

⑤④ **GENERATEUR DE COURANT PROTEGE CONTRE DES SURTENSIONS TRANSITOIRES OU PERMANENTES.**

②② **Date de dépôt :** 30.08.17.

③③ **Priorité :**

⑥⑥ **Références à d'autres documents nationaux
apparentés :**

☐ **Demande(s) d'extension :**

⑦① **Demandeur(s) :** AIRBUS OPERATIONS Société par
actions simplifiée — FR.

④③ **Date de mise à la disposition du public
de la demande :** 01.03.19 Bulletin 19/09.

④⑤ **Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention :** 11.06.21 Bulletin 21/23.

⑤⑥ **Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :**

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② **Inventeur(s) :** OMS PATRICK.

⑦③ **Titulaire(s) :** AIRBUS OPERATIONS Société par
actions simplifiée.

⑦④ **Mandataire(s) :** GEVERS & ORES.



DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne un générateur de courant négatif ou positif protégé contre les surtensions transitoires ou permanentes, même si le générateur de courant n'est pas alimenté.

5

ÉTAT DE LA TECHNIQUE

Les alimentations en courant électrique permettent d'alimenter en courant continu des générateurs (ou récepteurs) de courant continu. Or, ces générateurs de courant continu peuvent être sujets à des surtensions transitoires ou permanentes par l'intermédiaire de lignes de transmission de courant. Ces surtensions peuvent endommager lesdits générateurs de courant.

10

EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour objet de pallier ces inconvénients en proposant un générateur de courant continu protégé contre les surtensions transitoires ou permanentes, même dans le cas où le générateur de courant n'est pas alimenté.

15

À cet effet, l'invention concerne un générateur de courant continu protégé contre des surtensions transitoires ou permanentes, le générateur de courant étant alimenté en courant électrique par une alimentation.

20

Selon l'invention, le générateur de courant continu comprend :

25

- un module shunt configuré pour être traversé par le courant électrique alimenté par l'alimentation, le module shunt présentant une première borne présentant un premier potentiel électrique et une deuxième borne présentant un deuxième potentiel électrique ;

- un module amplificateur différentiel configuré pour déterminer une tension de mesure à partir du premier potentiel électrique et du deuxième potentiel électrique ;

- un module comparateur configuré pour effectuer une comparaison
5 entre la tension de mesure et une tension de référence prédéterminée ;

- un module interrupteur progressif configuré pour augmenter ou diminuer l'alimentation en courant du générateur de courant en fonction de la tension de mesure du module shunt qui est comparé à la tension de référence prédéterminée.

10 Ainsi, grâce à l'invention, lorsque se produit une surtension transitoire ou permanente, le module interrupteur progressif se coupe afin de limiter très fortement la puissance, le courant étant proche d'une valeur nulle.

Selon une particularité, le module shunt comprend une résistance de module shunt.

15 En outre, le module amplificateur différentiel comprend un premier amplificateur opérationnel et quatre résistances de module amplificateur différentiel,

le premier amplificateur opérationnel présentant :

- une entrée inverseuse connectée à la première borne du module shunt
20 par l'intermédiaire d'une première résistance de module amplificateur différentiel,

- une entrée non inverseuse connectée à la deuxième borne du module shunt par l'intermédiaire d'une deuxième résistance de module amplificateur différentiel, l'entrée non inverseuse étant également connectée à un potentiel
25 nul par l'intermédiaire d'une troisième résistance de module amplificateur différentiel,

- une borne de sortie connectée à l'entrée inverseuse par l'intermédiaire d'une quatrième résistance de module amplificateur différentiel.

De plus, le module comparateur comprend un deuxième amplificateur opérationnel et trois résistances de module comparateur,

le deuxième amplificateur opérationnel présentant :

- une entrée inverseuse connectée à la borne de sortie du premier amplificateur opérationnel par l'intermédiaire d'une première résistance (R6) de module comparateur,
- une entrée non inverseuse connectée à un potentiel dont la valeur est sensiblement égale à la tension de référence prédéterminée,
- une borne de sortie connectée à l'entrée inverseuse par l'intermédiaire d'une deuxième résistance de module comparateur et au module interrupteur progressif par l'intermédiaire d'une troisième résistance de module comparateur.

Par ailleurs, le module interrupteur progressif comprend un premier transistor de module interrupteur progressif, un deuxième transistor de module interrupteur progressif et un transistor interrupteur progressif, le transistor interrupteur progressif étant configuré pour être traversé par le courant électrique alimenté par l'alimentation lorsqu'il est fermé,

le premier transistor de module interrupteur progressif et le deuxième transistor de module interrupteur progressif présentant chacun une base, un collecteur et un émetteur,

le transistor interrupteur progressif présentant un drain, une source et une grille,

le collecteur du premier transistor de module interrupteur progressif et le collecteur du deuxième transistor de module interrupteur progressif étant connectés à un potentiel nul,

la base du premier transistor de module interrupteur progressif étant connectée à la borne de sortie du deuxième amplificateur opérationnel par l'intermédiaire de la troisième résistance de module comparateur ainsi qu'à un drain d'un transistor de module de protection,

l'émetteur du premier transistor du module interrupteur progressif étant connecté :

- à la base du deuxième transistor de module interrupteur progressif,
- à la grille du transistor interrupteur progressif par l'intermédiaire d'une
- 5 première résistance de module interrupteur progressif,
- à une borne du module shunt par l'intermédiaire de la première résistance de module interrupteur progressif et d'une deuxième résistance de module interrupteur progressif et
- à l'émetteur du deuxième transistor de module interrupteur progressif
- 10 par l'intermédiaire de la première résistance de module interrupteur progressif,

le drain du transistor interrupteur progressif étant connecté à une diode de module de protection qui est passante dans le sens du courant fourni par l'alimentation de courant,

la deuxième résistance du module interrupteur progressif étant

15 montée en parallèle avec deux diodes Zener montées en série tête-bêche.

Selon une autre particularité, le générateur de courant comprend un module de protection contre la surtension comportant :

- la diode de protection présentant une anode et une cathode,
- une première résistance de module de protection,
- 20 – une deuxième résistance de module de protection,
- une troisième résistance de module de protection,
- une diode Zener présentant une anode et une cathode et
- le transistor de module de protection présentant une source, un drain et une grille.

