

⑬ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

⑪ N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 553 894

⑫ N° d'enregistrement national :

83 16951

⑮ Int Cl⁴ : G 01 R 31/36; H 01 M 10/48; H 02 J 7/00.

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑫ Date de dépôt : 25 octobre 1983.

⑬ Priorité :

⑭ Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 17 du 26 avril 1985.

⑯ Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑰ Demandeur(s) : *Organisation intergouvernementale euro-
péenne dite : AGENCE SPATIALE EUROPEENNE. — FR.*

⑱ Inventeur(s) : H. J. N. Spruijt.

⑲ Titulaire(s) :

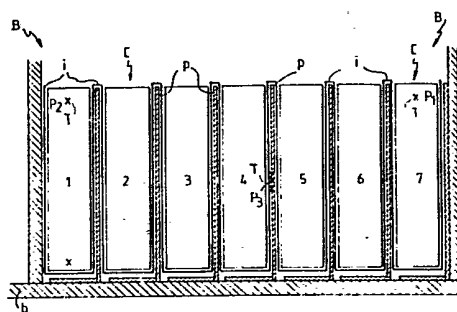
⑳ Mandataire(s) : Cabinet Ores.

㉑ Procédé et circuit pour le contrôle de la charge de piles au Ni-Cd.

㉒ La présente invention concerne un procédé et un circuit
pour le contrôle de la charge de piles au Ni-Cd, notamment
utilisées sur des satellites mis en orbite autour de la terre à
basse altitude, selon laquelle la charge de la pile B est arrêtée
quand la température θ commence à augmenter, faisant suite à
une diminution à la charge.

La température θ de la pile B est détectée au niveau de
chaque élément c de la pile B à l'aide de thermistances T
disposées, de préférence, sur le centre géométrique de pla-
ques métalliques minces p disposées entre les éléments c
isolés i de la pile B, lesquelles plaques p sont fixées à une
plaque métallique de base commune b .

Application au contrôle de la charge de piles au Ni-Cd.



-1-

La présente invention est relative à un procédé et à un circuit de contrôle de la charge de piles au Ni-Cd utilisées dans des missions spatiales effectuées à l'aide de satellites mis en orbite autour de la terre à basse altitude.

Etant donné que la période de révolution pour de telles missions est habituellement de 1,5 heure, dont environ une heure en présence de soleil, temps pendant lequel la pile doit être chargée, et environ 0,5 heure en éclipse, temps pendant lequel la pile se décharge, les cycles de charge et décharge sont très élevés : par exemple, les piles peuvent être soumises jusqu'à 6000 cycles de décharge/charge par an, sans compter les périodes de consommation de pointe.

Les courants de charge élevés et les recharges rapides demandent une électronique relativement complexe pour contrôler la surcharge et pour empêcher une chauffe indésirée de la pile.

En ce qui concerne la surchauffe de la pile, il est difficile de définir de façon précise des contrôles de température simples capables d'assurer un équilibre énergétique, de pourvoir à la protection contre la surcharge et de vérifier la dissipation thermique pendant une mission dans un environnement dont les conditions sont variables et avec des piles dont les courbes I-V sont également variables.

Les procédés existants de contrôle de la charge des piles pour satellites sont décrits ci-dessous :

- le procédé de charge limitée en courant, ou à courant constant, est une technique selon laquelle un régulateur limite le courant de charge à une ou à plusieurs valeurs choisies. La fin de la charge est basée sur la mesure de la tension de la pile. Si cette tension atteint une valeur correspondant à un rapport de recharge bien défini, la charge est commutée sur une limite de courant inférieur ;
- le procédé de charge limitée en tension est une technique

-2-

selon laquelle l'allure du courant est contrôlée indirectement pendant la surcharge. Un régulateur limite la tension de charge de la pile de façon à réduire le courant de charge d'une valeur initiale à une valeur inférieure correspondant à une allure de charge se terminant en pointe. Egalement dans ce cas la fin de la charge dépend de l'aboutissement à une limite bien définie de la tension de la pile ;

- le procédé de charge limitée en pression est basé sur le fait que l'oxygène se développe à une allure importante quand on se rapproche du point de pleine charge et qu'une augmentation de pression se manifeste à l'intérieur d'un élément de la pile, ce qui est dû à la vitesse de recombinaison simultanée des gaz. Cette augmentation de pression peut être utilisée pour générer un signal de contrôle de la charge. Toutefois, un désavantage de ce procédé est qu'il demande une modification des éléments de la pile de façon à détecter la pression à l'aide de manomètres ou d'une électrode auxiliaire. Jusqu'ici la fiabilité de ce procédé ne s'est pas révélée très grande ;

- le procédé de charge limitée en température est basé sur le fait que la chaleur développée à l'intérieur d'une pile augmente lorsque celle-ci s'approche de la pleine charge à courant constant. La température de la pile se présente ainsi comme alternative avantageuse par rapport à la tension de la pile et est utilisable comme un signal de début de surcharge. L'efficacité de ce procédé dépend des propriétés thermophysiques des éléments de la pile et de son application particulière. En outre, avec des cycles de courte durée et des allures de charges élevées et avec un détecteur de température appliqué au couvercle du récipient contenant les éléments de la pile, il n'y a pas de temps suffisant pour que l'électrode puisse absorber la chaleur produite et présenter une augmentation de température avant la fin de la période de charge. A cause de cela, l'application de ce procédé a été limitée aux missions où l'échelle des temps

-3-

est plus favorable en raison des orbites à longue période de révolution. De plus, un problème lié au procédé de charge limitée en température est que la température de la pile peut augmenter également à cause d'admissions de chaleur
5 provenant de l'extérieur et non seulement à cause de la charge.

Les procédés de charge décrits ci-dessus - qui sont tous basés sur une allure du courant de charge qui est constante jusqu'à une valeur bien définie de tension de
10 charge, dépendant de la température de la pile, et qui ensuite décroît graduellement, en sorte que la tension de la pile reste constante pour le reste du temps de charge - présentent des inconvénients quand ils sont appliqués à des missions spatiales effectuées à l'aide de satellites mis en
15 orbite autour de la terre à basse altitude.

