

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Dispositif d'alimentation d'une charge et de mesure de la consommation de courant de cette charge.

②② Date de dépôt : 21.03.22.

③① Priorité :

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *STMicroelectronics (Grand Ouest)*
SAS Société par actions simplifiée à associé unique —
FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 22.09.23 Bulletin 23/38.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 31.05.24 Bulletin 24/22.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : BELET Christophe.

⑦③ Titulaire(s) : *STMicroelectronics (Grand Ouest) SAS*
Société par actions simplifiée à associé unique.

⑦④ Mandataire(s) : CASALONGA.



Description

Titre de l'invention : Dispositif d'alimentation d'une charge et de mesure de la consommation de courant de cette charge

- [0001] Des modes de réalisation concernant le domaine de l'électronique, notamment la mesure de consommation de courant et plus particulièrement les unités de source et de mesure (SMU : Source Measure Unit).
- [0002] Une unité de source et de mesure (SMU) est un équipement capable de fournir une alimentation à un dispositif électronique, ou charge, et de mesurer la consommation de courant de ce dispositif électronique (charge).
- [0003] Cependant, certaines applications requièrent l'utilisation de charges actives, par exemple des unités de traitement, consommant un courant dont la valeur peut varier très sensiblement durant un laps de temps très court.
- [0004] Par exemple, une unité de traitement consomme de l'ordre de 100 nanoampères dans un mode basse consommation (« low power ») puis, de façon soudaine, elle peut consommer un courant de plusieurs centaines de milliampères pendant quelques millisecondes avec une montée ou une chute de courant en quelques microsecondes.
- [0005] Il est donc souhaitable d'être capable de mesurer un courant ayant une large plage dynamique, à une fréquence élevée (large bande passante) de façon à ne pas perdre la mesure d'événements très brefs tels que des pics de consommation de courant.
- [0006] Actuellement, il n'est pas possible d'effectuer de telles mesures sans changer la plage de fonctionnement de l'unité SMU c'est-à-dire sans changer la résistance de dérivation (shunt) utilisée pour mesurer la consommation de courant.
- [0007] Il existe par conséquent un besoin d'améliorer la plage dynamique de mesure de courant (pour des courants très faibles, de l'ordre du nanoampère, jusqu'à de forts courants, de l'ordre de l'Ampère) d'une unité SMU sans avoir à modifier la valeur du réseau résistif de dérivation (shunt) et sans impacter la bande passante d'acquisition des mesures de courant.
- [0008] Il existe également un besoin d'améliorer le rapport signal sur bruit lors des mesures de courants très faibles.
- [0009] Selon des modes particuliers de réalisation, il est proposé un dispositif ou unité d'alimentation et de mesure (SMU) de la consommation de courant d'une charge, utilisant des résistances de dérivation en série pour mesurer la consommation de courant de la charge avec une première résistance ayant une forte valeur résistive et une seconde résistance ayant une faible valeur résistive.
- [0010] Il est également prévu avantageusement des amplificateurs différentiels dont les sorties sont couplées à des convertisseurs analogiques numériques et à une unité de

traitement, par exemple un microcontrôleur, connectés sur chacun des nœuds des résistances. Et, en fonction du niveau de courant, l'unité de traitement sélectionne avantageusement l'un des convertisseurs analogiques numériques pour estimer la consommation courante de courant dans la charge.

- [0011] Chaque borne d'entrée d'une résistance de dérivation est avantageusement alimentée à partir d'un amplificateur de puissance et chaque amplificateur de puissance est avantageusement piloté par une boucle de contrôle pour compenser la chute de tension aux bornes des résistances de dérivation et pour conserver une tension de sortie stable en régime permanent (« steady state ») et pour limiter la chute de tension durant des transitions rapides de courant de charge.
- [0012] Ainsi, selon un mode de mise en œuvre, pour des faibles courants de charge, le premier amplificateur associé à la première résistance alimente la charge à travers les résistances de dérivation tandis que, pour de forts courants de charge, lorsque ce premier amplificateur sature, le deuxième amplificateur associé à la deuxième résistance de dérivation, prend le relais du premier amplificateur pour continuer à alimenter la charge.
- [0013] Selon un aspect d'une première variante, il est proposé un dispositif d'alimentation et de mesure de la consommation de courant d'une charge, comprenant une entrée de dispositif pour recevoir une tension d'entrée, une sortie de dispositif destinée à être connectée à ladite charge, un étage d'alimentation couplé entre l'entrée de dispositif et la sortie de dispositif et un étage de mesure dudit courant de charge connecté à l'étage d'alimentation.
- [0014] Selon cet aspect, l'étage d'alimentation comprend au moins une première résistance et une deuxième résistance, connectées en série entre l'entrée de dispositif et la sortie de dispositif.
- [0015] En variante, il pourrait être prévu plus de deux résistances connectées en série.
- [0016] La première résistance a une valeur plus grande que celle de la deuxième résistance.
- [0017] Ces résistances sont également appelées résistances de dérivation (ou résistances de « shunt »).
- [0018] L'étage d'alimentation comprend également un premier amplificateur de puissance couplé entre l'entrée de dispositif et une borne d'entrée de la première résistance, et un deuxième amplificateur de puissance couplé sur commande entre l'entrée de dispositif et la borne d'entrée de la deuxième résistance.
- [0019] L'étage de mesure est quant à lui connecté aux bornes desdites résistances.
- [0020] Le dispositif selon cet aspect comporte en outre des moyens de détection configurés pour détecter une condition de saturation du premier amplificateur de puissance.
- [0021] L'étage d'alimentation comporte alors en outre des moyens de commande configurés pour coupler le deuxième amplificateur à l'entrée du dispositif en présence de ladite

condition de saturation.

- [0022] Avantageusement, le premier amplificateur de puissance et le deuxième amplificateur de puissance ont une bande passante fréquentielle supérieure d'une décade de fréquence à une tolérance près, par exemple à 10% près, à celle de l'étage de mesure.
- [0023] Ceci permet une bonne réjection du bruit de mesure de l'étage de mesure.
- [0024] En outre, ces amplificateurs de puissance sont préférentiellement des amplificateurs faible bruit, permettant des mesures de courants de charge avec un faible bruit de fond.
- [0025] Selon un mode de réalisation, l'étage d'alimentation comprend
- [0026] -une première boucle de régulation couplée entre une borne de sortie de la deuxième résistance et une borne d'entrée de la première résistance et incluant un premier additionneur/soustracteur couplé à l'entrée du dispositif et incluant également le premier amplificateur de puissance couplé entre le premier additionneur/soustracteur et la borne d'entrée de la première résistance.
- [0027] L'étage d'alimentation comprend également
- [0028] -une deuxième boucle de régulation couplée entre une borne de sortie de la deuxième résistance et une borne d'entrée de la deuxième résistance et incluant un deuxième additionneur/soustracteur ainsi que le deuxième amplificateur de puissance qui est couplé entre le deuxième additionneur/soustracteur et la borne d'entrée de la deuxième résistance.
- [0029] Les moyens de commande comportent par exemple un interrupteur couplé entre le deuxième additionneur/soustracteur et l'entrée de dispositif, et les moyens de détection sont configurés pour commander ledit interrupteur.
- [0030] Selon un mode de réalisation, l'étage de mesure comprend un premier module amplificateur différentiel couplé en entrée à la borne d'entrée et à la borne de sortie de la première résistance et couplé en entrée à la borne d'entrée et à la borne de sortie de la deuxième résistance.
- [0031] Par ailleurs, les moyens de détection comportent par exemple un comparateur possédant une première entrée couplée au deuxième module amplificateur et une deuxième entrée adaptée pour recevoir une tension de saturation représentative de ladite condition de saturation.
- [0032] Le comparateur est alors configuré pour délivrer un signal de commande représentatif de la présence ou de l'absence de ladite condition de saturation (en fonction du résultat de la comparaison), ce signal de commande étant destiné à commander lesdits moyens de commande.
- [0033] Selon un mode de réalisation, l'étage de mesure comprend en outre
- [0034] -un premier module de conversion analogique numérique couplé à la sortie du premier module amplificateur différentiel,
- [0035] -un deuxième module de conversion analogique numérique couplé à la sortie du