25 Selon un premier mode de réalisation, lorsque le générateur de courant génère un courant continu positif :

- la cathode de la diode de protection étant connectée à une sortie du générateur de courant,
- l'anode de la diode de protection étant connectée à une première
- 30 borne de la première résistance de module de protection,

- une deuxième borne de la première résistance de protection étant connectée à la cathode de la diode Zener,

- l'anode de la diode Zener étant connectée à une première borne de la deuxième résistance de module de protection et à la grille du transistor de module de protection,

- une deuxième borne de la deuxième résistance de module de protection étant connectée à la borne source de transistor de module de protection,

- le drain du transistor de module de protection étant connecté à la base du premier transistor de module interrupteur progressif,

- la première résistance de module de protection étant montée en parallèle avec le condensateur de module de protection et une troisième résistance de module de protection,

- la deuxième résistance de module de protection étant montée en parallèle avec deux diodes Zener montées en série tête-bêche.

Selon un deuxième mode de réalisation, lorsque le générateur de courant génère un courant continu négatif :

- l'anode de la diode de protection étant connectée à une sortie du générateur de courant,

- la cathode de la diode de protection étant connectée à une première borne de la première résistance de module de protection,

- la deuxième borne de la première résistance de module de protection étant connectée à l'anode de la diode Zener,

- la cathode de la diode Zener étant connectée à une première borne de la deuxième résistance de module de protection et à la grille du transistor (Q2) de module de protection,

- une deuxième borne de la deuxième résistance de module de protection étant connectée à la borne source de transistor de module de protection,

- le drain du transistor de module de protection étant connecté à la base du premier transistor de module interrupteur progressif,

- la première résistance de module de protection étant montée en parallèle avec le condensateur de module de protection et une troisième

5 résistance de module de protection,

- la deuxième résistance de module de protection étant montée en parallèle avec deux diodes Zener montées en série tête-bêche.

Selon le premier mode de réalisation, lorsque le générateur de courant génère un courant continu positif,

10 la source du transistor interrupteur progressif est connectée à la première borne du module shunt,

le drain du transistor interrupteur progressif est connecté à l'anode de la diode de protection,

l'émetteur du premier transistor du module interrupteur progressif est

15 connecté à la deuxième borne du module shunt par l'intermédiaire de la première résistance de module interrupteur progressif et de la deuxième résistance de module interrupteur progressif,

le premier transistor de module interrupteur progressif et le deuxième transistor de module interrupteur progressif correspondant chacun à un

20 transistor bipolaire PNP,

le transistor interrupteur progressif et le transistor de protection correspondant chacun à un transistor à effet de champ de type P.

Selon le deuxième mode de réalisation, lorsque le générateur de courant continu génère un courant continu négatif,

25 la source du transistor interrupteur progressif est connectée à la deuxième borne du module shunt,

le drain du transistor interrupteur progressif est connecté à la cathode de la diode de protection,

l'émetteur du premier transistor du module interrupteur progressif est

30 connecté à la première borne du module shunt par l'intermédiaire de la

première résistance de module interrupteur progressif et de la deuxième résistance de module interrupteur progressif,

le premier transistor de module interrupteur progressif et le deuxième transistor de module interrupteur progressif correspondant chacun à un transistor bipolaire NPN,

le transistor interrupteur et le transistor de protection correspondant chacun à un transistor à effet de champ de type N.

BRÈVE DESCRIPTION DES FIGURES

L'invention, avec ses caractéristiques et avantages, ressortira plus clairement à la lecture de la description faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente le générateur de courant continu alimenté par l'alimentation,
- la figure 2 représente un mode de réalisation du générateur de courant continu,
- la figure 3 représente un autre mode de réalisation du générateur de courant continu.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE

L'invention concerne un générateur de courant continu 1 protégé contre des surtensions 3. Le générateur de courant 1 est alimenté en courant électrique par une alimentation 2 (figure1).

Les figures 2 et 3 représentent le générateur de courant 1.

Le générateur de courant 1 comprend un module shunt 4 configuré pour être traversé par le courant électrique fourni par l'alimentation 2. Le module shunt 4 comprend une première borne présentant un premier potentiel électrique et une deuxième borne présentant un deuxième potentiel électrique.

Le générateur de courant 1 comprend en outre :

- un module amplificateur différentiel 5 configuré pour déterminer une tension de mesure à partir du premier potentiel électrique et du deuxième potentiel électrique ;
- 5 – un module comparateur 6 configuré pour effectuer une comparaison entre la tension de mesure et une tension de référence V_{ref} prédéterminée ;
- un module interrupteur progressif 7 configuré pour augmenter ou diminuer (ou asservir) l'alimentation en courant du générateur de courant 1 en fonction de la tension de mesure du module shunt 4 qui est comparée à la
- 10 tension de référence V_{ref} prédéterminée.

Le module shunt 4 peut comprendre une résistance $R1$.

Par exemple, le module amplificateur différentiel 5 comprend un amplificateur opérationnel U1 et quatre résistances $R2$, $R3$, $R4$ et $R5$ de module amplificateur différentiel 5. Pour cet exemple, le module amplificateur

15 différentiel 5 est agencé de la manière suivante.

L'amplificateur opérationnel U1 présente :

- une entrée inverseuse connectée à la première borne du module shunt 4 par l'intermédiaire d'une résistance $R4$ de module amplificateur différentiel 5,
- 20 – une entrée non inverseuse connectée à la deuxième borne du module shunt 4 par l'intermédiaire d'une résistance $R2$ de module amplificateur différentiel 5. L'entrée non inverseuse est également connectée à la masse par l'intermédiaire d'une résistance $R3$ de module amplificateur différentiel 5,
- 25 – une borne de sortie connectée à l'entrée inverseuse par l'intermédiaire d'une résistance $R5$ de module amplificateur différentiel 5.

Les quatre résistances $R2$, $R3$, $R4$ et $R5$ de module amplificateur différentiel 5 ont sensiblement la même valeur ohmique afin d'obtenir un gain de 1 du module amplificateur différentiel 5.

Par exemple, le module comparateur 6 peut comprendre un amplificateur opérationnel U2 et trois résistances R6, R7 et R8 de module comparateur 6. Pour cet exemple, le module comparateur 6 est agencé de la manière suivante.

5 L'amplificateur opérationnel U2 présente donc :

- une entrée inverseuse connectée à la borne de sortie l'amplificateur opérationnel U1 par l'intermédiaire d'une résistance R6 de module comparateur 6,
- une entrée non inverseuse connectée à un potentiel correspondant à la
10 tension de référence V_{ref} prédéterminée,
- une borne de sortie connectée à l'entrée inverseuse par l'intermédiaire d'une résistance R7 de module comparateur 6 et au module interrupteur 7 par l'intermédiaire d'une troisième résistance R8 de module comparateur 6.

