



(43) Date de la publication internationale
18 décembre 2008 (18.12.2008)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2008/152238 A2

(51) Classification internationale des brevets :
G01R 31/36 (2006.01) **G01R 31/00** (2006.01)
G01R 31/26 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2008/000644

(22) Date de dépôt international : 7 mai 2008 (07.05.2008)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0703369 11 mai 2007 (11.05.2007) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **COM-
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE** [FR/FR]; 25
rue Leblanc, Immeuble "Le Ponant D", F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :
LABRUNIE, Antoine [FR/FR]; 12 rue Broca, F-75005
Paris (FR). **GENIES, Sylvie** [FR/FR]; 20, rue Troussai,
F-38120 Saint Egreve (FR).

(74) Mandataires : **HECKE, Gérard** etc.; Cabinet Hecke,
WTC Europole, 5, place Robert Schuman, B.P. 1537,
F-38025 Grenoble Cedex 1 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG,
ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL,
IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK,
LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD OF DIAGNOSING DEFECTIVE ELEMENTS IN A STANDALONE SYSTEM, POWERED BY AN IN-
TERMITTENT POWER SOURCE

(54) Titre : PROCÉDÉ DE DIAGNOSTIC D'ÉLÉMENTS DÉFECTUEUX DANS UN SYSTÈME AUTONOME, ALIMENTÉ
PAR UNE SOURCE D'ALIMENTATION INTERMITTENTE

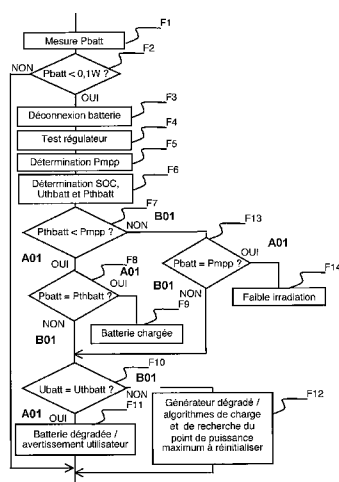


Figure 2

F1 measurement of P_{batt}
F2 $P_{batt} < 0.1 \text{ W}$?
F3 disconnection of battery
F4 regulator test
F5 determination of P_{mpp}
F6 determination of SOC, U_{batt} and P_{thbatt}
F7 $P_{thbatt} < P_{mpp}$?
F8 $P_{batt} = P_{thbatt}$?
F9 battery charged
F10 $U_{batt} = U_{thbatt}$?
F11 battery degraded/user warning
F12 generator degraded/algorithms for charging and searching for the maximum power point to be reinitialized
F13 $P_{batt} = P_{mpp}$?
F14 weak irradiation
A01 YES
B01 NO

(57) Abstract: The diagnostic method applies to a stand-alone system comprising a generator, a power regulator and an energy storage element. The method comprises the comparison (F2, F22) of the power or the real charge current (P_{batt}/I_{batt}) of the energy storage element respectively to a predefined power or current threshold. If the real charge power or current (P_{batt}/I_{batt}) is less than said threshold, the energy storage element is disconnected (F3, F23). An abnormal behaviour is then detected either by comparing (F8, F13) the real charge power (P_{batt}) to the smallest (F7) of the values representative of the theoretical charge power (P_{thbatt}) of the energy storage element and the maximum power (P_{mpp}) that can be delivered by the generator, and by comparing the real (U_{batt}) and theoretical (U_{thbatt}) charge voltages (F10), either by comparing the real (I_{batt}) and theoretical (I_{thbatt}) charge currents (F26).

(57) Abrégé : Le procédé de diagnostic s'applique à un système autonome comportant un générateur, un régulateur de puissance et un élément de stockage d'énergie. Le procédé comporte la comparaison (F2, F22) de la puissance ou du courant réel de charge (P_{batt}/I_{batt}) de l'élément de stockage d'énergie respectivement à un seuil de puissance ou de courant prédéfini. Si la puissance ou le courant réel de charge (P_{batt}/I_{batt}) est inférieure audit seuil, l'élément de stockage d'énergie est déconnecté (F3, F23). Un comportement anormal est ensuite détecté soit en comparant (F8, F13) la puissance réelle de charge (P_{batt}) à la plus petite (F7)

[Suite sur la page suivante]



MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),

Publiée :

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport

Procédé de diagnostic d'éléments défectueux dans un système autonome, alimenté par une source d'alimentation intermittente.

5

Domaine technique de l'invention

L'invention est relative à un procédé de diagnostic d'éléments défectueux dans un système autonome, alimenté par une source d'alimentation intermittente et comportant en série un générateur, un régulateur de puissance et un élément de stockage d'énergie, le régulateur d'énergie pouvant comporter un convertisseur de puissance.

État de la technique

Les systèmes autonomes alimentés par des sources d'énergie intermittentes (par exemple : des panneaux photovoltaïques, des générateurs de type éoliens...) sont appelés à se développer. De plus, ces systèmes autonomes seront préférentiellement installés dans des endroits isolés, d'accès difficile pour lesquels le coût d'une alimentation classique en énergie, par câble, serait prohibitif. Dans ce type de configuration, l'optimisation de l'entretien et de l'autonomie revêt un caractère primordial pour permettre une réduction importante des coûts de fonctionnement.

25

Or, les systèmes classiques, s'ils permettent parfois de suivre la production d'énergie, ne sont pas conçus pour réagir en cas de faible production, ni pour informer l'utilisateur ou le personnel de maintenance de l'origine d'un défaut.

30

Dans un système autonome conventionnel, la batterie peut être branchée directement sur le panneau photovoltaïque. Le panneau photovoltaïque est

conçu (nombre et disposition des cellules) pour charger une batterie au plomb. Le point de puissance du panneau photovoltaïque est ajusté par la tension aux bornes de la batterie. En effet, plus la batterie est chargée, plus sa tension est élevée et plus le courant délivré par le panneau est faible.

5 Enfin, les batteries au plomb supportent facilement les surcharges.

Cependant, dans la plupart des systèmes autonomes :

- il y a une gestion de la charge de la batterie (seuils de tension, connexion / déconnexion des différentes charges),
- 10 - il n'y a pas de composant de conversion de puissance,
- il y a une surveillance de la production du système,
- il n'y a pas de surveillance du fonctionnement du panneau.

La demande de brevet japonais JP2005340464 décrit un système de diagnostic utilisant la comparaison du rapport de la puissance instantanée sur la puissance standard entre les différents panneaux d'une centrale photovoltaïque. Le bon fonctionnement ou le mauvais fonctionnement des panneaux photovoltaïques est déduit de cette comparaison. La puissance standard des différents panneaux photovoltaïques en fonction de l'heure

15 ainsi que la puissance délivrée par chaque panneau durant les journées précédentes ont été préalablement mises en mémoire dans le système.

20

Le brevet US6892165 décrit le calcul de caractéristiques standard d'un système photovoltaïque, calcul basé sur les conditions d'installation du système, et la comparaison de cette valeur standard à des valeurs mesurées. Le bon fonctionnement du système est déduit de cette comparaison.

25

Dans les systèmes de gestion des installations autonomes actuelles, l'utilisateur (ou le personnel d'entretien) est prévenu trop tard, lorsqu'il n'y a

30

plus de source d'énergie et que la batterie est déchargée. De plus, l'utilisateur n'a aucune information sur la cause de la défaillance.

5 **Objet de l'invention**

L'objet de l'invention consiste à pallier les inconvénients précités et en particulier à détecter les causes de défaillance avant qu'il n'y ait plus de source d'énergie et que la batterie soit déchargée.

10

Ce but est atteint par un procédé selon les revendications annexées et plus particulièrement dans une première variante de réalisation par le fait que le procédé comporte

- 15 - la mesure du courant et de la tension réels de charge, la détermination en fonction desdites mesures de la puissance réelle de charge de l'élément de stockage d'énergie, la comparaison de ladite puissance réelle de charge à un seuil de puissance prédéfini,
- 20 - la déconnexion de l'élément de stockage d'énergie si la puissance de charge est inférieure au seuil de puissance,
- 25 - l'élément de stockage d'énergie étant déconnecté, la mesure de la puissance maximale délivrable par le générateur à l'instant de la mesure, la détermination de l'état de charge de l'élément de stockage d'énergie déconnecté, ainsi que de la tension et de la puissance théoriques de charge correspondant,
- 30 - la différenciation entre un comportement normal, un mauvais fonctionnement du générateur et un mauvais fonctionnement de l'élément de stockage d'énergie en fonction de la comparaison entre la puissance réelle de charge de l'élément de stockage et la plus petite des valeurs représentatives de la puissance théorique de charge de l'élément de stockage d'énergie et de la puissance maximale délivrable par le générateur et de la comparaison entre la

tension réelle de charge et la tension théorique de charge de l'élément de stockage d'énergie.