En fait des essais ont montré que le comportement de la pile n'est pas prévisible dans des applications à basse altitude, ce qui est attribué principalement au fait que la fin de la charge de la pile est établie de façon incorrecte dans les procédés de charge connus.
20

Un autre problème est le gaspillage de puissance de charge de la part du générateur solaire utilisé dans les procédés de charge actuellement utilisés, qui demandent une puissance supérieure de 30 % à la puissance moyenne théoriquement nécessaire. Cela est dû au fait que le courant de
25 charge n'est pas constant pendant la totalité du temps de charge, mais il diminue quand est atteinte une limite bien définie de la tension de la pile ou une augmentation de la pression, ou de la température, de la pile.

30 La présente invention a pour but de pourvoir à un procédé de contrôle de la charge pour des piles au Ni-Cd, notamment utilisées dans des missions spatiales effectuées à l'aide de satellites mis en orbite autour de la terre à basse altitude, qui répondent mieux aux nécessités de la pratique que les procédés visant au même but connus antérieure-
35

-4-

ment, notamment :

- en ce que la fin de la charge de la pile est établie d'une façon précise ;
- en ce que le comportement de la pile est prévisible ;
- 5 - en ce que la puissance de charge du dispositif solaire utilisé est approximativement de 30 % inférieure par rapport aux procédés connus ;
- en ce que la durée de vie des piles est plus longue que celle correspondant aux procédés connus, à savoir que la pile se dégrade linéairement pendant les premières centaines
- 10 de cycles, jusqu'à ce qu'un état stationnaire ait été atteint, après quoi aucune dégradation supplémentaire n'est observée ;
- en ce que la fin de la charge de la pile est pratiquement
- 15 indépendante des fluctuations thermiques de l'environnement, ce qui rend la mesure de la température des éléments de la pile, selon la présente invention, beaucoup plus fiable que les mesures décrites dans l'Art Antérieur.

La présente invention a également pour but de pour-

20 voir à un circuit de charge permettant la mise en oeuvre du procédé conforme à l'invention.

La présente invention a pour objet un procédé de contrôle de la charge de piles au Ni-Cd, notamment utilisées dans des satellites mis en orbite autour de la terre à basse

25 altitude, comportant des éléments isolés électriquement, chacun à l'aide d'un matériau isolant thermiquement conducteur, et des plaques métalliques minces comprises entre les éléments de la pile ainsi isolés et fixées à une plaque commune de base, lequel procédé est caractérisé en ce que la

30 charge est arrêtée quand la température de la pile commence à augmenter faisant suite à une diminution à la fin de la charge.

Selon un mode de réalisation avantageux du procédé conforme à l'invention, la mesure de la température de la

35 pile est effectuée au niveau de chaque élément de la pile.

-5-

Selon une disposition avantageuse de ce mode de réalisation, on utilise les températures correspondant à l'emplacement desdites plaques métalliques minces pour arrêter la charge, lesquelles températures sont détectées à l'aide de détecteurs thermiques appropriés.

Conformément à l'invention, lesdits détecteurs thermiques sont des thermistances, de préférence disposées sur les centres géométriques desdites plaques métalliques minces, ces thermistances étant interconnectées selon une configuration série-parallèle.

La présente invention a également pour objet un circuit permettant la charge de piles au Ni-Cd, notamment utilisées sur des satellites mis en orbite autour de la terre à basse altitude, à l'aide d'un dispositif solaire approprié pendant la période d'ensoleillement, quand l'interrupteur dudit circuit est fermé, lesdites piles comportant des éléments isolés électriquement, chacun à l'aide d'un matériau thermiquement conducteur, et des plaques métalliques minces comprises entre les éléments de la pile ainsi isolés et fixées à une plaque commune de base, lequel circuit est caractérisé en ce qu'un dispositif de détection de la fin de la charge fournit, à la fin de la charge, quand la température de la pile commence à augmenter, un signal pour ouvrir ledit interrupteur qui reste ouvert pour le reste de la période d'ensoleillement.

Selon un mode de réalisation avantageux du circuit conforme à l'invention, ledit dispositif solaire est dimensionné pour générer un courant légèrement supérieur au courant de charge moyen théoriquement nécessaire.

Selon un autre mode de réalisation avantageux conforme à la présente invention, ledit dispositif de détection de la fin de la charge comprend une pluralité de détecteurs thermiques constitués par des thermistances qui sont disposées en position appropriée, de préférence sur les centres géométriques desdites plaques métalliques minces, et

-6-

qui sont interconnectées selon une configuration série-parallèle.

Selon encore un autre mode de réalisation avantageux du circuit conforme à l'invention, ledit dispositif de
5 détection de la fin de la charge comprend un premier amplificateur opérationnel de gain approprié, dont la borne d'entrée positive est connectée à la tension qui s'établit à travers ladite pluralité de thermistances, quand celle-ci est parcourue par un courant d'intensité prédéterminée, et
10 dont la borne d'entrée négative est connectée à une tension de référence qui est la tension de sortie d'un deuxième amplificateur opérationnel, dont la borne d'entrée négative est connectée directement à sa borne de sortie et dont la borne d'entrée positive est connectée périodiquement, à
15 l'aide d'un interrupteur, à la borne de sortie dudit premier amplificateur opérationnel, de façon à obliger ladite tension de référence à être identique à ladite tension aux bornes des thermistances chaque fois que l'interrupteur du dispositif de détection de la fin de la charge est fermé, tandis que ladite tension de référence reste constante, par
20 l'intermédiaire d'un condensateur connecté à la masse, pendant le temps que ledit interrupteur du dispositif de détection est ouvert, et à être égale, pendant ce temps, à la valeur que la tension aux bornes des thermistances présente
25 quand cet interrupteur est fermé, la tension de sortie dudit premier amplificateur augmentant linéairement à partir de la tension aux bornes des thermistances quand la température diminue, à savoir pendant la charge de la pile, tandis qu'elle diminue linéairement à partir de ladite tension aux
30 bornes des thermistances, à savoir pendant la décharge de la pile, en sorte que ledit premier amplificateur opérationnel amplifie, selon son gain prédéterminé, la différence de potentiel entre la tension aux bornes des thermistances et la tension de référence seulement pendant le temps que ledit
35 interrupteur du dispositif de détection de la fin de la

-7-

charge est ouvert.

