessives et les décharges profondes nécessite l'utilisation de deux contrôleurs de charge, ce qui alourdit le coût d'investissement;
- En cas de recours au générateur diesel, on observe une perte considérable d'énergie pendant les périodes de faible consommation. Ceci du fait de la non utilisation par l'installation de la totalité de l'énergie produite par le groupe diesel;
- La gestion de la production et du stockage de l'énergie reste assurée par l'homme, ce qui ne permet pas de garantir une efficacité énergétique optimale.

Il est très important dans de tels systèmes de protéger la batterie, car elle constitue l'un des éléments les plus coûteux du système énergétique. Dans le but de remédier à tous ces problèmes, nous nous proposons de concevoir, de réaliser puis d'évaluer un dispositif électronique unique. Celui-ci devra de part sa singularité, intégrer à la fois les fonctionnalités de contrôle de charge et de décharge de la batterie, d'automatisation de la gestion de l'énergie dans le système, mais également de charge de la batterie par le groupe diesel afin d'éviter les pertes d'énergie.

4. NOUVELLE ARCHITECTURE DE SYSTEMES ENERGETIQUES HYBRIDES

Dans cette perspective, une nouvelle architecture de système énergétique hybride a été proposée. Son schéma synoptique est donné à la figure 2.

L'aérogénérateur et le panneau photovoltaïque assurent la production de l'énergie électrique pendant les vents favorables. Il est directement connecté à un Module Electronique de Contrôle de Charge et de Gestion Optimale de la Production pour Systèmes énergétiques Hybrides (MECCGOPSEH), qui assure la gestion automatique de l'énergie produite, ainsi que la protection de la batterie.

Comme on peut le voir à la figure 2, le module électronique est au cœur de notre système énergétique. Le cahier de charge du MECCGOPSEH est le suivant:

- Protéger la batterie contre les charges excessives;

- Protéger la batterie contre les décharges profondes;
- Démarrer et arrêter automatiquement le générateur de secours au besoin;
- Brancher et débrancher automatiquement les charges dérivatives au besoin;
- Eviter autant que faire se peut les interruptions d'alimentation en énergie électrique;
- Permettre la charge de la batterie par le générateur diesel lorsque celui-ci a démarré.

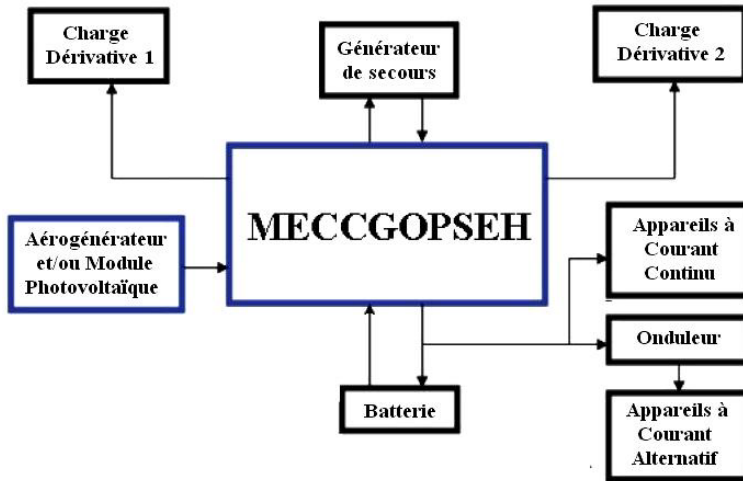


Fig. 2: Schéma synoptique global du système énergétique hybride éolien-photovoltaïque-diesel

5. ORGANISATION FONCTIONNELLE DE LA NOUVELLE ARCHITECTURE DE SYSTEME ENERGETIQUE HYBRIDE

Pour assurer la protection de la batterie, la tension aux bornes de celle-ci doit être comprise entre 10.5 V et 15 V (pour une batterie de 12 V). En effet, les batteries au plomb (considérées dans notre projet) sont constituées de cellules ou éléments ayant une tension nominale de 2.1 V.