Ce but est également atteint dans une seconde variante de réalisation particulière par le fait que l'élément de stockage d'énergie étant connectés directement par des moyens de commutation, le procédé comporte

- la mesure d'un courant réel de charge (I_{batt}) et d'une tension réelle de charge (U_{batt}), la comparaison du courant réel de charge (I_{batt}) à un premier seuil de courant prédéfini (I_{seuil}),
- la déconnexion de l'élément de stockage d'énergie (1) si ledit courant réel de charge (I_{batt}) est inférieur au seuil de courant (I_{seuil}),
- l'élément de stockage d'énergie (1) étant déconnecté, la mesure du courant maximal (I_{max}) et de la tension maximale (U_{max}) délivrables par le générateur (2) à l'instant de la mesure, la détermination de l'état de charge (SOC) de l'élément de stockage d'énergie (1) déconnecté, d'un courant théorique de charge (I_{thbatt}) et d'une tension théorique de charge (U_{thbatt}),
- la différenciation entre un comportement normal, un mauvais fonctionnement du système autonome en fonction de la comparaison du courant réel de charge (I_{batt}) avec le courant théorique de charge (I_{thbatt}).

Description sommaire des dessins

D'autres avantages et caractéristiques ressortiront plus clairement de la description qui va suivre de modes particuliers de réalisation de l'invention donnés à titre d'exemples non limitatifs et représentés aux dessins annexés, dans lesquels :

La figure 1 représente de façon schématique un système autonome dans lequel le procédé selon l'invention peut être mis en œuvre.

La figure 2 représente, sous forme d'organigramme, un mode particulier de réalisation d'un procédé selon l'invention.

5 La figure 3 illustre un mode particulier de réalisation du test du régulateur du procédé selon la figure 2.

La figure 4 représente, sous forme d'organigramme, un second mode particulier de réalisation d'un procédé selon l'invention.

10 La figure 5 représente, de manière schématique, les caractéristiques électriques de l'élément de stockage d'énergie et du générateur, dans un fonctionnement normal selon le mode particulier de réalisation illustré à la figure 4.

15 Les figures 6 et 7 représentent, de manière schématique, les caractéristiques électriques de l'élément de stockage d'énergie et du générateur, dans un mauvais fonctionnement de l'élément de stockage d'énergie et du générateur selon le mode particulier de réalisation illustré à la figure 4.

Description d'un mode particulier de réalisation de l'invention

20

Comme illustré sur la figure 1, le système autonome comporte au moins une batterie 1 constituant un élément de stockage d'énergie, un générateur 2 d'énergie, délivrant une alimentation intermittente, et un régulateur de puissance 3 connecté entre le générateur 2 et la batterie 1. Le régulateur de puissance 3 comporte, avantageusement, non seulement un circuit de régulation de la puissance mais également un module de recherche du point de puissance maximale délivrable par le générateur 2, avec un algorithme de recherche correspondant, et un module de charge de l'élément de stockage d'énergie 1 avec un algorithme de charge dédié. Les algorithmes de recherche et de charge peuvent être intégrés dans le régulateur de puissance 3 et/ou dans une unité de contrôle 6. Des circuits de mesures 4 et

25

30

5, permettant respectivement de mesurer la tension et le courant à la sortie du générateur 2 et aux bornes de la batterie 1, sont connectés à une unité de contrôle 6, également connectée au régulateur de puissance 3. Un circuit 7 de mesure de la température est également connecté à l'unité de contrôle 6 et une charge 8 est classiquement alimentée par la batterie 1.

Le générateur 2 d'énergie est, par exemple, de type éolien ou micro-hydraulique ou avantageusement un panneau photovoltaïque.

10 Le régulateur de puissance 3 comporte, de préférence, un convertisseur de type BUCK. L'unité de contrôle 6 est ainsi destinée à gérer, par l'intermédiaire du régulateur de puissance 3, l'adéquation entre la puissance fournie par le générateur 2 et la charge de la batterie 1.

15 L'unité de contrôle 6 commande l'ouverture et la fermeture d'éléments de commutation (non représentés) connectés entre le panneau photovoltaïque 2 et la batterie 1 et destinés à permettre la déconnexion de la batterie 1. Les éléments de commutation sont, de préférence, intégrés au régulateur de puissance 3.

20

De manière avantageuse, des données relatives à des profils de charge de la batterie 1, permettant de déterminer la puissance de charge théorique P_{thbatt} ainsi que la tension de charge théorique U_{thbatt} en fonction de l'état de charge et de la température de la batterie 1, sont mises en mémoire dans l'unité de contrôle 6.

25

Le circuit 7 mesure, avantageusement, la température T de la batterie 1.

30 Le système autonome comporte, avantageusement, un dispositif de communication avec l'extérieur (non représenté), qui peut être intégré dans l'unité de contrôle 6.

Dans le mode de réalisation particulier illustré par l'organigramme de la figure 2 et correspondant à un régulateur 3 de puissance comportant un convertisseur de puissance, l'unité de contrôle 6 détermine (étape F1) la puissance réelle de charge P_{batt} de la batterie 1 à partir des mesures (I/V) de la tension et du courant aux bornes de la batterie 1, fournies par le circuit de mesure 5. Elle compare (F2) la puissance réelle de charge P_{batt} de la batterie 1 à un seuil prédéfini, qui est fonction de l'élément de stockage et qui correspond à la puissance de fin de charge, par exemple 0,1 watt.

Si la puissance réelle de charge P_{batt} est inférieure au seuil prédéfini (sortie OUI de F2), l'unité de contrôle 6 provoque (F3) la déconnexion de la batterie 1 après avoir mis en mémoire les dernières valeurs de tension et du courant mesurées par les circuits de mesures 4 et 5.

L'unité de contrôle 6 déclenche, ensuite, un protocole de test afin de vérifier que tous les éléments, intervenant dans le processus de charge de la batterie 1, sont fonctionnels. Le protocole de test utilise notamment les valeurs de courant et de tension mesurées juste avant la déconnexion de la batterie 1

Le protocole de test peut commencer par (F4) un test, facultatif, du régulateur de puissance 3. Un mode particulier de réalisation de ce test sera décrit plus en détail ultérieurement, en référence à la figure 3. Le test a ensuite pour but de détecter un mauvais fonctionnement du générateur et/ou de la batterie 1. Dans une étape F5, l'unité de contrôle 6 calcule la puissance maximale délivrable par le panneau photovoltaïque 2 P_{mpp} , sur la base de mesures de la tension et du courant aux bornes du panneau photovoltaïque lorsque ce dernier est réglé à son point de puissance maximale, avec l'ensoleillement réel au moment des mesures.

La mesure de ces deux grandeurs (tension et courant) nécessite d'être en mesure de dissiper ou d'utiliser cette puissance dans le système. Or, l'électronique de puissance, n'est pas prévue pour ce type de fonctionnement et n'est donc pas capable de dissiper la totalité de la puissance fournie par le
5 panneau photovoltaïque 2.

Une première possibilité consiste à mesurer successivement la tension à vide V_{oc} et le courant de court-circuit du panneau afin d'en déduire la tension au point de puissance maximale V_{mpp} et le courant I_{mpp} associé. Il faut
10 pour cela commuter rapidement d'un état à l'autre.

Une autre possibilité consiste à faire des variations d'impédance et des mesures très brèves, afin de pouvoir interpoler le point de puissance maximale. La puissance est élevée, mais le temps et donc l'énergie sont
15 faibles. On peut, par exemple, réaliser un certain nombre de mesures pendant la commutation entre le circuit ouvert et le court-circuit.

L'unité de contrôle 6 peut alors avantageusement comparer les valeurs de tension en circuit ouvert V_{oc} et au point de puissance maximale V_{mpp} à des
20 valeurs nominales, connues. Cette comparaison peut, de plus, permettre de s'assurer que toutes les cellules du panneau photovoltaïque fonctionnent. Si c'est le cas, l'unité de contrôle 6, calcule la puissance P_{mpp} .