Selon une disposition avantageuse de ce mode de réalisation, les tensions de sortie desdits premier et deuxième amplificateurs opérationnels sont comparées entre elles à l'aide d'un circuit logique qui détecte la fin de la charge pendant la phase d'ensoleillement d'une orbite, quand la température de la pile commence à augmenter, pour une différence entre lesdites tensions de sortie dont le module est égal à un seuil minimal préfixé auquel correspond une valeur positive également minimale de la dérivée par rapport au temps de la température de la pile, ce qui détermine l'ouverture de l'interrupteur dudit circuit de charge à l'aide d'un relais.

Outre les dispositions qui précèdent, l'invention comprend encore d'autres dispositions, qui ressortiront de la description qui va suivre.

L'invention sera mieux comprise à l'aide du complément de description qui va suivre, qui se réfère aux dessins annexés dans lesquels :

- les figures 1a et 2a illustrent les courbes I-V, en fonction du temps, pour les procédés de charge classiques ;
- les figures 1b et 2b illustrent les courbes I-V, en fonction du temps, pour le procédé conforme à l'invention ;
- la figure 3 représente un circuit qui illustre le principe suivant lequel un dispositif de détection de la fin de la charge met en oeuvre le procédé conforme à l'invention ;
- la figure 4 montre un mode de réalisation du dispositif de détection de la fin de la charge comportant une pluralité de thermistances interconnectées selon une configuration série-parallèle (cf. la figure 4a) et distribuées entre les éléments de la pile ;
- la figure 5a montre l'amplificateur opérationnel AO₁ utilisé dans ledit dispositif de détection de la fin de la charge, dans lequel la tension V_{th} aux bornes des thermistances est connectée à sa borne d'entrée positive, tandis

-8-

que la borne d'entrée négative est connectée à la tension de référence V_{ref} ;

5 - la figure 5b illustre l'allure de la tension de référence V_{ref} en fonction du temps, à laquelle on impose d'être identique à la tension V_{th} aux bornes des thermistances chaque fois que l'interrupteur S_1 (cf. la figure 4) du dispositif de détection de la fin de la charge est fermé ;

10 - la figure 5c montre l'allure de la tension de sortie V_{O1} dudit amplificateur opérationnel AO_1 en fonction du temps : on peut remarquer que celle-ci augmente linéairement à partir de la tension V_{th} aux bornes des thermistances quand la température de la pile diminue, tandis qu'elle diminue linéairement à partir de V_{th} quand la température de la pile augmente ;

15 - les figures 6a et 6b illustrent, en vue latérale et en vue de dessus respectivement, la structure de la pile pour laquelle a été essayé le procédé selon l'invention ;

20 - la figure 7 montre un modèle thermique simplifié du dispositif de détection visant à expliquer pourquoi la fin de la charge de la pile est pratiquement indépendante des fluctuations thermiques de l'environnement ;

25 - la figure 8 illustre la relation entre la tension, le courant et la température de la pile correspondant aux 2000-ème cycle d'un essai sur la durée de vie d'une pile au Ni-Cd utilisée sur un satellite mis en orbite autour de la terre à basse altitude et comportant 14 éléments, chacun de 35 Ah, pour laquelle ont été exécutés plus de 7000 cycles.

30 Il doit être bien entendu, toutefois, que ces dessins et les parties descriptives correspondantes, sont donnés uniquement à titre d'illustration de l'objet de l'invention, dont ils ne constituent en aucune manière une limitation.

Les figures 1a et 2a illustrent l'allure du courant de charge I_{ch} de la pile, rapporté au courant de charge moyen I_{av} théoriquement nécessaire, ainsi que l'allure de la

35

-9-

tension V_{batt} de la pile, en fonction du temps, pour une application typique dans une orbite autour de la terre à basse altitude correspondant aux procédés de charge classiques ; ces figures montrent que les procédés connus sont tous basés

5 - comme déjà spécifié - sur un courant de charge dont l'allure est constante jusqu'à un niveau bien défini de la tension de charge, qui dépend de la température de la pile, pour ensuite diminuer en maintenant constant le niveau de la tension de charge pour le reste du temps de charge.

10 En particulier, la figure 1a montre qu'avec les procédés connus on a besoin d'un dispositif solaire dont la puissance fournie est de 30 % supérieure à celle théoriquement nécessaire, parce que le courant de charge I_{ch} de la pile n'est pas constant pendant la totalité du temps de

15 charge.

Au contraire, la figure 1b montre que le courant de charge I_{ch} de la pile, conformément au procédé de contrôle de la charge selon l'invention, est constant pendant la totalité du temps de charge, le dispositif solaire étant di-

20 mensionné pour générer uniquement un courant légèrement supérieur au courant de charge moyen théoriquement nécessaire, en sorte que la puissance dudit dispositif solaire est approximativement de 30 % inférieure à celle demandée par les procédés connus.

25 Cette condition est due au fait que l'invention fait usage d'une propriété inconnue des piles au Ni-Cd, qui probablement s'applique également aux autres types de piles, selon laquelle la température des piles au Ni-Cd augmente pendant la décharge et diminue pendant la charge jusqu'à la

30 fin de la charge, quand la température augmente, cet effet étant beaucoup plus marqué dans les applications selon des orbites autour de la terre à basse altitude à cause des cycles de charge et décharge très élevés.

Selon cette propriété, la charge de la batterie

35 est arrêtée quand la température de la pile commence à aug-

-10-

menter faisant suite à une diminution à la fin de la charge.

La fin de la charge est basée, conformément au procédé de l'invention, sur la mesure de température au niveau de chaque élément de la pile, ce qui est considéré
5 comme étant plus fiable par rapport aux techniques de l'Art Antérieur basées sur la mesure de température au niveau de la pile prise dans son ensemble.