Une batterie de 12 V par exemple, est constituée de 6 cellules. Généralement, on considère qu'un accumulateur au plomb est déchargé, lorsque la tension par cellule est inférieure à 1.8 V. Une batterie de 12 V sera dite déchargée, lorsque la tension à ses bornes est inférieure ou égale à 10.8 V.

Aussi, la tension aux bornes d'un élément ne doit pas être supérieure à 2.4 V, soit 14.4 V aux bornes d'une batterie de 12 V. En repoussant légèrement ces limites, on observe que la tension aux bornes de la batterie doit être comprise entre 10.5 V et 15 V.

Ainsi, lorsque la tension aux bornes de la batterie est inférieure à 15 V, le module de gestion démarre le générateur diesel, puis déconnecte l'habitation, de la batterie pour ne pas que cette dernière se décharge davantage. Le générateur diesel est alors branché, afin d'alimenter l'habitation. Il est important de remarquer que le générateur diesel, lorsqu'il est en marche, en plus d'alimenter la maison assure la charge de la batterie.

Lorsque la tension aux bornes de la batterie est comprise entre 10.5 V et 15 V, le gestionnaire d'énergie débranche le générateur de secours, puis il branche la batterie qui assure l'alimentation de l'habitation en énergie électrique de l'habitation. Ensuite, le générateur diesel est mis à l'arrêt.

Enfin, lorsque la tension aux bornes de la batterie est supérieure à 15 V ou alors que le courant produit par l'aérogénérateur est supérieur au courant de charge nominal de la batterie, le gestionnaire d'énergie assure la protection de la batterie contre une charge excessive ou contre un courant de charge destructeur. A cet effet, il connecte la batterie à la charge résistive N°1 ou 'Dump Load 1'.

Ainsi, la batterie en plus d'alimenter l'habitation, alimente cette charge. Cette charge peut être un chauffe-eau, le dispositif de chauffage de l'habitation, ou même une autre batterie. Si quelques temps après la connexion de la charge résistive N°1, la tension aux bornes de la batterie reste supérieure à 15 V, le gestionnaire d'énergie connecte la charge résistive N°2 ou 'Dump Load 2'.

6. ARCHITECTURE ET FONCTIONNEMENT DU MECCGOPSLED

Le MECCGOPSLED est développé pour gérer automatiquement et de manière optimale l'énergie électrique produite dans un système hybride éolienne-diesel et ceci tout en protégeant la batterie contre une charge ou une décharge excessive.

Sur la base du cahier de charge et des modes de fonctionnement définis plus haut, une architecture fonctionnelle du MECCGOPSLED a pu être établie. La figure 3 ci-dessous présente le schéma synoptique du MECCGOPSLED. Il est mis sous tension volontairement par fermeture d'un interrupteur de mise en service.

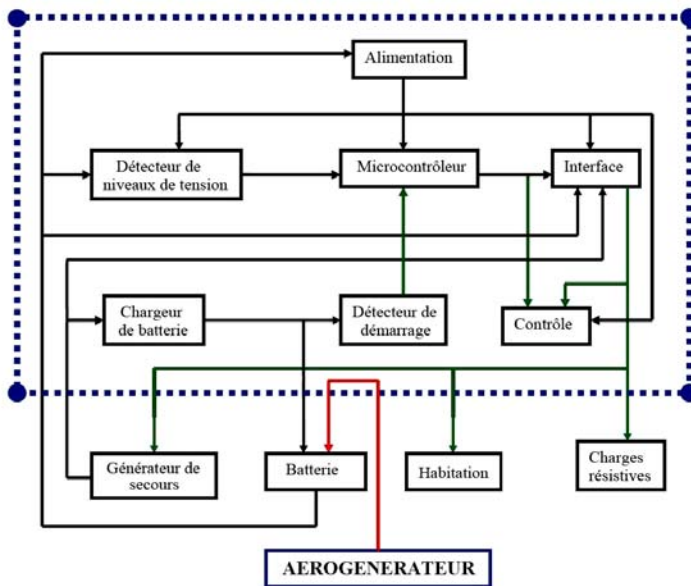


Fig. 3: Schéma synoptique du MECCGOPSLED

La tension aux bornes de la batterie est prélevée, puis soumise au bloc détecteur de niveaux de tension. Celui-ci se charge de comparer la tension aux bornes de la batterie aux tensions de référence que sont 10.5 V et 15 V.