15 La résistance R7 présente une valeur de résistance supérieure à la résistance R6 de façon à disposer d'un gain adapté pour une bonne stabilité de l'asservissement du courant.

La résistance R8 permet de protéger la borne de sortie de l'amplificateur opérationnel U2 lorsque la sortie du module de protection 8
20 (décrit ci-après) s'active, à savoir que le transistor Q2 de module de protection 8 (décrit ci-après) se met à conduire.

Par exemple, le module interrupteur progressif 7 peut comprendre un transistor Q4 de module interrupteur progressif 7, un transistor Q3 de module interrupteur 7 et un transistor interrupteur progressif Q1. Le transistor
25 interrupteur progressif Q1 est configuré pour être traversé par le courant électrique alimenté par l'alimentation 2 par l'intermédiaire du module shunt 4. Pour cet exemple, le module interrupteur progressif 7 est agencé de la manière suivante.

Le transistor Q4 de module interrupteur progressif 7 et le transistor Q3 de module interrupteur progressif 7 présentent chacun une base, un collecteur et un émetteur. Le transistor interrupteur progressif Q1 présente un drain, une source et une grille.

5 Le collecteur du premier transistor Q4 de module interrupteur progressif 7 et le collecteur du deuxième transistor Q3 de module interrupteur progressif 7 sont connectées à la masse.

10 La base du premier transistor Q4 de module interrupteur 7 est connectée à la borne de sortie de l'amplificateur opérationnel U2 par l'intermédiaire de la résistance R8 de module comparateur 6, ainsi qu'au drain du transistor Q2 de module de protection 8.

L'émetteur du transistor Q4 du module interrupteur progressif 7 est connecté :

- à la base du transistor Q3 de module interrupteur progressif 7,
- 15 – à la grille du transistor interrupteur progressif Q1 par l'intermédiaire d'une résistance R9 de module interrupteur progressif 7,
- à une borne du module shunt 4 par l'intermédiaire de la résistance R9 de module interrupteur progressif 7 et d'une résistance R10 de module interrupteur progressif 7 et
- 20 – à l'émetteur du transistor Q3 de module interrupteur progressif 7 par l'intermédiaire de la résistance R9 de module interrupteur progressif 7.

Le drain du transistor interrupteur progressif Q1 est connecté à une diode de protection D1 qui est passante dans le sens du courant fourni par l'alimentation de courant 2.

25 La résistance R10 du module interrupteur progressif 7 est montée en parallèle avec deux diodes Zener D2 et D3 montées en série tête-bêche. Les deux diodes Zener D2 et D3 permettent de protéger la grille du transistor interrupteur progressif Q1.

Les transistors Q3 et Q4, montés en série, permettent d'obtenir un gain suffisant en courant pour une bonne commande du transistor interrupteur progressif Q1 et une polarisation de la résistance R10 du module interrupteur progressif 7.

5 L'adjectif « progressif » est utilisé pour le transistor interrupteur Q1 car ce transistor Q1 fonctionne en linéaire et non en tout ou rien lorsqu'il y a génération du courant en fonctionnement nominal. C'est seulement lors d'une surtension positive ou négative qu'il s'ouvre.

10 Avantageusement, le générateur de courant 1 peut comprendre un module de protection 8 contre la surtension 3. Par exemple, le module de protection 8 comprend :

- la diode D1 de protection présentant une anode et une cathode,
- une résistance R11 de module de protection 8,
- une résistance R12 de module de protection 8,
- 15 – une résistance R13 de module de protection 8,
- un condensateur C1 de module de protection 8,
- une diode Zener D6 présentant une anode et une cathode et
- le transistor Q2 de module de protection 8 présentant une source, un drain et une grille.

20 Le module de protection 8 est configuré pour bloquer la surtension quand elle est de même polarité que le générateur de courant 1 et pour ouvrir rapidement le module interrupteur progressif 7 lorsque la surtension est de polarité inverse au générateur de courant 1.

25 Dans cet exemple, le module de protection 8 est agencé de la manière suivante.

Selon un premier mode de réalisation (figure 2), lorsque le générateur de courant continu 1 correspond à un générateur de courant continu positif :

- la cathode de la diode D1 de protection est reliée à la sortie du générateur de courant continu 1 ;

- l'anode de la diode de protection D1 est connectée à une première borne de la résistance R11 de module de protection 8 ;
- la deuxième borne de la résistance R11 de module de protection 8 est connectée à la cathode de la diode Zener D6 ;
- 5 - l'anode de la diode Zener D6 est connectée à une première borne de la résistance R12 de module de protection 8 et à la grille du transistor Q2 de module de protection 8.

Selon un deuxième mode de réalisation (figure 3), lorsque le générateur de courant continu 1 correspond à un générateur de courant continu négatif :

- l'anode de la diode de protection D1 est reliée à la sortie du générateur de courant continu 1 ;
- la cathode de la diode de protection D1 est connectée à une première borne de la résistance R11 de module de protection 8 ;
- 15 - la deuxième borne de la résistance R11 de module de protection 8 est connectée à l'anode de la diode Zener D6 ;
- la cathode de la diode Zener D6 est connectée à une première borne de la résistance R12 de module de protection 8 et à la grille du transistor Q2 de module de protection 8.

20 Dans les deux modes de réalisation :

- une deuxième borne de la résistance R12 de module de protection 8 est connectée à la borne source de transistor Q2 de module de protection 8 ;
- le drain du transistor Q2 de module de protection 8 est connecté à la base du transistor Q4 de module interrupteur progressif 7 ;

- la résistance R11 de module de protection 8 est montée en parallèle avec le condensateur C1 de module de protection 8 et une résistance R13 de module de protection 8.
- la résistance R12 de module de protection 8 est montée en parallèle avec deux diodes Zener D4 et D5 montées en série tête-bêche.

Les deux diodes Zener, comprises dans le module de protection 8, permettent de protéger la grille du transistor Q2 de module de protection 8.

Dans le cas d'une détection de surtension par le module de détection 8, le module interrupteur progressif 7 peut être également ouvert à grande vitesse.

Selon le premier mode de réalisation (figure 2), lorsque le générateur de courant continu 1 fournit un courant continu positif, le générateur de courant 1 est agencé de la manière suivante.