- deuxième module amplificateur différentiel, et
- [0036] -une unité de traitement, par exemple un microcontrôleur, couplée à la sortie des deux modules de conversion analogique numérique et configurée pour déterminer la valeur courante du courant consommé par la charge.
 - [0037] Selon un mode de réalisation, le premier module amplificateur différentiel comporte un premier amplificateur opérationnel couplé à la borne d'entrée de la première résistance et un deuxième amplificateur opérationnel couplé à la borne de sortie de la première résistance.
 - [0038] Le gain du premier amplificateur opérationnel est supérieur au gain du deuxième amplificateur opérationnel.
 - [0039] Le deuxième module amplificateur différentiel comporte par exemple un troisième amplificateur opérationnel couplé à la borne d'entrée de la deuxième résistance et un quatrième amplificateur opérationnel couplé à la borne de sortie de la deuxième résistance.
 - [0040] Le gain du troisième amplificateur opérationnel est supérieur au gain du quatrième amplificateur opérationnel.
 - [0041] Selon un mode de réalisation, le premier module de conversion analogique numérique comporte un premier convertisseur analogique numérique couplé à la sortie du premier amplificateur opérationnel et un deuxième convertisseur analogique numérique couplé à la sortie du deuxième amplificateur opérationnel.
 - [0042] Le deuxième module de conversion analogique numérique comporte par exemple un troisième convertisseur analogique numérique couplé à la sortie du troisième amplificateur opérationnel et un quatrième convertisseur analogique numérique couplé à la sortie du quatrième amplificateur opérationnel.
 - [0043] L'unité de traitement est alors avantageusement configurée pour examiner les sorties des quatre convertisseurs analogiques numériques, par exemple simultanément, et sélectionner celle qui fournit la valeur la plus significative, cette valeur étant représentative de la valeur courante du courant consommé par ladite charge.
 - [0044] Le dispositif est avantageusement réalisé sous forme intégrée.
 - [0045] Selon un autre aspect de cette première variante, il est proposé un procédé d'alimentation et de mesure de la consommation de courant d'une charge, comprenant :
 - connecter en série un premier amplificateur de puissance et au moins une première résistance et une deuxième résistance entre une entrée de dispositif et ladite charge, la première résistance, connectée à l'entrée de dispositif, ayant une valeur résistive plus grande que celle de la deuxième résistance, connectée à la charge,
 - appliquer une tension de référence sur l'entrée de dispositif, et,
 - si le premier amplificateur sature, alimenter la charge avec la tension de référence à

travers un deuxième amplificateur de puissance et la deuxième résistance, et mesurer le courant consommé aux bornes de la deuxième résistance, et

-tant que le premier amplificateur de puissance ne sature pas, ne pas activer le deuxième amplificateur de puissance et alimenter la charge avec la tension de référence à travers le premier amplificateur de puissance et lesdites au moins une première et deuxième résistances, et mesurer le courant consommé aux bornes de la première résistance.

[0046] Selon un mode de mise en œuvre, le procédé comprend :

-tant que le premier amplificateur de puissance ne sature pas, une régulation à la tension de référence, de la tension présente aux bornes de la charge, à l'aide d'une première boucle de régulation incorporant le premier amplificateur de puissance et lesdites résistances et ayant la tension de référence comme tension de consigne, et

-si le premier amplificateur sature, une régulation à la tension de référence, de la tension présente aux bornes de la charge, à l'aide d'une deuxième boucle de régulation incorporant le deuxième amplificateur de puissance et la deuxième résistance et ayant la tension de référence comme tension de consigne.

[0047] Selon un aspect d'une deuxième variante, plus simple de réalisation et permettant en particulier de s'affranchir des moyens de détection de la condition de saturation du premier amplificateur de puissance et des moyens de commande permettant de désactiver ou d'activer le deuxième amplificateur de puissance, il est proposé un dispositif d'alimentation et de mesure de la consommation de courant d'une charge, comprenant

-une entrée de dispositif pour recevoir une tension d'entrée,

-une sortie de dispositif destinée à être connectée à ladite charge,

-un étage d'alimentation couplé entre l'entrée de dispositif et la sortie de dispositif et

-un étage de mesure dudit courant de charge connecté à l'étage d'alimentation.

[0048] L'étage d'alimentation comprend

-au moins une première résistance et une deuxième résistance connectées en série entre l'entrée de dispositif et la sortie de dispositif, la première résistance ayant une valeur résistive plus grande que celle de la deuxième résistance,

-un nœud auxiliaire configuré pour recevoir une tension auxiliaire inférieure à la tension de référence,

-un premier amplificateur de puissance couplé entre l'entrée de dispositif et une borne d'entrée de la première résistance, et

-un deuxième amplificateur de puissance couplé entre l'entrée de dispositif et le nœud auxiliaire,

-et l'étage de mesure est connecté aux bornes desdites résistances.

[0049] Selon un mode de réalisation la tension auxiliaire est égale à la tension de référence

diminuée d'une tension de décalage (tension d'« offset »).

- [0050] Dans cette deuxième variante, l'étage d'alimentation comprend également la première boucle de régulation et la deuxième boucle de régulation mentionnées ci-avant et comportant notamment le premier additionneur/soustracteur et le deuxième additionneur/soustracteur.
- [0051] Ladite tension de référence est appliquée à l'entrée du premier additionneur/soustracteur, tandis que ladite tension auxiliaire est appliquée à l'entrée du deuxième additionneur/soustracteur.
- [0052] La tension de décalage est avantageusement d'une part la plus faible possible permettant de minimiser l'erreur de régulation entre la tension de référence (tension de consigne) et la tension régulée (tension aux bornes de la charge) et d'autre part suffisante pour permettre de détecter la saturation de la première boucle se traduisant par une chute de tension égale ou supérieure à ladite tension de décalage.
- [0053] Par exemple, la tension de décalage pourrait être définie entre 1mV et 50mV.
- [0054] Dans cette deuxième variante, la structure de l'étage de mesure est analogue à celle de l'étage de mesure de la première variante, à la différence près que l'étage de mesure de la deuxième variante ne comporte pas les moyens de détection de la condition de saturation du premier amplificateur de puissance.
- [0055] En effet dans cette deuxième variante, la détection de la condition de saturation ne s'effectue pas au niveau de l'étage de mesure comme dans la première variante, mais au niveau de l'étage d'alimentation grâce avantageusement à la tension de décalage.
- [0056] Plus précisément la première boucle régule la tension de sortie (aux bornes de la charge) à la tension de consigne. La deuxième boucle ne régule pas car sa tension de consigne (tension auxiliaire) est inférieure à la tension de consigne (la tension auxiliaire est égale à la tension de consigne augmentée de la tension de décalage).
- [0057] Quand la charge augmente jusqu'au niveau de saturation de l'amplificateur de la première boucle, l'amplificateur ne peut plus réguler (il devient saturé). Cela se traduit par une chute de tension aux bornes de la charge. Quand cette chute de tension aux bornes de la charge devient égale ou supérieure à la tension de décalage, c'est-à-dire quand la tension de sortie devient égale ou inférieure à la tension auxiliaire, la deuxième boucle se met à réguler la tension de sortie à la valeur de la tension auxiliaire.
- [0058] C'est là le principe de détection de la condition de saturation dans cette deuxième variante.
- [0059] Selon un autre aspect de cette deuxième variante, il est proposé un procédé d'alimentation et de mesure de la consommation de courant d'une charge, comprenant :
 - connecter en série un premier amplificateur de puissance et au moins une première

résistance et une deuxième résistance entre une entrée de dispositif et ladite charge, la première résistance, connectée à l'entrée de dispositif, ayant une valeur résistive plus grande que celle de la deuxième résistance, connectée à la charge,

-appliquer une tension de référence sur l'entrée de dispositif, et,

-si le premier amplificateur sature, alimenter la charge avec une tension auxiliaire inférieure à la tension de référence à travers un deuxième amplificateur de puissance et la deuxième résistance, et mesurer le courant consommé aux bornes de la deuxième résistance, et

-tant que le premier amplificateur de puissance ne sature pas, ne pas activer le deuxième amplificateur de puissance et alimenter la charge avec la tension de référence à travers le premier amplificateur de puissance et lesdites au moins une première et deuxième résistances et mesurer le courant consommé aux bornes de la première résistance.

[0060] Selon un mode de mise en œuvre, la tension auxiliaire est égale à la tension de référence diminuée d'une tension de décalage.