Puis il délivre en sortie deux signaux numériques, dont les états nous renseignent sur la plage à laquelle appartient la tension aux bornes de la batterie.

Le détecteur de démarrage détecte, si le générateur diesel produit de la tension et en informe le microcontrôleur par un signal numérique. Les signaux numériques ainsi obtenus sont les signaux de commande du microcontrôleur. Ce dernier les utilisera comme données lors de l'exécution du programme.

Ainsi, les différentes sorties du microcontrôleur seront mises aux niveaux logiques correspondants selon les différents cas de figure. Les signaux obtenus en sortie du microcontrôleur sont utilisés pour attaquer le bloc d'interfaçage chargé d'assurer le lien entre le module de gestion et les autres éléments de notre système énergétique.

7. LA GESTION EFFICACE DE L'ENERGIE

Le microcontrôleur est l'élément essentiel du MECCGOPSHED. Il est chargé de traiter les différentes informations à lui transmises par les autres blocs. A l'issue du traitement de ces informations, des décisions sont prises dans le sens d'une gestion efficace de l'énergie produite, ces informations sont ensuite transmises au bloc d'interfaçage.

Les informations reçues par le microcontrôleur sont traitées suivant un programme de gestion efficace, dont l'organigramme est donné par la figure 5 et où:

- E est la sortie du comparateur de 10.5 V
- E2 est la sortie du comparateur de 15 V
- E3 est la sortie du détecteur de démarrage
- S1 commande le relais de commutation entre la batterie et le générateur diesel
- S1 commande le branchement de la charge dérivative 1
- S3 commande le branchement de la charge dérivative 2
- S4 commande l'arrêt du générateur diesel
- S5 commande le démarrage du générateur diesel
- GD = le générateur diesel
- DL = dump load.

Nous avons programmé notre microcontrôleur en langage C, le logiciel CCS C nous a été d'une très grande utilité pour compiler et tester notre programme. Bien entendu, la programmation a été réalisée dans le respect du cahier de charge, tel qu'illustré dans l'organigramme.

8. SCHEMA DE SYNTHESE DU MECCGOPSEH

Après dimensionnement et choix des composants entrant en ligne de compte des différents modules du MECCGOPSHED, le schéma de synthèse suivant a été réalisé.

9. SIMULATION DANS ISIS

La simulation du fonctionnement du MECCGOPSHED a été effectuée dans le logiciel de simulation électronique ISIS. Ceci s'est fait sur la platine d'essais qui suit.