L'invention fait également usage d'une propriété thermique généralement valable pour les structures (cf. les
10 figures 6a et 6b) utilisées dans les applications selon des orbites autour de la terre à basse altitude, pour lesquelles chacun des éléments 1 à 14 de la pile est isolé électrique-
ment à l'aide d'un matériau isolant i thermiquement conduc-
teur, et les plaques métalliques minces p des éléments de la
15 pile sont fixées à une plaque de base métallique commune b.

Le procédé de contrôle de la charge selon l'invention profite de cette propriété thermique en mesurant les températures qui existent en correspondance de l'emplacement des plaques métalliques minces p.

20 Dans ce but, l'invention fait usage d'une pluralité de thermistances qui sont disposées en position appropriée entre les éléments de la pile, par exemple dans les points définis par les petites croix P_1 et P_2 de la figure 6a, ou de préférence sur le centre géométrique des plaques
25 métalliques minces p, ainsi que montré par la petite croix P_3 dans ladite figure 6a.

Ces thermistances sont interconnectées selon une configuration série-parallèle (cf. la figure 4a).

Des essais ont montré que les fluctuations thermi-
30 ques de l'environnement en correspondance de l'emplacement des plaques métalliques minces p, disposées entre les éléments de la pile mutuellement isolés, sont inférieures de certains ordres de grandeur par rapport aux fluctuations de la plaque de base b.

35 En conséquence, la fin de la charge est pratique-

-11-

-ment indépendante des fluctuations thermiques de l'environnement.

Cette indépendance est expliquée à l'aide du modèle thermique simplifié représenté à la figure 7.

5 Etant donné que la résistance thermique R entre la plaque de base b et la thermistance T (disposée sur une plaque métallique mince p) est beaucoup plus grande que la résistance thermique r entre l'élément c de la pile et la thermistance T, les fluctuations thermiques en correspondan-
10 ce de l'emplacement de la thermistance T sont presque complètement déterminées par la puissance thermique Pc produite par l'élément c de la pile et, donc, indépendantes de la puissance thermique de l'environnement Pe : à la figure 7, C_b et C_c représentent les capacités thermiques de la plaque
15 de base b et de l'élément c de la pile.

Il va de soi que la puissance Pc est positive pendant la décharge, quand la température de la pile augmente (réchauffement), mais elle est négative pendant la charge quand la température de la pile diminue (refroidissement)
20 jusqu'à la fin de la charge, quand commence le réchauffement.

Le circuit représenté à la figure 3 illustre le principe de mise en oeuvre du procédé selon l'invention.

Pendant la période d'ensoleillement du satellite
25 en orbite autour de la terre, l'interrupteur 5 est fermé, ce qui permet à la pile B d'être chargée par le dispositif solaire SA qui est dimensionné - comme déjà décrit - pour générer un courant légèrement supérieur au courant de charge moyen théoriquement nécessaire. A la fin de la charge, quand
30 la température de la pile commence à augmenter faisant suite à une diminution (à savoir quand la valeur de la dérivée de la température θ de la pile par rapport au temps est supérieure à zéro : $\frac{d\theta}{dt} > 0$), le dispositif de fin de la charge D, qui reçoit des signaux à partir des thermistances T
35 disposées en position appropriée, fournit un signal d'ouver-

-12-

-ture de l'interrupteur S qui reste ouvert pour le reste de la période d'ensoleillement t_s .

Un mode de réalisation du dispositif de détection D de la fin de la charge est montré à la figure 4.

5 On fait circuler un courant de 1 mA à travers l'ensemble ST des thermistances T, qui sont interconnectées selon une configuration série-parallèle (cf. la figure 4a) et qui sont disposées de préférence sur les centres géométriques desdites plaques métalliques minces p.

10 La tension V_{th} aux bornes de l'ensemble ST des thermistances T est connectée à la borne d'entrée positive d'un premier amplificateur opérationnel AO₁, qui a un gain G de 2700.

La borne d'entrée négative de ce premier amplifi-
15 cateur opérationnel AO₁ est connectée à une tension de référence V_{ref} , qui est la tension de sortie d'un deuxième amplificateur opérationnel AO₂, dont la borne d'entrée négative est connectée directement à sa borne de sortie et dont la borne d'entrée positive est connectée périodiquement à la
20 borne de sortie dudit premier amplificateur opérationnel AO₁ par l'interrupteur S₁, qui est ouvert pendant 30 secondes et fermé pendant 1 seconde ; de cette manière, ladite tension de référence V_{ref} est obligée d'être identique à V_{th} chaque fois que l'interrupteur S₁ est fermé, ainsi que le montre la
25 courbe de figure 5b.

Pendant le temps que ledit interrupteur S₁ est ouvert, V_{ref} reste constante et égale à la valeur que V_{th} a quand l'interrupteur S₁ est fermé, parce que la borne d'entrée positive du deuxième amplificateur opérationnel AO₂ est
30 maintenue à une tension constante à l'aide du condensateur C.

En conséquence, le premier amplificateur opérationnel AO₁ amplifie 2700 fois la différence entre la tension V_{th} et la tension V_{ref} existant à ses bornes d'entrée
35 positive et négative, respectivement, pendant le temps que

-13-

l'interrupteur S_1 est ouvert.

L'allure de la tension de sortie V_{O1} de l'amplificateur opérationnel AO_1 en fonction du temps est montrée à la figure 5c : cette tension V_{O1} augmente linéairement à partir de V_{th} , quand la température θ de la pile diminue, à savoir pendant la charge, tandis qu'elle diminue linéairement à partir de ladite tension V_{th} quand la température de la pile augmente, à savoir pendant la décharge (en fait, la résistance d'une thermistance diminue quand la température augmente et vice versa).

Les tensions de sortie V_{O1} et V_{O2} desdits premier et deuxième amplificateurs opérationnels AO_1 et AO_2 sont comparées entre elles à l'aide d'un circuit logique L qui détecte la fin de la charge pendant la période d'ensoleillement d'une orbite, quand la température de la pile commence à augmenter, pour une différence $V_{O1} - V_{O2}$ entre ces tensions de sortie dont le module est égal à un seuil minimal préfixé, par exemple $|V_{O1} - V_{O2}| = 0,5$ volt, auquel correspond une valeur minimale positive de la dérivée $\frac{d\theta}{dt}$ de la température θ de la pile par rapport au temps, ce qui assure l'ouverture dudit interrupteur S à l'aide d'un relais R, laquelle valeur est calculée comme indiqué ci-après.

Si la fin de la charge est détectée quand

$$V_{O1} - V_{O2} = -0,5 \text{ volt}$$

cela signifie que :

$$\frac{dV_{th}}{dt} \cdot 30 \text{ sec} \cdot 2700 = -0,5 \text{ volt},$$

ainsi :

$$(1) \quad \frac{dV_{th}}{dt} = -6,17 \cdot 10^{-6} \text{ volt/sec.}$$

Si les limites inférieure et supérieure de la résistance R_{th} des thermistances, pour une variation de 2°C à 20°C , sont égales à 2384 ohm et 2608 ohm, respectivement, cela signifie que :

$$\left[\frac{dR_{th}}{d\theta} \right]_{\theta = 20^{\circ}\text{C}} = \frac{(2384 - 2608) \text{ ohm}}{2^{\circ}\text{C}} = - 112 \text{ ohm}/^{\circ}\text{C},$$

5 ainsi :

$$(2) \left[\frac{dV_{th}}{d\theta} \right]_{\theta = 20^{\circ}\text{C}} = 1\text{mA} \cdot \left[\frac{dR_{th}}{d\theta} \right]_{\theta = 20^{\circ}\text{C}} = - 0,112 \text{ volt}/^{\circ}\text{C}.$$

En conséquence, en combinant les relations (1) et
 10 (2), la valeur de la dérivée de la température θ par rapport
 au temps qui correspond à la fin de la charge est :

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{dV_{th}}{dt} \cdot \frac{d\theta}{dV_{th}} = - 6,17 \cdot 10^{-6} \frac{\text{volt}}{\text{sec}} \cdot \left(- \frac{1}{0,112} \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{volt}} \right) =$$

$$= 55 \mu^{\circ}\text{C}/\text{sec} \approx 0,2^{\circ}\text{C}/\text{heure}.$$

15 Il a été démontré expérimentalement que le nouveau
 procédé de charge assure une durée de vie des piles plus
 longue qu'avec les procédés connus.

Avec le nouveau procédé les piles se dégradent li-
 néairement pendant les premières centaines de cycles jusqu'à
 20 ce qu'un état stationnaire ait été atteint, après quoi au-
 cune dégradation supplémentaire n'a été observée.

En particulier, un essai sur la durée de vie de
 piles mises en orbite autour de la terre à basse altitude a
 été exécuté en utilisant la technique de charge selon l'in-
 25 vention. L'échantillon de l'essai consistait en une pile au
 Ni-Cd avec 14 éléments de 35 Ah chacun. Plus de 7000 cycles
 ont été exécutés avec une décharge de 27 % et un courant de
 décharge constant. La tension de la pile s'est dégradée
 pendant les premiers 600 cycles, après quoi aucune dégrada-
 30 tion ultérieure n'a été observée.

La figure 8 illustre la relation entre la tension
 V_{batt} , le courant I_{ch} et la température θ de la pile pour
 le 2000-ème cycle. Chaque cycle comporte une décharge d'en-
 viron 0,5 heure à 19 A suivie d'une charge à 14 A jusqu'à ce
 35 que la température commence à augmenter à la fin de la char-

-15-

ge, comme détecté par le dispositif de détection selon l'invention, qui arrête la charge jusqu'à ce que la période d'ensoleillement se termine (environ 1 heure).

Des résultats analogues ont été obtenus pour une
5 pile au Ni-Cd avec 4 éléments de 24 Ah et une décharge de 60%, ainsi que pour une combinaison de 3 piles au Ni-Cd comportant chacune 14 éléments de 35Ah avec 27 % de décharge.

Ainsi que cela ressort de ce qui précède, l'inven-
10 tion ne se limite nullement à ceux de ses modes de mise en oeuvre, de réalisation et d'application qui viennent d'être décrits de façon plus explicite ; elle en embrasse au contraire toutes les variantes qui peuvent venir à l'esprit du technicien en la matière, sans s'écarter du cadre, ni de
15 la portée, de la présente invention.

REVENDICATIONS

1.- Procédé de contrôle de la charge de piles au Ni-Cd, notamment utilisées dans des satellites mis en orbite autour de la terre à basse altitude, comportant des éléments isolés électriquement, chacun à l'aide d'un matériau isolant thermiquement conducteur, et des plaques métalliques minces comprises entre les éléments de la pile ainsi isolés et fixées à une plaque commune de base, lequel procédé est caractérisé en ce que la charge est arrêtée quand la température (θ) de la pile (B) commence à augmenter faisant suite à une diminution à la fin de la charge.

2.- Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que la mesure de la température (θ) de la pile (B) est effectuée au niveau de chaque élément (c) de la pile (B).

3.- Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'on utilise les températures (θ) correspondant à l'emplacement desdites plaques métalliques minces (p) pour arrêter la charge, lesquelles températures (θ) sont détectées à l'aide de détecteurs thermiques appropriés.

4.- Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que lesdits détecteurs thermiques sont des thermistances (T) de préférence disposées sur les centres géométriques desdites plaques métalliques minces (p), ces thermistances (T) étant interconnectées selon une configuration série-parallèle.

5.- Circuit de mise en oeuvre du procédé selon les revendications 1 à 4, permettant la charge de piles au Ni-Cd, notamment utilisées sur des satellites mis en orbite autour de la terre à basse altitude, à l'aide d'un dispositif solaire approprié pendant la période d'ensoleillement, quand l'interrupteur dudit circuit est fermé, lesdites piles comportant des éléments isolés électriquement, chacun à l'aide d'un matériau thermiquement conducteur, et des plaques métalliques minces comprises entre les éléments de la pile ainsi isolés et fixées à une plaque commune de base,

-17-

lequel circuit est caractérisé en ce qu'un dispositif (D) de détection de la fin de la charge fournit, à la fin de la charge, quand la température (θ) de la pile (B) commence à augmenter, un signal pour ouvrir ledit interrupteur (S) qui
5 reste ouvert pour le reste de la période d'ensoleillement (t_s).

