

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 14.05.97.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 20.11.98 Bulletin 98/47.

56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71) Demandeur(s) : AEROSPATIALE SOCIETE NATIONALE INDUSTRIELLE SOCIETE ANONYME — FR.

72) Inventeur(s) : DONNART PHILIPPE et LOUBET DANIEL.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : SOCIETE DE PROTECTION DES INVENTIONS.

54) SYSTEME DE REGULATION ET DE PILOTAGE D'UNE TORCHE A PLASMA.

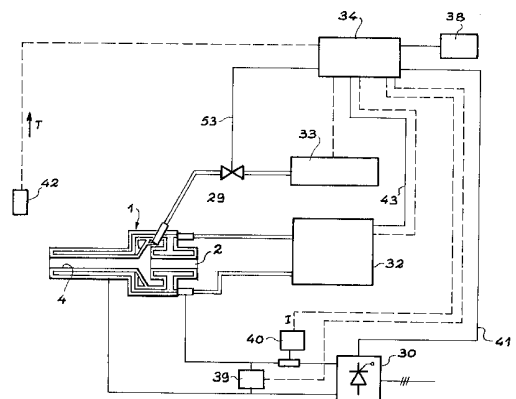
57) L'invention concerne un système pour le pilotage d'une torche à plasma (1), comportant:

- des moyens (34) pour mémoriser une courbe de la tension d'arc de la torche, dite courbe de tension optimale, en fonction de la puissance électrique réelle fournie à la torche,

- des moyens pour commander une régulation de la puissance de la torche, et fonctionnant:

\* selon un premier régime, dit régime de rampe, afin que la puissance réelle atteigne une valeur dite valeur de consigne de la puissance, avec une tension d'arc qui évolue, à une marge d'erreur près, avec la tension optimale,

\* selon un second régime, dit régime permanent, afin de stabiliser la puissance réelle autour de la valeur de consigne, avec une tension d'arc égale, à une marge d'erreur près, à la tension optimale.



**SYSTEME DE REGULATION ET DE PILOTAGE D'UNE TORCHE A  
PLASMA**

**DESCRIPTION**

5

Domaine technique et art antérieur

L'invention concerne le domaine des torches à plasma ; en particulier, elle concerne la régulation et le pilotage d'une torche à plasma.

10

Une torche à plasma est un appareil électrique de forte puissance qui délivre un gaz ionisé à haute température (>3500°C). Elle a des applications industrielles dans des domaines qui demandent des températures très élevées tels que :

15

- l'environnement, pour la destruction ou la vitrification de déchets dangereux,
- la chimie, pour la synthèse de certains produits,
- la sidérurgie et la métallurgie, pour le réchauffage de hauts fourneaux et de cubilots.

20

Le fonctionnement d'une torche peut être considéré en soi. Cependant, une torche est généralement associée à un procédé industriel auquel elle apporte l'énergie thermique et avec lequel elle échange des données de pilotage.

25

Le fonctionnement d'une torche à plasma requiert alors la mise en oeuvre simultanée de plusieurs servitudes, pilotées par un automatisme qui assure la fonction contrôle/commande du système torche.

30

La présente invention concerne donc également le fonctionnement d'un système à torche à plasma (système torche), c'est-à-dire comportant une torche et un ensemble de servitudes qui lui sont associées pour assurer sa mission.

La conception de l'automatisme du système torche dépend de ses conditions d'utilisation dans le procédé.

5 La torche peut être par exemple introduite partiellement dans un four porté à haute température avec une ambiance corrosive. Elle est alors refroidie intérieurement et extérieurement.

10 Le système torche doit avoir un cycle de fonctionnement long avec une grande fiabilité et une durée de marche continue suffisante pour ne pas perturber ou arrêter prématurément le procédé industriel.

15 Système de haute technologie, la mise en oeuvre d'une torche à plasma doit cependant rester simple et utilisable par des opérateurs n'ayant pas de connaissances spécifiques.

Le document EP-565 423 décrit un système de pilotage d'une torche à plasma.

20 Dans ce système de l'art antérieur, une mesure de la tension d'arc et de l'intensité d'arc est réalisée en continu. Des moyens de contrôle permettent de commander le courant d'arc et le débit du gaz plasmagène. Enfin, une vanne de régulation du type à commande pneumatique est commandée par un positionneur électropneumatique associé à un amplificateur de débit  
25 pneumatique. Ceci permet de rendre compatibles les variations d'ouverture et de fermeture de la vanne avec des variations de valeurs de consigne délivrées par les moyens de contrôle.

30 Un tel système de contrôle d'une torche est complexe et nécessite la mise en oeuvre de moyens matériels assez figés. En particulier, la vanne décrite dans ce document est d'un fonctionnement mécanique

assez précis. Par ailleurs, ce système de contrôle est fixé pour chaque torche et chaque application. Il est possible de modifier les valeurs de consigne utilisées, mais un système de régulation conçu pour une torche  
5 donnée ou une application donnée n'est pas compatible avec une autre torche, différente, ou une autre application.

De plus, un tel système n'optimise pas le fonctionnement de la torche. Le document EP-565 423 ne  
10 donne aucune information sur la manière d'atteindre une puissance de consigne, ni sur le problème de la stabilisation de la puissance de la torche lorsqu'une valeur de consigne de la puissance est atteinte.

Ce document ne traite pas non plus du problème  
15 des perturbations extérieures telles que les variations de l'humidité du gaz plasmagène ou l'état d'usure des électrodes. Or, de telles perturbations peuvent se produire, en particulier après un temps d'utilisation assez long de la torche.

20 Dans ce cas, la puissance réelle fournie par la torche se trouve affectée, ce qui est préjudiciable à son bon fonctionnement ainsi qu'à l'entretien du procédé pour lequel elle est utilisée.

#### 25 Exposé de l'invention

Il se pose donc le problème de trouver un autre système de régulation d'une torche à plasma, d'utilisation plus souple que celui décrit ci-dessus.

Il se pose également le problème de réaliser un  
30 système de régulation ou de contrôle d'une torche à plasma ne nécessitant pas l'utilisation d'une vanne à commande pneumatique, avec positionneur et amplificateur de débit.

Il se pose également le problème de trouver un système de régulation compatible avec un fonctionnement optimal de la torche, préalablement établi.

Enfin, il se pose également le problème de  
5 trouver un fonctionnement de la torche qui soit peu perturbé par des variations de composition du gaz plasmagène ou par l'usure des électrodes.

L'invention propose un nouveau système de  
régulation d'une torche à plasma permettant de résoudre  
10 les problèmes ci-dessus.

L'invention a pour objet un système de pilotage d'une torche à plasma, comportant :

- des moyens pour mémoriser une courbe de la tension d'arc de la torche, dite courbe de tension optimale,  
15 en fonction de la puissance électrique réelle fournie à la torche,
- des moyens pour commander une régulation de la puissance de la torche, et fonctionnant :
  - \* selon un premier régime, dit régime de rampe, afin  
20 que la puissance réelle atteigne une valeur dite valeur de consigne de la puissance, avec une tension d'arc qui évolue, à une marge d'erreur près, avec la tension optimale, ou qui suit, à une marge d'erreur près, la tension optimale,
  - \* selon un second régime, dit régime permanent, afin  
25 de stabiliser la puissance réelle autour de la valeur de consigne, avec une tension d'arc égale, à une marge d'erreur près, à la tension optimale.

On entend par tension optimale une tension  
30 préalablement choisie par le concepteur. Pour une puissance donnée, une telle tension optimale peut être la tension correspondant à un rendement maximum de la torche et/ou à une usure minimale des électrodes.

Un tel système ne nécessite pas de régulation mécanique du débit d'air. De plus, un tel système ne présente pas de problème de rapidité ou d'accélération de la réponse d'un élément à une commande des moyens de  
5 contrôle.

Enfin, un tel système est compatible avec tout système de torche à plasma, car il ne nécessite, pour chaque torche, que la connaissance de la fonction déterminant un fonctionnement optimal de la torche.

10 Les moyens de régulation, lors de leur fonctionnement en régime de rampe, permettent d'atteindre une valeur de consigne de la puissance.

Les moyens de régulation, lors de leur fonctionnement en régime permanent, permettent de  
15 stabiliser la puissance de la rampe.

Un tel système offre en outre l'avantage suivant vis-à-vis des perturbations extérieures (des variations de la résistivité ou de la pression du gaz plasmagène, qui est directement en contact avec les  
20 électrodes) pouvant éventuellement affecter le fonctionnement d'une torche mal régulée. Le système de régulation selon l'invention est tel qu'un défaut de ce type du gaz plasmagène ou du circuit d'alimentation en gaz n'affecte pas le système torche. En effet, une  
25 variation de la résistivité, ou une autre perturbation, produit une variation de la tension qui est ramenée ensuite à sa valeur optimale.

Des moyens peuvent être prévus pour déterminer, en fonction de l'écart entre la valeur de la puissance électrique réelle et la valeur de consigne de la  
30 puissance, selon lequel des deux régimes les moyens de commande de la régulation doivent fonctionner.

La commande de la régulation peut être prévue pour agir sur les valeurs de courant d'arc et/ou du débit d'air afin de modifier les valeurs de puissance réelle et de tension d'arc.

5 Un tel système peut en outre comporter des moyens pour modifier la valeur de consigne de puissance lorsque les moyens de régulation fonctionnent en régime permanent; On dispose alors d'un système pouvant  
10 fonctionner de manière optimale, quelles que soient les modifications de consigne imposées par l'opérateur, et sans avoir besoin d'arrêter la torche.

Par ailleurs, la régulation en puissance peut être associée à une régulation en température de l'environnement dans lequel la torche travaille. Les  
15 moyens pour commander la régulation en puissance peuvent être alors également utilisés comme moyens pour commander la régulation de température.

L'invention a donc également pour objet un système de régulation d'une torche à plasma, à deux  
20 boucles imbriquées :

- une première boucle, de régulation en puissance,
- une seconde boucle, de régulation en température.

De préférence, les moyens pour commander la régulation de la température comportent des moyens pour  
25 produire un signal de commande de variation de la puissance de la torche en fonction d'une température  $T_f$  de fonctionnement du dispositif dans lequel est placé la torche et de l'inertie ( $C_p$ ) du dispositif.

30 L'invention prévoit également divers moyens de surveillance du système constitué par la torche et son environnement. La torche peut, en effet, être couplée à un dispositif très coûteux, tel que par exemple un

haut-fourneau ou un cubilot de fonderie ou un four de traitement de déchets. Un défaut d'une des servitudes de la torche peut avoir des conséquences désastreuses non seulement sur la torche elle-même, mais aussi sur  
5 tout le dispositif situé en aval.

Une surveillance très étroite des diverses servitudes qui permettent à la torche de fonctionner est donc parfois nécessaire.

A cette fin, le système de pilotage de la  
10 torche peut comporter des moyens permettant d'envoyer à une interface opérateur des signaux d'alerte ou permettant d'envoyer un signal d'arrêt de fonctionnement lors de la survenance de défauts des moyens d'alimentation en fluide ou des moyens  
15 d'alimentation électrique de la torche à plasma. De préférence un signal d'arrêt est envoyé avant un signal d'alerte.

#### Brève description des figures

20 De toute façon, les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront mieux à la lumière de la description qui va suivre. Cette description porte sur les exemples de réalisation, donnés à titre explicatif et non limitatif, en se  
25 référant à des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement une torche à plasma,

- la figure 2 représente schématiquement une torche et ses systèmes de régulation et d'alimentation  
30 en fluide et en électricité,

- La figure 3 représente un exemple des abaques de fonctionnement d'une torche à plasma de 800 kW,



- la figure 4 représente un exemple de l'évolution de la tension optimale d'une torche à plasma, en fonction de sa puissance,

5 - la figure 5 représente des étapes d'un procédé de régulation en puissance selon l'invention,

- la figure 6 représente des étapes d'un procédé de régulation en puissance selon l'invention, en régime de rampe,

10 - la figure 7 représente des étapes d'un procédé de régulation en puissance selon l'invention, en régime permanent,

- la figure 8 représente l'évolution temporelle de la puissance d'une torche à plasma régulée conformément à la présente invention,

15 - La figure 9 représente l'évolution temporelle de la température de consigne et de la température d'un dispositif dans lequel est utilisé la torche,

- la figure 10 représente des étapes d'un procédé de régulation en température selon l'invention,

20 - la figure 11 représente schématiquement un circuit de refroidissement d'un système de torche selon l'invention,

- la figure 12 représente schématiquement un circuit d'alimentation en gaz plasmagène d'un système de torche selon l'invention,

25 - la figure 13 représente schématiquement un circuit hydraulique du starter d'une torche à plasma,

- la figure 14 représente schématiquement un circuit d'alimentation électrique d'un système de torche selon l'invention,

30 - la figure 15 représente une chaîne d'asservissement d'un système de torche selon l'invention.

Exposé détaillé de modes de réalisation de l'invention

- Une torche à plasma pouvant être utilisée dans le cadre de la présente invention comporte les éléments suivants, illustrés sur la figure 1 :
- 5 - deux électrodes tubulaires 2, 4 (amont et aval) entre lesquelles s'établit un arc électrique 18,
  - une chambre 6 d'injection de gaz en vortex, située entre les deux électrodes 2 et 4,
  - 10 - une bobine de champ 8, placée autour de l'électrode amont 2 et destinée à mettre en rotation le pied d'arc 20,
  - un dispositif 10 d'amorçage de l'arc (starter) ; un tel dispositif est décrit par exemple dans la demande
  - 15 FR-89 14677,
  - des équipements annexes de refroidissement, de raccordement, de protection et de maintien qui seront décrits plus loin de manière plus détaillée.

Lors du fonctionnement de la torche, l'air plasmagène est injecté par la chambre d'injection 6, située entre les électrodes, et est évacué au travers de l'électrode aval 4.