[0061] Selon un mode de mise en œuvre, le procédé comprend :

-tant que le premier amplificateur de puissance ne sature pas, une régulation à la tension de référence, de la tension présente aux bornes de la charge, à l'aide d'une première boucle de régulation incorporant le premier amplificateur de puissance et lesdites résistances et ayant la tension de référence comme tension de consigne, et

-si le premier amplificateur sature, une régulation à la tension auxiliaire, de la tension présente aux bornes de la charge, à l'aide d'une deuxième boucle de régulation incorporant le deuxième amplificateur de puissance et la deuxième résistance et ayant la tension auxiliaire comme tension de consigne.

[0062] D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée de modes de réalisation et de mise en œuvre, nullement limitatifs, et des dessins annexés sur lesquels :

[0063] [Fig.1]

[0064] [Fig.2]

[0065] [Fig.3]

[0066] [Fig.4] et

[0067] [Fig.5]

[0068] illustrent de façon schématique des modes de mise en œuvre et de réalisation de l'invention.

[0069] Sur la [Fig.1], la référence DV désigne un dispositif d'alimentation et de mesure de la consommation courante d'une charge DUT selon une première variante de l'invention. Ce dispositif est également appelé unité SMU.

[0070] Il est par exemple réalisé au sein d'un circuit intégré IC.

- [0071] La charge DUT peut être une charge passive ou bien ici une charge active, par exemple une unité de traitement telle qu'un microcontrôleur ou un microprocesseur.
- [0072] Le dispositif DV comporte une entrée de dispositif ED pour recevoir une tension d'entrée VREF issue d'une source de tension V1.
- [0073] A titre d'exemple, la tension VREF peut être égale à 3 volts.
- [0074] La source de tension V1 peut être incorporée au sein du dispositif DV ou bien être une source de tension externe à ce dispositif DV.
- [0075] Le dispositif DV comporte un étage d'alimentation 2 couplé entre l'entrée de dispositif ED et la sortie de dispositif SD qui est connectée à la charge DUT.
- [0076] Le dispositif DV comporte également un étage 1 de mesure du courant de charge, cet étage de mesure 1 étant connecté à l'étage d'alimentation 2.
- [0077] L'étage d'alimentation 2 comprend une première résistance R1 et une deuxième résistance R2 connectées en série entre l'entrée de dispositif ED et la sortie de dispositif SD. Ces deux résistances sont également appelées résistances de dérivation ou de « shunt ».
- [0078] La valeur résistive de la première résistance R1 est supérieure à la valeur résistive de la deuxième résistance R2. Par exemple, la résistance R1 a une valeur résistive de 3,3 kilo-ohms tandis que la résistance R2 a une faible valeur résistive, par exemple 0,5 ohms.
- [0079] L'étage d'alimentation 2 comporte également un premier amplificateur de puissance 21, par exemple un amplificateur de puissance faible bruit, alimenté par une source de tension V2, et connecté entre la borne d'entrée ND11 de la première résistance R1 et un premier additionneur/soustracteur 25 lui-même connecté par l'intermédiaire de son entrée + (plus) à l'entrée de dispositif ED.
- [0080] L'étage d'alimentation 2 comporte également un deuxième amplificateur de puissance, avantageusement faible bruit, 22, alimenté par une source de tension V3 et connecté entre la borne d'entrée ND21 de la deuxième résistance R2 (qui est également la borne de sortie ND12 de la première résistance R1) et l'entrée de dispositif ED par l'intermédiaire d'un deuxième additionneur/soustracteur 27 dont l'entrée + (plus) est connectée à l'entrée de dispositif ED par l'intermédiaire d'un interrupteur commandable 28, par exemple un transistor MOS.
- [0081] L'entrée - (moins) du premier additionneur/soustracteur 25 est relié à la borne de sortie ND22 de la deuxième résistance R2 et donc ici à la sortie de dispositif SD.
- [0082] Il en est de même pour l'entrée - (moins) du deuxième additionneur/soustracteur 27.
- [0083] De ce fait, la connexion 24, le premier additionneur/soustracteur 25 et le premier amplificateur 21 forment une première boucle de régulation LOOP1.
- [0084] La connexion 26, le deuxième additionneur/soustracteur 27 et le deuxième amplificateur 22 forment une deuxième boucle de régulation LOOP2.

- [0085] L'étage de mesure 1 comprend un premier module différentiel comportant deux amplificateurs opérationnels 15 et 16 connectés sur la borne d'entrée ND11 et la borne de sortie ND12 de la première résistance R1.
- [0086] Plus précisément, l'entrée + du premier amplificateur opérationnel 15 est connectée d'une part à l'entrée + du deuxième amplificateur opérationnel 16 et à la borne d'entrée ND11 de la première résistance R1 tandis que l'entrée - du premier amplificateur opérationnel 15 est reliée d'une part à l'entrée - du deuxième amplificateur opérationnel 16 et à la borne de sortie ND12 de la première résistance R1.
- [0087] L'étage de mesure 1 comporte également un deuxième module amplificateur différentiel comportant un troisième amplificateur opérationnel 17 et un quatrième amplificateur opérationnel 18.
- [0088] Ce deuxième module amplificateur opérationnel est connecté aux deux bornes de la deuxième résistance R2.
- [0089] Plus précisément, l'entrée + du troisième amplificateur opérationnel 17 est connectée d'une part à l'entrée + du quatrième amplificateur opérationnel 18 et à la borne d'entrée ND21 de la deuxième résistance R2, tandis que l'entrée - du troisième amplificateur opérationnel 17 est connectée d'une part à l'entrée - du quatrième amplificateur opérationnel 18 et à la borne de sortie ND22 de la deuxième résistance R2.
- [0090] Le gain G1 du premier amplificateur opérationnel 15 est supérieur au gain G2 du deuxième amplificateur opérationnel 16.
- [0091] De même, le gain G3 du troisième amplificateur opérationnel 17 est supérieur au gain G4 du quatrième amplificateur opérationnel 18.
- [0092] L'étage de mesure 1 comporte également un premier module de conversion analogique numérique couplé à la sortie du premier module amplificateur différentiel 15, 16.
- [0093] Ce premier module de conversion analogique numérique comporte un premier convertisseur analogique numérique 10 couplé à la sortie du premier amplificateur opérationnel 15 et un deuxième convertisseur analogique numérique 11 couplé à la sortie du deuxième amplificateur opérationnel 16.
- [0094] L'étage de mesure comporte également un deuxième module de conversion analogique numérique couplé à la sortie du deuxième module amplificateur différentiel 17, 18.
- [0095] Plus précisément, ce deuxième module de conversion analogique numérique comporte ici un troisième convertisseur analogique numérique 12 couplé à la sortie du troisième amplificateur opérationnel 17 et un quatrième convertisseur analogique numérique 13 couplé à la sortie du quatrième amplificateur opérationnel 18.
- [0096] Les sorties des quatre convertisseurs analogiques numériques 10, 11, 12 et 13 sont connectées à une unité de traitement 14, par exemple un microcontrôleur, qui est

configurée pour déterminer, comme on le verra plus en détail ci-après, la valeur courante du courant consommé par la charge DUT.