6.- Circuit selon la revendication 5, caractérisé en ce que ledit dispositif solaire (SA) est dimensionné pour générer un courant (I_{ch}) légèrement supérieur au courant de
10 charge moyen (I_{av}) théoriquement nécessaire.

7.- Circuit selon la revendication 5, caractérisé en ce que ledit dispositif (D) de détection de la fin de la charge comprend une pluralité de détecteurs thermiques constitués par des thermistances (T) qui sont disposées en posi-
15 tion appropriée, de préférence sur les centres géométriques desdites plaques métalliques minces (p), et qui sont interconnectées selon une configuration série-parallèle.

8.- Circuit selon l'une quelconque des revendications 5 et 7, caractérisé en ce que ledit dispositif (D) de
20 détection de la fin de la charge comprend un premier amplificateur opérationnel (AO_1) de gain (G) approprié, dont la borne d'entrée positive est connectée à la tension (V_{th}) qui s'établit à travers ladite pluralité de thermistances (T), quand celle-ci est parcourue par un courant d'intensité pré-
25 déterminée, et dont la borne d'entrée négative est connectée à une tension de référence (V_{ref}) qui est la tension de sortie d'un deuxième amplificateur opérationnel (AO_2), dont la borne d'entrée négative est connectée directement à sa borne de sortie et dont la borne d'entrée positive est connectée
30 périodiquement, à l'aide d'un interrupteur (S_1), à la borne de sortie dudit premier amplificateur opérationnel (AO_1), de façon à obliger ladite tension de référence (V_{ref}) à être identique à ladite tension (V_{th}) aux bornes des thermistan-
ces chaque fois que l'interrupteur (S_1) du dispositif (D) de
35 détection de la fin de la charge est fermé, tandis que

-18-

ladite tension de référence (V_{ref}) reste constante, par l'intermédiaire d'un condensateur (C) connecté à la masse, pendant le temps que ledit interrupteur (S_1) du dispositif (D) de détection est ouvert, et égale, pendant ce temps, à la valeur que la tension (V_{th}) aux bornes des thermistances présente quand cet interrupteur (S_1) est fermé, la tension de sortie (V_{O1}) dudit premier amplificateur opérationnel (AO_1) augmentant linéairement à partir de la tension (V_{th}) aux bornes des thermistances (T) quand la température (θ) diminue, à savoir pendant la charge de la pile (B), tandis qu'elle diminue linéairement à partir de ladite tension (V_{th}) aux bornes des thermistances (T), à savoir pendant la décharge de la pile (B), en sorte que ledit premier amplificateur opérationnel (AO_1) amplifie, selon son gain prédéterminé (G), la différence de potentiel entre la tension (V_{th}) aux bornes des thermistances (T) et la tension de référence (V_{ref}) seulement pendant le temps que ledit interrupteur (S_1) du dispositif (D) de détection de la fin de la charge est ouvert.

9.- Circuit selon la revendication 8, caractérisé en ce que les tensions de sortie (V_{O1} , V_{O2}) desdits premier et deuxième amplificateurs opérationnels (AO_1 , AO_2) sont comparées entre elles à l'aide d'un circuit logique (L) qui détecte la fin de la charge pendant la phase d'ensoleillement d'une orbite, quand la température (θ) de la pile (B) commence à augmenter, pour une différence entre lesdites tensions de sortie (V_{O1} , V_{O2}) dont le module est égal à un seuil minimal préfixé auquel correspond une valeur positive également minimale de la dérivée par rapport au temps ($\frac{d\theta}{dt}$) de la température (θ) de la pile (B), ce qui détermine l'ouverture de l'interrupteur (S) dudit circuit de charge à l'aide d'un relais (R).