La source du transistor interrupteur progressif Q1 est connectée à la première borne du module shunt 4. Le drain du transistor interrupteur progressif Q1 est connecté à l'anode de la diode D1 de protection. L'émetteur du transistor Q4 du module interrupteur progressif 7 est connecté à la deuxième borne du module shunt 4 par l'intermédiaire de la résistance R9 de module interrupteur progressif 7 et de la résistance R10 de module interrupteur progressif 7. Le transistor Q4 de module interrupteur progressif 7 et le transistor Q3 de module interrupteur progressif 7 correspondent chacun à un transistor bipolaire PNP. Le transistor interrupteur progressif Q1 et le transistor Q2 de protection correspondent chacun à un transistor à effet de champ de type P.

Selon le deuxième mode de réalisation (figure 3), lorsque le générateur de courant continu 1 fournit un courant continu négatif, le générateur de courant 1 est agencé de la manière suivante.

La source du transistor interrupteur progressif Q1 est connectée à la deuxième borne du module shunt 4. Le drain du transistor interrupteur progressif Q1 est connecté à la cathode de la diode D1 de protection. L'émetteur du transistor Q4 du module interrupteur progressif 7 est connecté à la première borne du module shunt 4 par l'intermédiaire de la résistance R9 de module interrupteur progressif 7 et de la résistance R10 de module interrupteur progressif 7. Le transistor Q4 de module interrupteur progressif 7 et le transistor Q3 de module interrupteur progressif 7 correspondent chacun à un transistor bipolaire NPN. Le transistor interrupteur progressif Q1 et le transistor Q2 de protection correspondent chacun à un transistor à effet de champ de type N.

En cas de fonctionnement normal du générateur de courant, celui-ci est mis en œuvre de la manière suivante.

Le générateur de courant 1 génère le courant via le transistor Q1 et la résistance R1. La différence de potentiel créée aux bornes de la résistance R1 est ramenée à une référence 0 V (référence pour la tension de mesure) grâce au module amplificateur différentiel 5 de gain 1 formé par l'amplificateur opérationnel U1 et les résistances R2, R3, R4 et R5. Cette tension par rapport au 0 V, qui est l'image du courant traversant la résistance R1, est ensuite comparée à la tension de référence V_{ref} prédéterminée par le module comparateur 6. La sortie de l'amplificateur opérationnel U2 vient commander au travers de la résistance R8 les trois transistors Q4, Q3, et Q1. Une boucle d'asservissement est alors fermée. Les diodes D2 et D3 protègent la grille du transistor Q1. La diode de protection D1 est conductrice car elle est montée dans le sens adéquat par rapport à la polarité du courant. La résistance R9 permet de ramener la tension entre la base et l'émetteur du transistor Q3 à 0 V lorsque cela est nécessaire.

Lorsque le générateur de courant est sujet à une surtension 3, ledit générateur de courant 1 est mis en œuvre de la manière suivante.

Si la surtension 3 présente une polarité telle que la diode de protection D1 est passante, le transistor Q2 de module de protection devient rapidement en état de conduction (ou passant) via le pont de résistances formé par les résistances R11 et R12 de module de protection 8 et via la diode Zener D6. Les transistors Q4 et Q3 du module interrupteur progressif 7 et le transistor interrupteur progressif Q1 s'ouvrent alors rapidement. Il n'y a donc plus de courant traversant le transistor interrupteur progressif Q1, et donc plus de puissance dissipée par le transistor interrupteur progressif Q1. Cela reste également vrai si le générateur de courant 1 n'est pas alimenté par l'alimentation 2. Afin que l'ouverture du transistor interrupteur progressif Q1 soit rapide, il est nécessaire de décharger rapidement les capacités intrinsèques au transistor Q1. Pour cela la résistance R1 du module shunt 4 et la résistance R10 du module interrupteur progressif 7 ont une faible valeur ohmique. Le condensateur C1 et de la résistance R13 de module de protection 8, montés en série, ont pour rôle d'accélérer la fermeture du transistor Q2 de module de protection 8 par une décharge rapide des capacités intrinsèques du transistor Q2 de module de protection 8. Cela a pour conséquence d'accélérer l'ouverture des transistors Q4 et Q3 du module interrupteur progressif 7 et du transistor interrupteur progressif Q1 dans le cas de surtension 3 présentant un front raide. Le front correspond à la vitesse de montée de la tension (dV/dt). En effet, la résistance R11 de protection a une valeur ohmique grande, afin de limiter la puissance pendant la surtension 3. Cela a pour conséquence de fournir un courant très faible de décharge des capacités parasites du transistor Q2 de module de protection 8, même si le transistor Q2 de module de protection 8 a été choisi avec des capacités intrinsèques les plus faibles possibles. Ceci pourrait être destructif pour le transistor interrupteur progressif Q1 s'il ne s'ouvre pas assez rapidement.

Si la surtension 3 présente une polarité telle que la diode de protection D1 est bloquante, il n'y a plus de courant traversant le transistor interrupteur progressif Q1. Il n'existe donc plus de puissance dissipée dans le

transistor interrupteur progressif Q1. Avantageusement, la diode de protection D1 est configurée pour supporter la tension maximale de la surtension 3. Cela reste vrai si le générateur de courant 1 n'est pas alimenté. Si le générateur de courant 1 est alimenté, il ne parvient plus à générer le courant pour lequel il est prévu, la tension à la borne de sortie de l'amplificateur opérationnel U2 présente une valeur au maximum. La résistance R10 de module interrupteur progressif 7 se retrouve avec une grande tension à ses bornes, presque égale à la tension d'alimentation. Comme la résistance R10 de module interrupteur progressif 7 possède une faible valeur ohmique, sa puissance est suffisamment grande.

Dans un exemple de réalisation pour le premier mode de réalisation, le générateur de courant 1 génère un courant continu positif de 500 mA et supporte une surtension de 500 V et de -500 V.

La capacité maximale en tension de sortie est sensiblement égale à 25 V, si on a choisi une alimentation 2 générant une tension de 35 V.

L'amplificateur opérationnel U1 et l'amplificateur opérationnel U2 correspondent à des amplificateurs opérationnels bipolaires (ADA4700-1) possédant une broche d'alimentation positive V_{DD} à 30 V et une broche d'alimentation négative V_{CC} à -5 V. La valeur de tension de référence V_{ref} prédéterminée présente une valeur sensiblement égale à 2,35 V.

Le transistor interrupteur progressif Q1 correspond à un transistor à effet de champ à grille isolée à canal N (IXTH10P60 600 V) ou autrement appelé transistor N-MOSFET (pour « Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor » en anglais). Ledit transistor Q1 accepte une tension maximale drain-source supérieure à 500 V.