- [0097] Le dispositif DV comporte également des moyens de détection 29 configurés pour détecter une condition de saturation du premier amplificateur de puissance 21.
- [0098] Ces moyens de détection sont représentés ici à l'extérieur de l'étage de mesure 1 mais ils pourraient également être incorporés à cet étage de mesure.
- [0099] Plus précisément, les moyens de détection comportent ici un comparateur 29 possédant une première entrée + couplée au deuxième module amplificateur différentiel, et plus précisément à la sortie du troisième amplificateur opérationnel 17.
- [0100] Le comparateur 29 possède également une deuxième entrée - pour recevoir une tension de saturation V_{sat} représentative de la condition de saturation, c'est-à-dire représentative ici de la saturation du premier amplificateur de puissance 21.
- [0101] La sortie du comparateur 29 délivre un signal logique de commande LO_sat destiné à commander l'interrupteur 28.
- [0102] Le dispositif DV vise ainsi en particulier à mesurer la consommation de courant à haute fréquence (une centaine de kilohertz) de la charge DUT, par exemple une charge active, pouvant consommer un courant ayant une grande plage dynamique (s'étendant par exemple du nanoampère à l'ampère).
- [0103] Les deux boucles de régulation LOOP1 et LOOP2 visent à alimenter la charge DUT en fournissant une tension de sortie régulée VOUT.
- [0104] Les résistances R1 et R2 permettent d'évaluer la consommation du courant I_{out} dans la charge en mesurant les tensions V_{r1} et V_{r2} à leurs bornes et en utilisant la loi d'ohm ($I_{r1}=V_{r1}/R1$ et $I_{r2}=V_{r2}/R2$).
- [0105] La première résistance de shunt R1 a une forte valeur résistive pour mesurer de faibles courants I_{out} consommés par la charge DUT et la deuxième résistance de shunt R2 a une faible valeur résistive pour mesurer de forts courants I_{out} consommés par la charge DUT.
- [0106] Lorsque la charge DUT consomme un faible ou un très faible courant, la charge DUT est alimentée à partir du premier amplificateur de puissance 21 à travers les deux résistances R1 et R2.
- [0107] La tension de sortie VOUT est alors régulée à la tension d'entrée VREF grâce à la première boucle de régulation LOOP1 et le courant I_{out} est évalué en mesurant la tension V_{r1} aux bornes de la première résistance R1 à l'aide de l'étage de mesure 1 et plus particulièrement à l'aide du premier amplificateur opérationnel 15 et du premier convertisseur analogique numérique 10 ou bien à l'aide du deuxième amplificateur opérationnel 16 et du deuxième convertisseur analogique numérique 11.
- [0108] Lorsque la charge DUT consomme un courant moyen ou un fort courant, la charge DUT est alimentée à partir du deuxième amplificateur 22 à travers la deuxième ré-

sistance de shunt R2.

- [0109] La tension de sortie VOUT est alors régulée à la tension d'entrée VREF grâce à la deuxième boucle de régulation LOOP2 et le courant Iout est alors évalué en mesurant la tension Vr2 aux bornes de la deuxième résistance R2 à l'aide de l'étage de mesure 1 et plus particulièrement en utilisant le troisième amplificateur opérationnel 17 et le troisième convertisseur analogique numérique 12 ou bien le quatrième amplificateur opérationnel 18 et le quatrième convertisseur analogique numérique 13.
- [0110] Le comparateur 29 et l'interrupteur 28 commandés par le signal logique de commande LO_sat délivré par le comparateur 29 permettent très rapidement d'activer ou de désactiver le deuxième amplificateur 22 respectivement lorsque la charge DUT consomme un courant Iout plus grand ou plus petit qu'une valeur prédéfinie qui est évaluée en fonctionnement à partir de la tension Vr2 aux bornes de la deuxième résistance R2, et de la tension Vg3 à la sortie du troisième amplificateur opérationnel 17.
- [0111] On va maintenant décrire plus en détail le fonctionnement de l'étage d'alimentation 2.
- [0112] Comme indiqué ci-avant, la charge DUT est alimentée par la tension constante VOUT délivrée par le premier amplificateur 21 ou le deuxième amplificateur 22 respectivement lorsque la charge DUT consomme un faible ou un fort courant Iout.
- [0113] Les amplificateurs de puissance 21 et 22 sont préférentiellement des amplificateurs faible bruit permettant des mesures de la consommation de courant à travers les résistances R1 et R2 avec un faible bruit de fond.
- [0114] Par ailleurs, ces amplificateurs de puissance 21 et 22 ont une bande passante fréquentielle plus élevée que celle de l'étage de mesure 1, dans un ordre de grandeur d'une décade de fréquences, permettant ainsi une bonne réjection du bruit généré par l'étage de mesure 1.
- [0115] Les amplificateurs de puissance 21 et 22 sont alimentés respectivement par les sources de tension V2 et V3 pouvant prendre par exemple une même valeur égale à 5,2 volts.
- [0116] Les amplificateurs 21 et 22 saturent soit lorsque leurs tensions de sortie respectives sont proches de leurs tensions d'alimentation respectives (par exemple chaque amplificateur a une chute de tension (« drop out ») de 200 millivolts, ce qui signifie qu'ils atteignent la saturation à 5 volts (5,2-0,2) ou lorsqu'ils fournissent une certaine quantité de courant (par exemple l'amplificateur 21 peut saturer à 600 microampères tandis que l'amplificateur 22 peut saturer à 1 ampère).
- [0117] La première résistance R1 a une forte valeur résistive (3,3 kiloohms par exemple) et est dédiée à la mesure du courant consommé par la charge DUT lorsque cette dernière fonctionne en faible charge.
- [0118] Le premier amplificateur 21 délivre la tension VOUT à travers les deux résistances

R1 et R2. Et, le deuxième amplificateur 22 est désactivé lorsque le courant de sortie I_{out} est faible. Dans ce cas, le courant de sortie I_{out} est égal au courant I_{r1} et au courant I_{r2} car le courant I_{hi} est nul.

- [0119] L'étage de mesure 1 effectue alors des mesures de la tension V_{r1} avec une résolution dynamique élevée et avec une bande passante et un taux d'échantillonnage élevés.
- [0120] La première boucle LOOP1 compense la chute de tension à travers les résistances R1 et R2 pour maintenir la tension de sortie V_{OUT} égale à la tension d'entrée V_{REF} .
- [0121] La deuxième résistance R2 a une faible valeur résistive, par exemple 0,5 ohms. Elle est dédiée à la mesure du courant consommé dans la charge DUT lorsque cette dernière fonctionne en régime de forte charge. Dans un tel régime de forte charge, par exemple lorsque le courant I_{out} est supérieur à 600 microampères, le premier amplificateur 21 sature et le deuxième amplificateur 22 est alors activé (interrupteur 28 fermé).
- [0122] Le deuxième amplificateur 22 délivre alors la tension V_{OUT} à travers la deuxième résistance R2. L'étage de mesure effectue alors des mesures de la tension V_{r2} également avec une résolution élevée et dynamique et avec une bande passante et un taux d'échantillonnage élevés.
- [0123] C'est cette fois-ci la deuxième boucle LOOP2 qui compense la chute de tension à travers la résistance R2 pour maintenir la tension de sortie V_{OUT} égale à la tension d'entrée V_{REF} .
- [0124] Comme indiqué ci-avant, le deuxième amplificateur 22 est activé ou désactivé en fonctionnement grâce à l'interrupteur 28 qui est fermé ou ouvert en fonction du courant I_{out} consommé par la charge DUT.
- [0125] L'interrupteur 28 est commandé par le signal logique de commande LO_sat qui, lorsqu'il a par exemple la valeur logique 1, conduit à une fermeture de l'interrupteur 28 et lorsqu'il a une valeur logique 0 conduit à une ouverture de l'interrupteur 28.
- [0126] Comme illustré schématiquement sur la [Fig.2], la valeur du signal logique de commande LO_sat dépend de la comparaison S20 effectuée par le comparateur 29 entre la tension V_{g3} et la tension de saturation V_{sat} .
- [0127] V_{g3} est une image du courant I_{OUT} et V_{sat} est représentative de ladite condition de saturation et est un seuil de tension constante équivalent au seuil de saturation du premier amplificateur 21, par exemple 600 microampères.
- [0128] Ainsi, si dans l'étape S20, la tension V_{g3} n'est pas supérieure à la tension V_{sat} , alors la condition de saturation n'est pas présente, ce qui signifie que l'amplificateur 21 n'est pas saturé et le signal logique de commande LO_sat prend alors la valeur logique 0 (étape S21).
- [0129] Ceci conduit dans l'étape S22 à une ouverture de l'interrupteur 28 et donc à une désactivation du deuxième amplificateur 22 (étape S23).
- [0130] Si par contre dans l'étape S20, la tension V_{g3} est supérieure à la tension V_{sat} , alors

la condition de saturation est présente, ce qui signifie que le premier amplificateur 21 sature et le signal logique de commande LO_sat prend alors la valeur logique 1 (étape S24).