1/5

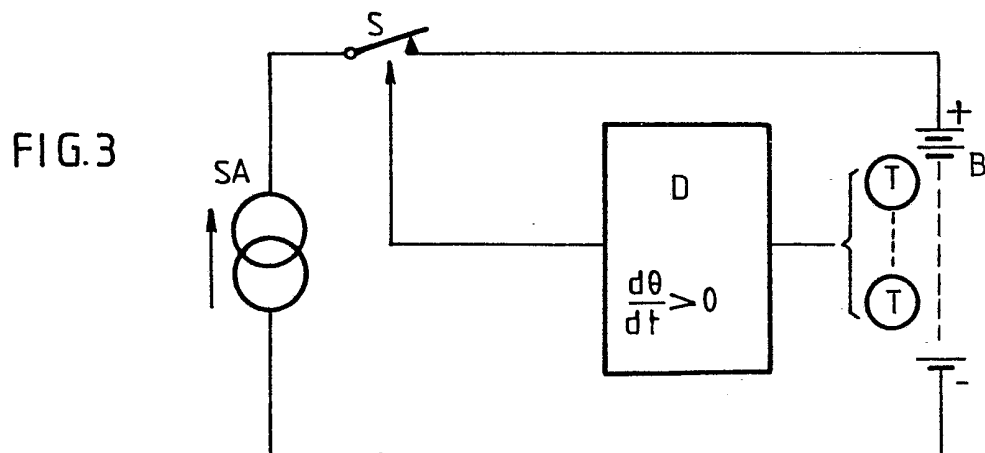
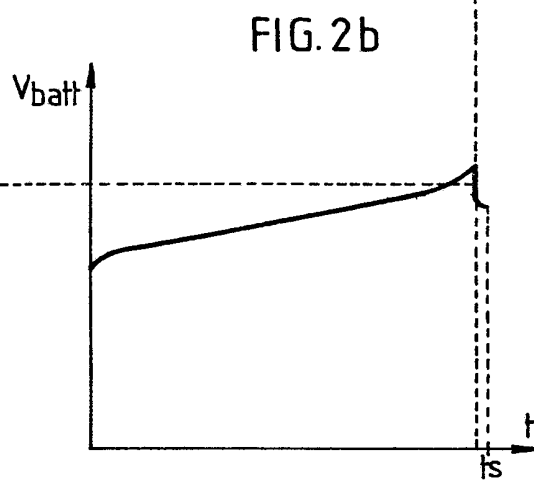
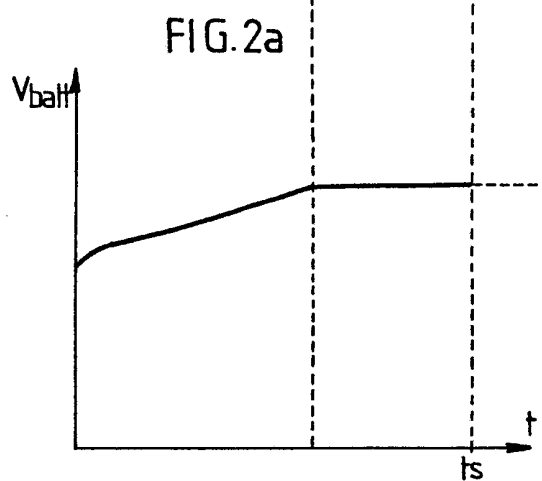
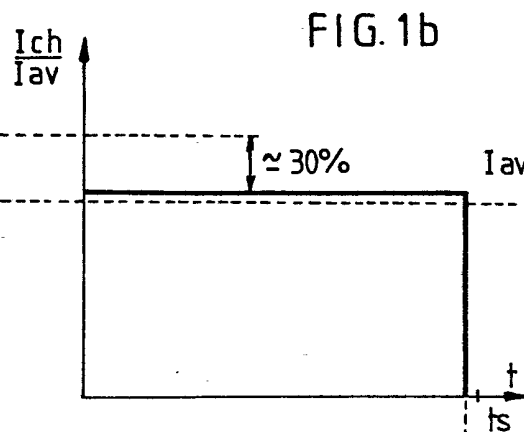
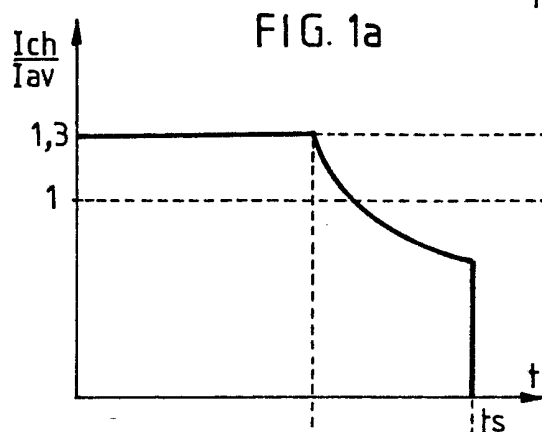


FIG. 4a

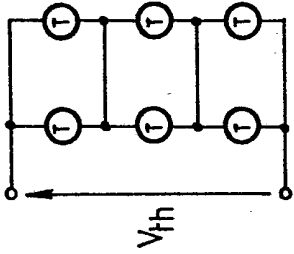


FIG. 4

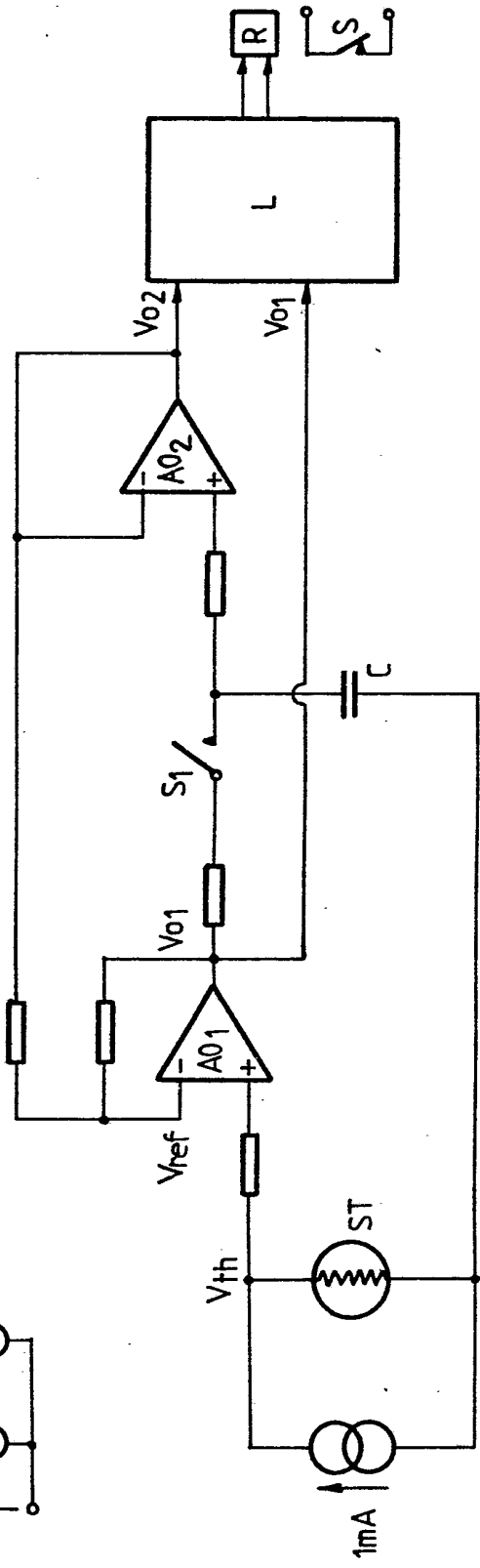


FIG. 5b

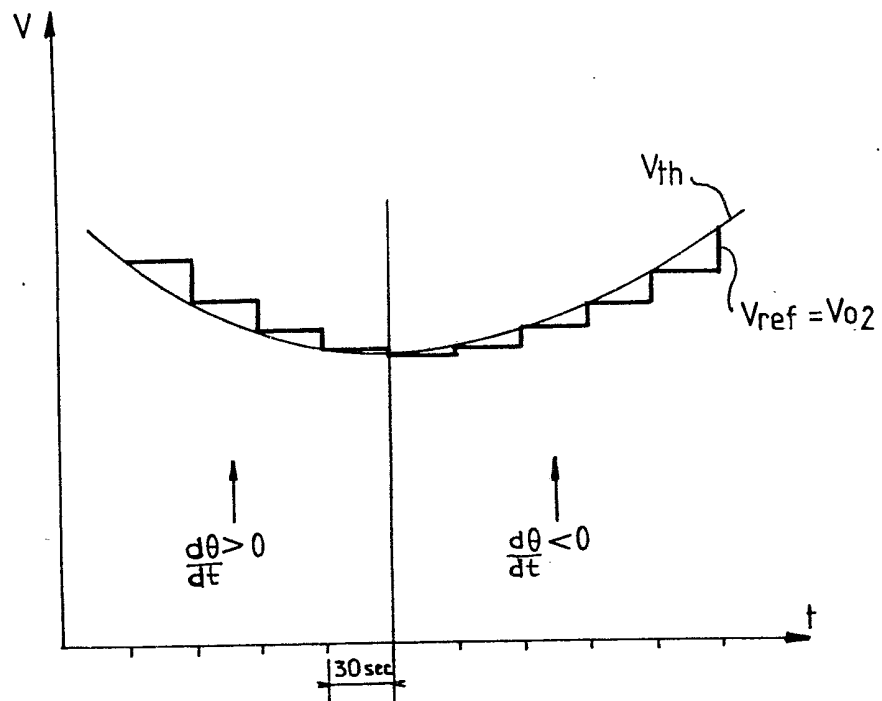


FIG. 5c

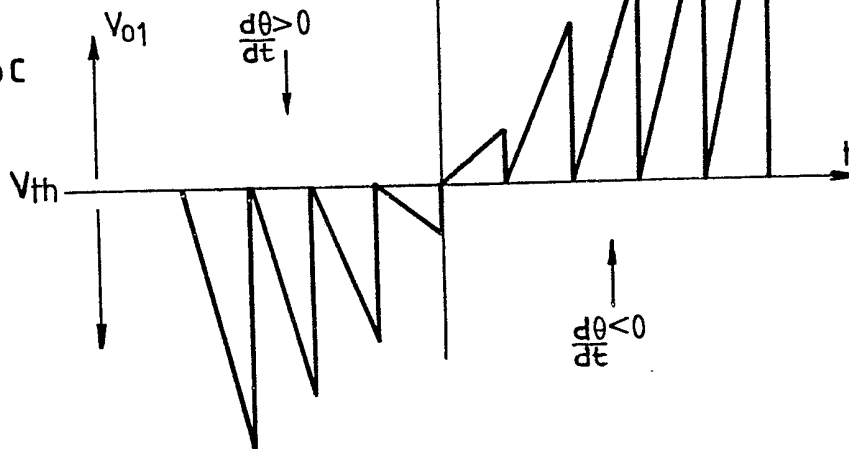
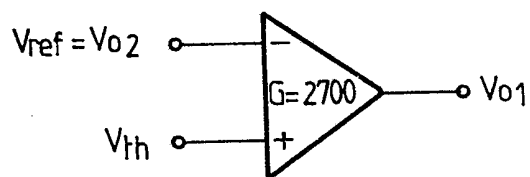
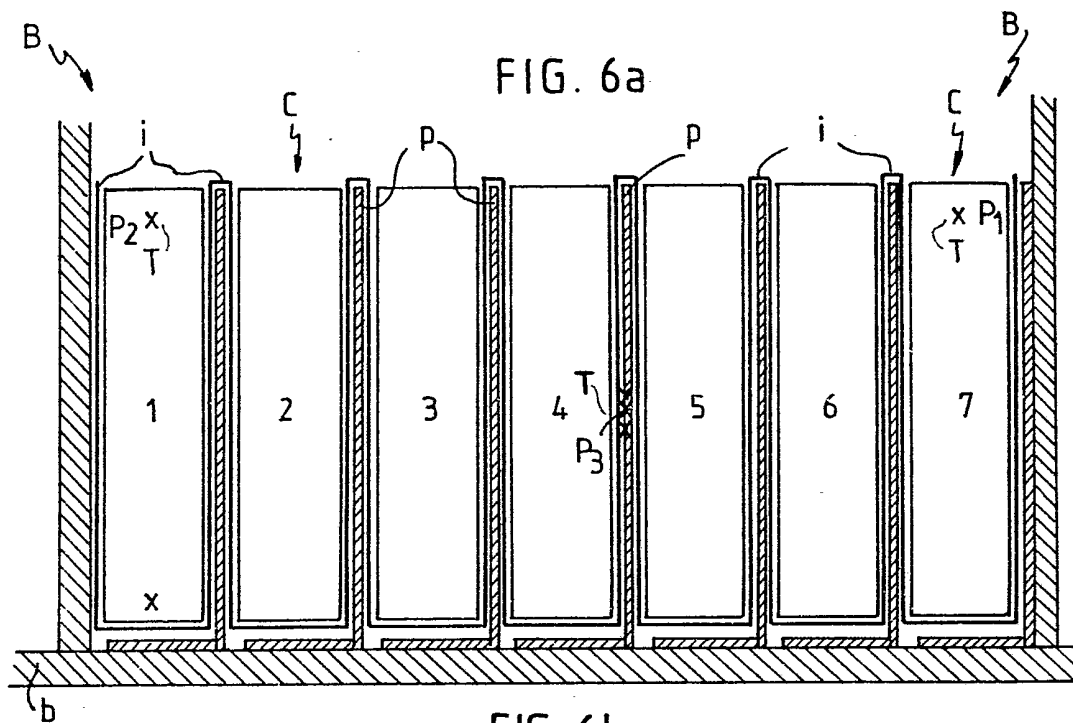


FIG. 5a



4/5



	14	13	12	11	10	9	8	
x	1	2	3	4	5	6	7	
xx								

FIG. 7
 $R \gg r$