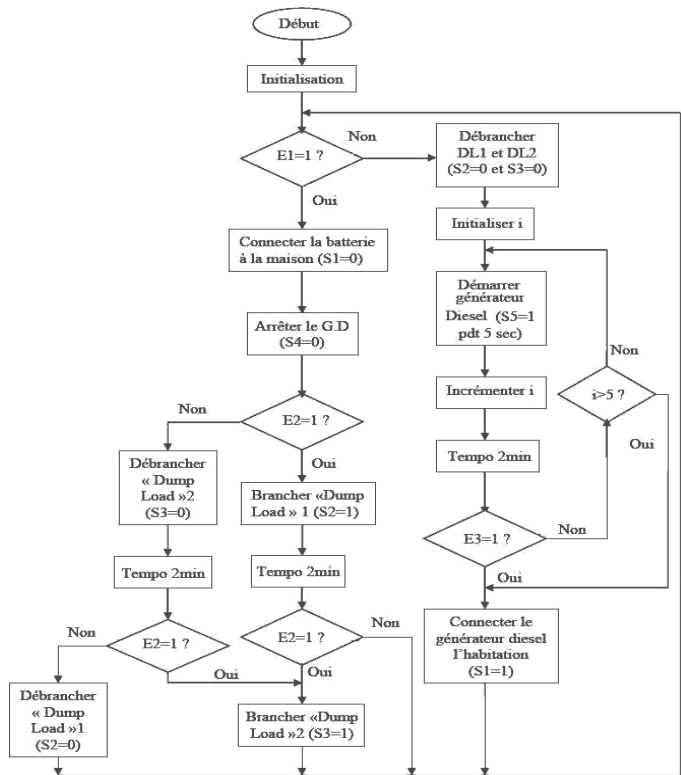


Fig. 4: Organigramme du programme de gestion efficace

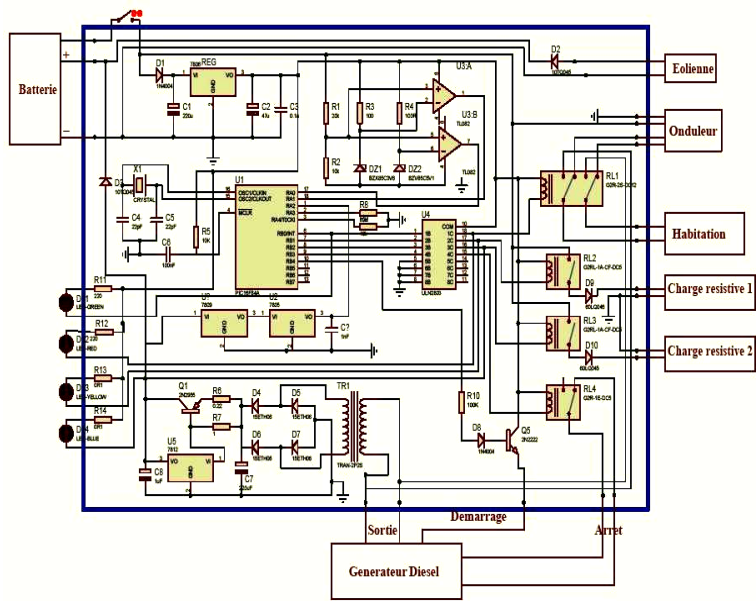


Fig. 5: Schéma de synthèse du MECCGOPSEH

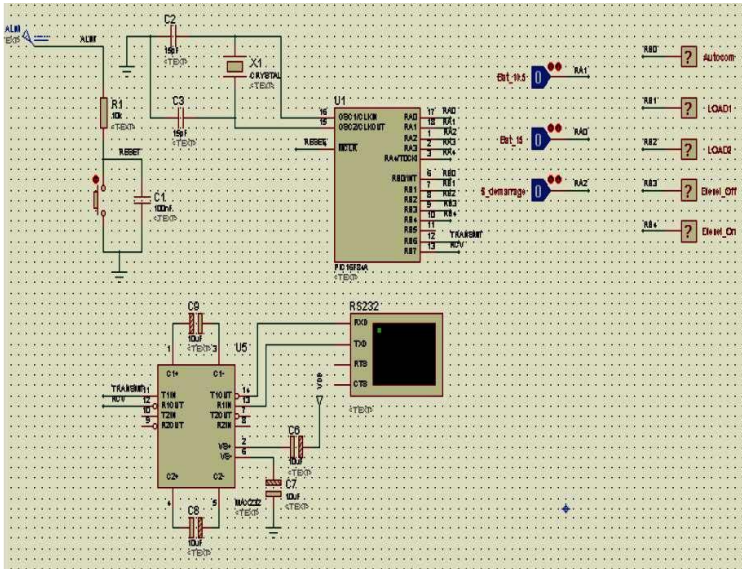


Fig. 6: Maquette de simulation du programme dans ISIS

Où

- RA0 est la sortie du comparateur de 15 V, représentée dans l'organigramme par E2
- RA1 est la sortie du comparateur de 10.5 V, représentée dans l'organigramme par E1
- RA2 est la sortie du détecteur de tension, représentée dans l'organigramme par E3
- RB0 commande le relais de commutation entre la batterie et le générateur diesel
- RB1 commande le branchement de la charge dérivative 1
- RB2 commande le branchement de la charge dérivative 2
- RB3 commande l'arrêt du générateur diesel
- RB4 commande le démarrage du générateur diesel.

Quelques résultats obtenus au cours de cette simulation sont ici présentés:

a- $V_{\text{bat}} < 10.5 \text{ V}$ et arrêt du générateur diesel

Dans ce cas, l'organigramme prévoit le démarrage du groupe diesel. Comme on peut le constater sur la figure ci-dessous, la sortie Diesel_On émet des impulsions de démarrage chargées de faire démarrer le groupe diesel. (Fig. 7)

b- $V_{\text{bat}} < 10.5 \text{ V}$ et démarrage du générateur diesel

L'entrée S démarrage représente la sortie du détecteur de démarrage, qui passe à 1, ce qui montre que le démarrage du générateur diesel est effectif. Ensuite la sortie Autocom passe à 1, ce qui traduit la commutation entre la batterie et le générateur diesel pour l'alimentation de l'habitation. (Fig. 8)

c- $V_{\text{bat}} > 10.5 \text{ V}$ et démarrage du générateur diesel

Dans ce cas, la sortie Diesel_Off passe au niveau logique haut, procédant ainsi à l'arrêt du générateur diesel et la sortie Autocom passe à 0. L'alimentation de la maison est de nouveau assurée par le générateur diesel. (Fig. 9)

d- Simulation pour $V_{bat} > 15V$

Dans ce cas, l'alimentation de la maison est assurée par la batterie et les charges dérivatives sont branchées. (Fig. 10)

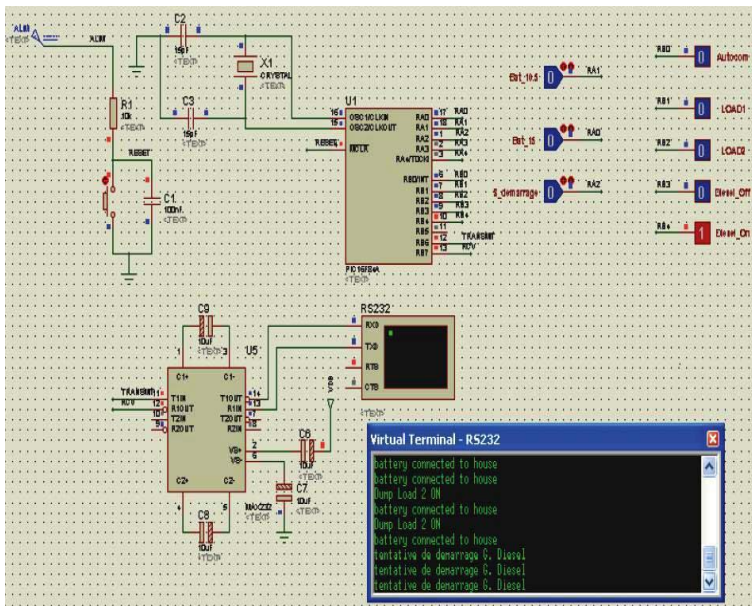


Fig. 7: Simulation du microcontrôleur pour $V_{bat} < 10.5 V$ et Arrêt générateur diesel

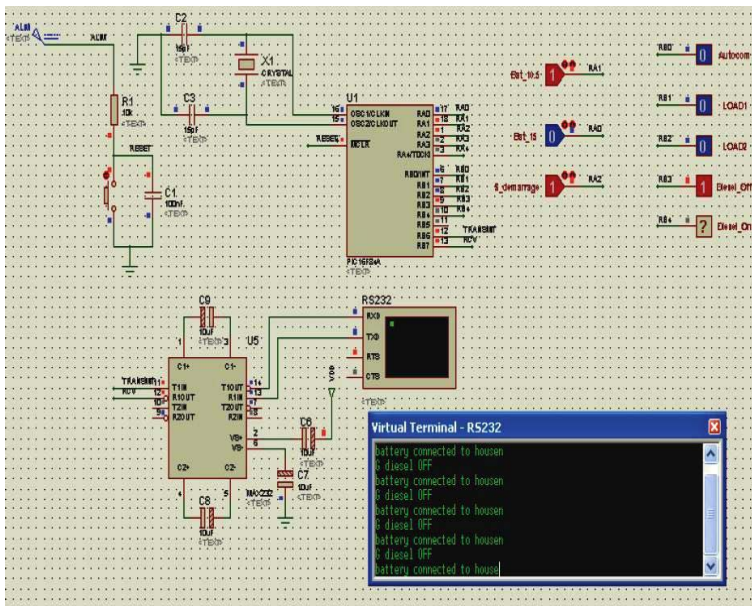


Fig. 8: Simulation du microcontrôleur pour $V_{bat} < 10.5V$ et Démarrage générateur diesel

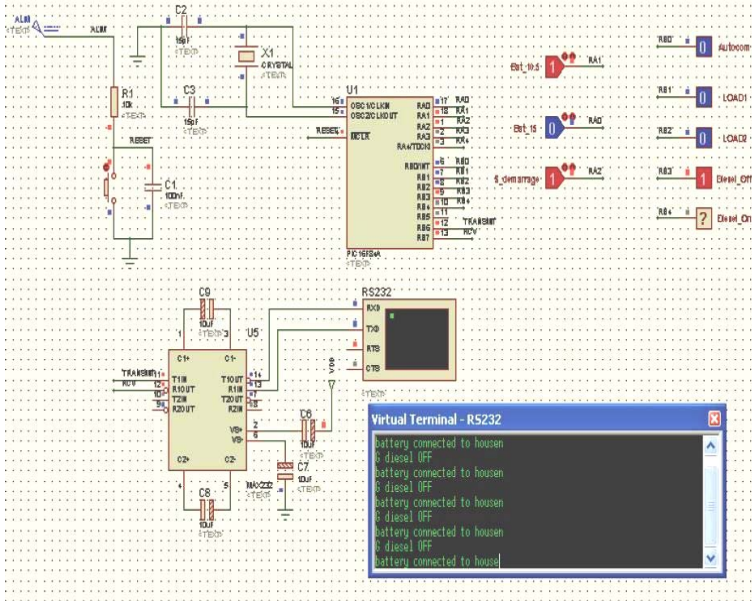


Fig. 9: Simulation du microcontrôleur pour $V_{bat} > 10.5V$ et Démarrage générateur diesel

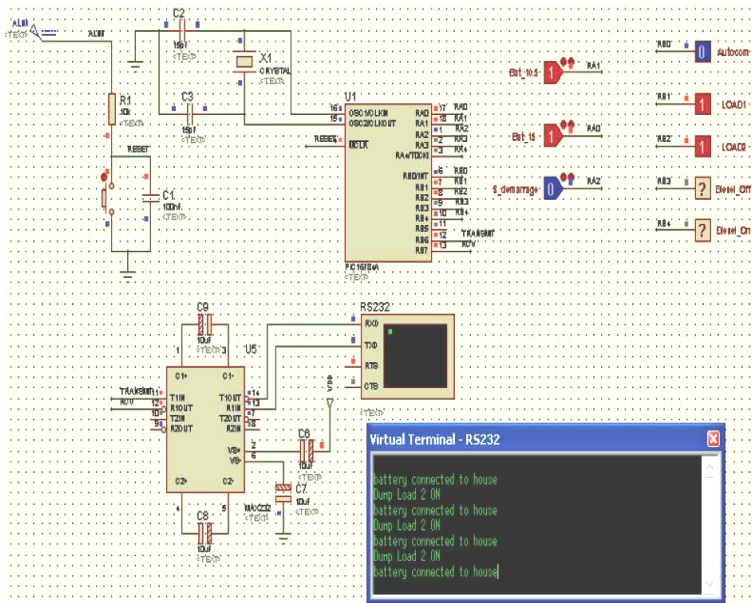


Fig. 10: Simulation du microcontrôleur pour $V_{bat} > 15V$

10. REALISATION DU MECCGOPSEH

En se basant sur le schéma de synthèse du MECCGOPSEH, tel que proposé à la figure 5, le circuit électronique a été réalisé.

Les différents composants y ont par la suite été montés. Après une dernière vérification minutieuse des soudures au fer chaud et à l'étain, le module peut être installé dans son boîtier.

La figure ci-dessous présente une photographie du MECCGOPSEH.



Fig. 11: Image photographique du MECCGOPSEH

11. CONCLUSION

Le présent travail a permis de concevoir et de réaliser un module électronique pour systèmes énergétique hybrides éolien-photovoltaïque-diesel capable d'intervenir dans la production et la gestion de l'énergie.

Partant de l'architecture du système énergétique proposé, ainsi que du cahier de charge du MECCGOSEH, nous avons élaboré le schéma synoptique du module électronique.

Le schéma synoptique ainsi obtenu a servi à élaborer le schéma de synthèse. L'exploitation de ce module permet d'apporter une amélioration significative de la gestion de l'énergie dans les systèmes énergétiques hybrides déconnectés du réseau.

REFERENCES

- [1] R. Magnusson, '*A Wind-Diesel Energy System for Grimsey, Iceland*', Journal of Wind Engineering Vol. 6, N°4, pp. 185 – 192, 1982.
- [2] M.J. Harrap and J.P. Baird, '*Aerogenerator Configurations for Hybrid Wind-Diesel Systems*', Journal of Wind Engineering, Vol. 11, N°5, 1987.
- [3] R. Hunter and G. Elliot, '*Wind-Diesel Systems*', 264 p., Cambridge University Press, 1994.
- [4] F.K. Manasse, '*Comparison of Costs for Solar Electric Sources with Diesel Generators in Remote Locations*', Revue de Physique Appliquée, T.15, N°3, 1980.
- [5] R.W. Todd, '*Controls for Small Wind/Solar/Battery Systems*', Journal of Wind Engineering Vol. 11, N°3, pp. 124 – 130, 1987.

- [6] J. Akerlund, *Hybrid Power Systems for Remote Sites – Solar, Wind and Mini Diesel*, IEEE, Intelec'83, Fifty International Telecommunication Energy Conference, pp. 443 – 449, October 18 - 21 1983.
- [7] J.C. Hennet and M.T. Samarakou, '*Optimization of a Combined Wind and Solar Power Plant*', Journal of Energy Research, Vol. 10, N°1, pp. 1 – 10, 1986.
- [8] M. Belhamel, S. Moussa et A. Kaabeche, '*Production d'Electricité au Moyen d'un Système Hybride (Eolien-Photovoltaïque-Diesel)*', Revue des Energies Renouvelables, Numéro Spécial, Zones Arides, pp. 49 – 54, 2002.
- [9] H.G. Beyer, H. Gabler, G.J. Gerdes, D. Heimann, J. Luther, J. Schumacher-Gröhn and R. Steinberger-Willms, '*Wind/Solar Hybrid Electricity Generation For Stand Alone Systems With Battery And Hydrogen Storage*', Proceedings 5th International Conference on Energy Options - The Role of Alternatives in the World Energy Scene, Reading, pp. 132 – 135, 1987.
- [10] J.F. Manwell, J.G. McGowan, U. Abdulwahid, '*Simplified Performance Model for Hybrid Wind Diesel Systems*', University of Massachusetts, Technical Report, Renewable Energy Laboratory, 2001.
- [11] www.electricitystorage.org
- [12] H. Ibrahim, R. Younes, A. Ilinca et J. Perron, '*Investigation des Générateurs Hybrides d'Electricité de Type Eolien-Air Comprimé*', Colloque International Sur les Énergies Renouvelables, CER'2007. Oujda, Maroc 4-5 Mai 2007.