- [0131] Ceci conduit dans l'étape S25 à la fermeture de l'interrupteur 28 et donc à l'activation du deuxième amplificateur 22 (étape S26).
- [0132] On va maintenant décrire plus en détail le fonctionnement de l'étage de mesure 1.
- [0133] Cet étage de mesure vise à convertir les mesures des tensions Vr1 et Vr2 mesurées aux bornes des deux résistances R1 et R2 en valeurs de courant disponibles par l'unité de traitement 14.
- [0134] Après traitement de ces mesures par l'unité de traitement, les valeurs délivrées par celle-ci sont des images du courant Iout consommées par la charge DUT et sont disponibles pour un utilisateur.
- [0135] L'unité de traitement 14 effectue continûment des mesures de tension à un taux d'échantillonnage élevé (la fréquence d'échantillonnage dépend de la bande passante attendue et peut être prise par exemple égale à 100 KHz) en utilisant les convertisseurs analogiques numériques 10 à 13.
- [0136] Par exemple, chaque convertisseur analogique est un convertisseur 12 bits avec une plage de tension d'entrée de 4,096 volts ce qui conduit donc à avoir 1 millivolt par bit de poids faible (LSB) (4,096 volts correspondent à 4096 LSB).
- [0137] Ainsi, 1 millivolt est la sensibilité en entrée du convertisseur analogique numérique et 4,096 volts est la tension d'entrée maximale pouvant être convertie par le convertisseur analogique numérique et correspondant à un mot de 4096 LSB.
- [0138] L'entrée de chaque convertisseur analogique numérique 10 à 13 est amplifiée par l'amplificateur opérationnel correspondant 15 à 18.
- [0139] L'amplificateur 15 a un fort gain, par exemple 150, pour mesurer des faibles valeurs de tension aux bornes de la première résistance R1 tandis que l'amplificateur opérationnel 16 a un faible gain, par exemple 10, pour mesurer de faibles valeurs de tension aux bornes de la première résistance R1. En conséquence, l'amplificateur opérationnel 15 permet la mesure de très faibles courants, (par exemple dans une plage allant de 2 nanoampères à 8,3 microampères) tandis que l'amplificateur opérationnel 16 mesure de faibles courants par exemple dans une plage allant de 30 nanoampères à 124 microampères.
- [0140] L'amplificateur opérationnel 17 a un fort gain, par exemple 100, pour mesurer de très faibles valeurs de tension aux bornes de la deuxième résistance R2 tandis que l'amplificateur opérationnel 18 a un faible gain, par exemple 10, pour mesurer de faibles valeurs de tension aux bornes de la deuxième résistance R2.
- [0141] En conséquence, l'amplificateur 17 permet la mesure de courants ayant une valeur moyenne, par exemple dans une plage allant de 20 microampères à 82 milliampères,

tandis que l'amplificateur opérationnel 18 mesure de forts courants, par exemple dans une plage allant de 400 microampères à 1,6 ampère.

[0142] On peut donc définir dans l'étage de mesure 1,

[0143] -un premier chemin comportant le premier amplificateur opérationnel 15 suivi du premier convertisseur analogique numérique 10,

[0144] -un deuxième chemin comportant le deuxième amplificateur opérationnel 16 suivi du deuxième convertisseur analogique numérique 11,

[0145] -un troisième chemin comportant le troisième amplificateur opérationnel 17 suivi du troisième convertisseur analogique numérique 12, et

[0146] -un quatrième chemin comportant le quatrième amplificateur opérationnel 18 suivi du quatrième convertisseur analogique numérique 13.

[0147] Ces quatre chemins sont respectivement référencés CH1 à CH4 sur la [Fig.1].

[0148] En fonctionnement, l'unité de traitement 14 examine chaque chemin, par exemple simultanément, et sélectionne celui qui donne la mesure la plus précise.

[0149] Par exemple, si la charge DUT consomme 10 microampères, la sortie du convertisseur analogique numérique 13 sera 0 LSB, celle du convertisseur analogique numérique 12 sera 0 LSB, celle du convertisseur analogique numérique 11 sera 330 LSB et celle du convertisseur analogique numérique 10 sera égale à 4095 LSB.

[0150] L'unité de traitement va donc sélectionner la donnée délivrée par le convertisseur analogique numérique 11 parce que les valeurs 0 LSB ne sont pas significatives, que la valeur 4095 LSB n'est pas significative car elle représente la valeur maximale du convertisseur analogique numérique. La seule valeur significative est la valeur 330 LSB délivrée par le convertisseur analogique numérique 11.

[0151] Par ailleurs, des chevauchements entre les chemins CH1 à CH4 permettent de conserver une bonne résolution lorsque l'unité de traitement 14 utilise des mesures de courant ayant de faibles valeurs sur un chemin.

[0152] Les figures 3 et 4 illustrent une deuxième variante de l'invention.

[0153] Sur la [Fig.3], les éléments analogues à ceux de la [Fig.1] ont des références identiques à celles qu'ils ont sur la [Fig.1].

[0154] La description et la fonctionnalité de ces éléments analogues ne seront pas de nouveau décrites ici à des fins de simplification.

[0155] Le dispositif DV de la [Fig.3], diffère de celui de la [Fig.1] en ce qu'il ne comprend ni les moyens de détection 29 utilisant la tension V_{g3} ni les moyens de commande 28 permettant d'activer ou de désactiver le deuxième amplificateur de puissance 22.

[0156] L'étage d'alimentation 2 comprend ici une source de tension auxiliaire VD configurée pour générer une tension de décalage (tension d'« offset ») V_{offset} et un troisième additionneur/soustracteur 30 dont l'entrée – est connectée à la source de tension auxiliaire VD et dont l'entrée + est connectée à l'entrée de dispositif ED.

- [0157] La sortie de ce troisième additionneur/soustracteur 30 forme un nœud auxiliaire EDR au niveau duquel est présente la tension auxiliaire VEDR inférieure à la tension de référence VREF et égale à $VREF - V_{offset}$.
- [0158] Le nœud auxiliaire ERD est connecté à l'entrée + du deuxième additionneur/soustracteur 27.
- [0159] Le premier additionneur/soustracteur possède une première tension de décalage intrinsèque et le deuxième additionneur/soustracteur possède une deuxième tension de décalage intrinsèque.
- [0160] La tension de décalage Voffset est une tension constante et de valeur la plus faible possible définie telle que la tension Voffset soit supérieure à la somme des tensions de décalage intrinsèque des additionneurs/soustracteurs 25 et 27 plus communément appelées « erreur d'offset » sur des circuits intégrés d'amplificateur opérationnel et résultant des imprécisions de conception des additionneurs/soustracteurs 25 et 27.
- [0161] L'homme du métier saura choisir la valeur de Voffset en fonction des caractéristiques de ces additionneurs/soustracteurs et de l'application envisagée. A titre d'exemple non limitatif, la tension de décalage Voffset peut être égale à 3mV.
- [0162] Dans cette deuxième variante de réalisation, on compare deux consignes de tension différentes, à savoir la tension de référence VREF pour la boucle de régulation LOOP1 et la tension auxiliaire VEDR ($VEDR = VREF - V_{offset}$) pour la boucle de régulation LOOP2.
- [0163] Ces deux consignes de tension sont comparées par rapport à la tension de sortie VOUT (mesurée à la borne de sortie ND22) respectivement par l'additionneur/soustracteur 25 pour la boucle LOOP1 et par l'additionneur/soustracteur 27 pour la boucle LOOP2.
- [0164] Lorsque la charge DUT consomme un faible ou très faible courant, la charge DUT est alimentée à partir du premier amplificateur de puissance 21 à travers les deux résistances R1 et R2.
- [0165] La tension de sortie VOUT est régulée à la tension de référence VREF grâce à la première boucle de régulation LOOP1 qui a comme tension consigne VREF.
- [0166] Donc la tension de sortie VOUT est égale à VREF. Et le courant Iout est évalué en mesurant la tension Vr1 aux bornes de la première résistance R1. Dans ce cas, la boucle LOOP2 est inactive car la tension de sortie VOUT est supérieure à sa tension de consigne VEDR (VOUT est supérieure à VEDR puisque $VOUT = VREF > VEDR$). L'amplificateur 22 ne régule pas et est considéré comme éteint ou non activé.
- [0167] Lorsque la charge DUT consomme un courant moyen ou un fort courant, l'amplificateur 21 est saturé et par conséquent, la charge DUT est alimentée à partir du deuxième amplificateur 22 à travers la deuxième résistance de shunt R2.
- [0168] La tension de sortie VOUT est alors régulée à la tension de consigne VEDR grâce à

la deuxième boucle de régulation LOOP2 et le courant I_{out} est alors évalué en mesurant la tension V_{r2} aux bornes de la deuxième résistance $R2$.