L'arc électrique est alors créé par l'établissement du courant d'arc et par le recul synchronisé du starter 10, qui maintenait préalablement en court-circuit l'électrode amont 2 et l'électrode aval 4.

A l'instant du démarrage cet arc de court-circuit a pour effet de surchauffer localement l'air plasmagène et de le rendre électriquement conducteur. L'arc électrique devient ainsi un phénomène auto-entretenu.

L'air, porté à très haute température par l'arc électrique, constitue le jet de plasma qui est projeté à l'extérieur de la torche.

5 Du fait des hautes températures régnant aux pieds d'arc 20, les électrodes sont refroidies par une circulation d'eau dont l'entrée et la sortie sont désignées sur la figure 1 par les références 14 et 16 pour l'électrode aval 4 et 24 et 26 pour l'électrode  
10 amont 2. Cette eau est déminéralisée afin de maintenir un isolement électrique suffisant dans la torche.

La durée de vie de la torche est améliorée en faisant tourner et se déplacer longitudinalement les pieds d'arc amont et aval dans les électrodes afin d'éviter la fusion de la matière et de répartir l'usure  
15 de la matière sur la plus grande surface possible. Cette action est réalisée dans l'électrode amont au moyen de la bobine de champ 8 qui peut être alimentée en série avec le courant continu de l'arc ou avoir une alimentation séparée. Dans l'électrode aval, le pied  
20 d'arc est mis en rotation par l'effet tourbillonnaire de l'air injecté en vortex.

Comme illustré sur la figure 2, la torche peut être mise en oeuvre avec l'assistance des sous-systèmes suivants qui seront détaillés par la suite :

- 25 - des moyens 30 d'alimentation électrique du système torche, commandés par des moyens 34 de contrôle (voir ci-dessous),
- des moyens 32 d'alimentation en fluide, qui comprennent un circuit d'eau de refroidissement de la  
30 torche,
- un circuit 33 d'air ou de gaz plasmagène,
- un circuit d'huile pour commander le starter d'amorçage 10,

- une vanne 29 qui règle l'admission de gaz plasmagène dans la torche,
  - une interface opérateur 38 (ou calculateur superviseur),
- 5 - des moyens 34 de contrôle à programme, par exemple un automate, pour le pilotage de la torche 1. Un opérateur, par le calculateur superviseur de procédé 38 peut introduire dans les moyens de contrôle 34 des valeurs de consigne désirées, par exemple, des
- 10 valeurs de consigne pour la puissance électrique, la puissance thermique et la température à laquelle se déroule un procédé entretenu par la torche 1.

Les programmes de régulation et de commande de la torche sont chargés dans l'automate industriel

15 34. Celui-ci comporte essentiellement une unité centrale et des cartes d'entrée/sortie. Il est programmé à partir d'un ordinateur personnel (PC). A cette fin, par exemple, le constructeur de l'automate fournit un logiciel qui permet de créer

20 un programme binaire dans l'automate. Le dialogue avec l'automate est réalisé via une table d'échange, ou zone mémoire, par un dispositif de supervision. De l'extérieur, la supervision (PC) envoie des messages à la table d'échange. L'automate vient lire

25 l'état de la table et met le système (par exemple : une pompe du circuit de refroidissement) en conformité avec la mémoire ou la table d'échange. L'automate prévu dans le cadre de la présente invention peut par exemple fonctionner avec un cycle

30 compris entre environ 10 ms et 100 ms (vitesse de réaction). De préférence, on utilise un cycle rapide, de l'ordre de 10 ms.

L'automate 34 envoie des signaux de commande par l'intermédiaire des liaisons 41, 43, 53.

Les moyens 34 peuvent également intégrer des dispositifs de sécurité permettant d'alerter un opérateur et/ou d'arrêter le fonctionnement de la torche lors de la survenance de certains défauts des moyens d'alimentation électrique 30 ou des moyens d'alimentation en fluide 32.

5  
- Comme exposé par la suite, le pilotage de la torche incorpore une régulation de la puissance électrique qui lui est fournie, tout en essayant de maintenir la tension entre les électrodes à une valeur optimale.

10  
A cette fin, des capteurs 39, 40 permettent de mesurer la tension et le courant fournis aux électrodes 2, 4 de la torche. Les grandeurs fournies par ces capteurs sont digitalisées et permettent de calculer la puissance réelle à laquelle fonctionne la torche.

15  
De même, un capteur de température 42 peut être prévu pour mesurer la température à laquelle se déroule un procédé entretenu par la torche 1.

20  
Le fonctionnement d'une torche à plasma peut être décrit à l'aide de courbes de tension d'arc, en fonction du courant d'arc, pour des débits donnés de gaz plasmagène. On obtient un réseau de courbes, ou réseau de points de fonctionnement, qui est fonction :

- 25 - de la géométrie de la torche,
- des forces aérodynamiques dues au vortex,
- 30 - des forces magnétiques dues à la bobine de champ.

Ce réseau de points de fonctionnement est donc unique pour chaque type de torche.

Un exemple d'abaque (courbes isodébits) de points de fonctionnement est donné en figure 3, pour une torche de puissance 800 kW. Sur la figure 3, les courbes I, II, III, IV correspondent respectivement à des débits de gaz plasmagène de 10g/s, 15g/s, 20g/s, 30g/s. Les autres courbes correspondent à des débits augmentant ensuite de 10g/s en 10g/s (40g/s, 50g/s,...).

Par conséquent, chaque type de torche a un domaine de fonctionnement caractérisé par les paramètres spécifiques suivants :

- le courant d'arc I,
- le débit de gaz plasmagène Q,
- la tension d'arc U qui exprime, ou traduit, sensiblement la longueur de l'arc.

Afin de réaliser un pilotage de la torche, il est donc possible de choisir l'un de ces deux paramètres comme paramètre de pilotage. En particulier, I et Q sont des paramètres de pilotage très bien adaptés, la tension U découlant des valeurs choisies par ces paramètres.

Pour un fonctionnement optimum de la torche, la valeur de la tension suit une courbe  $U=f(P)$ , où P est la puissance de la torche. Une telle courbe est établie expérimentalement en s'assurant que :

- l'arc ne s'accroche pas sur le nez de la torche,
- la tension ne dépasse pas la tension maximum permise par l'alimentation électrique,
- l'arc emplit un maximum de volume de l'électrode aval.

La courbe  $U_{\text{optimal}}=f(P)$  est obtenue en établissant expérimentalement les abaques  $Q=f(I)$  à débit constant, du type de celles données en figure 3

et commentées ci-dessus. Cette courbe est chargée dans la table d'échange de l'automate 34.

Pour chaque valeur de puissance, on fixe le point de fonctionnement optimum associant la longueur de l'arc, le rendement et l'enthalpie.

A chaque point concerné correspondent une puissance  $P$  et une tension  $U$ . L'association de la puissance et de la tension des points sélectionnés donne la courbe  $U_{\text{optimal}}=f(P)$ . Un exemple d'une telle courbe est donné sur la figure 4 (courbe  $C_1$ ).

Le fonctionnement le long de la courbe  $C_1$  est optimum, mais d'autres régimes de fonctionnement sont possibles. En effet, la courbe  $C_1$  correspond au cas où la torche fonctionne avec un rendement maximum. A partir d'un point de la courbe  $C_1$ , une variation de la valeur de la tension et/ou de la puissance électrique entraîne une diminution du rendement de fonctionnement.

Sur la figure 4, une deuxième courbe  $C_2$  représente la limite inférieure de la zone de fonctionnement possible de la torche. Ces deux courbes définissent en fait trois zones dans le plan  $(P, U)$  :

- la zone 1, située au-dessus de la courbe  $C_1$  : dans cette zone, l'arc sort de l'électrode aval et devient trop long. Il est exclu de pouvoir travailler dans cette zone,
- la zone 2, située sous la courbe  $C_2$  : le fonctionnement de la torche est instable, la tension et la résistivité sont trop faibles,
- la zone 3, située entre les deux courbes : le fonctionnement est possible, avec un rendement variable ; le rendement est optimal sur la courbe  $C_1$  et il diminue lorsque les paramètres de fonctionnement éloignent le point de fonctionnement

de la courbe  $C_1$  pour l'approcher de la courbe  $C_2$ . Ceci correspond alors au cas où l'enthalpie du gaz s'accroît. Un concepteur peut choisir, pour une raison ou pour une autre, de faire fonctionner la  
5 torche le long d'une courbe située entre  $C_1$  et  $C_2$ . Dans ce cas, il remplace, dans la table d'échange de l'automate 34, la courbe déjà introduite par la nouvelle courbe.

La courbe  $C_1$  constitue un objectif de  
10 fonctionnement de la torche, à atteindre. A cette fin, on fait varier les valeurs de courant d'arc  $I$  et de débit d'air  $Q$  de manière à faire varier la tension d'arc  $U$ . Les variations du courant  $I$  et de la tension  $U$  entraînent des variations de la puissance  $P=U.I$ . On  
15 peut donc dire que la fonction  $U_{\text{optimal}}=f(P)$  décrite ci-dessus découle de la fonction de transfert de la torche  $U=F(I,Q)$ . Cette dernière traduit le fait que les variables d'entrée du système de régulation de la torche sont le courant  $I$  et le débit  $Q$ , la variable de  
20 sortie étant la tension  $U$ .

La régulation de la torche repose sur les principes suivants, qui découlent de l'analyse faite ci-dessus des caractéristiques d'une torche à plasma :

- une augmentation du débit d'air  $Q$  entraîne une  
25 augmentation de la tension  $U$  et une augmentation de la puissance  $P$  : en effet, une augmentation du débit d'air entraîne une diminution de la température de l'air, et une augmentation de sa résistivité,
- une diminution du débit d'air  $Q$  entraîne une  
30 diminution de la tension  $U$  et une diminution de la puissance  $P$ ,
- une augmentation du courant d'arc  $I$  entraîne une diminution de la tension  $U$  et une augmentation de la



puissance P : en effet, une augmentation du courant d'arc entraîne une augmentation de la température du gaz plasmagène, donc une diminution de sa résistivité ;

- 5 - une diminution du courant d'arc I entraîne une augmentation de la tension U et une diminution de la puissance P.

Le principe de la régulation en puissance conformément à la présente invention va maintenant être décrit de manière plus détaillée.

Avant l'amorçage de la torche, un opérateur introduit dans l'automate 34 une consigne de puissance CPUIS. Par défaut, l'automate 34 règle la consigne à la même valeur que la consigne précédente.

Dans un premier temps, la puissance de la torche croît jusqu'à atteindre la consigne de puissance (c'est le fonctionnement en régime de rampe).

Dans un deuxième temps, la puissance de la torche est stabilisée autour de la puissance de consigne (c'est le fonctionnement en régime permanent).

Des mesures de la tension d'arc U et du courant d'arc I sont effectuées à chaque cycle du procédé de régulation à l'aide de moyens de mesure de tension 39 et de courant 40 (figure 2). Ces grandeurs permettent de calculer la puissance électrique réelle de la torche  $P_r = U \cdot I$ .

La régulation consiste ensuite à modifier les consignes de débit d'air Q et de courant d'arc I pour approcher la valeur  $P_r$ , mesurée, de CPUIS, avec une tension d'arc optimale ( $U_{\text{optimal}}$ ) qui dépend de la puissance instantanée réelle  $P_r$ .

Comme on l'a vu précédemment, l'abaque  $U_{\text{optimal}}=f(P)$  est obtenue à partir des essais de caractérisation de la torche. Cette abaque est donc préalablement introduite par un opérateur dans des  
5 moyens de mémorisation de l'automate 34.

A chaque cycle de procédé de régulation, les opérations suivantes sont réalisées :

- calcul de la puissance électrique réelle  $P_r$ ,
- détermination de  $U_{\text{optimal}}$ ,
- 10 - calcul de l'écart entre la consigne de puissance CPUIS et  $P_r$  :  $\Delta P = |\text{CPUIS} - P_r|$ ,
- une comparaison de  $\Delta P$  et de  $\Delta P_{ra}$ , où  $\Delta P_{ra}$  est un seuil préalablement fixé par l'opérateur, à partir duquel on considère que la puissance réelle a atteint la  
15 valeur de consigne de puissance :
  - \* si  $\Delta P \geq \Delta P_{ra}$ , le procédé reste ou passe en régime de rampe,
  - \* si  $\Delta P < \Delta P_{ra}$ , le procédé reste ou passe en régime permanent.

20 D'autres étapes de fonctionnement du procédé peuvent être prévues, notamment :

- l'étape consistant à vérifier que les consignes de débit d'air  $Q$  et de courant d'arc  $I$  sont bien comprises entre des valeurs limites  $Q_{\text{max}}$ ,  $Q_{\text{min}}$  et  $I_{\text{max}}$ ,  
25  $I_{\text{min}}$ .
- l'étape consistant à régler les consignes de courant et de débit aux valeurs limites, si elles ne sont pas entre les valeurs limites.

La figure 5 est un organigramme de la  
30 régulation en puissance selon la présente invention.

La figure 6 représente un organigramme du fonctionnement en régime de rampe du procédé de régulation selon la présente invention.

5 Ce régime permet d'atteindre rapidement la valeur CPUIS, que ce soit au démarrage de la torche, ou lorsque la valeur de consigne CPUIS est modifiée au cours du fonctionnement de la torche.

Au cours de ce régime, les valeurs de  $Q$  et de  $I$  sont incrémentées (selon des premiers incréments de  $\Delta Q_1$  et  $\Delta I_1$ ), avec une périodicité  $DT_1$ , suivant une pente de montée ou de descente en puissance.

Pour chaque intervalle de temps  $DT_1$ , la puissance réelle  $P_r$  est mesurée :

- si  $P_r \leq CPUIS$ , on cherche à augmenter la puissance de la torche. On peut donc accroître  $I$  de  $\Delta I_1$  et, si  $U \leq U_{optimal}$ , on peut également incrémenter  $Q$  de  $\Delta Q_1$ ,
- si  $P_r \geq CPUIS$ , on cherche à diminuer la puissance de la torche. On peut donc diminuer le débit d'air  $Q$  de  $\Delta Q_1$  et, si  $U \leq U_{optimal}$ , diminuer le courant d'arc  $I$  de  $\Delta I_1$ .

20 Ce régime de fonctionnement permet d'augmenter ou de diminuer la puissance de la torche en restant au plus près de la tension optimale  $U_{optimal}$ . Lorsque  $\Delta P$  devient inférieur à  $\Delta P_{ra}$ , le régime de rampe est abandonné au profit du régime permanent.

25

Le fonctionnement en régime permanent consiste à maintenir la puissance réelle à la valeur de la puissance de consigne, lorsque celle-ci est atteinte, avec une tolérance  $\Delta P_{ra}$ , et ceci tout en gardant la tension d'arc optimale  $U_{optimal}$ . A cette fin les valeurs du débit d'air  $Q$  et du courant d'arc  $I$  sont

30

incrémentées ou décrémentées avec des valeurs d'incrément, ou de pas,  $\Delta Q_2$ ,  $\Delta I_2$ , et ceci avec une périodicité  $DT_2$  (par exemple :  $DT_2=DT_1$ ).

Après chaque incrément de temps  $DT_2$  :

- 5 - si  $U < U_{\text{optimal}}$  et  $P_r < \text{CPUIS}$  :
- \* si  $Q < Q_{\text{max}}$  (débit maximum du gaz plasmagène) :  $Q$  est incrémenté de  $\Delta Q_2$ ,
  - \* sinon :  $I$  est incrémenté de  $\Delta I_2$
- 10 Dans le premier cas, l'incrémentement du débit d'air entraîne une augmentation de la tension et de la puissance. Dans le second cas, l'incrémentement du courant d'arc entraîne une diminution de la tension, malgré l'objectif fixé de conserver la tension à une valeur optimale : ceci signifie que,
- 15 temporairement, le procédé privilégie la puissance au détriment de la tension, et donc la puissance au détriment du rendement. Cette perte de rendement est compensée au cours des cycles suivants du procédé.
- si  $U < U_{\text{optimal}}$  et  $P_r > \text{CPUIS}$  :
- 20 \* si  $I > I_{\text{min}}$  : le courant d'arc est décrémenté de  $\Delta I_2$ ,
- \* sinon, le débit d'air  $Q$  est décrémenté de  $\Delta Q_2$ .
- Dans ce dernier cas, la diminution du débit d'air entraîne une perte en tension et en rendement. Mais, là encore, cette perte est temporaire et est
- 25 compensée au cours des boucles suivantes du procédé de régulation.
- si  $U \geq U_{\text{optimal}}$  et  $P_r > \text{CPUIS}$ , le débit d'air est décrémenté de  $\Delta Q_2$ .
- si  $U \geq U_{\text{optimal}}$  et  $P_r < \text{CPUIS}$ , le courant est incrémenté de
- 30 la valeur  $\Delta I_2$ .

La figure 7 est un organigramme du régime permanent du procédé de régulation selon l'invention.

Le système de régulation de la torche reste en fonctionnement permanent tant qu'une modification de la consigne de puissance CPUIS n'intervient pas.

Lorsqu'une telle modification intervient, introduite par exemple par l'opérateur dans l'automate 5 34,  $\Delta P$  devient supérieur à  $\Delta P_{ra}$ , et le procédé repasse en régime de rampe.

Ainsi, comme illustré sur la figure 8, le procédé selon l'invention permet de faire évoluer la puissance réelle de la torche en fonction du temps, tout en restant au plus près des conditions optimales de fonctionnement ou des conditions choisies par l'opérateur. Sur la figure 8, la puissance croît d'abord selon un régime de rampe, pour atteindre une consigne CPUIS<sub>1</sub> à l'instant t<sub>1</sub>. Cette consigne est maintenue jusqu'à l'instant t'<sub>1</sub>, où l'opérateur modifie la consigne de puissance en CPUIS<sub>2</sub> : le fonctionnement est alors de nouveau un fonctionnement en régime de rampe (décroissante) jusqu'à l'instant t<sub>2</sub>. Puis, entre 20 t<sub>2</sub> et t'<sub>2</sub>, un fonctionnement en régime permanent permet de maintenir la puissance sensiblement à CPUIS<sub>2</sub>. A t<sub>2</sub>, une nouvelle consigne de puissance CPUIS<sub>3</sub> est introduite par l'opérateur. Le procédé repasse alors en régime de rampe pour atteindre cette nouvelle valeur de 25 consigne, jusqu'à l'instant t<sub>3</sub>. A partir de t<sub>3</sub>, la torche fonctionne de nouveau en régime permanent. Un tel fonctionnement peut être poursuivi aussi longtemps que nécessaire.

Le procédé de régulation de la torche, décrit 30 ci-dessus, rend la puissance de la torche quasiment indépendante de facteurs interne ou externe (perturbations) pouvant influencer sur les paramètres de pilotage I et Q. L'état d'usure des électrodes, la

pression du gaz plasmagène, sa composition sont des paramètres qui sont susceptibles de varier au cours du fonctionnement de la torche et qui pourraient donc influencer ses performances et faire dériver la  
5 puissance fournie.

En fait, le système de régulation selon la présente invention permet d'éviter ce problème. Par exemple, si l'humidité du gaz plasmagène s'accroît, il en résulte une diminution de la tension entre les  
10 électrodes (la résistivité du gaz diminue). Selon le procédé décrit ci-dessus, il en résulte une diminution de courant et/ou une augmentation du débit, qui tendent à ramener la tension vers sa valeur optimale. L'influence de l'humidité est donc compensée  
15 automatiquement. Il en va de même de l'influence des autres perturbations.

Le système de pilotage de la torche comporte donc, selon l'invention :

- des moyens pour mémoriser une courbe de la tension  
20 d'arc de la torche, dite courbe de tension optimale, en fonction de la puissance électrique réelle fournie à la torche,
- des moyens pour commander une régulation de la puissance de la torche, et fonctionnant :  
25 \* selon un premier régime, dit régime de rampe, afin que la puissance réelle atteigne une valeur dite valeur de consigne de la puissance, avec une tension d'arc égale à la tension optimale,  
\* selon un second régime, dit régime permanent, afin  
30 de stabiliser la puissance réelle autour de la valeur de consigne, avec une tension d'arc égale à la tension optimale.

Le procédé de régulation en puissance décrit ci-dessus ne fait intervenir que la torche elle-même. Un tel procédé ne prend pas en compte l'environnement dans lequel la torche fonctionne. Or, la torche  
5 fonctionne dans un dispositif ou un environnement auquel elle apporte de l'énergie, ce dispositif ou cet environnement devant être porté à une température donnée, par exemple constante ou cyclique. L'apport thermique nécessaire pour le maintien en température  
10 peut être également variable selon l'état dans lequel se trouve le dispositif ou l'environnement. Si, par exemple, la torche est utilisée avec ou dans un four, il peut être nécessaire de faire varier l'apport thermique au cours de phases de chargement du four, ou  
15 de phases d'homogénéisation de la température du four.

En plus du système de régulation en puissance décrit ci-dessus, l'invention permet de réaliser une régulation de température de l'environnement dans lequel se trouve placée la torche. Cette régulation de  
20 température, basée sur la modulation de la puissance de la torche, est mise en oeuvre pour porter l'environnement à une température de consigne  $CT_f$  et le maintenir à cette température. Cette régulation de température est une régulation de deuxième niveau qui  
25 se superpose à la régulation en puissance, toujours active.

Les paramètres de régulation en température sont les suivants :

- la consigne de température finale  $CT_f$ ,
- 30 - la pente de montée ou de descente de la température  $C_p = \Delta T / \Delta t$  : cette grandeur traduit le fait que la température de l'environnement de la torche varie avec une vitesse limitée. En fait, cette grandeur  $C_p$

est à déterminer expérimentalement et découle  
directement de la fonction de transfert du four. Par  
la connaissance de l'environnement, de la manière  
dont il doit travailler, et des essais de  
5 caractérisation, on peut connaître les valeurs que  
l'on peut donner à  $C_p$ , en fonction de la puissance de  
la torche. Si  $C_p$  a une valeur trop grande, la  
puissance de la torche atteint sa valeur maximum trop  
rapidement, sans que la pente de montée en  
10 température de l'environnement soit respectée. Si la  
valeur de  $C_p$  est trop faible, la torche reste à trop  
faible puissance.

La régulation en température consiste à  
incrémenter ou à décrémenter la puissance de la torche  
15 d'un certain nombre de fois un incrément  $\Delta P$ , pour  
atteindre la température du four  $CT_f$  finale, en  
respectant la pente  $C_p$ .

Au cours de chaque cycle du procédé de  
régulation en température selon l'invention, la  
20 température de l'environnement est mesurée (à l'aide du  
capteur de température 42, figure 2). Cette valeur  $T_m$   
est mémorisée, de même que la valeur de la température  
 $T_{m-1}$  du cycle précédent.

Par ailleurs, l'automate connaît la valeur de  
25 la température initiale  $T_0$  (température au départ de la  
régulation) et peut calculer la température de consigne  
instantanée  $T_c$  :  $T_c = T_0 \pm C_p \times \Delta T$ , où  $\Delta T$  est l'incrément de  
temps (ou le pas temporel) du cycle.

A chaque cycle, on dispose donc de la  
30 température de consigne instantanée  $T_c$ , de la  
température réelle  $T_m$ , et de la pente réelle  
 $PEN_r = (T_m - T_{m-1}) / \Delta T$ .



Cette dernière grandeur est la pente effective de montée ou de descente de la température dans le four, en °C/h, pour le cycle m.

- Soit  $\Delta T$  la tolérance d'écart de température entre  $T_c$  et  $T_m$ , et  $\Delta PE$  la tolérance d'écart de pente entre la pente réelle  $PEN_r$  et  $C_p$ . Alors :
- si  $T_m < T_c - \Delta T$  : la puissance est incrémentée de  $2\Delta P$ ,
  - si  $T_m > T_c + \Delta T$  : la puissance est décrétementée de  $2\Delta P$ ,
  - si  $PEN_r < C_p - \Delta PE$  : la puissance est incrémentée de  $\Delta P$ ,
  - 10 - si  $PEN_r > C_p + \Delta PE$  : la puissance est décrétementée de  $\Delta P$ .

Pour un tel procédé de régulation en température, l'évolution de la température en fonction du temps est représentée schématiquement sur la figure 9. La droite de pente  $C_p$  représente l'évolution de la température de consigne de l'environnement. Autour de  
15  
chacun des instants  $t_1, t_2, \dots, t_7$ , la température réelle et la pente de température réelle sont respectivement mesurés et calculés. Pour chacun de ces instants, la valeur correspondante d'incrément ou de décrétement, en  
20  
puissance, est portée sur le graphique. Ainsi, autour de l'instant  $t_1$ , l'écart en température, par rapport à la consigne instantanée, est supérieure à  $\Delta T$ , ce qui entraîne une incrémentation de puissance de  $2\Delta P$  ; par ailleurs, l'écart entre la pente réelle et  $C_p$  résulte  
25  
en une incrémentation de puissance de  $\Delta P$ , d'où une incrémentation totale en puissance de  $3\Delta P$ .

La figure 10 est un organigramme qui représente schématiquement la succession d'étapes du procédé de régulation en température conforme à la présente  
30  
invention. Par exemple,  $T_m$  est mesuré avec une périodicité de 60 secondes. Par ailleurs, on peut

choisir de donner aux paramètres les valeurs par défaut suivantes :

- $CT_f$  : même valeur que la consigne précédente,
- $C_p$  : même valeur que la consigne précédente,
- 5 -  $P, \Delta T, \Delta PE$  : valeurs données selon les caractéristiques de l'ensemble constitué par la torche et son environnement (par exemple la torche et le four).
- $CT_i$  (consigne de température initiale) et  $C_p$  ont des  
10 valeurs initiales que l'opérateur peut retrouver en demandant une initialisation.

Deux aspects complémentaires d'un procédé de régulation d'une torche ont été décrits ci-dessus : la  
15 régulation en puissance et la régulation en température. La régulation en température fait usage de la régulation en puissance. Mais, dans certaines applications, une régulation en puissance peut être réalisée sans régulation en température. Lorsque les  
20 deux sont utilisées, on obtient une double régulation du système constitué par la torche à plasma.

Les moyens 32 d'alimentation de la torche en fluide vont maintenant être décrits.

25 La figure 11 est un schéma du circuit 32 de refroidissement de la torche.

La torche à plasma est refroidie en permanence par une circulation d'eau déminéralisée sous pression, dans sa partie intérieure, autour des électrodes amont  
30 et aval, autour de la bobine de champ et dans sa partie extérieure, autour de l'enveloppe externe aval. Cette circulation d'eau de refroidissement dans la torche est assurée par une pompe 48 et permet d'évacuer l'énergie

transmise aux parois par l'arc électrique, ainsi que par la température du dispositif ou de l'environnement dans lequel se trouve l'extrémité aval de la torche.

L'eau de refroidissement de la torche est  
5 déminéralisée pour garantir l'isolement électrique des divers éléments sous tension de la torche. De préférence, la résistivité de l'eau est contrôlée en permanence à l'aide d'un capteur de résistivité relié à l'automate 34 (figure 2). La régénération automatique  
10 d'une partie de l'eau circulant dans la torche maintient la résistivité au-dessus d'un seuil minimum.

Une électrovanne 50 commande l'admission d'eau 52 dans le circuit d'eau déminéralisée constitué des cartouches de déminéralisation 54 et du réservoir 46.

15 Un circuit 60 de recyclage de l'eau de déminéralisation permet de maintenir la qualité de l'eau déminéralisée passant dans la torche. Ce circuit, en dérivation sur la cuve, fait passer une partie de l'eau dans les cartouches 54 de résine de  
20 déminéralisation et la réinjecte dans le réservoir 46, lorsque la circulation d'eau dans la torche est activée.

La déminéralisation se fait donc  
25 automatiquement par une dérivation permanente du circuit d'eau, sans l'intervention de l'automate.

Le réglage du débit de recyclage est effectué manuellement par une vanne.

Un capteur de pression 47 permet de surveiller la pressurisation du circuit de refroidissement. Si la  
30 pression devient inférieure à un seuil de défaut, il y a arrêt électrique de la torche.

Le cycle de remplissage du réservoir 46 permet d'obtenir en permanence une réserve d'eau déminéralisée

suffisante pour assurer un refroidissement optimum de la torche en service. Il s'enclenche automatiquement à la suite d'une baisse de pression d'eau (donnée par le capteur de pression du réservoir) lorsque celle-ci  
5 atteint le seuil minimum et s'arrête lorsque le seuil maximum est atteint. Les différents seuils sont détectés par comparaison entre la mesure analogique de pression et des seuils mis en mémoire dans l'automate. C'est ce dernier qui commande alors l'ouverture de la  
10 vanne 50.

Un capteur 45 de niveau provoque l'arrêt de la pompe de refroidissement en cas de fuite importante pour éviter que la pompe ne fonctionne à sec.

L'évacuation de l'énergie captée par le circuit  
15 de refroidissement est assurée par un échangeur (échangeur à plaques) 42 commun avec un circuit d'eau secondaire 44. Ce dernier peut comprendre un aéroréfrigérant fonctionnant sur le principe de l'évaporation et constituer une boucle fermée ou, plus  
20 simplement, être en boucle ouverte avec un flux continu d'eau perdue, selon les disponibilités ou les choix du site d'implantation du dispositif.

Un circuit 56, comportant une vanne 58, peut être prévu pour assurer un refroidissement de secours.  
25 Il est relié par exemple au réseau de ville et amène donc de l'eau non déminéralisée à la torche 1, ce qui pollue le circuit d'eau. Ce dispositif est prévu pour n'intervenir que lorsque les pompes sont à l'arrêt et que la torche est encore dans le dispositif dans lequel  
30 elle opère.

Diverses fonctions de surveillance peuvent éventuellement être prévues en complément du circuit décrit ci-dessus, ensemble ou séparément :

- une surveillance du remplissage du réservoir : si la durée de remplissage est trop longue, ou si le temps entre deux remplissage est trop important, l'automate 34 peut envoyer un message à l'opérateur ou émettre un signal d'alarme,  
5
- une surveillance de la déminéralisation : des moyens peuvent être prévus, en combinaison avec le réservoir 46 ou le circuit 60, pour mesurer la résistivité de l'eau déminéralisée. Un signal est alors envoyé vers l'automate 34, où la résistivité mesurée est comparée à une, ou des, valeur(s) seuil. Un seuil de défaut et/ou un seuil d'alarme peuvent être prévus, pour lesquels :  
10
  - \* si la résistivité mesurée est inférieure au seuil de défaut, la torche est arrêtée électriquement et une alarme est émise,  
15
  - \* si la résistivité mesurée est inférieure au seuil alarme, une alarme est émise,
- une surveillance de la circulation d'eau : des capteurs permettent de mesurer le débit d'eau dans la torche et/ou le niveau d'eau dans la cuve et/ou la pression d'eau dans ce circuit et/ou les températures de l'eau en entrée et en sortie de la torche.  
20

Pour le débit, la pression et les températures, des seuils d'alarme et/ou de défaut peuvent être prévus, auxquels l'automate compare les valeurs mesurées. Le franchissement du seuil d'alarme entraîne l'émission d'un signal d'alarme, celui du seuil défaut entraîne l'arrêt de la torche. Pour le niveau d'eau, le passage sous un niveau très bas entraîne l'arrêt des pompes et de la torche,

  
25  
30
- une surveillance de la pompe 48 : lorsque celle-ci est à l'arrêt et que la torche est en position sur un

site d'utilisation, une pompe 49 de secours est mise en marche sur commande de l'automate 34.

Par conséquent, l'automate 34 peut être prévu pour assurer la surveillance et la commande des  
5 différentes fonctions suivantes :

- remplissage du circuit hydraulique et appoint d'eau brute,
- recyclage de déminéralisation de l'eau de refroidissement,
- 10 - circulation d'eau dans la torche,
- refroidissement de secours,
- réfrigération de l'eau, éventuellement.

La protection, en cas de coupure électrique ou d'arrêt des pompes peut être assurée :

- 15 - par le recul automatique de la torche,
- par le circuit de secours 56 si le recul de la torche n'est pas validé,
- par l'envoi, à l'opérateur, d'une information d'Avarie Majeure, si le débit d'eau est encore
- 20 insuffisant et que le recul de la torche n'est toujours pas validé.

Une sécurité de fonctionnement peut donc permettre d'assurer le respect des règles suivantes :

- \* le refroidissement de la torche est assuré
- 25 lorsqu'elle est en fonctionnement, et tant qu'elle se trouve dans le dispositif (sous peine d'une fusion très rapide des électrodes et de sa partie aval).
- \* en cas de perte de refroidissement, lorsque la torche est dans le dispositif, des actions de secours sont
- 30 prévues et générés par les moyens 34 de contrôle/commande, selon la configuration de l'installation et le type de cause :

1. mise en route automatique d'une pompe de secours,

2. recul automatique de la torche,
3. circulation d'eau brute de secours.

Les paramètres de fonctionnement (pression, débit, température d'eau, résistivité) peuvent être mesurés en permanence et, en cas de dérive de l'un d'eux, l'opérateur peut être alerté avant que des actions de mise en sécurité ne soient nécessaires.

Les moyens de génération et de pilotage du débit de gaz plasmagène fourni à la torche vont maintenant être décrits, en liaison avec la figure 12. Le gaz plasmagène peut être de l'air provenant d'un réseau d'air industriel, ou d'un compresseur. La pression minimum disponible doit de préférence être de l'ordre de 6 bars, et le débit de 300 Nm<sup>3</sup>/h, soit environ 110g/s, à une puissance de 800 kW.

En sortie du compresseur 62, l'air est déshuilé, asséché et filtré à environ 1/10ème de micromètre, à l'aide de moyens de filtrage 64 et d'un dispositif de séchage 66.

Une cuve tampon 68 crée une réserve d'air et évite des fluctuations de pression générées par le compresseur en amont de la vanne de régulation 29.

Un débitmètre 70 permet de mesurer le débit d'air envoyé vers la torche 1. Ce débit est commandé par la vanne pilotée, ou vanne de régulation, 29 (Cf. figure 2). De préférence, c'est l'automate 34 qui assure la mise en marche et l'arrêt du dispositif de séchage, du compresseur, et l'ouverture et la fermeture de la vanne de régulation 29. Dès que la torche n'est plus en position de retrait par rapport à son lieu d'utilisation, un débit d'air minimum est émis dans la torche pour éviter toute pollution interne.

Le débitmètre 70 fournit une valeur de mesure du débit qui peut être comparée, dans l'automate 34, à une ou plusieurs valeurs de seuil, par exemple une valeur de seuil alarme et/ou une valeur de seuil défaut. Lors du franchissement du seuil alarme, un signal d'avertissement est envoyé à un opérateur. Le franchissement du seuil défaut entraîne l'arrêt de la torche, du sécheur et du compresseur ; la vanne 29 est alors également fermée, sauf pour le cas où la torche est encore sur son lieu d'utilisation, auquel cas une valeur minimum de circulation d'air est maintenue, ce qui permet d'éviter la pollution de la torche par l'environnement.

L'information portant sur la valeur du débit d'air peut également jouer un rôle, ainsi qu'on l'a déjà expliqué ci-dessus, dans le cadre de la régulation en puissance de la torche. La régulation prévue dans le cadre de la présente invention présente l'avantage qu'une perturbation extérieure sur le circuit d'air (par exemple une variation de l'humidité de l'air, ou une variation de la pression d'air) n'entraîne pas un arrêt de la torche. L'opérateur peut être averti, mais le dispositif de régulation selon la présente invention permet de réagir et de compenser les perturbations extérieures sur le débit d'air.

Réciproquement, le débit de gaz est piloté en fonction de la puissance, ou, éventuellement de l'enthalpie de gaz demandée, avant d'être injecté dans la torche.

Le dispositif de démarrage de la torche (ou "starter") va maintenant être décrit, en liaison avec la figure 13, où il est désigné par la référence 71.



On rappellera préalablement qu'un dispositif d'amorçage est décrit dans la demande FR-89 14677. Le dispositif starter permet d'assurer le maintien sous pression du circuit hydraulique d'activation du vérin. De plus, il commande l'avance et le recul du vérin de démarrage 2 (figure 1). C'est ce dispositif qui assure l'amorçage de l'arc dans la torche. Avant l'amorçage, il est en position avancée, l'électrode amont est au contact de l'électrode aval et réalise un court-circuit. Au démarrage, pendant l'établissement du courant d'arc, ce vérin recule rapidement l'électrode amont et "tire" l'arc entre les deux électrodes.

Sur la figure 13, la référence 74 désigne un réservoir qui contient l'huile du circuit hydraulique. Une pompe 76 fait monter une partie de l'huile dans un accumulateur double 78. La partie supérieure de celui-ci contient de l'air. Lorsque la pression s'accroît dans l'accumulateur et atteint une limite haute, le pressostat 80 coupe le moteur de pompe 76. Le pressostat 82 fait redémarrer la pompe lorsque la pression d'huile atteint une limite basse.

Un pressostat 84 de défaut de pression interdit le démarrage de la torche si la pression d'huile n'est pas suffisante.

Un distributeur 87 comporte une partie 86 associée à la fonction d'avance du starter et une partie 88 associée à la fonction de recul du starter. Sur la figure 12, le distributeur est en position de recul du starter : la pression d'huile est donc dirigée vers l'arrière du vérin.

A chacun des compartiments du vérin d'amorçage est ensuite associé un limiteur de débit 89-90, 91-92. Chacun comporte un clapet anti-retour 89, 91 et un

limiteur de débit 90, 92. Les limiteurs sont des systèmes de régulation mécaniques qui permettent à l'huile d'aller vers et de revenir du vérin.

Le retour de l'huile dans le réservoir se fait  
5 par l'intermédiaire d'un filtre 93 à huile (filtre à 10  $\mu\text{m}$ ). Enfin, le réservoir 74 est équipé d'un filtre à air 94.

Les moyens d'alimentation électrique assurent  
10 l'alimentation de la bobine de champ 8 (figure 1) et de l'arc 18 (figure 1) soit disposés en série, soit séparés, à partir d'un réseau haute tension.

Les moyens d'alimentation électrique 30 sont représentés schématiquement sur la figure 14. Ils  
15 comprennent une alimentation haute tension 100, un transformateur 102 (en général dodécaphasé) et un redresseur 104. Ils fournissent une alimentation en courant continu aux électrodes de la torche et à la bobine de champ. Une self de lissage 114 d'un  
20 surtenseur 112 absorbe les fluctuations de courant de l'arc électrique.

Le redresseur d'arc 104 est constitué essentiellement de ponts de Graetz (par exemple 6 thyristors par pont). Des moyens 110, de type  
25 ventilateurs, permettent d'assurer une circulation d'air suffisante dans le redresseur 104.

Celui-ci est en fait programmé par une consigne de courant  $I_{\text{arc}}$  envoyée depuis l'automate 34. L'élaboration de cette consigne a été décrite ci-dessus  
30 dans le cadre du procédé de régulation en puissance de la torche.

La surveillance des défauts dans les moyens d'alimentation en courant est centralisée au niveau des

redresseurs 104. La transmission des informations sur les défauts est réalisée directement vers l'automate 34.

Des capteurs standards permettent de mesurer  
5 des valeurs de courant d'arc et de tension d'arc dans la torche 1.

Aux courants d'arc peuvent être associés des seuils d'alarme et de défaut (par exemple 50 ampères pour le seuil d'alarme et 100 ampères pour le seuil de  
10 défaut). Le franchissement de ces seuils entraîne, dans le premier cas, l'émission d'un signal d'alarme de courant d'arc et, dans le second cas, l'arrêt de la torche.

Pour la tension d'arc, trois seuils peuvent  
15 être prévus : un seuil minimal au-dessous duquel la tension est trop faible, un seuil d'alarme et un seuil de défaut. Lorsque la tension devient inférieure au seuil minimal ou supérieure au seuil d'alarme, un signal d'alarme correspondant est envoyé par l'automate  
20 34. Lorsque la tension devient supérieure au seuil de défaut, la torche 1 est arrêtée.

Le système de régulation de l'invention est un système à deux boucles imbriquées : une première boucle  
25 concerne la régulation en puissance et une seconde boucle concerne la régulation en température. La chaîne d'asservissement du système torche est représentée schématiquement sur la figure 15.

La colonne de gauche contient les valeurs de  
30 consigne T (température du dispositif ou de l'environnement de la torche), P (en kW, puissance électrique fournie à la torche), I (en A, courant) et Q (en Nm<sup>3</sup>/h, débit de gaz plasmagène).

Une consigne manuelle 120 permet à l'opérateur de sélectionner uniquement la fonction de régulation en puissance. Par ailleurs, une consigne 122 permet de mettre la puissance à une valeur minimale  $P_{\text{mini}}$ , par exemple dans le cas où la torche est utilisée dans un four et où celui-ci est en surpression.

La régulation en puissance se déroule ensuite comme décrit plus haut (bloc 124 sur la figure 15). On notera que des consignes 126, 128 peuvent en outre être prévues pour bloquer le courant  $I$  et le débit  $Q$  à leur valeur fixe de consigne (auquel cas il n'y a plus de régulation en puissance). Des perturbations 131, par exemple du débit d'air, sont prises en compte. La fonction  $F$  représente la fonction de transfert de la torche.

La régulation en température se déroule, elle aussi, comme décrit plus haut (bloc 132 sur la figure 15). Un écart  $\varepsilon$  entre la température mesurée et la température de consigne fait évoluer la consigne de puissance selon  $P=g(T)$  (bloc 134). La fonction  $G$  ( $T=G(P)$ ) représente la fonction de transfert de la torche et du four.

Enfin, le procédé peut autoriser ou empêcher le fonctionnement du système torche suivant l'état des différentes servitudes (alimentation en gaz plasmagène, circuit de refroidissement, etc...) comme déjà décrit ci-dessus.

D'une manière générale, l'invention exposée dans la présente demande est particulièrement bien adaptée à la régulation et/ou au pilotage d'une torche à plasma de puissance supérieure à 100 kW, par exemple de puissance égale à 800 kW, ou à 2MW ou à 4 MW.

**REVENDEICATIONS**

1. Système pour le pilotage d'une torche à plasma (1), comportant :

- des moyens (34) pour mémoriser une courbe ( $C_1$ ) de la tension d'arc de la torche, dite courbe de tension optimale, en fonction de la puissance électrique réelle fournie à la torche,
- des moyens (124) pour commander une régulation de la puissance de la torche, et fonctionnant :
  - 5 \* selon un premier régime, dit régime de rampe, afin que la puissance réelle atteigne une valeur (CPUIS) dite valeur de consigne de la puissance, avec une tension d'arc qui évolue, à une marge d'erreur près, avec la tension optimale,
  - 10 \* selon un second régime, dit régime permanent, afin de stabiliser la puissance réelle autour de la valeur de consigne (CPUIS), avec une tension d'arc égale, à une marge d'erreur près, à la tension optimale.

20 2. Système pour le pilotage d'une torche à plasma, selon la revendication 1, comportant en outre des moyens pour déterminer, en fonction de l'écart entre la valeur de la puissance électrique réelle et la valeur de consigne de la puissance, selon lequel des  
25 deux régimes les moyens de commande de la régulation doivent fonctionner.

3. Système pour le pilotage d'une torche à plasma selon l'une des revendication 1 ou 2, les moyens de commande de la régulation de la puissance électrique  
30 de la torche produisant un signal de modification de la valeur du courant d'arc et/ou du débit d'air afin de modifier les valeurs de la puissance réelle et de la tension d'arc.

4. Système pour le pilotage d'une torche à plasma selon l'une des revendications 1 à 3, comportant en outre des moyens (38) pour modifier la valeur de consigne de puissance lorsque les moyens de régulation fonctionnent en régime permanent.

5. Système selon l'une des revendications 1 à 4, comportant en outre des moyens (132) pour commander une régulation de la température d'un dispositif auquel la torche (1) apporte de l'énergie.

10 6. Système selon la revendication 5, les moyens (124) pour commander une régulation de la puissance de la torche étant également utilisés comme moyens pour commander la régulation de la température du dispositif.

15 7. Système selon la revendication 5, les moyens (132) pour commander la régulation de la température du dispositif permettant de commander une incrémentation ou une décrémentation de la puissance de la torche.

20 8. Système selon la revendication 5, les moyens (132) pour commander la régulation de la température comportant des moyens pour produire un signal de commande de variation de la puissance de la torche en fonction d'une température  $T_f$  de fonctionnement du dispositif dans lequel est placé la torche et de l'inertie ( $C_p$ ) du dispositif.

25 9. Système selon la revendication 5 ou 8, les moyens de régulation de la température produisant un signal d'incrémentement ou de décrémentation de la puissance de la torche selon, d'une part, l'écart entre la température réelle mesurée dans le dispositif et une température de consigne instantanée et, d'autre part, l'écart entre la vitesse de variation de la température réelle et l'inertie du dispositif.

10. Système selon l'une des revendications 1 à 9, comportant en outre des moyens permettant d'envoyer à une interface opérateur (38) des signaux d'alerte lors de la survenance de défauts de moyens d'alimentation en fluides (32, 33, 71) ou de moyens d'alimentation électrique (30) de la torche à plasma.

11. Système selon l'une des revendications 1 à 10, comportant en outre des moyens permettant d'envoyer un signal d'arrêt du fonctionnement de la torche lors de la survenance de défauts de moyens d'alimentation en fluides (32, 33, 71) ou de moyens d'alimentation électrique (30) de la torche à plasma.

12. Système selon l'une des revendications 10 ou 11, les moyens d'alimentation en fluides comportant des moyens (32) pour faire circuler un fluide de refroidissement de la torche et/ou des moyens (33) pour faire circuler un gaz plasmagène et/ou des moyens (71) pour alimenter en fluide un vérin de démarrage de la torche.

13. Système selon l'une des revendications 10 ou 11, les moyens (32) d'alimentation en fluide comportant des moyens (54) pour déminéraliser un fluide de refroidissement, des moyens pour surveiller la déminéralisation du fluide et/ou des moyens pour surveiller le débit de fluide de refroidissement dans la torche et/ou la pression de fluide et/ou la température du fluide en entrée et en sortie de la torche.

14. Système selon l'une des revendications 10 ou 11, les moyens (33) d'alimentation en fluide comportant en outre des moyens (70) pour faire circuler un gaz plasmagène et des moyens pour surveiller le débit de gaz plasmagène envoyé dans la torche.

15. Système selon l'une des revendications 10 ou 11, les moyens d'alimentation en fluide comportant des moyens (71) pour alimenter en fluide un vérin de démarrage de la torche et des moyens pour surveiller la  
5 pression de fluide transmis au vérin.

16. Système selon l'une des revendications 10 à 15, les moyens (30) d'alimentation électrique fournissant à la torche un courant d'arc et une tension d'arc et comportant en outre des moyens (39, 40) pour  
10 surveiller ce courant d'arc et cette tension d'arc.



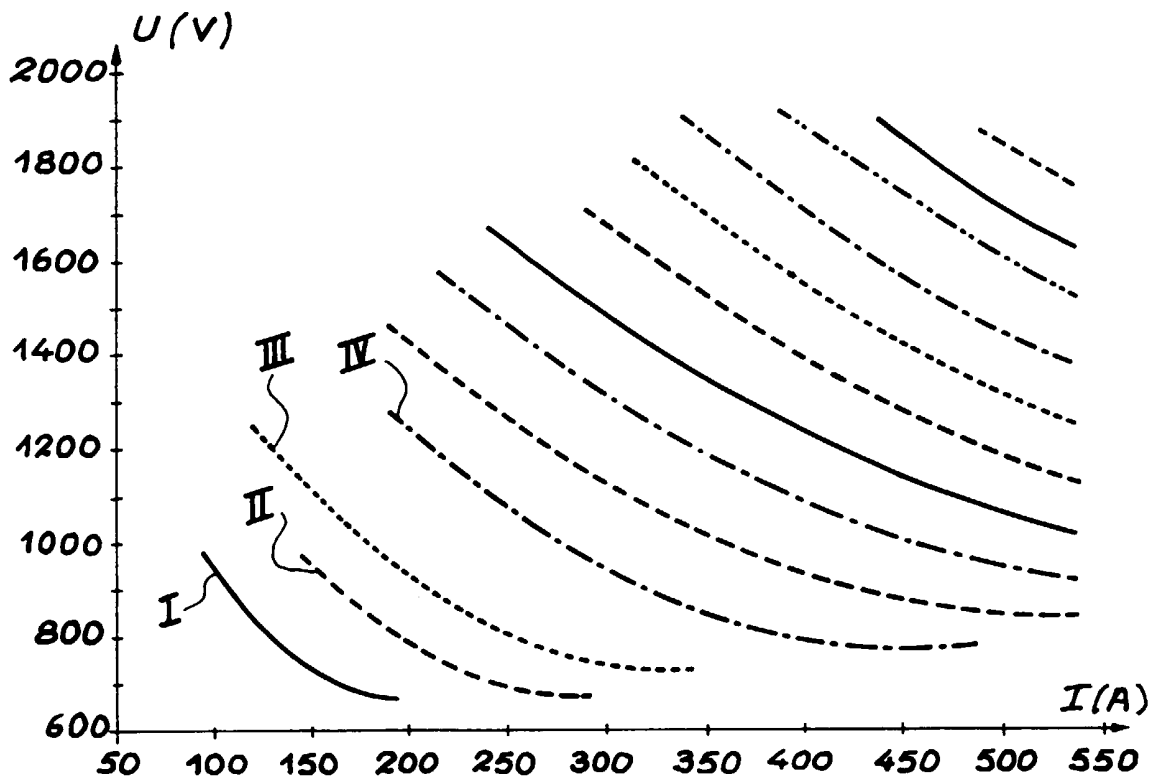
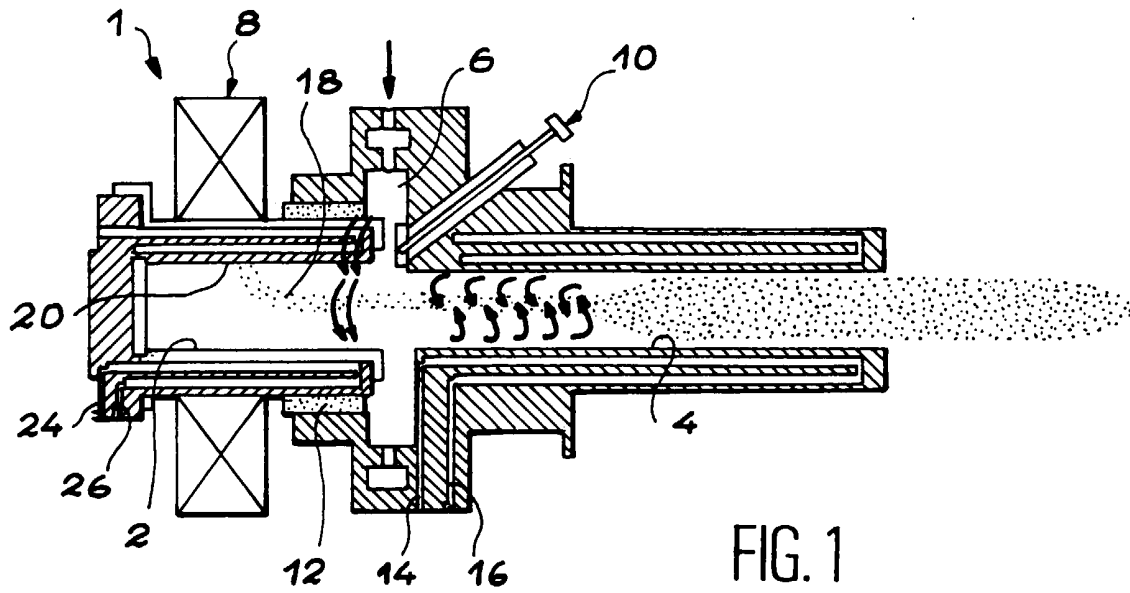


FIG. 3

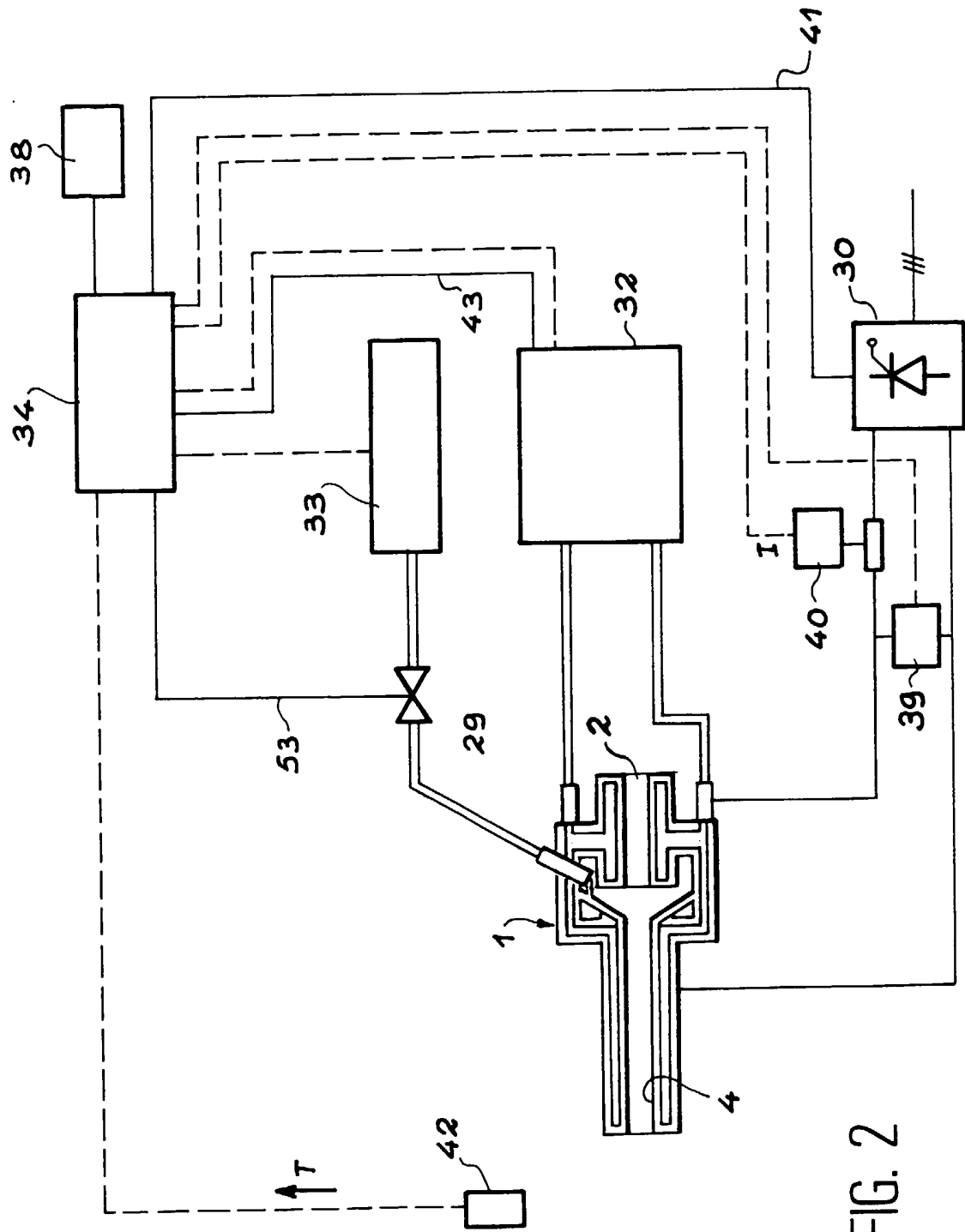


FIG. 2

3/12

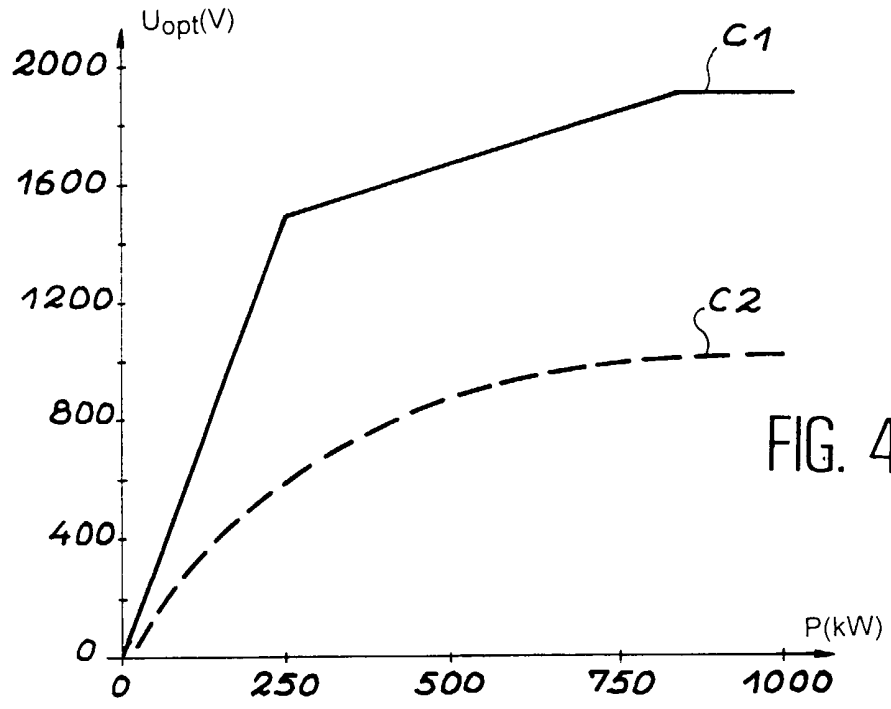


FIG. 4

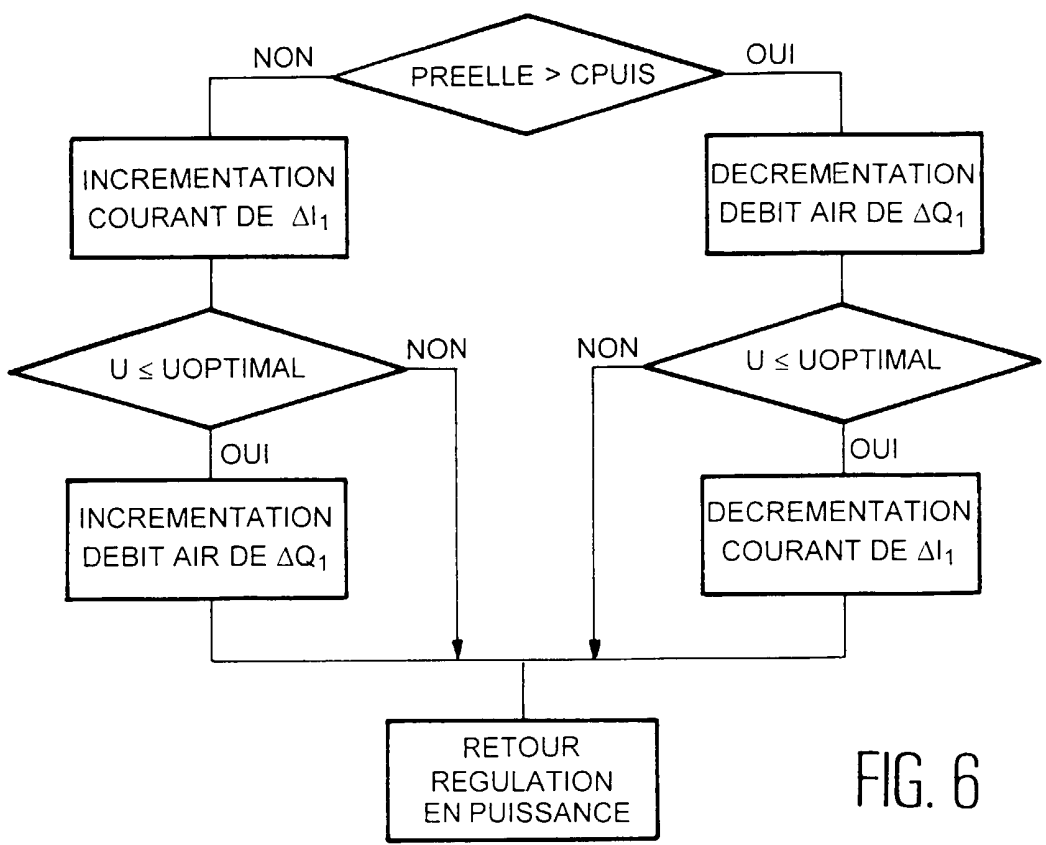


FIG. 6

4/12

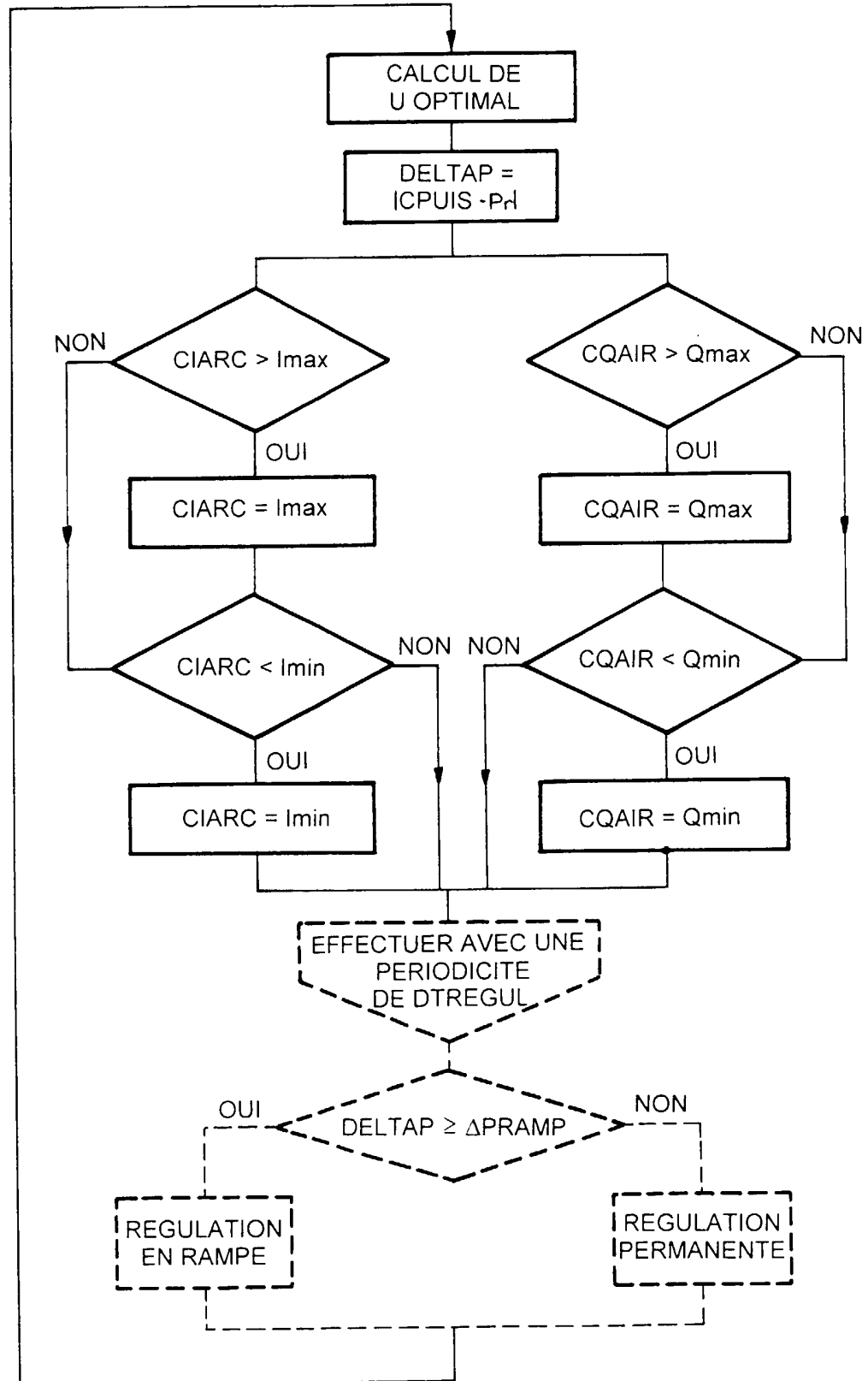


FIG. 5

5/12

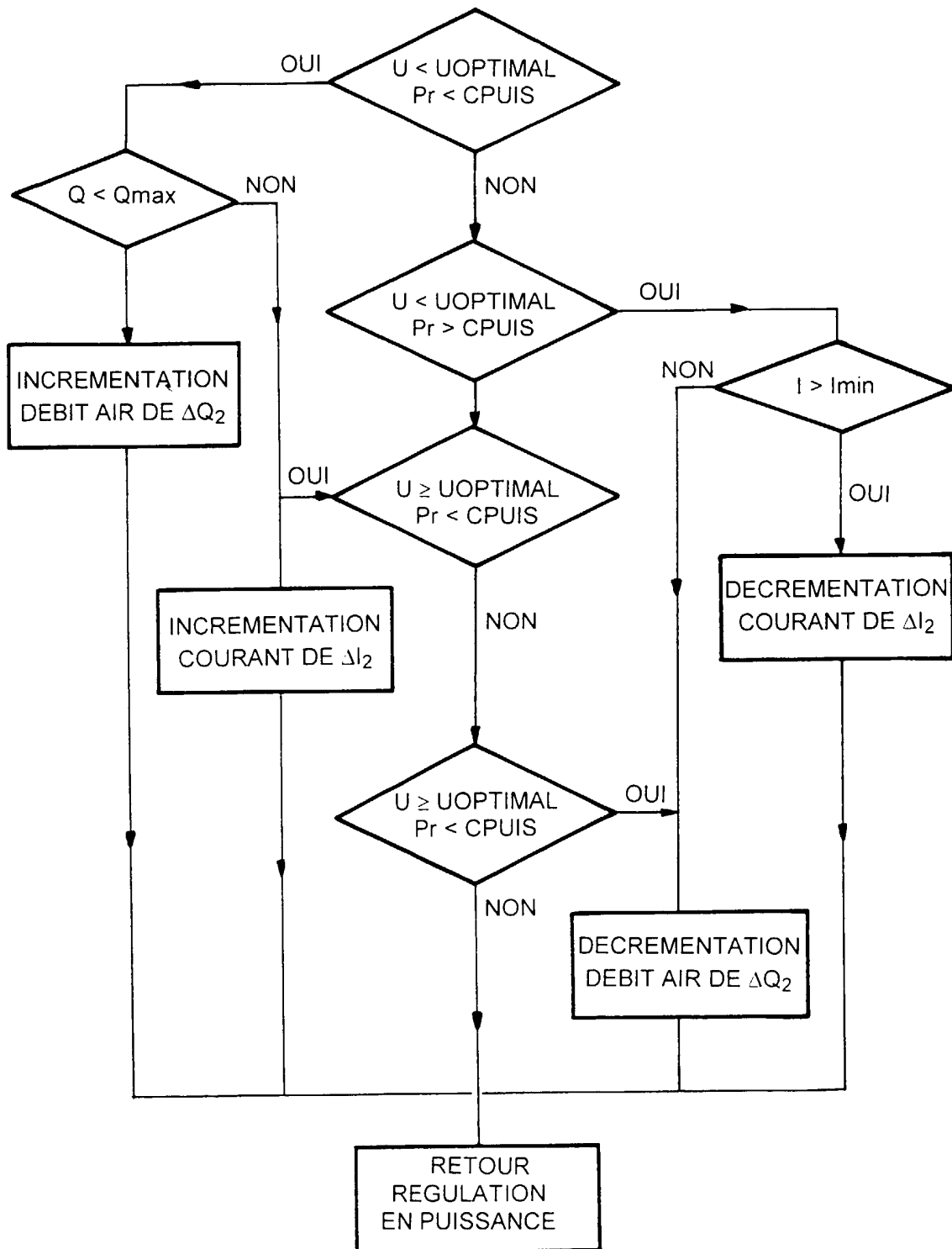


FIG. 7

6/12

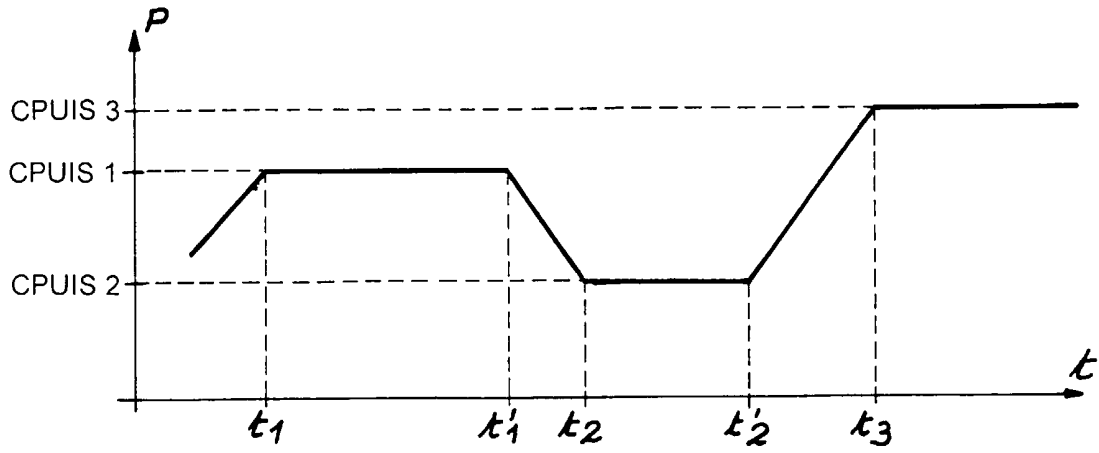


FIG. 8

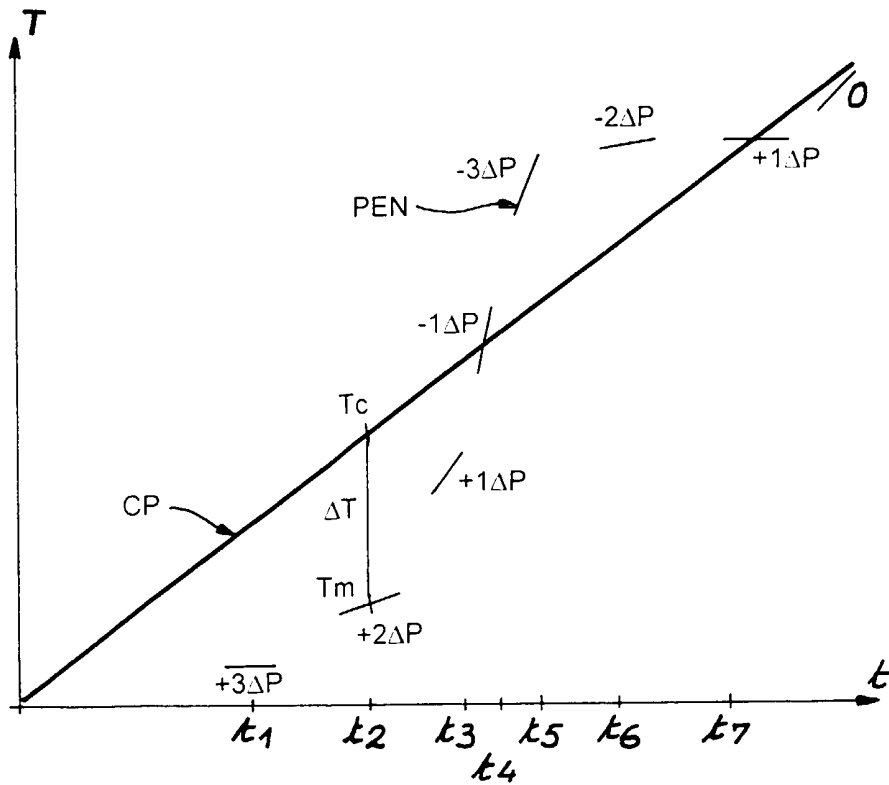
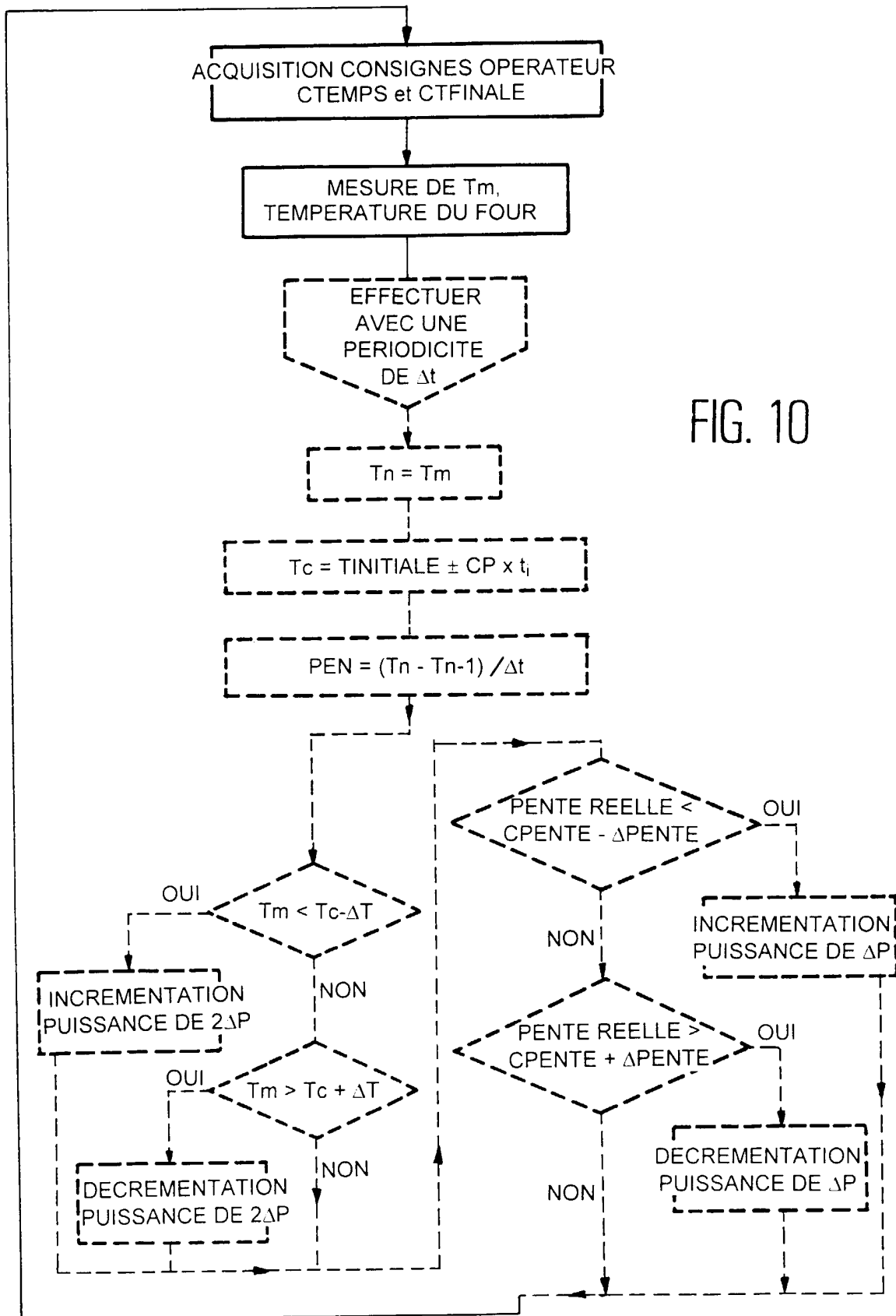


FIG. 9

7/12



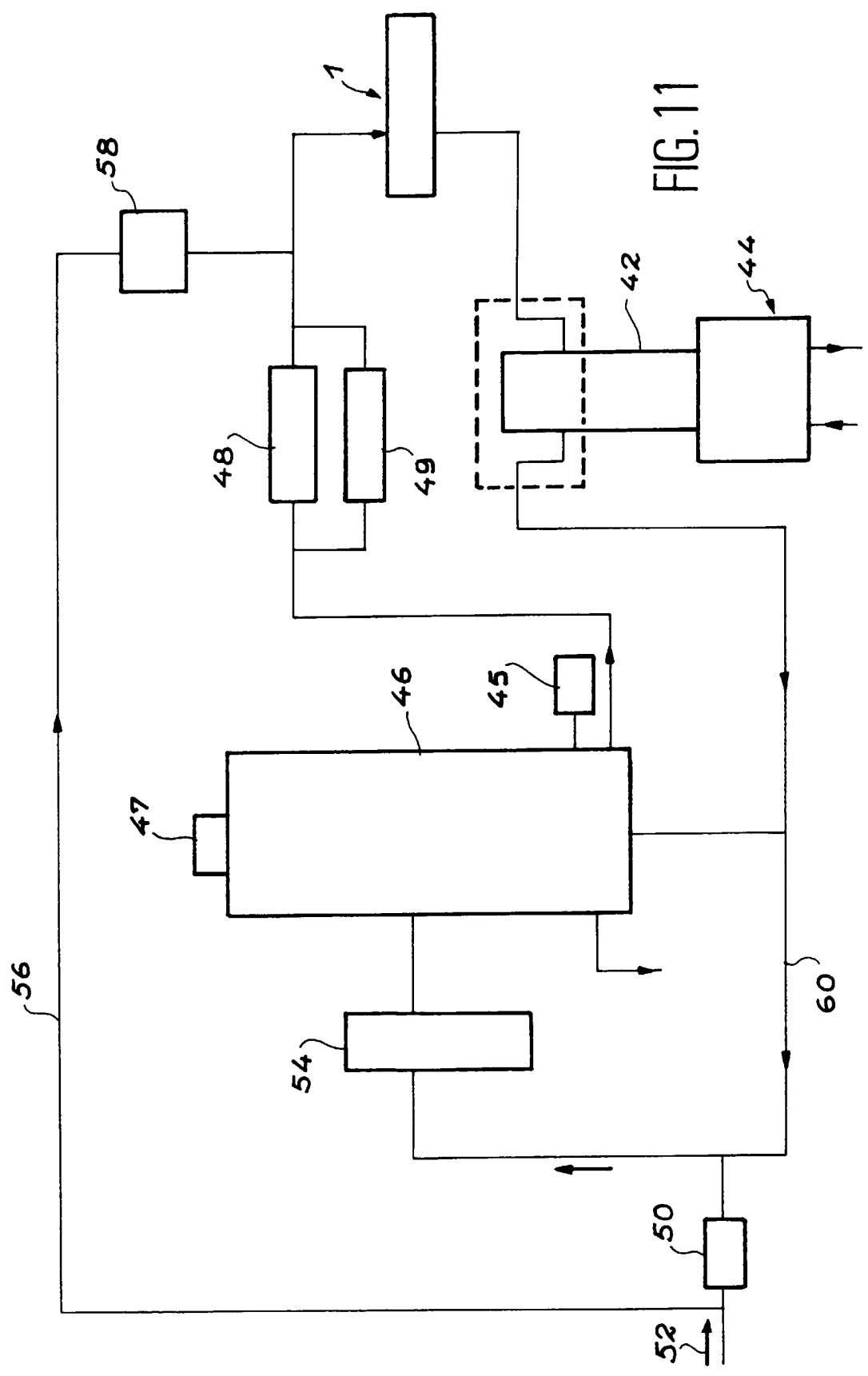


FIG. 11



9/12

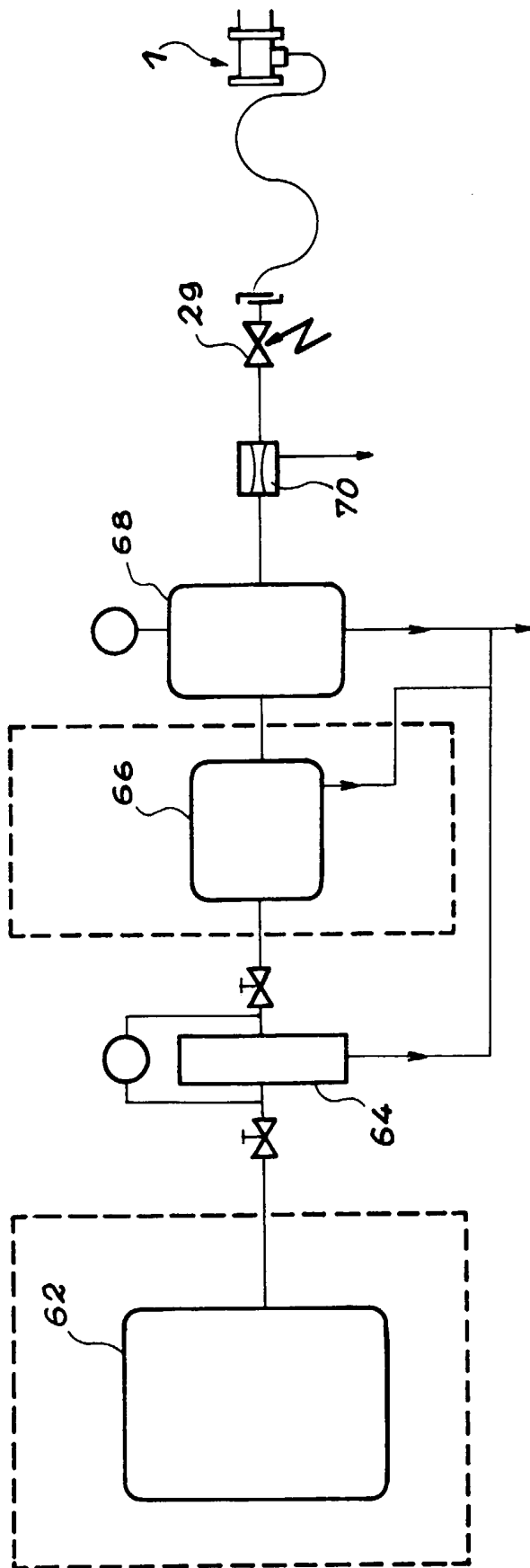


FIG. 12

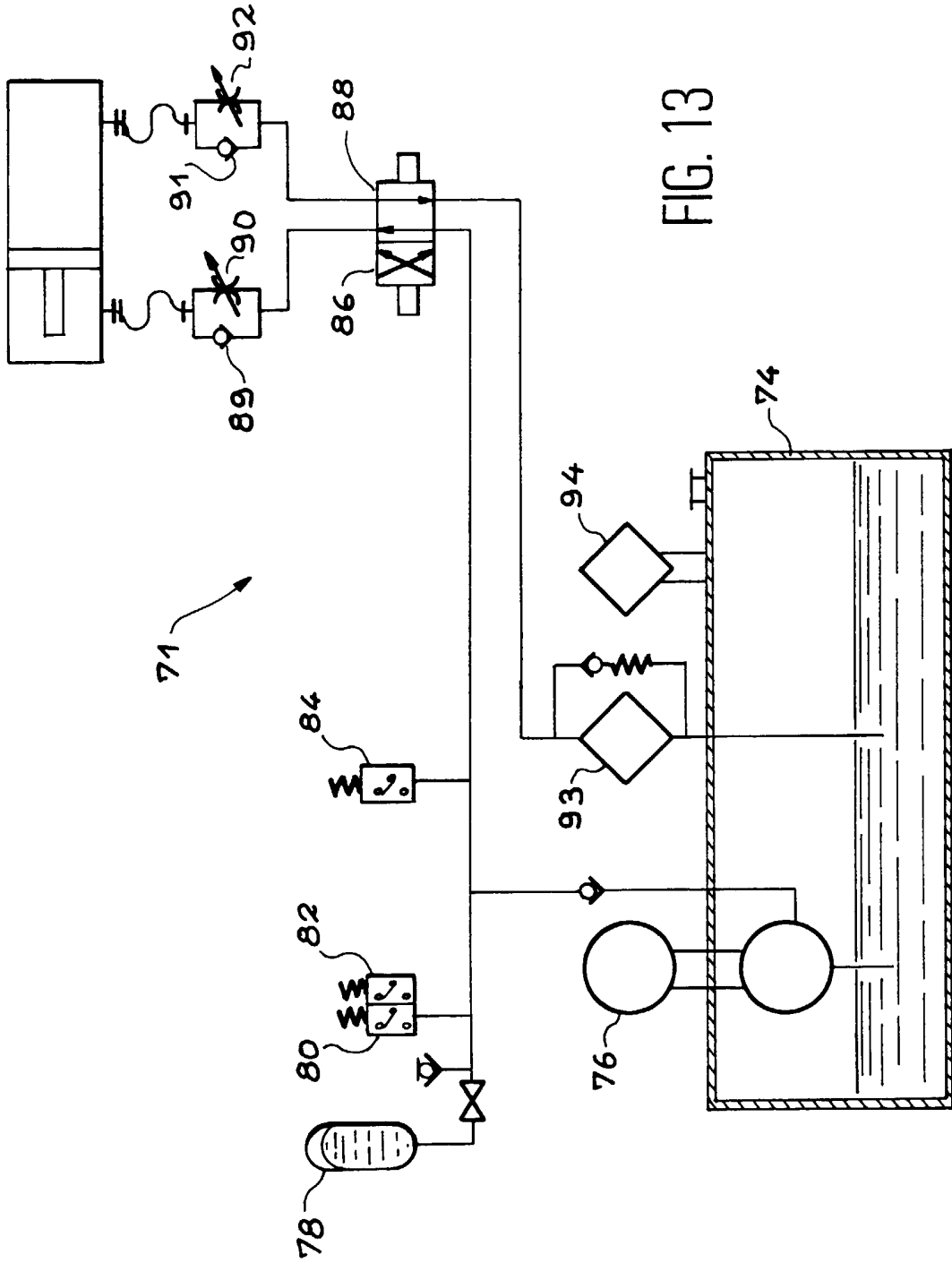


FIG. 13

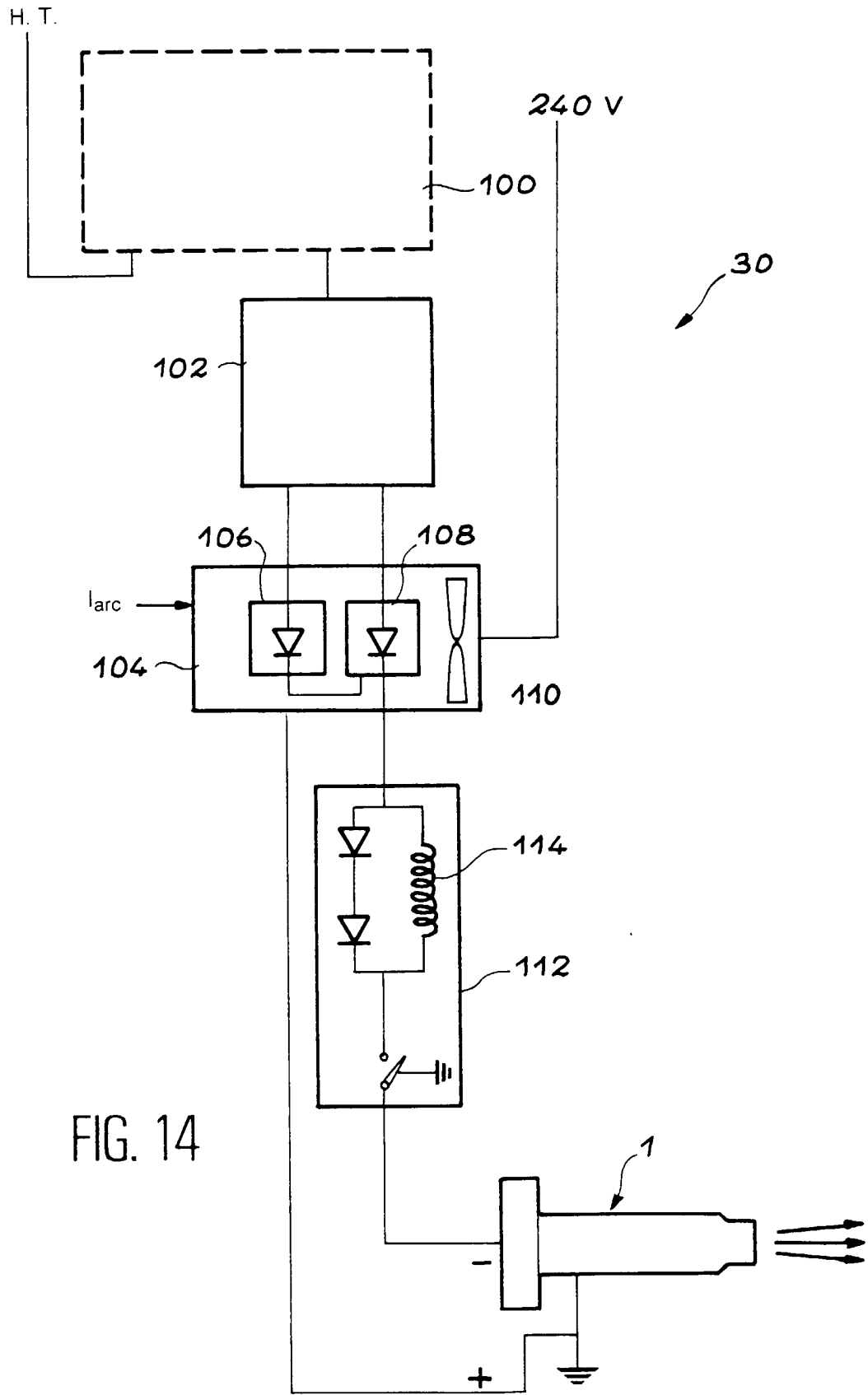


FIG. 14

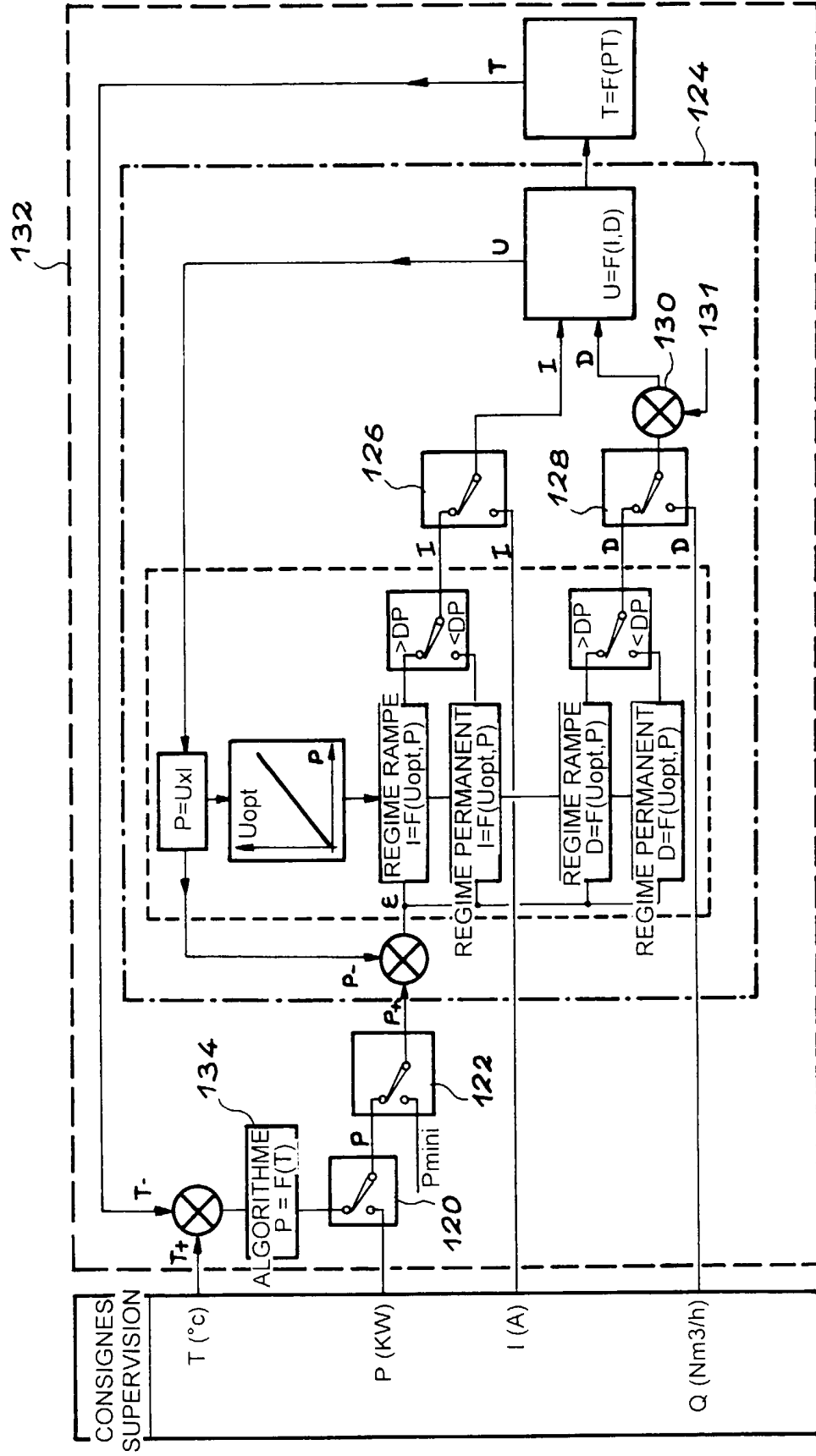


FIG. 15

| DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS  |  | Revendications concernées de la demande examinée |
|--|--|--|
| Catégorie  | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes  |  |
| D,A  | EP 0 565 423 A (AEROSPATIALE)<br><br>* colonne 2, ligne 14 - colonne 3, ligne 56 *<br>* colonne 4, ligne 13 - colonne 5, ligne 20 *<br>* colonne 7, ligne 12 - ligne 56 *<br>* figure 1 *<br><br>--- | 1,3,5,<br>12,14,16                               |
| A  | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN<br>vol. 016, no. 034 (M-1204), 28 janvier 1992<br>& JP 03 243254 A (NKK CORP), 30 octobre 1991,<br>* abrégé *  | 5-9,14   |
| A  | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN<br>vol. 096, no. 011, 29 novembre 1996<br>& JP 08 185972 A (NIPPON STEEL CORP), 16 juillet 1996,<br>* abrégé *   | 5-9  |
| A  | US 4 122 327 A (VOGTS WILLIAM A ET AL)<br>* colonne 3, ligne 28 - colonne 4, ligne 18; revendications 1,2 *  | 1,3,16   |
| A  | US 5 245 546 A (ICELAND WILLIAM F)<br>* colonne 1, ligne 45 - ligne 60 *<br>* colonne 2, ligne 41 - ligne 66 *<br><br>-----  | 3  |
| Date d'achèvement de la recherche  |  | Examineur  |
| 12 janvier 1998  |  | Capostagno, E                                    |
| <p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul<br/>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie<br/>A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général<br/>O : divulgation non-écrite<br/>P : document intermédiaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention<br/>E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.<br/>D : cité dans la demande<br/>L : cité pour d'autres raisons<br/>-----<br/>&amp; : membre de la même famille, document correspondant</p> |  |  |

1