Ensuite, l'unité de contrôle 6 détermine l'état de charge (SOC) de la batterie
25 1, par exemple, en mesurant la tension à vide et la température T de la batterie 1 (fournies par les circuits de mesure 5 et 7) et au moyen d'abaques. Pour permettre une mesure précise de l'état de charge (SOC), cette étape F6 est préférentiellement réalisée, après une durée d'attente prédéfinie fonction du type, de la température et de l'état de charge de la batterie, typiquement
30 de l'ordre de 10 minutes pour une batterie au Lithium, après déconnexion de la batterie. Cette durée d'attente permet à la batterie de stabiliser sa tension

à vide. Cette estimation de l'état de charge (SOC) est avantageusement utilisée par l'unité de contrôle 6 pour définir la puissance de charge souhaitable pour divers profils de charges de la batterie 1. L'unité de contrôle 6 détermine, en particulier, pour l'état de charge déterminé (SOC), la puissance de charge théorique $P_{thbatt}(SOC)$ ainsi que la tension théorique $U_{thbatt}(T, SOC)$, qui dépend également de la température de la batterie 1, permettant, en théorie, une charge optimale de la batterie. Les valeurs P_{thbatt} et U_{thbatt} utilisées par la suite sont donc fonctions de l'état de charge (SOC) réel de la batterie 1 au moment de leur détermination (étape F6).

Les données relatives à des profils de charge de la batterie 1 comportent, préférentiellement, non seulement le type de batterie utilisé et le courant maximum de charge autorisé, mais aussi la puissance de charge et le type de charge en fonction de l'état de charge de la batterie.

L'unité de contrôle 6 utilise alors différentes grandeurs mesurées et déterminées, pour déterminer l'origine de la faible puissance de charge détectée auparavant (sortie OUI de F2).

Sur la figure 2, la puissance théorique de charge P_{thbatt} , est (F7) d'abord comparée à la puissance maximale P_{mpp} .

Si (sortie OUI de F7) la puissance maximale P_{mpp} du panneau photovoltaïque 2 est supérieure à la puissance théorique de charge de la batterie 1 ($P_{mpp} > P_{thbatt}$), alors le panneau photovoltaïque 2 ne limite pas, a priori, la charge de la batterie 1. La puissance réelle de charge P_{batt} est alors comparée (F8) à la puissance théorique de charge P_{thbatt} de la batterie 1.

Si (sortie OUI de F8), la puissance réelle de charge est égale à la puissance théorique de charge ($P_{batt} = P_{thbatt}$) de la batterie 1, alors, la batterie 1 est

considérée comme chargée (F9), ce qui explique la faible puissance de charge nécessaire à la batterie 1. Dans cette configuration, le système autonome peut avantageusement prévenir l'utilisateur.

5 Dans un exemple correspondant, lorsque la puissance réelle de charge P_{batt} atteint la valeur seuil 0,1W, l'unité de contrôle 6 mesure une puissance maximale P_{mpp} délivrable par le panneau photovoltaïque 2 de 10W et un état de charge de la batterie 1 de 95%. Au moyen des données relatives à des profils de charge de la batterie 1, l'unité de contrôle 6 détermine une
10 puissance théorique de charge P_{thbatt} de 0,1W. La puissance maximale P_{mpp} du panneau photovoltaïque 2 est alors supérieure à la puissance théorique de charge de la batterie 1 (P_{mpp} (10W) > P_{thbatt} (0,1W)) et la puissance réelle de charge P_{batt} est égale à la puissance théorique de charge (0,1W) de la batterie 1. La batterie 1 est donc chargée.

15 Par contre, si (sortie NON de F8) la puissance réelle de charge P_{batt} est différente de la puissance théorique de charge P_{thbatt} , on suppose que la puissance de charge est inférieure à la puissance théorique de charge (P_{batt} < P_{thbatt}) et que la batterie ne se charge pas normalement. En effet, la
20 puissance de charge supérieure à la puissance théorique de charge (P_{batt} > P_{thbatt}), correspond au cas où la batterie 1 est chargée et le régulateur 3 lui délivre plus de puissance que nécessaire. Les puissances en œuvres étant faibles (P_{batt} < 0,1Watt), ce cas est assimilé aux erreurs de mesures près au cas précédent $P_{batt} = P_{thbatt}$. L'unité de contrôle 6 compare alors (F10) les
25 tensions de charge réelle U_{batt} et théorique U_{thbatt} pour détecter l'élément défectueux.

Si (sortie OUI de F10) la tension de charge réelle est égale à la tension théorique fonction de l'état de charge de la batterie 1 et de la température
30 ($U_{batt} = U_{thbatt}(T, SOC)$), alors, la batterie semble dégradée et l'utilisateur est averti (F11). En effet, on suppose que la principale conséquence de la

dégradation de la batterie 1 est une augmentation de son impédance interne et donc un décalage des points de fonctionnement courant et tension de la batterie 1. Dans le cas contraire (sortie NON de F10), on suppose que la tension de charge réelle est inférieure à la tension théorique de charge ($U_{batt} < U_{thbatt}(T, SOC)$), et c'est le panneau photovoltaïque 2 qui semble dégradé et l'algorithme de recherche du point de puissance maximale du panneau photovoltaïque 2 ainsi que l'algorithme de charge de la batterie 1 sont réinitialisés (F12). En effet, on considère que la principale conséquence de la dégradation du panneau photovoltaïque 2 est la dégradation de sa courbe tension/courant et l'apparition de minima et de maxima locaux qui empêche l'algorithme de recherche du point de puissance maximale de trouver le vrai point de fonctionnement du panneau photovoltaïque 2. Ainsi, le panneau photovoltaïque 2 fonctionne à un point de puissance inférieur à son point maximal. Le cas $U_{batt} > U_{thbatt}$ est considéré comme impossible ou improbable au niveau de l'étape F10.

Dans un exemple correspondant, lorsque la puissance réelle de charge atteint la valeur seuil 0,1W, l'unité de contrôle 6 mesure une puissance maximale délivrable par le panneau photovoltaïque 2 de 10W et un état de charge de la batterie 1 de 70%. Au moyen des données relatives à des profils de charge de la batterie 1, l'unité de contrôle 6 détermine une puissance théorique de charge P_{thbatt} de 5W. D'autre part, l'unité de contrôle 6 détermine que la tension de charge U_{batt} est inférieure à la tension théorique de charge U_{thbatt} . La puissance maximale du panneau photovoltaïque 2 est donc supérieure à la puissance théorique de charge de la batterie 1 ($P_{mpp}(10W) > P_{thbatt}(0,1W)$), la puissance réelle de charge est inférieure à la puissance théorique de charge ($P_{batt}(0,1W) < P_{thbatt}(5W)$). Le panneau 2 est donc suspecté être défectueux et l'algorithme de charge ainsi que l'algorithme de recherche du point de puissance maximale (F12) sont réinitialisés.

Dans un autre exemple correspondant, lorsque la puissance réelle de charge atteint la valeur seuil 0,1W, l'unité de contrôle 6 mesure une puissance maximale délivrable par le panneau photovoltaïque 2 de 1W et un état de charge de la batterie 1 de 70%. La puissance théorique de charge P_{thbatt} est de 5W. La puissance maximale du panneau photovoltaïque 2 est donc inférieure à la puissance théorique de charge de la batterie 1 ($P_{mpp}(1W) < P_{thbatt}(5W)$) et la puissance réelle de charge est inférieure à la puissance maximale du panneau photovoltaïque 2 ($P_{batt}(0,1W) < P_{mpp}(1W)$). De plus, la tension de charge U_{batt} est égale à la valeur théorique U_{thbatt} . La batterie 1 est donc suspectée être dégradée et l'utilisateur est averti (F11).

Si (sortie NON de F7) la puissance maximale du panneau est inférieure à la puissance théorique de charge de la batterie ($P_{mpp} < P_{thbatt}$), alors le panneau photovoltaïque 2 limite, a priori, la charge de la batterie 1. La puissance maximale P_{mpp} du panneau photovoltaïque 2 est alors comparée (F13) à la puissance réelle de charge P_{batt} de la batterie 1.

Si (sortie OUI de F13) la puissance réelle de charge de la batterie 1 est égale à la puissance maximale du panneau photovoltaïque 2 ($P_{batt} = P_{mpp}$), cela signifie que l'irradiation est faible (F14) et que la batterie 1 utilise toute la puissance disponible. Le fonctionnement est donc normal.

Dans un exemple correspondant, lorsque la puissance réelle de charge atteint la valeur seuil 0,1W, l'unité de contrôle 6 mesure une puissance maximale délivrable par le panneau photovoltaïque 2 de 0,1W et un état de charge de la batterie 1 de 70%. La puissance théorique de charge P_{thbatt} est de 5W. La puissance maximale du panneau photovoltaïque 2 est donc inférieure à la puissance théorique de charge de la batterie 1 ($P_{mpp}(0,1W) < P_{thbatt}(5W)$) et la puissance réelle de charge est égale à la puissance maximale du panneau photovoltaïque 2 (0,1W). Cela signifie donc que l'irradiation est faible (F14) et que le système fonctionne correctement.