Le transistor Q2 de module de protection 8 correspond à un transistor N-MOSFET à faible signal (TP0610). Ledit transistor Q2 présente une tension grille-source V_{gs} comprise entre -1 V et -3 V et une capacité d'entrée C_{iss} de 23 pF.

Les transistors Q3 et Q4 de module interrupteur progressif 7 correspondent à des transistors bipolaires NPN à faible puissance (2N2907).

La résistance R1 de module shunt 4 présente une valeur de résistance de 4,7 Ω pour une puissance maximale de 1,5 W.

5 Les quatre résistances R2, R3, R4 et R5 de module amplificateur différentiel 5 présentent une valeur de résistance de 10 k Ω pour une puissance de 0,25 W.

La résistance R6 de module comparateur 6 présente une valeur de résistance de 1 k Ω pour une puissance de 0,25 W.

10 La résistance R7 de module comparateur 6 présente une valeur de résistance de 470 k Ω pour une puissance de 0,25 W.

La résistance R8 de module comparateur 6 présente une valeur de résistance de 2,2 k Ω pour une puissance de 1 W.

15 La résistance R9 de module interrupteur progressif 7 présente une valeur de résistance de 10 k Ω pour une puissance de 0,25 W.

La résistance R10 de module interrupteur progressif 7 présente une valeur de résistance de 220 Ω pour une puissance de 6 W.

La résistance R11 de module de protection 8 présente une valeur de résistance de 330 k Ω pour une puissance de 1 W.

20 La résistance R12 de module de protection 8 présente une valeur de résistance de 1 M Ω pour une puissance de 0,25 W.

La résistance R13 de module de protection 8 présente une valeur de résistance de 47 k Ω pour une puissance de 2 W.

25 La diode de protection D1 correspond à une diode (GP10J) présentant un courant direct continu maximum de 1 A et supportant une tension maximale de 600 V.

Les diodes Zener D2 et D3 correspondent à des diodes Zener (BZX85C18V) à tension de seuil de 18 V pour une puissance de 0,5 W.

Les diodes Zener D4 et D5 correspondent à des diodes Zener à faible courant (GDZ18B) et à tension de seuil de 18 V.

5 La diode Zener D6 correspond à une diode Zener à faible courant (GDZ30B) et à tension de seuil de 30 V.

Le condensateur C présente une capacité de 1 nF pour une tension maximale de 600 V.

10 Dans un exemple de réalisation pour le deuxième mode de réalisation, le générateur de courant 1 génère un courant continu négatif de -500 mA et supporte une surtension de 1500 V et de -1500 V.

La capacité maximale en tension de sortie est sensiblement égale à -25 V, si on choisit une alimentation 2 générant une tension de -35 V.

15 L'amplificateur opérationnel U1 et l'amplificateur opérationnel U2 correspondent à des amplificateurs opérationnels bipolaires (ADE7953) possédant une broche d'alimentation positive V_{DD} à 5 V et une broche d'alimentation négative V_{CC} à -35 V. La valeur de tension de référence V_{ref} prédéterminée présente une valeur sensiblement égale à 2,35 V.

20 Le transistor interrupteur progressif Q1 correspond à un transistor à effet de champ à grille isolée à canal N (IXTK5N250) ou autrement appelé transistor N-MOSFET (pour « Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor » en anglais). Ledit transistor Q1 accepte une tension maximale drain-source supérieure à 1500 V.

25 Le transistor Q2 de protection correspond à un transistor N-MOSFET à faible signal (2N7000). Ledit transistor Q2 présente une tension grille-source V_{gs} comprise entre 0,3 V et 4 V et une capacité d'entrée C_{iss} de 30 pF.

Les transistors Q3 et Q4 de module interrupteur progressif 7 correspondent à des transistors bipolaires NPN à faible puissance (2N2222).

La résistance R1 de module shunt 4 présente une valeur de résistance de 4,7 Ω pour une puissance maximale de 1,5 W.

Les quatre résistances R2, R3, R4 et R5 de module amplificateur différentiel 5 présentent une valeur de résistance de 10 k Ω pour une puissance de 0,25 W.

La résistance R6 de module comparateur 6 présente une valeur de résistance de 1 k Ω pour une puissance de 0,25 W.

La résistance R7 de module comparateur 6 présente une valeur de résistance de 470 k Ω pour une puissance de 0,25 W.

La résistance R8 de module comparateur 6 présente une valeur de résistance de 2,2 k Ω pour une puissance de 1 W.

La résistance R9 de module interrupteur progressif 7 présente une valeur de résistance de 10 k Ω pour une puissance de 0,25 W.

La résistance R10 de module interrupteur progressif 7 présente une valeur de résistance de 220 Ω pour une puissance de 6 W.

La résistance R11 de module de protection 8 présente une valeur de résistance de 1 M Ω pour une puissance de 3 W.

La résistance R12 de module de protection 8 présente une valeur de résistance de 1 M Ω pour une puissance de 0,25 W.

La résistance R13 de protection présente une valeur de résistance de 47 k Ω pour une puissance de 2 W.

La diode de protection D1 correspond à une diode (GP10Y) présentant un courant direct continu maximum de 1 A et supportant une tension maximale de 1600 V.

Les diodes Zener D2 et D3 correspondent à des diodes Zener (BZX85C18V) à tension de seuil de 18 V pour une puissance de 0,5 W.

Les diodes Zener D4 et D5 correspondent à des diodes Zener à faible courant (GDZ18B) et à tension de seuil de 18 V.

La diode Zener D6 correspond à une diode Zener à faible courant (GDZ30B) et à tension de seuil de 30 V.

- 5 Le condensateur C présente une capacité de 1 nF pour une tension maximum de 1800 V.

REVENDEICATIONS

1. Générateur de courant continu protégé contre des surtensions (3) transitoires ou permanentes, le générateur de courant (1) étant alimenté en
5 courant électrique par une alimentation (2),
caractérisé en ce qu'il comprend :
 - un module shunt (4) configuré pour être traversé par le courant électrique alimenté par l'alimentation (2), le module shunt (4) présentant une première borne présentant un premier potentiel électrique et une deuxième
10 borne présentant un deuxième potentiel électrique ;
 - un module amplificateur différentiel (5) configuré pour déterminer une tension de mesure à partir du premier potentiel électrique et du deuxième potentiel électrique ;
 - un module comparateur (6) configuré pour effectuer une comparaison
15 entre la tension de mesure et une tension de référence (V_{ref}) prédéterminée ;
 - un module interrupteur progressif (7) configuré pour augmenter ou diminuer l'alimentation en courant du générateur de courant (1) en fonction de la tension de mesure du module shunt (4) qui est comparé à la tension de référence (V_{ref}) prédéterminée ; et
 - 20 – un module de protection (8) configuré pour bloquer la surtension quand elle est de même polarité que le générateur de courant (1) et pour ouvrir le module interrupteur progressif (7) lorsque la surtension est de polarité inverse au générateur de courant (1).
2. Générateur selon la revendication 1,
25 caractérisé en ce que le module shunt (4) comprend une résistance (R_1) de module shunt (4).
3. Générateur selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2,
caractérisé en ce que le module amplificateur différentiel (5) comprend un premier amplificateur opérationnel (U_1) et quatre résistances (R_2 , R_3 , R_4 , R_5)
30 de module amplificateur différentiel (5),
le premier amplificateur opérationnel (U_1) présentant :

- une entrée inverseuse connectée à la première borne du module shunt (4) par l'intermédiaire d'une première résistance (R4) de module amplificateur différentiel (5),

5 – une entrée non inverseuse connectée à la deuxième borne du module shunt (4) par l'intermédiaire d'une deuxième résistance (R2) de module amplificateur différentiel (5), l'entrée non inverseuse étant également connectée à un potentiel nul par l'intermédiaire d'une troisième résistance (R3) de module amplificateur différentiel (5),

10 – une borne de sortie connectée à l'entrée inverseuse par l'intermédiaire d'une quatrième résistance (R5) de module amplificateur différentiel (5).

4. Générateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le module comparateur (6) comprend un deuxième amplificateur opérationnel (U2) et trois résistances (R6, R7, R8) de module comparateur (6),

15 le deuxième amplificateur opérationnel (U2) présentant :

- une entrée inverseuse connectée à la borne de sortie du premier amplificateur opérationnel (U1) par l'intermédiaire d'une première résistance (R6) de module comparateur (6),

20 – une entrée non inverseuse connectée à un potentiel dont la valeur est sensiblement égale à la tension de référence (V_{ref}) prédéterminée,

- une borne de sortie connectée à l'entrée inverseuse par l'intermédiaire d'une deuxième résistance (R7) de module comparateur (6) et au module interrupteur progressif (7) par l'intermédiaire d'une troisième résistance (R8) de module comparateur (6).

25 5. Générateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le module interrupteur progressif (7) comprend un premier transistor (Q4) de module interrupteur progressif (7), un deuxième transistor (Q3) de module interrupteur progressif (7) et un transistor interrupteur progressif (Q1), le transistor interrupteur progressif (Q1) étant
30 configuré pour être traversé par le courant électrique alimenté par l'alimentation (2) lorsqu'il est fermé,

le premier transistor (Q4) de module interrupteur progressif (7) et le deuxième transistor (Q3) de module interrupteur progressif (7) présentant chacun une base, un collecteur et un émetteur,

le transistor interrupteur progressif (Q1) présentant un drain, une source et une grille,

le collecteur du premier transistor (Q4) de module interrupteur progressif (7) et le collecteur du deuxième transistor (Q3) de module interrupteur progressif (7) étant connectés à un potentiel nul,

la base du premier transistor (Q4) de module interrupteur progressif (7) étant connectée à la borne de sortie du deuxième amplificateur opérationnel (U2) par l'intermédiaire de la troisième résistance (R8) de module comparateur (6) ainsi qu'à un drain d'un transistor (Q2) de module de protection (8),

l'émetteur du premier transistor (Q4) du module interrupteur progressif (7) étant connecté :

- à la base du deuxième transistor (Q3) de module interrupteur progressif (7),

- à la grille du transistor interrupteur progressif (Q1) par l'intermédiaire d'une première résistance (R9) de module interrupteur progressif (7),

- à une borne du module shunt (4) par l'intermédiaire de la première résistance (R9) de module interrupteur progressif (7) et d'une deuxième résistance (R10) de module interrupteur progressif (7) et

- à l'émetteur du deuxième transistor (Q3) de module interrupteur progressif (7) par l'intermédiaire de la première résistance (R9) de module interrupteur progressif (7),

le drain du transistor interrupteur progressif (Q1) étant connecté à une diode (D1) de module de protection (D1) qui est passante dans le sens du courant fourni par l'alimentation de courant (2),

la deuxième résistance (R10) du module interrupteur progressif (7) étant montée en parallèle avec deux diodes Zener (D2, D3) montées en série tête-bêche.

6. Générateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le module de protection (8) contre la surtension (3) comporte :

- la diode (D1) de protection présentant une anode et une cathode,
- une première résistance (R11) de module de protection (8),
- une deuxième résistance (R12) de module de protection (8),
- une troisième résistance (R13) de module de protection (8),
- 5 – une diode Zener (D6) présentant une anode et une cathode et
- le transistor (Q2) de module de protection présentant une source, un drain et une grille.

7. Générateur selon la revendication 6,

caractérisé en ce que, lorsque le générateur de courant (1) génère un courant continu positif :

- 10 – la cathode de la diode de protection (D1) étant connectée à une sortie du générateur de courant (1),
- l'anode de la diode de protection (D1) étant connectée à une première borne de la première résistance (R11) de module de protection (8),
- 15 – une deuxième borne de la première résistance (R11) de protection étant connectée à la cathode de la diode Zener (D6),
- l'anode de la diode Zener (D6) étant connectée à une première borne de la deuxième résistance (R12) de module de protection (8) et à la grille du transistor (Q2) de module de protection (8),
- 20 – une deuxième borne de la deuxième résistance (R12) de module de protection (8) étant connectée à la borne source de transistor (Q2) de module de protection (8),
- le drain du transistor (Q2) de module de protection (8) étant connecté à la base du premier transistor (Q4) de module interrupteur progressif (7),
- 25 – la première résistance (R11) de module de protection (8) étant montée en parallèle avec le condensateur (C1) de module de protection (8) et une troisième résistance (R13) de module de protection (8),
- la deuxième résistance (R12) de module de protection (8) étant montée en parallèle avec deux diodes Zener (D4, D5) montées en série tête-bêche.