- [0169] Dans ce cas, la boucle LOOP1 n'est plus capable de réguler la tension de sortie V_{OUT} à sa tension de consigne V_{REF} car l'amplificateur de puissance 21 est saturé. Par conséquent la tension V_{OUT} chute jusqu'à atteindre la tension de consigne V_{EDR} de la deuxième boucle LOOP2. Lorsque V_{OUT} atteint la tension de consigne V_{EDR} , la deuxième boucle LOOP2 se met à réguler grâce à l'amplificateur 22 qui devient implicitement activé.
- [0170] De ce fait, lorsque la charge DUT consomme un courant moyen ou un fort courant (boucle LOOP2 activée) la tension de sortie V_{OUT} est régulée à $V_{REF} - V_{offset}$ puisque $V_{EDR} = V_{REF} - V_{offset}$ et donc $V_{OUT} = V_{EDR} = V_{REF} - V_{offset}$.
- [0171] Si par exemple la tension de consigne V_{REF} est de 3V et que V_{offset} est égale à 3mV, la tension de sortie sera alors régulée à $3V - 3mV$ soit 2.997V soit une erreur de 0.3% par rapport à la valeur de consigne attendue.
- [0172] Un mode de mise en œuvre du procédé selon cette deuxième variante est illustré sur la [Fig.4].
- [0173] Si dans l'étape S40, la tension de sortie V_{OUT} est inférieure ou égale à la tension auxiliaire V_{EDR} , il y a saturation du premier amplificateur de puissance 21 (étape S44) et le deuxième amplificateur de puissance 22 est activé (étape S45). La deuxième boucle de régulation LOOP2 est active (étape S46).
- [0174] Si dans l'étape S40, la tension de sortie V_{OUT} est supérieure à la tension auxiliaire V_{EDR} , il n'y a pas saturation du premier amplificateur de puissance 21 (étape S41) et le deuxième amplificateur de puissance 22 n'est pas activé (étape S42). La première boucle de régulation LOOP1 est active (étape S43).
- [0175] La [Fig.5] illustre schématiquement en partie basse le comportement fonctionnel des étages 1 et 2 en fonction du courant.
- [0176] Plus précisément, comme indiqué précédemment, pour un courant $i1$ correspondant à aucune charge (par exemple I_{out} inférieur à 1 nanoampère) jusqu'à un courant de charge $i5$ (par exemple I_{out} de l'ordre de 600 microampères), le premier amplificateur 21 fonctionne pour réguler une tension constante en sortie.
- [0177] Pour des charges plus élevées que $i5$ (par exemple I_{out} supérieur à 600 microampères) le deuxième amplificateur 22 prend le relais pour réguler la tension de sortie sur la charge DUT.
- [0178] La première résistance $R1$ peut être utilisée seulement lorsque le premier amplificateur 21 fonctionne. En outre, l'utilisation de la première résistance $R1$ est limitée par la plage de fonctionnement de l'étage de mesure 1 (entre $i2$ correspondant à la résolution de mesure minimale de l'amplificateur opérationnel 15 jusqu'à $i4$ correspondant à la résolution de mesure maximale de l'amplificateur opérationnel 16).

- [0179] La deuxième résistance R2 peut être utilisée pour toute condition de charge puisque le courant I_{r2} est toujours égal au courant I_{out} . Cependant, l'utilisation de R2 est là encore limitée par la plage de fonctionnement de l'étage de mesure 1 qui s'étend de i_8 correspondant à la résolution de mesure minimum de l'amplificateur opérationnel 17 jusqu'à i_7 correspondant à la résolution de mesure maximale de l'amplificateur opérationnel 18.
- [0180] Comme indiqué précédemment, l'unité de traitement 14 mesure dans l'étape S30 (partie haute de la [Fig.5]) les quatre chemins CH1-CH4 en parallèle et en temps réel. Pour chaque échantillon acquis depuis les quatre chemins, l'unité de traitement va sélectionner une valeur parmi les quatre valeurs de ces quatre échantillons en comparant les résultats d'acquisition.
- [0181] Plus précisément, la valeur issue du chemin CH4 est sélectionnée si cette valeur se situe entre les seuils statiques i_6 et i_7 .
- [0182] La valeur délivrée par le chemin CH3 est sélectionnée si cette valeur se situe entre les seuils statiques i_4 et i_6 .
- [0183] La valeur issue du chemin CH2 est sélectionnée si la valeur délivrée se situe entre les seuils statiques i_3 et i_4 .
- [0184] Enfin, la valeur délivrée par le chemin CH1 est sélectionnée si cette valeur se situe entre les seuils statiques i_2 et i_3 .
- [0185] Les seuils i_2 , i_3 , i_4 , i_6 et i_7 sont des seuils statiques prédéfinis durant la conception des étages 1 et 2.

Revendications

- [Revendication 1] Dispositif d'alimentation et de mesure de la consommation de courant d'une charge, comprenant une entrée de dispositif (ED) pour recevoir une tension de référence, une sortie de dispositif (SD) destinée à être connectée à ladite charge (DUT), un étage d'alimentation (2) couplé entre l'entrée de dispositif et la sortie de dispositif et un étage (1) de mesure dudit courant de charge connecté à l'étage d'alimentation, dans lequel l'étage d'alimentation comprend au moins une première résistance (R1) et une deuxième résistance (R2) connectées en série entre l'entrée de dispositif et la sortie de dispositif, la première résistance (R1) ayant une valeur résistive plus grande que celle de la deuxième résistance (R2), un nœud auxiliaire configuré pour recevoir une tension auxiliaire inférieure à la tension de référence, un premier amplificateur de puissance (21) couplé en série entre l'entrée de dispositif et une borne d'entrée de la première résistance, et un deuxième amplificateur de puissance (22) couplé entre l'entrée de dispositif et le nœud auxiliaire, et l'étage de mesure (1) est connecté aux bornes desdites résistances.
- [Revendication 2] Dispositif selon la revendication 1, dans lequel la tension auxiliaire est égale à la tension de référence diminuée d'une tension de décalage.
- [Revendication 3] Dispositif selon la revendication 1 ou 2, dans lequel l'étage d'alimentation (2) comprend
- une première boucle de régulation (LOOP1) couplée entre une borne de sortie de la deuxième résistance et la borne d'entrée de la première résistance, la première boucle de régulation incluant un premier additionneur/soustracteur couplé à l'entrée de dispositif et le premier amplificateur de puissance couplé entre le premier additionneur/soustracteur et la borne d'entrée de la première résistance, et
 - une deuxième boucle de régulation (LOOP2) couplée entre la borne de sortie de la deuxième résistance et une borne d'entrée de la deuxième résistance, la deuxième boucle de régulation incluant un deuxième additionneur/soustracteur et le deuxième amplificateur de puissance couplé entre le deuxième additionneur/soustracteur et la borne d'entrée de la deuxième résistance.
- [Revendication 4] Dispositif selon les revendications 2 et 3, dans lequel le premier additionneur/soustracteur (25) possède une première tension de décalage intrinsèque, le deuxième additionneur/soustracteur (27) possède une

deuxième tension de décalage intrinsèque, et ladite tension de décalage (Voffset) est supérieure à la somme de la première tension de décalage intrinsèque et de la deuxième tension de décalage intrinsèque.

[Revendication 5]

Dispositif selon l'une des revendications 3 ou 4, dans lequel

-l'étage de mesure (1) comprend

un premier module amplificateur différentiel (15,16) couplé en entrée à la borne d'entrée et à la borne de sortie de la première résistance, et un deuxième module amplificateur différentiel (17, 18) couplé en entrée à la borne d'entrée et à la borne de sortie de la deuxième résistance.

[Revendication 6]

Dispositif selon la revendication 5, dans lequel l'étage de mesure (1) comprend en outre

-un premier module de conversion analogique numérique (10, 11)

couplé à la sortie du premier module amplificateur différentiel,

-un deuxième module de conversion analogique numérique (12, 13)

couplé à la sortie du deuxième module amplificateur différentiel, et

-une unité de traitement couplée à la sortie des deux modules de conversion analogique numérique et configurée pour déterminer la valeur courante du courant consommé par la charge.

[Revendication 7]

Dispositif selon la revendication 5 ou 6, dans lequel

-le premier module amplificateur différentiel comporte un premier amplificateur opérationnel (15) couplé à la borne d'entrée de la première résistance et un deuxième amplificateur opérationnel (16) couplé à la borne de sortie de la première résistance, le gain du premier amplificateur opérationnel étant supérieur au gain du deuxième amplificateur opérationnel, et

-le deuxième module amplificateur différentiel comporte un troisième amplificateur opérationnel (17) couplé à la borne d'entrée de la deuxième résistance et un quatrième amplificateur opérationnel (18) couplé à la borne de sortie de la deuxième résistance, le gain du troisième amplificateur opérationnel étant supérieur au gain du quatrième amplificateur opérationnel.