Si (sortie NON de F13) la puissance réelle de charge de la batterie 1 n'est pas égale à la puissance maximale du panneau photovoltaïque 2, la puissance de charge ne pouvant jamais être supérieure à la puissance
5 délivrée par le générateur, cela signifie que la puissance réelle de charge de la batterie 1 est inférieure à la puissance maximale du panneau photovoltaïque ($P_{batt} < P_{mpp}$), et que la batterie ne se charge pas normalement. Dans ces conditions, l'unité de contrôle 6 compare, comme précédemment, (F10) les tensions de charge réelle U_{batt} et théorique
10 U_{thbatt} pour discriminer quel est l'élément défectueux.

De façon plus générale, au sein du protocole de test, la puissance réelle de charge P_{batt} est comparée à la plus petite des valeurs représentatives de la puissance théorique de charge P_{thbatt} de l'élément de stockage d'énergie 1
15 et de la puissance maximale P_{mpp} délivrable par le générateur 2. En effet, si la puissance théorique de charge P_{thbatt} est inférieure à la puissance maximale P_{mpp} délivrable par le générateur 2 (sortie OUI de F7), la puissance réelle de charge P_{batt} est alors comparée à la puissance théorique de charge P_{thbatt} , dans le cas contraire (sortie NON de F7), la
20 puissance réelle de charge P_{batt} est comparée à la puissance maximale délivrable par le générateur 2. De plus, la comparaison de la tension de charge U_{batt} avec la tension théorique de charge U_{thbatt} n'a lieu que si la puissance de charge P_{batt} est inférieure à la puissance théorique de charge P_{thbatt} et à la puissance maximale P_{mpp} délivrable par le générateur 2.

25 La réinitialisation d'un algorithme (F11 ou F12) ne permet pas de considérer le générateur 2 comme défectueux la première fois. Dans un mode de réalisation préférentiel, le générateur 2 est signalé comme défectueux après un certain nombre de réinitialisations, par exemple après trois
30 réinitialisations.

Comme représenté à la figure 3, le test du régulateur (F4) peut comporter la mesure la tension aux bornes du régulateur de puissance 3. Dans le système autonome représenté à la figure 1, les mesures des tensions peuvent être réalisées par les circuits de mesure 4 et 5. Dans ce cas de figure particulier, la tension d'entrée du régulateur de puissance correspond à la tension aux bornes du générateur V_g et la tension de sortie du régulateur, U_{batt} , est la tension aux bornes de l'élément de stockage 1.

Le protocole de test (F4) du régulateur de puissance 3 peut comporter les étapes suivantes. L'unité de contrôle 6 fait réaliser une nouvelle mesure (F15) de la tension fournie par le générateur 2 ou utilise la valeur préalablement mise en mémoire. L'unité de contrôle 6 fait également réaliser une nouvelle mesure (F16) de la tension fournie à la batterie 1 ou utilise la valeur préalablement mise en mémoire. L'unité de contrôle 6 teste (F17) ensuite si la valeur de la tension fournie à la batterie 1 est nulle.

Si (sortie OUI de F17) la tension fournie à la batterie est nulle, le régulateur de puissance 3 est alors déclaré défectueux (F20). Dans le cas contraire (sortie NON de F17), le régulateur de puissance 3 est considéré comme fonctionnel (F19).

Dans une variante de réalisation, le même problème technique peut être résolu dans un système autonome dont le régulateur de puissance ne comporte pas de convertisseur. Le convertisseur de puissance, étant un élément onéreux, il est également possible de réaliser la charge de la batterie selon un autre protocole de charge.

La régulation de la charge de la batterie 1 à partir du générateur 2 est alors réalisée au moyen des éléments de commutations disposés entre le générateur 2 et la batterie 1. Dans ce cas de figure, lors de la charge, la puissance délivrée par le générateur n'est plus adaptée à la charge de la

batterie, il n'est plus possible de faire varier le rapport $U_{\text{entrée}}/U_{\text{sortie}}$. Ainsi, les tensions aux bornes du générateur et de la batterie sont identiques. Dans cette configuration, le générateur et l'élément de stockage sont connectés directement par l'intermédiaire des éléments de commutation.

5

Dans le mode de réalisation particulier illustré par l'organigramme de la figure 4 et correspondant à un régulateur 3 de puissance ne comportant pas de convertisseur de puissance, l'unité de contrôle 6 détermine (étape F21) le courant réel de charge I_{batt} de la batterie 1 au moyen du circuit de mesure 5.

10

Avantageusement, la tension réelle de charge est également mesurée au moyen du circuit de mesure 4. L'unité de contrôle 6 compare (F22) le courant réel de charge I_{batt} de la batterie 1 à un premier seuil de courant prédéfini I_{seuil} , préférentiellement égal au courant de fin de charge qui dépend directement de la batterie (type, dimension,...) et qui est typiquement égal à 5% du courant nominal de charge.

15

Si le courant réel de charge I_{batt} est inférieur au seuil prédéfini (sortie OUI de F22), l'unité de contrôle 6 provoque (F23) la déconnexion de la batterie 1 après avoir mis en mémoire les dernières valeurs de tension et du courant mesurées (U_{batt} et I_{batt}) par les circuits de mesures 4 et 5.

20

Dans une étape F24, l'unité de contrôle 6 calcule la tension U_{max} et le courant I_{max} maximal délivrables par le panneau photovoltaïque 2, sur la base de mesures de la tension et du courant aux bornes du panneau photovoltaïque. Les valeurs maximales de tension et de courant délivrables par le générateur sont indépendantes l'une de l'autre et correspondent à deux conditions distinctes de fonctionnement du générateur, la tension en circuit ouvert et le courant de court-circuit. Au moyen de ces deux informations, l'unité de contrôle détermine la courbe de fonctionnement normal du générateur. Cette courbe est calculée au moyen de données

25

30

spécifiques représentatives du générateur et qui sont intégrées dans la mémoire de l'unité de contrôle.

Comme illustré à la figure 5, la courbe A de fonctionnement du générateur calculée par l'unité de contrôle 6 représente la relation qui lie le courant délivré et la tension aux bornes du générateur dans un fonctionnement normal. On observe que dans un premier domaine qui correspond aux valeurs de tension les plus faibles, le courant délivrable est sensiblement maximal et constant, c'est le courant maximal I_{max} . Ensuite, au fur et à mesure que la tension augmente, le courant diminue de façon sensiblement linéaire jusqu'à être nul. Lorsque le courant délivré par le générateur est nul, la tension aux bornes de ce même générateur est maximale et correspond à la tension maximale U_{max} . La courbe A de fonctionnement du générateur tient donc compte des données climatiques actuelles, par exemple l'ensoleillement (irradiation et température).

Ensuite, l'unité de contrôle 6 détermine l'état de charge (SOC) de la batterie 1 (F25). Le protocole de détermination de l'état de charge est avantageusement identique à celui expliqué précédemment. Cette estimation de l'état de charge (SOC) est avantageusement utilisée par l'unité de contrôle 6 pour définir les paramètres de charge souhaitables pour divers profils de charges de la batterie 1.

L'unité de contrôle 6 possède également en mémoire, les caractéristiques générales de l'élément de stockage et est ainsi en mesure de connaître, dans un fonctionnement normal, la relation qui existe entre le courant de charge et la tension à ses bornes. Cette relation est typiquement représentée par la courbe B (figure 5) et est de la forme $U = E + RI$ dans laquelle :

U est la tension aux bornes de l'élément de stockage,

E est la force électromotrice de l'élément de stockage,

R est la résistance interne de l'élément de stockage,

I est le courant de charge.

De manière conventionnelle, la force électromotrice E de l'élément de stockage évolue en fonction de l'état de charge (SOC) de la batterie. De plus,
5 selon le type de batterie utilisée, il est possible d'observer de faibles variations de la résistance interne R de l'élément de stockage.

L'unité de contrôle 6 calcule alors la valeur de la tension théorique de charge et le courant théorique de charges (U_{thbatt}/I_{thbatt}) qui correspondent à
10 l'adéquation entre les caractéristiques électriques délivrables par le générateur et les caractéristiques électriques imposées par la charge de l'élément de stockage 1, c'est-à-dire l'intersection des courbes A et B de la figure 5. De cette manière, les tension et courant de charge déterminés par l'unité de contrôle 6 correspondent aux tension et courant théoriques de
15 charge U_{thbatt} et I_{thbatt} .