30 8. Générateur selon la revendication 6,

caractérisé en ce que, lorsque le générateur de courant (1) génère un courant continu négatif :

- l'anode de la diode de protection (D1) étant connectée à une sortie du générateur de courant (1),
 - la cathode de la diode de protection (D1) étant connectée à une première borne de la première résistance (R11) de module de protection (8),
 - 5 – la deuxième borne de la première résistance (R11) de module de protection (8) étant connectée à l'anode de la diode Zener (D6),
 - la cathode de la diode Zener (D6) étant connectée à une première borne de la deuxième résistance (R12) de module de protection (8) et à la grille du transistor (Q2) de module de protection (8),
 - 10 – une deuxième borne de la deuxième résistance (R12) de module de protection (8) étant connectée à la borne source de transistor (Q2) de module de protection (8),
 - le drain du transistor (Q2) de module de protection (8) étant connecté à la base du premier transistor (Q4) de module interrupteur progressif (7),
 - 15 – la première résistance (R11) de module de protection (8) étant montée en parallèle avec le condensateur (C1) de module de protection (8) et une troisième résistance (R13) de module de protection (8),
 - la deuxième résistance (R12) de module de protection (8) étant montée en parallèle avec deux diodes Zener (D4, D5) montées en série tête-bêche.
- 20 9. Générateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que, lorsque le générateur de courant (1) génère un courant continu positif,
- la source du transistor interrupteur progressif (Q1) est connectée à la première borne du module shunt (4),
- 25 le drain du transistor interrupteur progressif (Q1) est connecté à l'anode de la diode (D1) de protection,
- l'émetteur du premier transistor (Q4) du module interrupteur progressif (7) est connecté à la deuxième borne du module shunt (4) par l'intermédiaire de la première résistance (R9) de module interrupteur progressif (7) et de la
- 30 deuxième résistance (R10) de module interrupteur progressif (7),
- le premier transistor (Q4) de module interrupteur progressif (7) et le deuxième transistor (Q3) de module interrupteur progressif (7) correspondant chacun à un transistor bipolaire PNP,

le transistor interrupteur progressif (Q1) et le transistor (Q2) de protection correspondant chacun à un transistor à effet de champ de type P.

10. Générateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 ou 8, caractérisé en ce que, lorsque le générateur de courant continu (1) génère un
 - 5 courant continu négatif,
 - la source du transistor interrupteur progressif (Q1) est connectée à la deuxième borne du module shunt (4),
 - le drain du transistor interrupteur progressif (Q1) est connecté à la cathode de la diode (D1) de protection,
 - 10 l'émetteur du premier transistor (Q4) du module interrupteur progressif (7) est connecté à la première borne du module shunt (4) par l'intermédiaire de la première résistance (R9) de module interrupteur progressif (7) et de la deuxième résistance (R10) de module interrupteur progressif (7),
 - le premier transistor (Q4) de module interrupteur progressif (7) et le deuxième
 - 15 transistor (Q3) de module interrupteur progressif (7) correspondant chacun à un transistor bipolaire NPN,
 - le transistor interrupteur (Q1) et le transistor (Q2) de protection correspondant chacun à un transistor à effet de champ de type N.

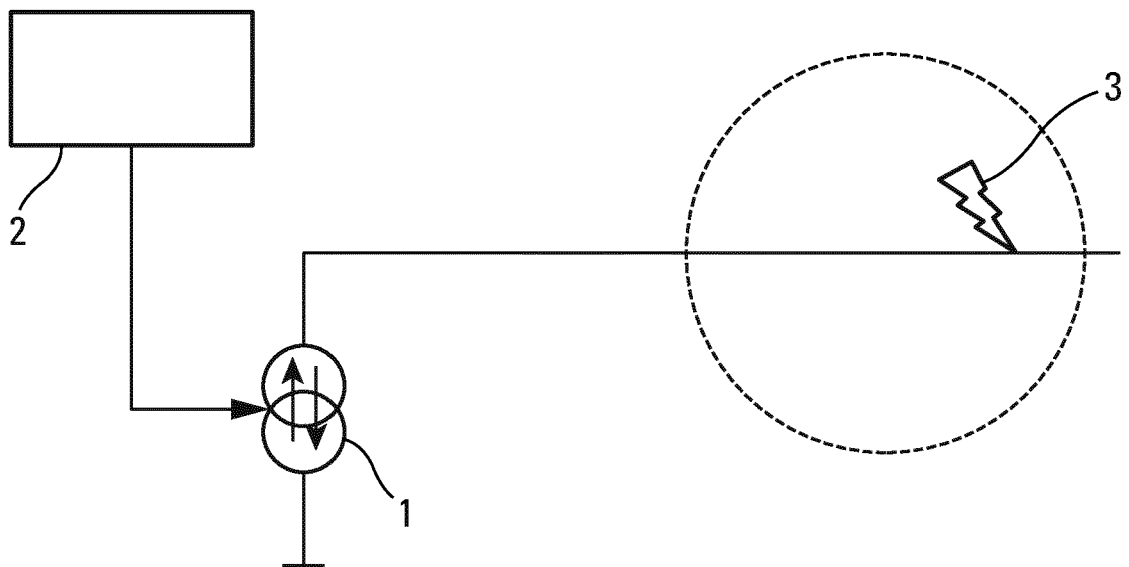


Fig. 1

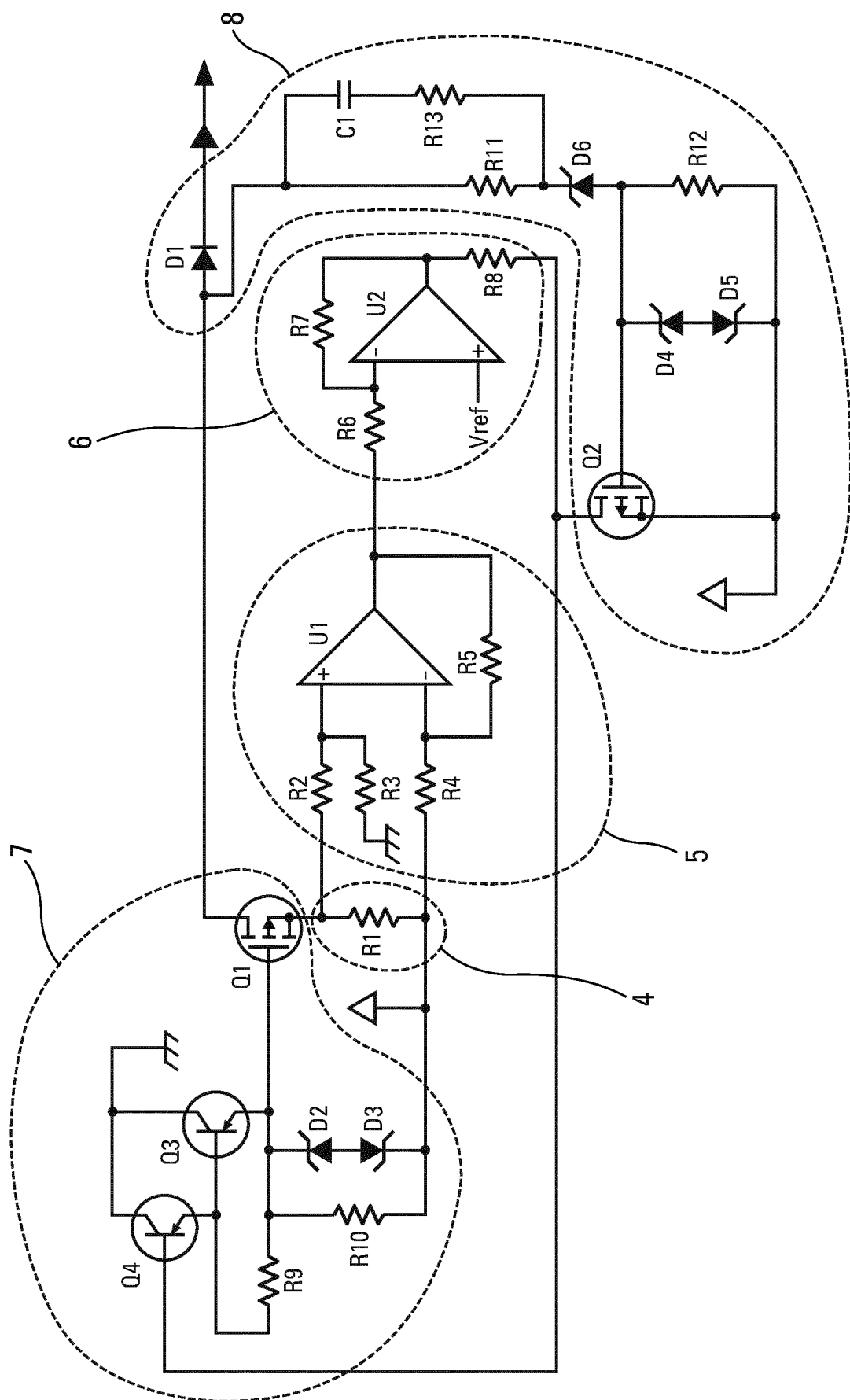


Fig. 2

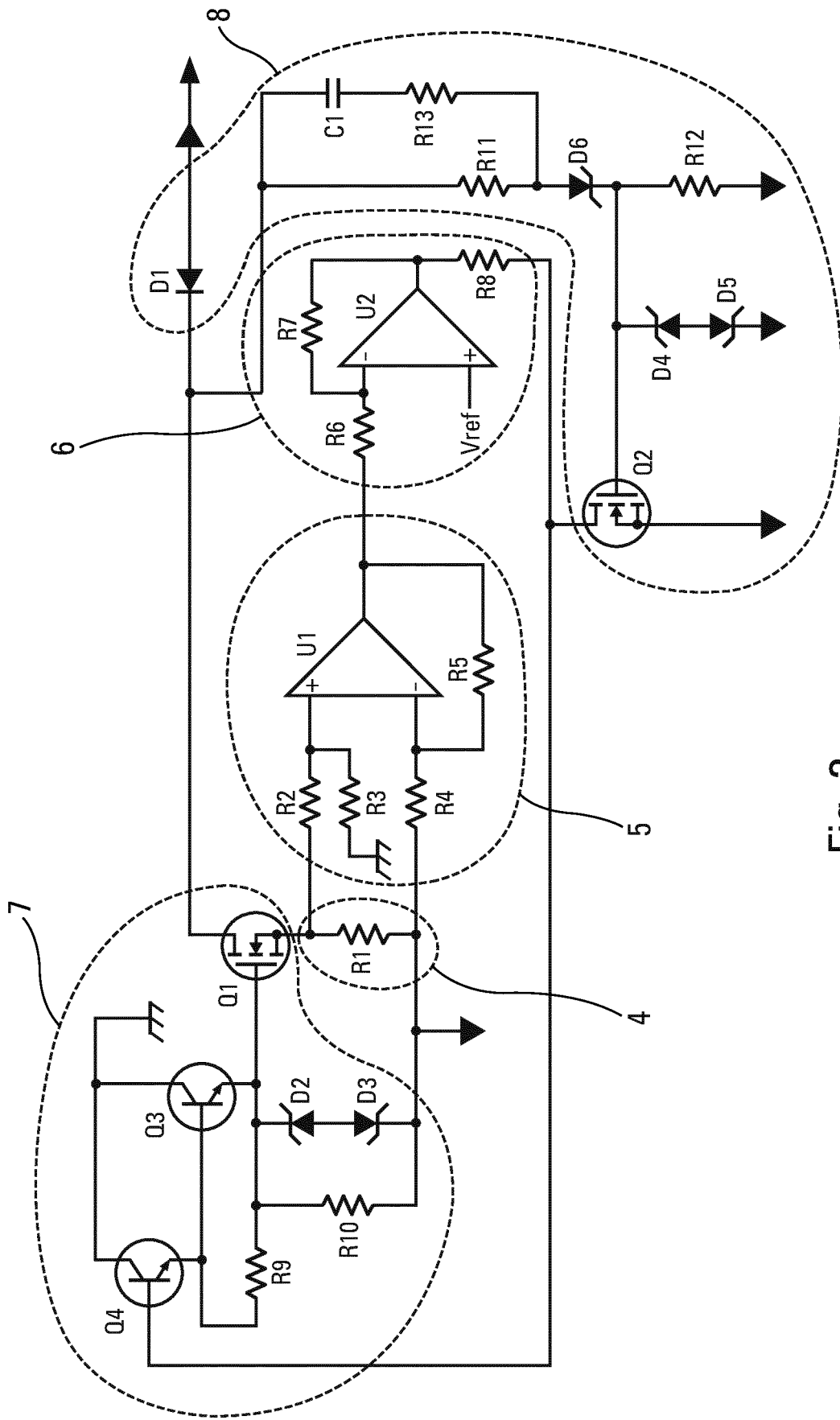


Fig. 3

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**

US 2004/100234 A1 (OKUBO TAKUYA [JP] ET AL) 27 mai 2004 (2004-05-27)

US 2016/259350 A1 (HAN LI [CN] ET AL) 8 septembre 2016 (2016-09-08)

EP 2 249 450 A2 (HAMILTON SUNDSTRAND CORP [US]) 10 novembre 2010 (2010-11-10)

**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