[Revendication 8]

Dispositif selon les revendications 6 et 7, dans lequel

-le premier module de conversion analogique numérique comporte un premier convertisseur analogique numérique (10) couplé à la sortie du premier amplificateur opérationnel et un deuxième convertisseur analogique numérique (11) couplé à la sortie du deuxième amplificateur opérationnel, et

-le deuxième module de conversion analogique numérique comporte un

troisième convertisseur analogique numérique (12) couplé à la sortie du troisième amplificateur opérationnel et un quatrième convertisseur analogique numérique (13) couplé à la sortie du quatrième amplificateur opérationnel, et

-l'unité de traitement (14) est configurée pour examiner les sorties des quatre convertisseurs analogique numérique et sélectionner celle qui fournit la valeur la plus significative, cette valeur étant représentative de la valeur courante du courant consommé par ladite charge.

[Revendication 9] Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le premier amplificateur de puissance (21) et le deuxième amplificateur de puissance (22) ont une bande passante fréquentielle supérieure d'une décade de fréquences à une tolérance près, à celle de l'étage de mesure.

[Revendication 10] Dispositif selon l'une des revendications précédentes, réalisé sous forme intégrée.

[Revendication 11] Procédé d'alimentation et de mesure de la consommation de courant d'une charge, comprenant :

-connecter en série un premier amplificateur de puissance et au moins une première résistance (R1) et une deuxième résistance (R2) entre une entrée de dispositif et ladite charge, la première résistance (R1) ayant une valeur résistive plus grande que celle de la deuxième résistance (R2),

-appliquer une tension de référence (VREF) sur l'entrée de dispositif, et,

-si le premier amplificateur sature, alimenter la charge avec une tension auxiliaire (VEDR) inférieure à la tension de référence à travers un deuxième amplificateur de puissance et la deuxième résistance, et mesurer le courant consommé aux bornes de la deuxième résistance, et
-tant que le premier amplificateur de puissance ne sature pas, ne pas activer le deuxième amplificateur de puissance et alimenter la charge avec la tension de référence à travers le premier amplificateur de puissance et lesdites au moins une première et deuxième résistances et mesurer le courant consommé aux bornes de la première résistance.

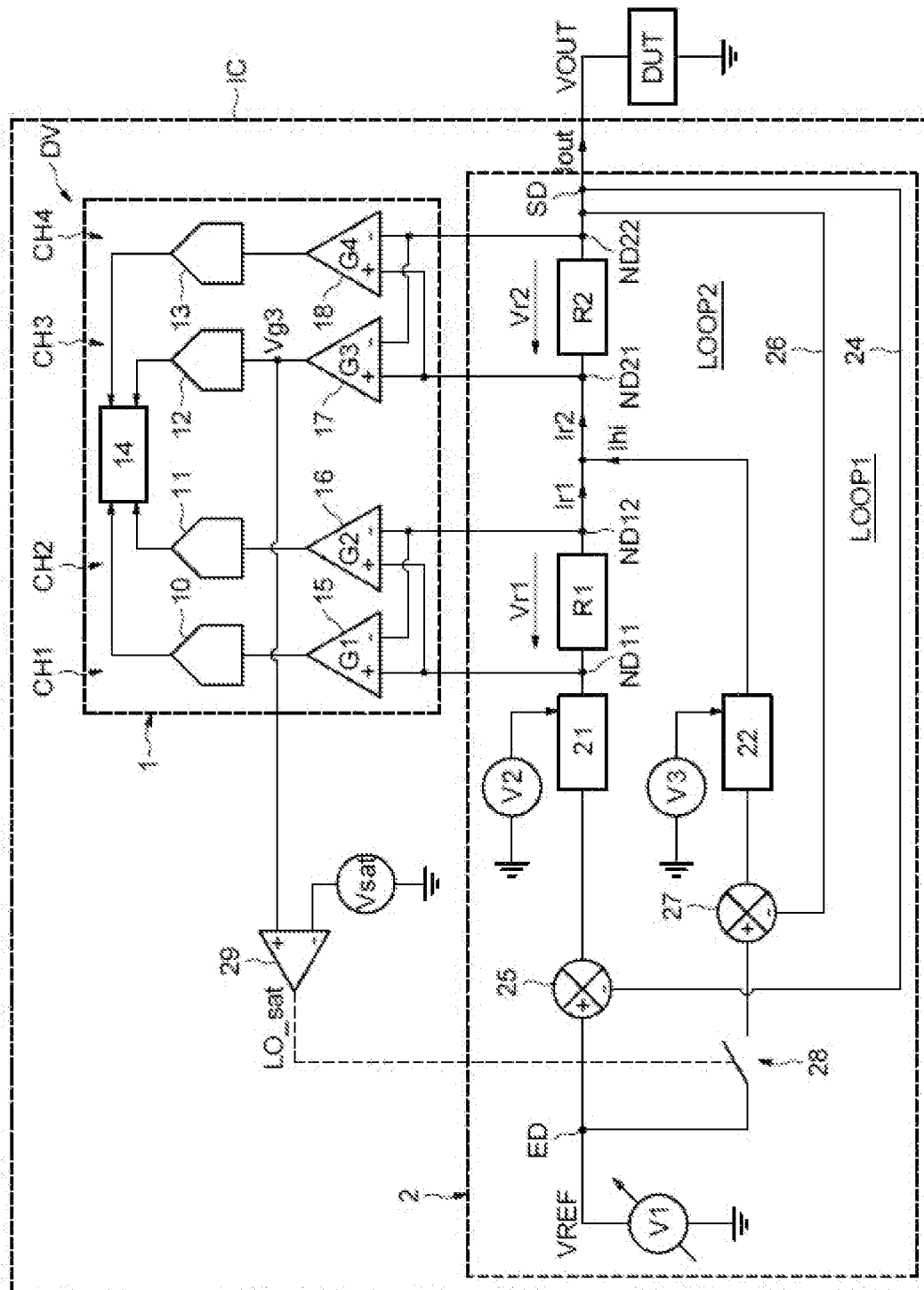
[Revendication 12] Procédé selon la revendication 11, dans lequel la tension auxiliaire (VEDR) est égale à la tension de référence diminuée d'une tension de décalage (Voffset).

[Revendication 13] Procédé selon l'une des revendications 11 ou 12, comprenant :
-tant que le premier amplificateur de puissance ne sature pas, une régulation à la tension de référence, de la tension présente aux bornes de la charge, à l'aide d'une première boucle de régulation (LOOP1) in-

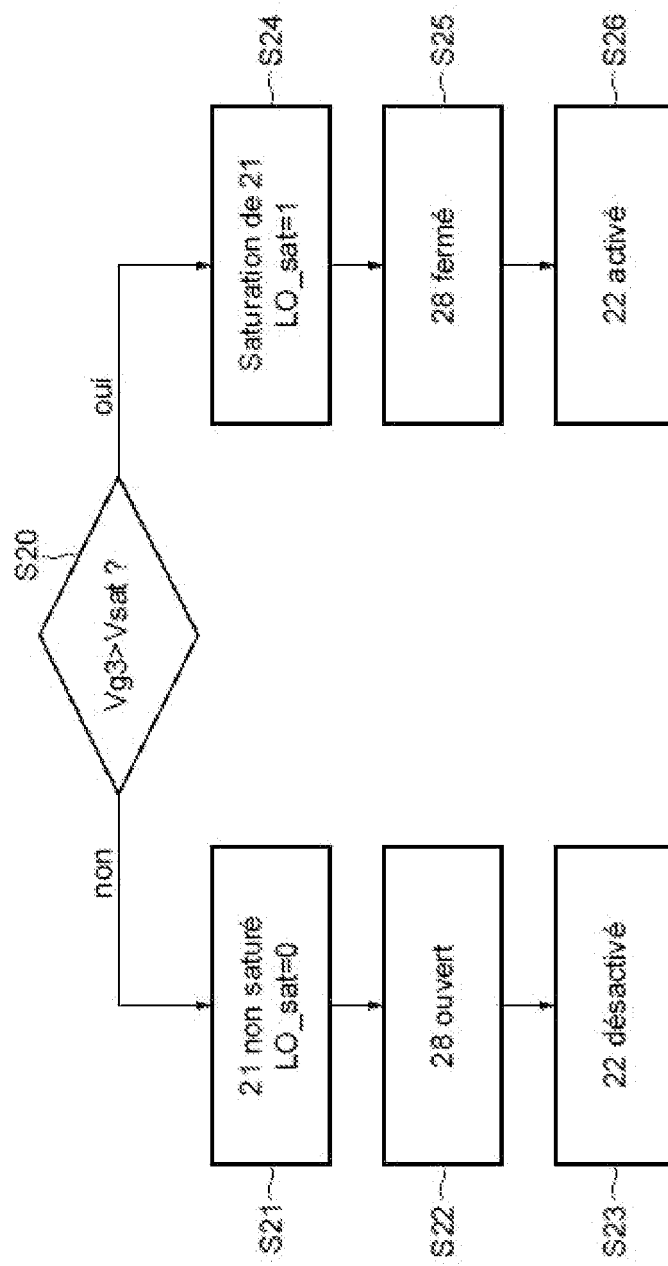
corporant le premier amplificateur de puissance et lesdites résistances et ayant la tension de référence comme tension de consigne, et