Ainsi, pour l'état de charge déterminé (SOC), l'unité de contrôle 6 détermine, le courant théorique de charge I_{thbatt} et la tension théorique $U_{thbatt}(T, SOC)$, qui dépend également de la température de la batterie 1. Ce couple
20 courant/tension théoriques de charge (U_{thbatt}/I_{thbatt}) permet, en théorie, une charge optimale de la batterie.

Comme précisé précédemment, le générateur et l'élément de stockage étant en connexion directe, la tension aux bornes de l'élément de stockage et du
25 générateur est identique et le courant qui quitte le générateur correspond à celui qui charge l'élément de stockage. Il en résulte que le point de fonctionnement doit appartenir aux courbes A et B. Le courant théorique de charge est donc toujours inférieur à I_{max} et évolue au fur et à mesure de la charge de la batterie depuis I_{max} jusqu'au courant de fin de charge par
30 exemple I_{seuil} . Le déplacement du courant théorique de charge sur la

caractéristique (U/I) du générateur est fonction des caractéristiques du générateur et de la batterie.

5 Avantageusement, les caractéristiques de l'élément de stockage et du générateur sont choisies de manière à ce que le courant théorique de charge I_{thbatt} ne soit pas inférieur à une valeur limite, par exemple 80% du courant maximal délivrable ($0,8 \cdot I_{max}$), ce qui correspond sensiblement au point de puissance maximale délivrable P_{mpp} par le générateur 2. Cette condition lie la taille du générateur à la taille de la batterie. Si le générateur
10 est surdimensionné par rapport à l'exemple précédent ($0,8 \cdot I_{max}$), le courant théorique de charge I_{thbatt} peut ne pas être inférieur à 90% du courant maximal délivrable voire être sensiblement égale au courant maximal délivrable I_{max} . A titre d'exemple, ce type de montage peut être mis en œuvre pour la charge d'une batterie au plomb qui supporte un courant élevé
15 en fin de charge. Dans le cas contraire, si l'on veut éviter de fournir un courant élevé en fin de charge, le générateur est sous-dimensionné.

Les valeurs U_{thbatt} et I_{thbatt} utilisées par la suite sont fonctions de l'état de charge (SOC) réel de la batterie 1 au moment de sa détermination (étape
20 F6).

L'unité de contrôle 6 utilise alors différentes grandeurs mesurées et déterminées, pour déterminer l'origine du faible courant de charge détecté auparavant (sortie OUI de F22).

25

Sur la figure 4, le courant réel de charge I_{batt} est comparé (F26) au courant théorique de charge I_{thbatt} pour vérifier si le courant réel de charge I_{batt} est inférieur au courant théorique de charge ($I_{batt} < I_{thbatt}$).

Si (sortie NON de F26) le courant réel de charge I_{batt} est supérieur ou égale au courant théorique de charge I_{thbatt} , alors le système autonome fonctionne normalement.

- 5 Avantageusement, l'état de charge de la batterie est alors comparé à un état de fin de charge prédéterminé (F27), par exemple 99% ($SOC < 99\%$). Si (sortie NON de F27) l'état de charge est supérieur ou égale à l'état de fin de charge prédéterminé, la batterie est considérée comme chargée (F28). Dans le cas contraire (sortie OUI de F27), le panneau photovoltaïque 2 limite, a priori, la charge de la batterie 1 cela signifie que l'irradiation est faible (F29) et que la batterie 1 utilise toute le courant disponible.
- 10

- Si (sortie OUI de F26), le courant réel de charge est inférieur au courant théorique de charge ($I_{batt} < I_{thbatt}$), on suppose alors que le système autonome a un fonctionnement anormal et la recherche de l'élément défectueux est réalisée.
- 15

- La tension théorique de charge U_{thbatt} , est (F30) ensuite comparée à la tension de charge U_{batt} pour vérifier si la tension réelle de charge U_{batt} est supérieure à la tension théorique de charge de la batterie 1 ($U_{batt} > U_{thbatt}$).
- 20

- Si (sortie OUI de F30) la tension réelle de charge U_{batt} est supérieure à la tension théorique de charge de la batterie 1 ($U_{batt} > U_{thbatt}$), alors la batterie semble dégradée et l'utilisateur est averti (F31). En effet, on suppose que la principale conséquence de la dégradation de la batterie 1 est une augmentation de son impédance interne et donc un décalage des points de fonctionnement courant et tension de la batterie 1, comme illustré par la courbe C à la figure 6.
- 25

- Dans le cas contraire (sortie NON de F30), on compare de nouveau la tension théorique de charge U_{thbatt} et la tension de charge U_{batt} (F32) pour
- 30

vérifier si la tension réelle de charge U_{batt} est inférieure à la tension théorique de charge de la batterie 1 ($U_{batt} < U_{thbatt}$).

- 5 Si (sortie OUI de F32) la tension réelle de charge U_{batt} est inférieure à la tension théorique de charge de la batterie 1 ($U_{batt} < U_{thbatt}$), alors c'est le panneau photovoltaïque 2 qui semble dégradé (F33). En effet, on considère que la principale conséquence de la dégradation du panneau photovoltaïque 2 est la dégradation de sa courbe tension/courant, c'est-à-dire que sa courbe tension/courant est située sous sa courbe tension/courant nominale, comme
- 10 illustré par la courbe D à la figure 7. Il en résulte donc un décalage des points de fonctionnement courant et tension de la batterie 1 par rapport aux points de fonctionnement théorique. Ainsi, le panneau photovoltaïque 2 est donc suspecté être défectueux et l'utilisateur est averti (F33).
- 15 Dans le cas contraire (sortie NON de F32), la tension théorique de charge U_{thbatt} est égale à la tension de charge U_{batt} , le fonctionnement du système autonome est anormal, mais aucune cause ne peut être déterminée et l'utilisateur est averti (F34). Ce cas de figure peut correspondre à une dégradation simultanée du générateur et de la batterie.

Revendications

1. Procédé de diagnostic d'éléments défectueux dans un système autonome, alimenté par une source d'alimentation intermittente et comportant en série un générateur (2), un régulateur de puissance (3) et un élément de stockage d'énergie (1), procédé caractérisé en ce qu'un convertisseur étant disposé entre le générateur (2) et l'élément de stockage d'énergie (1), le procédé comporte
- 10 - la mesure du courant et de la tension (U_{batt}) réels de charge, la détermination en fonction desdites mesures de la puissance réelle de charge (P_{batt}) de l'élément de stockage d'énergie (1), la comparaison de ladite puissance réelle de charge à un seuil de puissance prédéfini,
 - 15 - la déconnexion de l'élément de stockage d'énergie (1) si la puissance de charge est inférieure au seuil de puissance,
 - l'élément de stockage d'énergie (1) étant déconnecté, la mesure de la puissance maximale (P_{mpp}) délivrable par le générateur (2) à l'instant de la mesure, la détermination de l'état de charge (SOC) de
20 l'élément de stockage d'énergie (1) déconnecté, ainsi que de la tension (U_{thbatt}) et de la puissance (P_{thbatt}) théoriques de charge correspondant,
 - la différenciation entre un comportement normal, un mauvais fonctionnement du générateur (2) et un mauvais fonctionnement de
25 l'élément de stockage d'énergie (1) en fonction de la comparaison entre la puissance réelle de charge (P_{batt}) de l'élément de stockage (1) et la plus petite des valeurs représentatives de la puissance théorique (P_{thbatt}) de charge de l'élément de stockage d'énergie (1) et de la puissance maximale (P_{mpp}) délivrable par le générateur (2)
30 et de la comparaison entre la tension réelle (U_{batt}) de charge et la

tension théorique (U_{thbatt}) de charge de l'élément de stockage d'énergie (1).

2. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'il comporte la mesure des tensions d'entrée et de sortie du régulateur de puissance (3) et la détection d'un défaut dans le dispositif du régulateur de puissance (3) en fonction desdites mesures.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le régulateur de puissance (3) est considéré comme défectueux si sa tension de sortie (U_{batt}) est nulle.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que si la puissance réelle de charge (P_{batt}) de l'élément de stockage (1) est inférieure à la puissance théorique de charge (P_{thbatt}) et à la puissance maximale (P_{mpp}) délivrable par le générateur (2) et si la tension théorique de charge (U_{thbatt}) est égale à la tension réelle de charge (U_{batt}), l'élément de stockage d'énergie (1) est considéré comme dégradé (F11).

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que si l'élément de stockage d'énergie (1) est considéré comme dégradé, la signalisation de la défektivité est réalisée.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que si la puissance réelle de charge (P_{batt}) de l'élément de stockage d'énergie (1) est inférieure à la puissance maximale (P_{mpp}) délivrable par le générateur (2) et à la puissance théorique de charge (P_{thbatt}) et si la tension théorique de charge (U_{thbatt}) est supérieure à la tension réelle de charge (U_{batt}), le générateur (2) est considéré comme dégradé (F12).

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que si le générateur (2) est considéré comme dégradé, un algorithme de charge est réinitialisé.

5 8. Procédé selon l'une des revendications 6 et 7, caractérisé en ce que si le générateur (2) est considéré comme dégradé, un algorithme de recherche du point de puissance maximale du régulateur (3) est réinitialisé.

10 9. Procédé selon l'une des revendications 7 et 8, caractérisé en ce qu'il comporte la signalisation de la défectuosité du générateur (2) après un nombre prédéfini de réinitialisations successives d'au moins un algorithme.

15 10. Procédé de diagnostic d'éléments défectueux dans un système autonome, alimenté par une source d'alimentation intermittente et comportant un générateur (2) connecté à un élément de stockage d'énergie (1), procédé caractérisé en ce que la source d'alimentation et l'élément de stockage d'énergie (1) étant connectés directement par des moyens de commutation, le procédé comporte

- 20 - la mesure d'un courant réel de charge (I_{batt}) et d'une tension réelle de charge (U_{batt}), la comparaison du courant réel de charge (I_{batt}) à un premier seuil de courant prédéfini (I_{seuil}),
- la déconnexion de l'élément de stockage d'énergie (1) si ledit courant réel de charge (I_{batt}) est inférieur au seuil de courant (I_{seuil}),
- 25 - l'élément de stockage d'énergie (1) étant déconnecté, la mesure du courant maximal (I_{max}) et de la tension maximale (U_{max}) délivrables par le générateur (2) à l'instant de la mesure, la détermination de l'état de charge (SOC) de l'élément de stockage d'énergie (1) déconnecté, d'un courant théorique de charge (I_{thbatt}) et d'une tension théorique de charge (U_{thbatt}),
- 30 - la différenciation entre un comportement normal, un mauvais fonctionnement du système autonome en fonction de la comparaison

du courant réel de charge (I_{batt}) avec le courant théorique de charge (I_{thbatt}).

5 **11.** Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que le courant réel de charge (I_{batt}) étant inférieur au courant théorique de charge (I_{thbatt}), si la tension réelle de charge (U_{batt}) de l'élément de stockage (1) est inférieure à la tension théorique de charge (U_{thbatt}), le générateur (2) est considéré comme dégradé (F33).

10 **12.** Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que si le générateur (2) est considéré comme dégradé, la signalisation de la défectuosité est réalisée.

15 **13.** Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que le courant réel de charge (I_{batt}) étant inférieur au courant théorique de charge (I_{thbatt}), si la tension réelle de charge (U_{batt}) de l'élément de stockage (1) est supérieure à la tension théorique de charge (U_{thbatt}), l'élément de stockage d'énergie (1) est considéré comme dégradé (F31).

20 **14.** Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que si l'élément de stockage d'énergie (1) est considéré comme dégradé, la signalisation de la défectuosité est réalisée.

25 **15.** Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que le courant réel de charge (I_{batt}) étant inférieur au courant théorique de charge (I_{thbatt}), si la tension réelle de charge (U_{batt}) de l'élément de stockage (1) est égale à la tension théorique de charge (U_{thbatt}), le système autonome est considéré comme dégradé selon une cause indéterminée (F34).

16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que si le système autonome est considéré comme dégradé, la signalisation de la défectuosité est réalisée.

5 17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que le générateur (2) est un panneau photovoltaïque.

18. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que le générateur (2) est de type éolien.

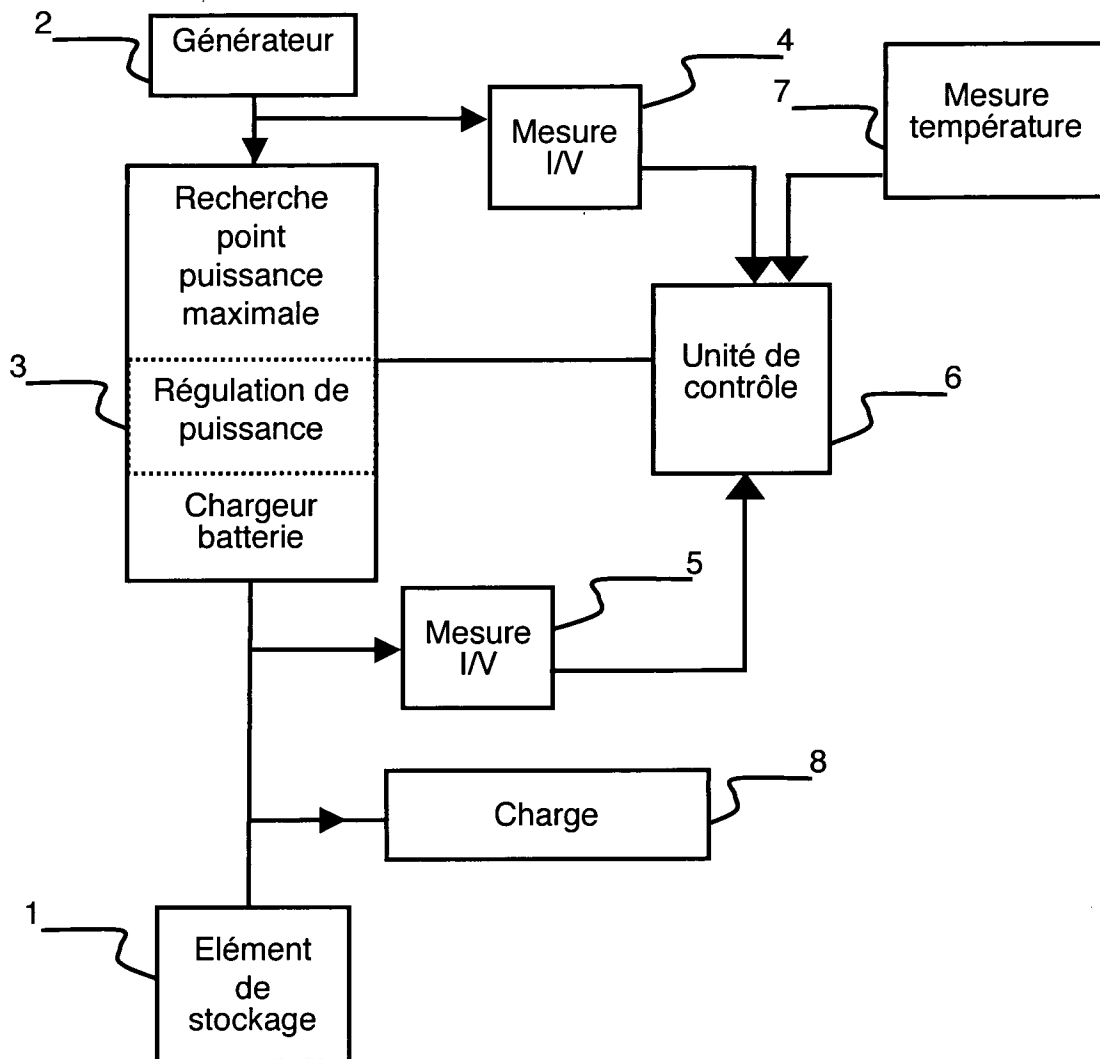


Figure 1

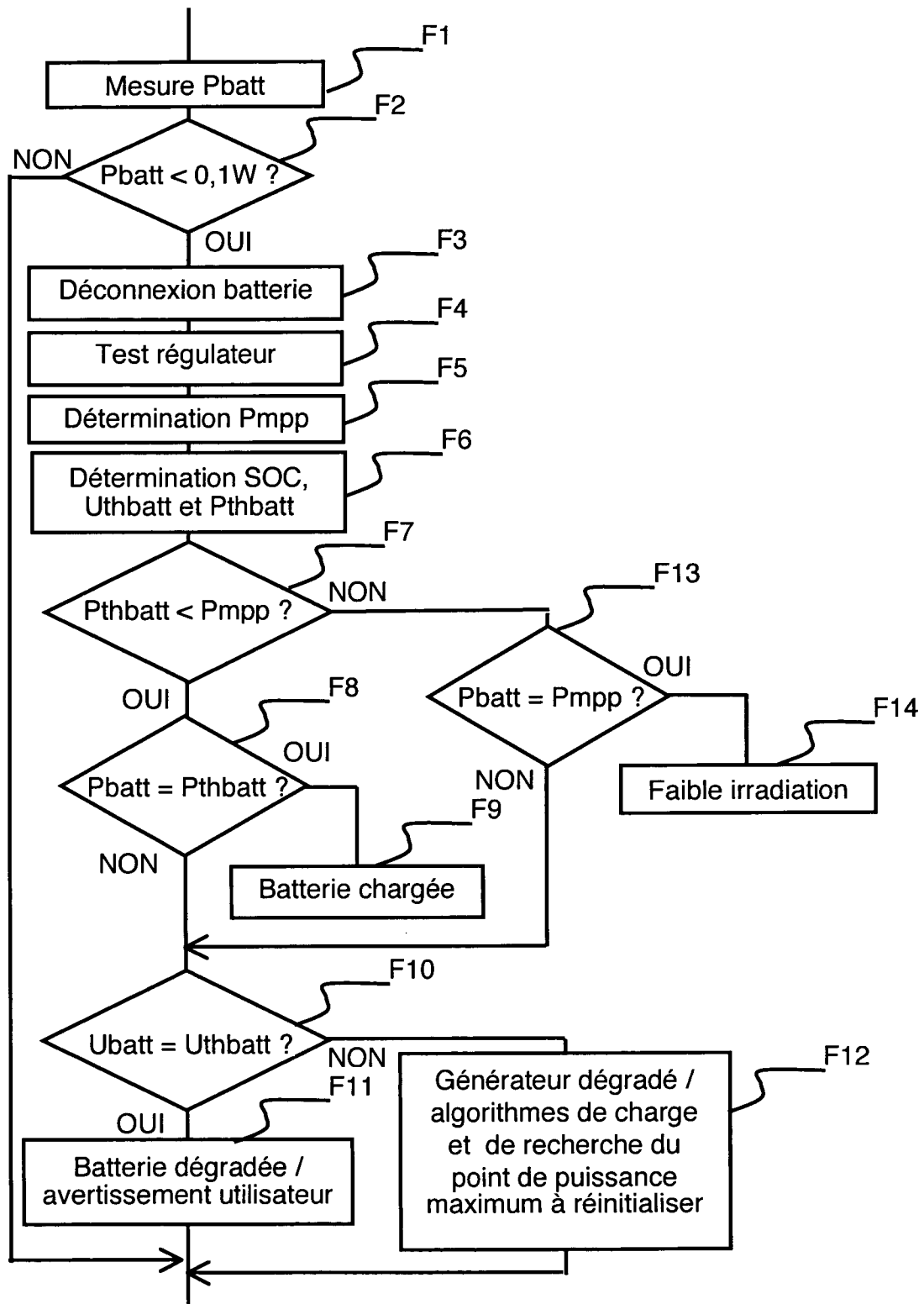


Figure 2

3/6

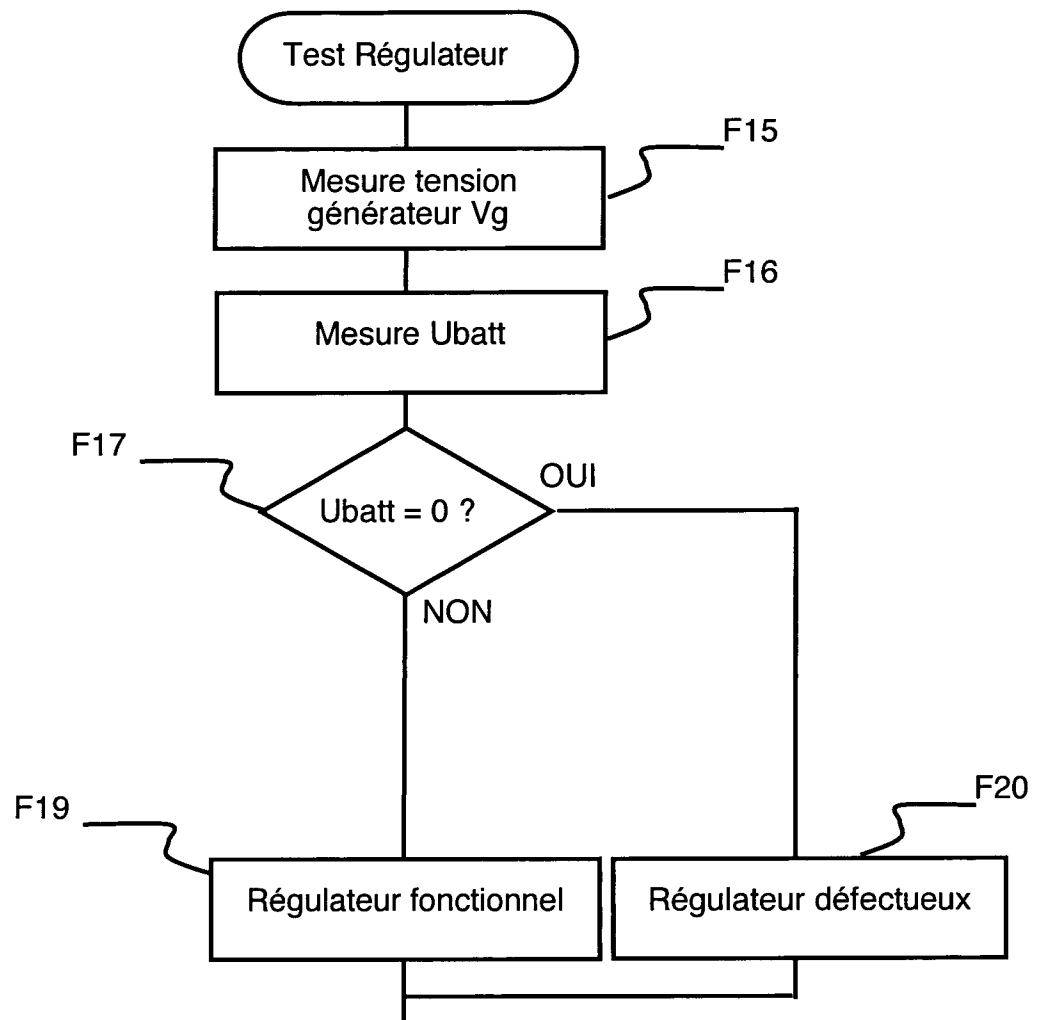


Figure 3

4/6

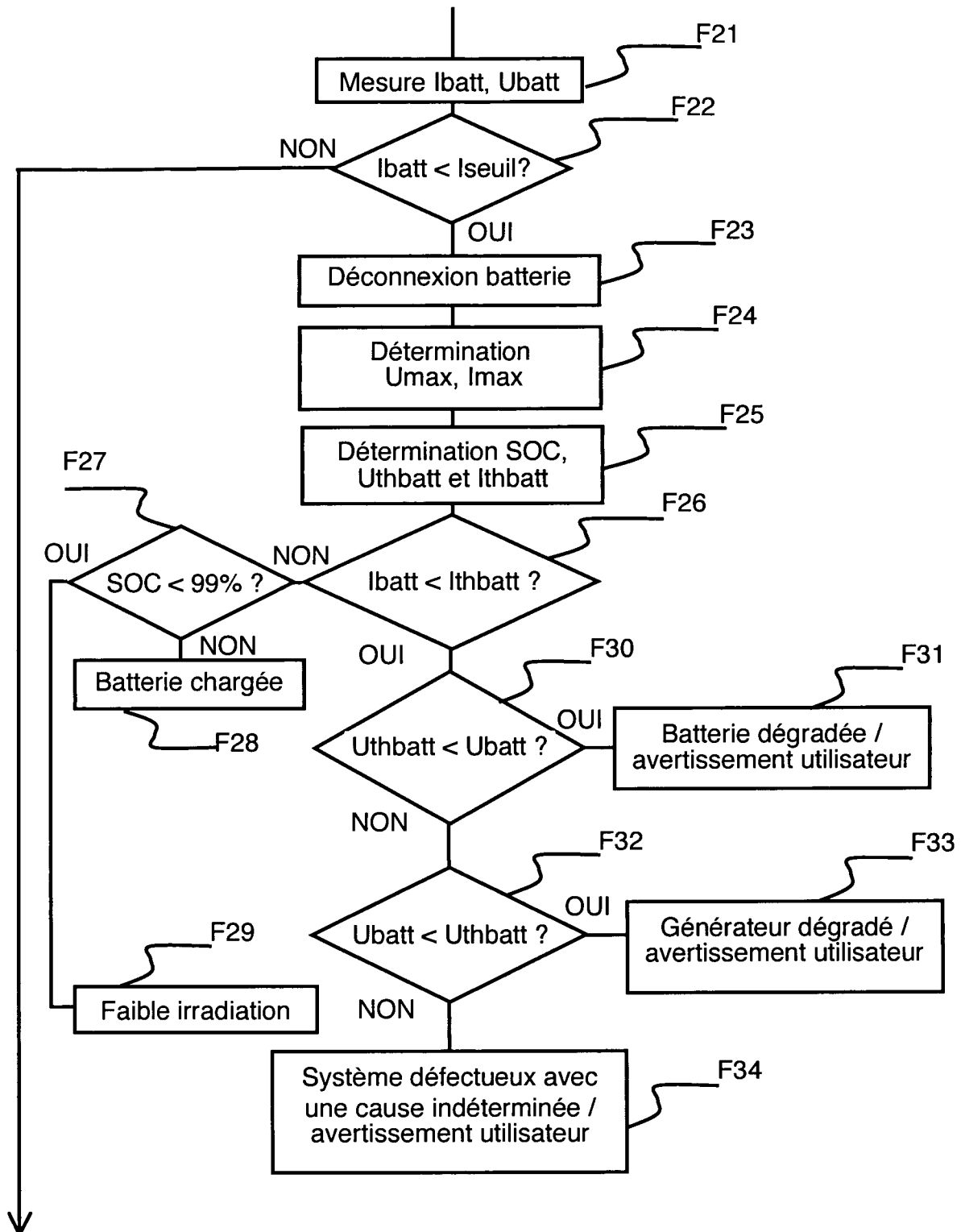


Figure 4

5/6

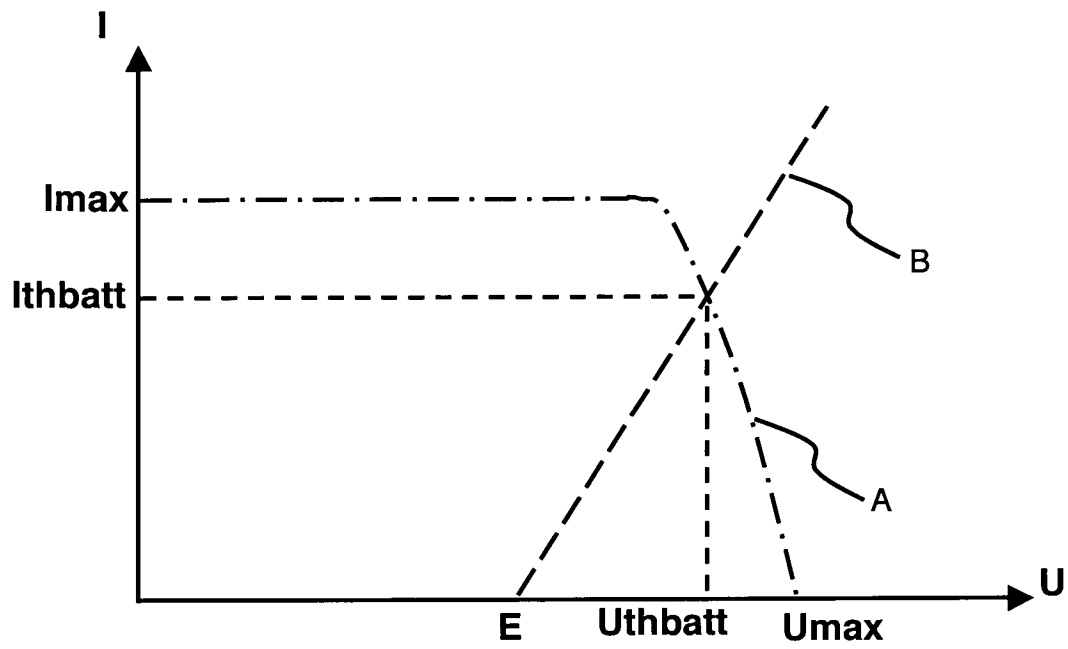


Figure 5

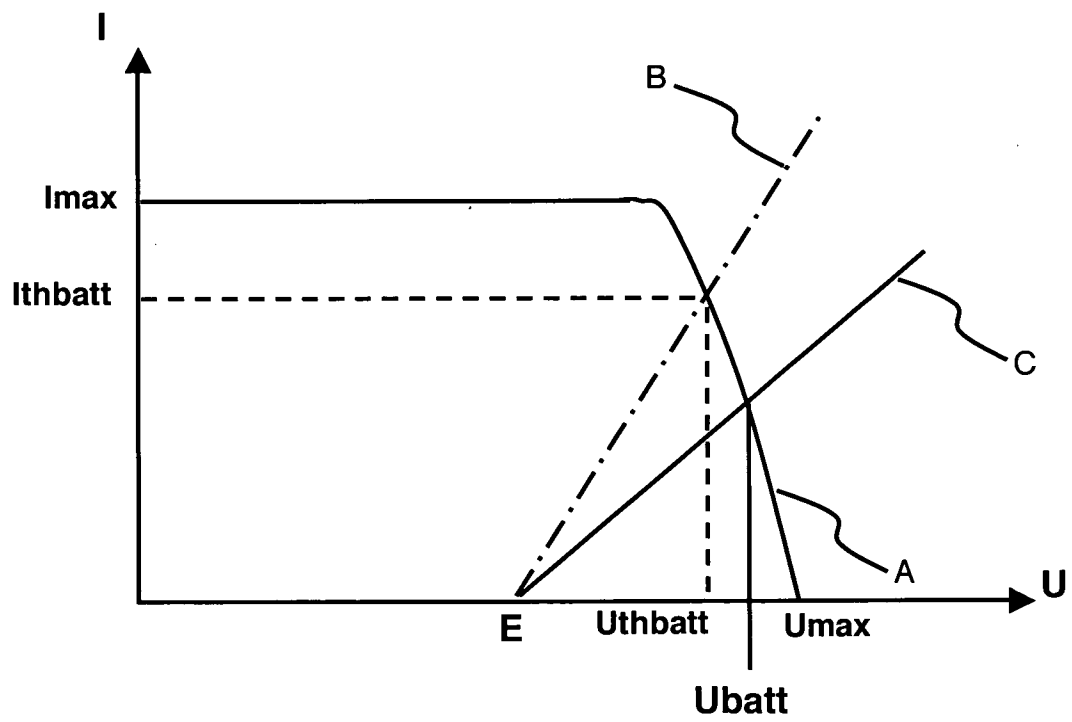


Figure 6

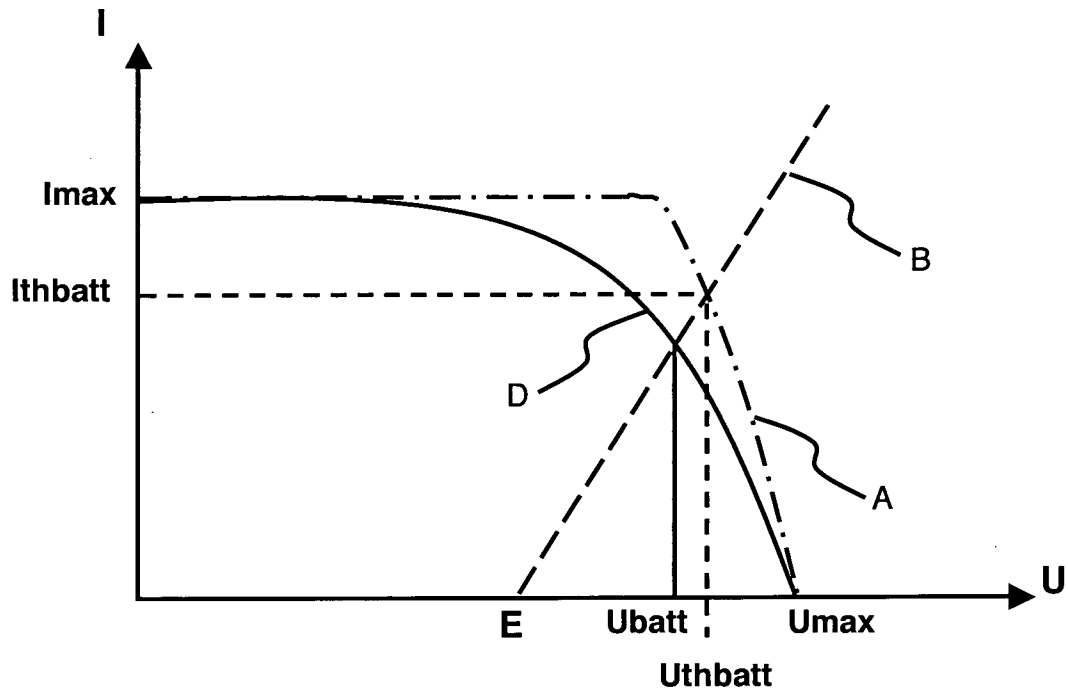


Figure 7