- si le premier amplificateur sature, une régulation à la tension auxiliaire, de la tension présente aux bornes de la charge, à l'aide d'une deuxième boucle de régulation (LOOP2) incorporant le deuxième amplificateur de puissance et la deuxième résistance et ayant la tension auxiliaire comme tension de consigne.

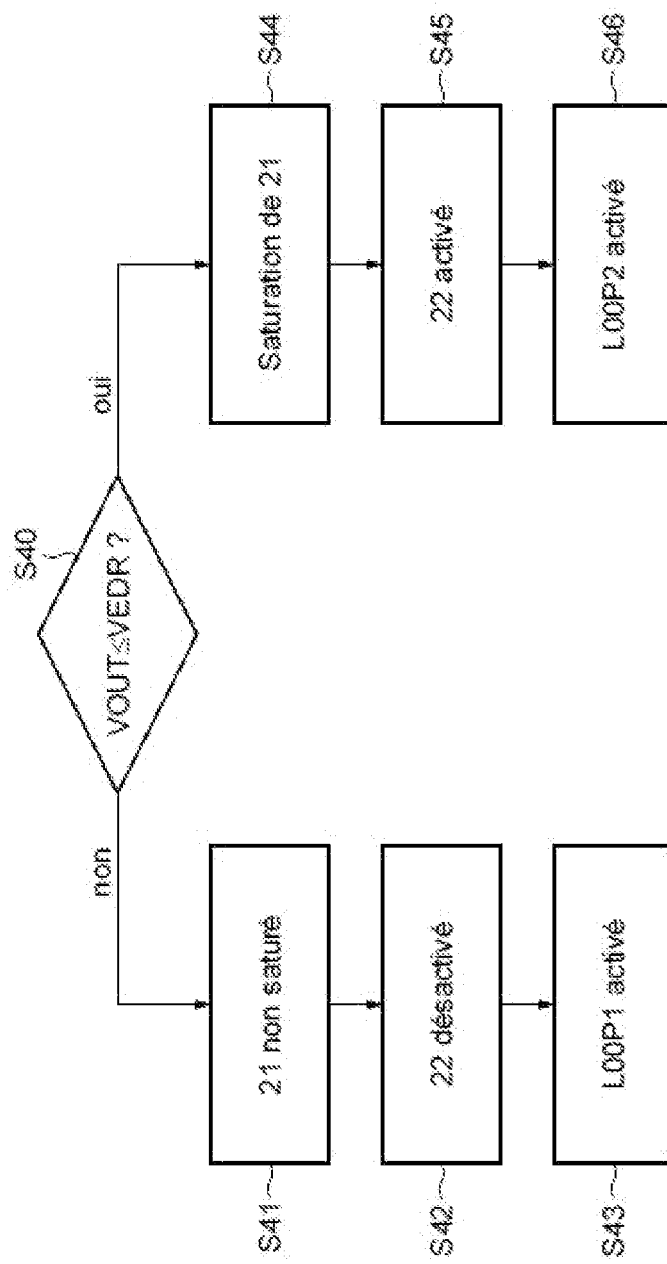
[Fig. 1]



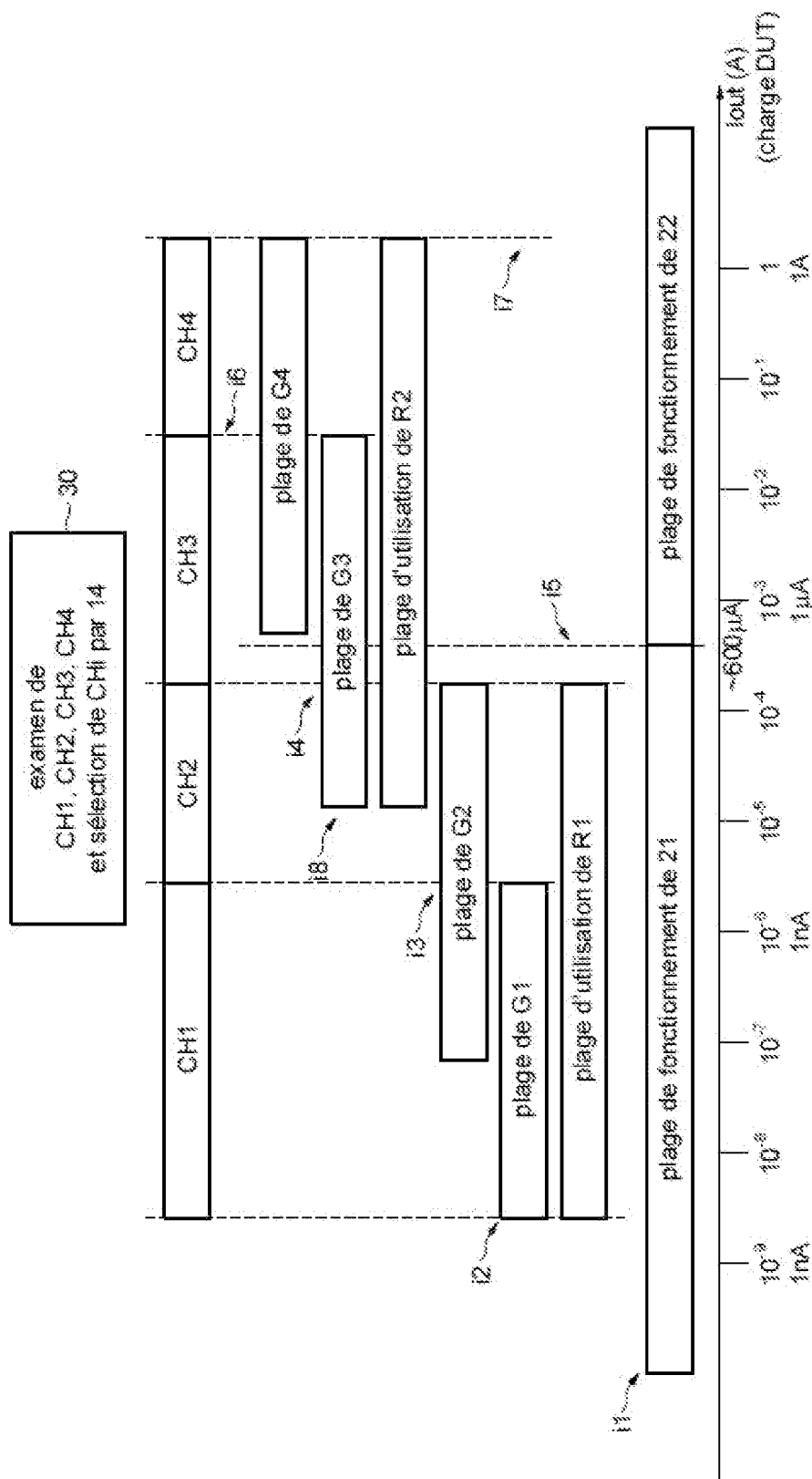
[Fig. 2]



[Fig. 4]



[Fig. 5]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

FR 3 056 299 A1 (ST MICROELECTRONICS ALPS
SAS [FR]) 23 mars 2018 (2018-03-23)

US 2011/095818 A1 (SULLIVAN PATRICK [US])
28 avril 2011 (2011-04-28)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT