

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

2 749 073

21 N° d'enregistrement national : 96 06509

51 Int Cl⁶ : F 42 D 1/055, F 42 D 1/06, F 42 B 3/16

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 24.05.96.

30 Priorité :

43 Date de la mise à disposition du public de la demande : 28.11.97 Bulletin 97/48.

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) : DAVEY BICKFORD SOCIETE EN NOM COLLECTIF — FR.

72 Inventeur(s) : PATHE CLAUDE, TROUSSELLE RAPHAEL, CLOT PHILIPPE et FIVAZ ERIC.

73 Titulaire(s) : .

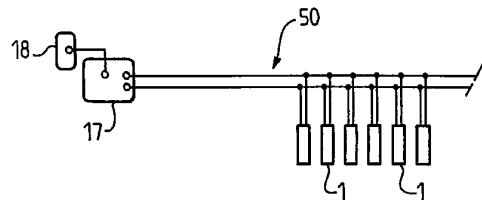
74 Mandataire : CABINET HARLE ET PHELIP.

54 PROCEDE DE COMMANDE DE DETONATEURS DU TYPE A MODULE D'ALLUMAGE ELECTRONIQUE, ENSEMBLE CODE DE COMMANDE DE TIR ET MODULE D'ALLUMAGE POUR SA MISE EN OEUVRE.

57 L'invention concerne un procédé de commande de détonateurs (1) du type à module d'allumage (15) électronique.

Chaque module (15) est associé à des paramètres spécifiques comprenant au moins un paramètre d'identification et un temps de retard d'explosion, et comporte une capacité de tir et une horloge interne rudimentaire. Les modules (15) sont aptes à dialoguer avec une unité de commande de tir (17) munie d'une base de temps de référence.

Dans le procédé, on mémorise les paramètres d'identification dans les modules avec une unité de programmation (18); on mémorise les paramètres spécifiques dans l'unité de commande de tir (17); on effectue pour chaque module successif avec l'unité de commande de tir un calibrage de son horloge interne et un envoi au module du temps de retard associé; on ordonne aux modules un chargement des capacités de tir; et on envoie aux modules avec l'unité de commande de tir un ordre de tir déclenchant une réinitialisation éventuelle des horloges internes et une séquence de tir.



FR 2 749 073 - A1



La présente invention est relative à un procédé de commande de détonateurs du type à module d'allumage électronique, ainsi qu'à un ensemble codé de commande de tir et à un module d'allumage pour sa mise en oeuvre.

5 Dans la plupart des travaux à l'explosif, on provoque la détonation de charges contenant les détonateurs selon une séquence temporelle bien précise, ceci afin d'améliorer le rendement du travail de l'explosif et de mieux en contrôler les effets.

10 De façon classique, un dispositif pyrotechnique au niveau des détonateurs eux-mêmes permet d'obtenir divers temps de retard entre les explosions des charges. Les détonateurs sont initiés simultanément par un exploseur qui délivre une certaine énergie électrique dans une ligne de tir reliant les
15 détonateurs en série ou en parallèle. La combustion de compositions pyrotechniques retardatrices génère alors les retards pyrotechniques voulus.

Cependant, ces retards pyrotechniques sont d'une précision relative souvent insuffisante.

20 Pour surmonter cet inconvénient, il a été proposé d'utiliser des dispositifs d'allumage de détonateur à retard intégré du type électronique. Ces dispositifs permettent de tirer partie de la précision de systèmes électroniques pour enrichir et affiner les gammes de temps de retard obtenues
25 précédemment de façon pyrotechnique.

La demande de brevet FR-2.695.719 propose un procédé de commande de détonateurs à module d'allumage électronique à retard intégré dans lequel les modules d'allumage sont programmés à l'aide d'une unité de programmation. Ils
30 nécessitent une base de temps précise au niveau de chaque détonateur.

Il a par ailleurs été proposé dans le brevet US-4.674.047, des détonateurs équipés de moyens électroniques leur permettant de dialoguer avec une unité de commande
35 extérieure. Chaque détonateur est muni d'une capacité dont le

déchargement active la charge explosive. Les temps de retard de chaque détonateur peuvent être programmés sur site, un code d'identification ayant été préalablement attribué à chaque détonateur, par exemple en sortie d'usine. Lors d'une séquence
5 de tir, les détonateurs reçoivent de l'unité de commande des ordres successivement de chargement de la capacité précitée, puis de tir. Ils renvoient à l'unité de commande des informations permettant à cette unité de contrôler le bon déroulement de la séquence de tir. Les détonateurs sont munis
10 à cet effet d'une intelligence locale par microprocesseur. Les temps de retard qui leur sont attribués sont stockés sur des mémoires non volatiles de leurs microprocesseurs.

Dans ce dernier système connu, chacun des détonateurs dispose d'une base de temps interne lui permettant d'effectuer
15 un compte à rebours en rapport avec le temps de retard qui lui est affecté. Au moment de la programmation du détonateur, sa base de temps est comparée à une base de temps de référence de l'unité de commande. Une erreur éventuelle est alors compensée par une valeur ajustée du temps de retard, cette valeur
20 ajustée étant stockée dans une mémoire du détonateur.

Le but de la présente invention est un procédé de commande du type à module d'allumage électronique, ainsi qu'un ensemble codé de commande de tir et un module d'allumage pour sa mise en oeuvre, conférant aux détonateurs les avantages
25 précités des détonateurs à retard électronique intégré, mais également une plus grande simplicité de fabrication et de fonctionnement, ainsi qu'une sécurité accrue.

Plus précisément, un objectif de l'invention est de pouvoir employer des détonateurs disposant d'horloges internes rudimentaires tout en permettant une excellente précision
30 d'une séquence de tir.

Un autre objectif de l'invention est d'utiliser comme horloges internes des oscillateurs peu coûteux et peu fragiles, et incorporés dans des circuits intégrés.

L'invention a ainsi pour objet un procédé de commande de détonateurs du type à module d'allumage électronique, chaque module d'allumage étant associé à des paramètres spécifiques comprenant au moins un paramètre d'identification et un temps de retard d'explosion du détonateur associé. Le

5 module d'allumage comporte:

- une capacité de tir destinée, après chargement, à se décharger dans une tête d'amorce du détonateur pour produire une mise à feu,

10 - une capacité batterie assurant une autonomie momentanée de fonctionnement,

- une horloge interne rudimentaire ayant une fréquence locale,

15 - une mémoire d'identification non volatile destinée à stocker les paramètres d'identification.

Les modules sont aptes à dialoguer avec une unité de commande de tir munie d'une base de temps de référence, et destinée à leur transmettre notamment un ordre de chargement de leurs capacités de tirs, ainsi qu'un ordre de tir et à

20 recevoir des modules une ou des informations relatives à leur état.

Dans le procédé:

- on mémorise dans au moins un support informatique les paramètres spécifiques,

25 - on fait acquérir à au moins une unité de programmation les paramètres d'identification,

- on mémorise avec l'unité de programmation dans les modules les paramètres d'identification,

30 - on mémorise avec le support informatique dans l'unité de commande de tir les paramètres spécifiques,

- on ordonne aux modules avec l'unité de commande de tir un chargement des capacités de tir,

35 - on envoie aux modules avec l'unité de commande de tir un ordre de tir déclenchant une séquence de tir synchronisée au moyen des fréquences locales.

Le procédé de commande selon l'invention est caractérisé en ce qu'après la mémorisation des paramètres spécifiques dans l'unité de commande de tir et avant le chargement des capacités de tir, on effectue avec l'unité de commande de tir pour chaque module successif une mesure de la fréquence locale de l'horloge interne du module au moyen de la base de temps de référence, un calibrage de cette horloge interne qui prend en compte cette mesure au moyen d'une valeur de correction algorithmique de la fréquence locale, et un envoi au module du temps de retard associé.

Le terme « calibrage » doit être compris comme la détermination de la valeur de correction algorithmique appropriée pour chaque module, étant entendu qu'on n'agit pas sur l'horloge interne elle-même et donc qu'on ne modifie pas sa fréquence locale.

Les horloges internes, ajustables en usine, sont calibrées peu avant une séquence de tir.

Ce calibrage est d'autant plus important que les fréquences locales des modules sont a priori toutes distinctes, et conduisent donc à une valeur de correction algorithmique différente pour chaque module.

Le procédé de commande selon l'invention se distingue de l'art antérieur par les rôles joués par l'unité de programmation, l'unité de commande de tir et le support informatique. Il est particulièrement original en ce que les horloges internes des modules sont ajustées dans un premier temps lors de leur fabrication, puis calibrées dans un deuxième temps peu avant une séquence de tir, à l'aide de la base de temps de référence de l'unité de commande de tir. Le calibrage des horloges internes est dissocié de la programmation des temps de retard des modules.

Un avantage manifeste du procédé selon l'invention est qu'il est possible d'employer dans les modules des horloges internes ajustables rudimentaires, seule la base de temps de référence contenue dans l'unité de commande de tir devant être

précise. Une telle horloge interne peut par exemple être incorporée dans un circuit intégré, tel qu'un circuit intégré spécifique couramment dénommé ASIC (Application Specific Integrated Circuit). Pour faire office d'horloge, un simple circuit comportant une résistance et une capacité convient donc, bien qu'une fréquence enregistrée dans ce circuit subisse une altération marquée au cours du temps. Il est cependant intéressant d'employer des horloges internes assez stables dans le temps, afin d'éviter une étape finale de réinitialisation. La solution proposée dans le procédé selon l'invention réduit notamment le coût du circuit par rapport à l'utilisation d'un quartz, sans nuire à la précision et à la sécurité d'une séquence de tir.

Un autre avantage procuré par l'emploi d'oscillateurs rudimentaires est qu'ils peuvent être plus résistants aux vibrations, et donc moins fragiles, qu'un quartz.

On peut faire acquérir à l'unité de programmation les paramètres d'identification de deux manières: soit en les rentrant manuellement, soit en laissant l'unité de programmation les calculer automatiquement par incrémentation.

Dans une forme de mise en oeuvre avantageuse, après l'ordre de tir, on réinitialise les horloges internes de l'ensemble des modules. Les horloges internes sont ainsi réinitialisées juste avant une séquence de tir.

Ce mode de mise en oeuvre est nécessaire lorsque les horloges internes ont des fréquences subissant des dérives sensibles au cours du temps. En revanche, si elles sont suffisamment stables, il s'avère optionnel, voire superflu.

Dans un premier mode de mise en oeuvre préféré du procédé de commande selon l'invention, lors du calibrage de l'horloge interne de chaque module, on calcule avec l'unité de commande de tir un temps de retard corrigé, ce temps de retard étant envoyé au module.

Dans un second mode de mise en oeuvre préféré du procédé de commande selon l'invention, chaque module

comportant une unité de traitement, lors du calibrage de l'horloge interne de ce module, on envoie au module avec l'unité de commande de tir la valeur de correction algorithmique de la fréquence locale de son horloge interne, puis on calcule avec l'unité de traitement du module un temps de retard corrigé.

Le support informatique est avantageusement distinct de l'unité de programmation.

Ainsi, un enregistrement préalable des données de tir est possible. Cependant, le support informatique peut aussi être identifié à l'unité de programmation.

Plusieurs tests gagnent à être réalisés au cours du procédé de commande selon l'invention.

Ainsi, après la mémorisation des paramètres spécifiques dans l'unité de commande de tir et avant la mesure des fréquences locales, on teste préférentiellement les modules avec l'unité de commande de tir, en leur demandant simultanément au moins une information et en s'adressant individuellement à chaque module par ses paramètres d'identification pour recueillir cette information.

De plus, avant de mémoriser les paramètres d'identification dans chaque module, on teste de préférence les fonctionnalités électronique et pyrotechnique du détonateur associé.

Un test supplémentaire est avantageusement effectué à la suite de l'envoi aux modules d'un ordre de tir, avant la réinitialisation de leurs horloges internes: chaque module envoie alors en retour à l'unité de commande de tir une confirmation de son état prêt à une mise à feu.

L'invention a également pour objet un ensemble codé de commande de tir comportant des détonateurs à module d'allumage électronique, chaque module d'allumage étant associé à des paramètres spécifiques comprenant au moins un paramètre d'identification et un temps de retard d'explosion du

détonateur correspondant lors d'une séquence de tir, ce module d'allumage comportant:

- 5 - une capacité de tir destinée, après chargement, à se décharger dans une tête d'amorce du détonateur pour produire une mise à feu,
- une capacité batterie assurant une autonomie momentanée de fonctionnement,
- une horloge interne rudimentaire ayant une fréquence locale,
- 10 - une mémoire d'identification non volatile destinée à stocker les paramètres d'identification.

L'ensemble codé comporte également:

- 15 - une unité de programmation apte à acquérir les paramètres spécifiques des modules et à mémoriser les paramètres d'identification dans les modules correspondants,
- une unité de commande de tir munie d'une base de temps de référence et d'une mémoire pouvant recevoir les paramètres spécifiques des modules, cette unité de commande de tir pouvant être reliée électriquement en ligne aux modules et dialoguer avec eux, en particulier en envoyant aux modules ayant reçu de l'unité de programmation leurs paramètres d'identification, les temps de retard associés, en mesurant les fréquences locales de leurs horloges internes au moyen de la base de temps de référence, en calibrant ces horloges internes et en envoyant aux modules un ordre de tir déclenchant une séquence de tir.
- 20
- 25

Selon l'invention, l'unité de commande de tir et les modules comprennent des moyens de calibrage permettant de calibrer les horloges internes par rapport à la base de temps de référence après mémorisation des paramètres spécifiques dans l'unité de commande de tir.

- 30

Dans un mode avantageux de réalisation, les modules comportent des moyens de réinitialisation de leurs horloges internes à la suite d'un ordre de tir envoyé par l'unité de commande de tir.

- 35

L'ensemble codé comportant une liaison électrique entre chaque module et la tête d'amorce du détonateur associé, et ce module étant capable d'envoyer dans cette tête d'amorce par la liaison électrique un courant provoquant une mise à feu, il est intéressant que les têtes d'amorce comportent des ponts conducteurs ou semi-conducteurs.

L'invention concerne aussi un module d'allumage de détonateur à charge pyrotechnique comportant un circuit d'alimentation comprenant notamment une capacité batterie assurant une autonomie momentanée de fonctionnement, une interface de communication, un circuit de gestion de la charge pyrotechnique comprenant notamment une capacité de tir destinée, après chargement, à se décharger dans une tête d'amorce du détonateur, ainsi qu'une unité logique de gestion de l'ensemble du module. Cette unité logique comprend une mémoire d'identification non volatile destinée à recevoir au moins un paramètre d'identification non volatile du module et une horloge interne rudimentaire ayant une fréquence locale.

Le module d'allumage selon l'invention est original en ce qu'il comprend une mémoire de calibrage permettant de recevoir une valeur de calibrage de l'horloge interne par rapport à une base de temps de référence, en provenance d'une unité de commande de tir apte à envoyer au module un ordre de tir.

Dans une forme avantageuse de réalisation, le module selon l'invention comprend des moyens de réinitialisation de l'horloge interne à un état calibré et l'unité logique comprend une commande de réinitialisation activant les moyens de réinitialisation lors d'un ordre de tir.

Dans un mode de réalisation préféré du module d'allumage selon l'invention, il comprend un circuit intégré personnalisé du type ASIC, la capacité de tir, la capacité batterie, un transistor de puissance et un moyen de protection contre des décharges électrostatiques.

Ce moyen de protection est avantageusement constitué par un élément dénommé transil.

Les circuits ASIC permettent à la fois une miniaturisation et une faible consommation.

5 La présente invention va maintenant être illustrée sans être aucunement limitée par des exemples de réalisation, en référence aux dessins annexés, sur lesquels:

10 La Figure 1 est une représentation schématique d'un détonateur équipé d'un module d'allumage à retard électronique intégré conforme à un mode de réalisation et de mise en oeuvre de l'invention.

15 Les Figures 2A, 2B et 2C sont des représentations schématiques d'un ensemble de tir comportant des détonateurs montés en parallèle, du type de celui représenté sur la Figure 1, faisant apparaître des circuits de communication établis respectivement lors de la programmation d'un détonateur, du transfert d'informations de l'unité de programmation vers l'unité de commande de tir et lors d'une séquence de mise à feu d'une volée de détonateur.

20 La Figure 3 est une représentation d'ensemble d'un module d'allumage conforme à l'invention.

La Figure 4 représente l'architecture de principe d'un module d'allumage conforme à l'invention.

25 La Figure 5 est une représentation sous forme de schéma-bloc du module d'allumage de la Figure 4.

La Figure 6 est une représentation du circuit de gestion de la charge pyrotechnique du module d'allumage de la Figure 4.

30 Le détonateur 1 à module d'allumage électronique décrit, représenté sur la Figure 1, comporte un étui 2 servant de boîtier et dont le corps à une forme cylindrique allongée terminée à une de ses extrémités par un fond 3. A son autre extrémité, cet étui 2 est obturé par un bouchon également allongé 4, les parois de l'étui 2 étant solidaires du bouchon

4 par l'intermédiaire d'un sertissage 5. L'étui 2 est en alliage d'aluminium, le bouchon 4 étant en PVC standard.

L'extrémité 3 de l'étui 2 est associée à un opercule 6 en aluminium comportant un fond 7 disposé selon une section droite de l'étui 2 et bordé par une jupe 8 cylindrique s'étendant du fond 7 de l'opercule 6 vers le fond 3 de l'étui 2. Les parois externes de la jupe 8 épousent sensiblement les parois internes de l'étui 2. Le fond 7 de cet opercule 6 est traversé dans son épaisseur par un alésage 9 dont le contour est un cercle centré sur l'axe de l'étui 2. Cet opercule 6 délimite avec le fond 3 et les parois du corps de l'étui 2 une chambre 10 contenant, en son intérieur, une charge 11 telle que de la penthrite, cette charge 11 étant complétée par un mélange amorçant 12 disposé dans la chambre 10 au niveau de l'opercule 6. Les proportions de penthrite et de mélange amorçant sont respectivement de 0,6 g et de 0,2 g.

Du côté de l'opercule 6 qui est opposée à la chambre 10, est disposée une tête d'amorce 13 s'étendant axialement dans l'étui 2 et protégée par une enveloppe cylindrique 14. Cette tête d'amorce 13 est directement reliée à un module d'allumage électronique 15 disposé dans l'étui 2 entre l'enveloppe 14 et le bouchon 4. Ce module électronique 15 est alimenté à son extrémité, au niveau du bouchon 4, par deux fils gainés 16a et 16b qui traversent le bouchon 4 dans sa hauteur et relient le module 15 à un circuit d'allumage (non représenté).

Avantageusement, la tête d'amorce de l'exemple de réalisation, représentée sur la Figure 1, peut être remplacée par une tête d'amorce comprenant un pont conducteur ou semi-conducteur.

Un courant circulant dans la tête d'amorce 13 ayant une intensité supérieure à un seuil de fonctionnement, initie la tête d'amorce 13 et excite la charge 12 par l'ouverture 9 à travers l'opercule 6. Cette excitation déclenche la détonation.

Un ensemble de tir peut être constitué à partir de détonateurs 1 identiques à celui présenté précédemment. Cet ensemble de tir, visible sur les Figures 2B et 2C, comprend un nombre quelconque de détonateurs 1, dont les modules d'allumage 15 sont montés en ligne selon un réseau parallèle avec une unité de commande de tir 17, appelée aussi "console de tir".

De préférence, les détonateurs 1 et leurs modules d'allumage 15 sont en fabrication tous identiques et codés. Ils ne sont individualisés que sur site au moment de leur programmation. La réalisation de l'ensemble de tir est ainsi facilitée.

Les modules d'allumage 15 sont non polarisés. Ils peuvent être utilisés en nombre important en montage parallèle, jusqu'à 200 et plus, sans qu'il en résulte des problèmes qui pourraient être dus à un courant de ligne trop important.

Les modules 15 sont aptes à dialoguer avec la console de tir 17, qui peut leur transmettre des ordres et recevoir d'eux des informations.

L'ensemble de tir comprend également une unité de programmation 18, également appelée "console de programmation". Celle-ci est destinée à programmer chacun des modules 15 avant ou après sa mise en place dans un trou. Elle peut également être utilisée pour transférer des informations sur des séquences de tir dans la console de tir 17.

Trois configurations peuvent être envisagées pour les connexions entre détonateurs 1, console de tir 17, et console de programmation 18.

Dans une première configuration, représentée sur la Figure 2A, la console de programmation 18 est connectée successivement à chacun des détonateurs 1. Cette première configuration correspond à une première étape, pendant laquelle les modules 15 sont programmés par la console de programmation 18.

Dans une deuxième configuration, représentée sur la Figure 2B, la console de programmation 18 est connectée à la console de tir 17, tandis que la liaison entre les détonateurs 1 et la console de tir 17 est désactivée.

5 Cette deuxième configuration correspond à une deuxième étape, pendant laquelle on transfère de la console de programmation 18 vers la console de tir 17, des informations concernant les détonateurs 1 et utilisables dans une ou plusieurs séquences de tir ultérieures.

10 Dans la troisième configuration, représentée sur la Figure 2C, la console de programmation 18 et les détonateurs 1 sont connectés à la console de tir 17, les modules 15 des détonateurs 1 étant reliés à la console de tir 17 par une ligne de tir 50. Cette troisième configuration correspond à
15 une troisième étape, pendant laquelle la console de tir 17 est susceptible de communiquer avec les modules 15, puis à une étape finale, lors de laquelle la console de tir 17 peut gérer une procédure de tir et une mise à feu des détonateurs 1 connectés sur la ligne de tir 50.

20 La console de tir 17 et les modules d'allumage 15 échangent des informations par l'intermédiaire de messages binaires codés. La ligne de tir 50 étant bifilaire, la console de tir 17 et les modules d'allumage 15 doivent être tolérant aux dégradations que peuvent subir des signaux électriques
25 lors de leur transit sur cette ligne 50. Les messages transmis aux modules sont codés sous la forme de mots de quatre bits.

La console de tir 17 sert également à alimenter les modules d'allumage 15. Cette alimentation constitue la source d'énergie susceptible de déclencher une mise à feu. De la
30 sorte, les modules d'allumage 15 ne présentent pas de risque de déclenchement intempestif en dehors de séquences de tir.

Les consoles de tir 17 et de programmation 18 sont de structures voisines et diffèrent principalement par leur fonctionnalité, et donc par les logiciels de gestion auxquels
35 elles sont associées.

Chaque console comprend:

- 5 - une unité logique organisée autour d'un micro-contrôleur, par exemple du type de celui commercialisé par la société MOTOROLA sous la dénomination 68 HC 11, et qui intègre 512 octets de mémoires EEPROM permettant de stocker de manière non volatile certains paramètres de fonctionnement, une mémoire vive RAM, un réseau d'entrée et de sortie, une communication de type RS 232 pour permettre aux consoles de tir 17 et de programmation 18 de dialoguer ensemble,
- 10 - un afficheur à cristaux liquides lumineux,
- une alimentation qui fournit une tension de ± 5 volts à l'unité logique et de ± 18 volts à l'interface ligne, la tension amont nécessaire étant de 18 volts,
- 15 - une interface ligne constituée de deux sous-systèmes, dont une partie émission qui est une alimentation stabilisée pouvant commuter pour délivrer + 12 ou + 6 volts, et une partie réception qui mesure le courant consommé sur la ligne et qui détecte des surconsommations transitoires des modules d'allumage 15,
- 20 - une base de temps de référence, comprenant typiquement un quartz qui la pilote.

Chacun des modules d'allumage 15 est associé à trois paramètres spécifiques. Deux de ces paramètres spécifiques sont des paramètres d'identification du module 15. Plusieurs séquences de tir ayant lieu successivement et impliquant chacune une partie des détonateurs 1, ces deux paramètres d'identification comprennent un numéro de carte de tir représentatif de la séquence de tir concernée, et un numéro d'ordre désignant le module 15 dans le cadre de cette séquence. Le troisième paramètre spécifique est un temps de retard d'explosion du détonateur 1 correspondant au module 15 au cours de la séquence de tir.

Les modules 15 sont susceptibles de recevoir deux types de messages: une commande, ou une information stockable, cette information pouvant consister en particulier en l'un des

paramètres spécifiques du module 15. Toute réception d'une information stockable est précédée par la réception d'une commande appropriée, de telle sorte que le module d'allumage sait systématiquement quel type d'information va lui être transmise.

5 La console de tir 17 comprend quatre touches actionnables par un utilisateur pour activer respectivement quatre fonctions. Ces quatre touches déclenchent respectivement un test des modules d'allumage 15, un armement des détonateurs 1, une séquence de tir, et une annulation de la séquence de tir. Une cinquième fonction de la console de tir 17, automatiquement activée consiste en un transfert automatique des données vers la console de tir 17, depuis la console de programmation 18 ou un support informatique interne ou externe. Deux voyants, un vert et un rouge, sont également prévus pour servir de témoins lors d'un test des modules 15. Le voyant vert est destiné à s'allumer en situation normale, et le voyant rouge en cas de problème.

10 La console de tir 17 est avantageusement munie d'une carte magnétique autorisant son utilisation.

La console de programmation 18 comprend un clavier de 12 touches alphanumériques, permettant en particulier d'entrer les paramètres spécifiques des modules 15. Elle comprend également un bouton-poussoir permettant de basculer entre deux procédures de programmation. Dans une première de ces procédures, dite procédure manuelle, l'opérateur programme directement sur le clavier les temps de retard, tandis que dans la seconde procédure, dite procédure automatique ces temps sont stockés séparément sur le support informatique interne ou externe à la console de tir 17.

25 La console de programmation 18 dispose de six fonctions. La première de ces fonctions consiste en la programmation ou la reprogrammation d'un des modules d'allumage 15, par un enregistrement de ses paramètres d'identification, et éventuellement de son temps de retard, en

30

35

mémoire de ce module 15. Une seconde fonction de la console de programmation 18 est le stockage des paramètres spécifiques dans sa propre mémoire. Une troisième fonction consiste en un test de l'un quelconque des modules d'allumage 15. Une
5 quatrième fonction est un effacement de l'écran de la console de programmation 18. Une cinquième fonction consiste à lire le contenu de la mémoire de l'un quelconque des modules d'allumage 15 programmé. La sixième fonction est constituée par un transfert vers la console de tir 17 de l'ensemble des
10 paramètres spécifiques enregistrés dans les modules 15.

Les modules d'allumage 15 comprennent des circuits intégrés spécifiques, couramment dénommés ASIC (Application Specific Integrated Circuit). Chacun des modules d'allumage 15 comprend également une ou plusieurs capacités réservoirs, un
15 transistor de puissance et un transil. Un module d'allumage 15, tel qu'il est représenté schématiquement sur la Figure 3, comprend quatre sous-systèmes: un circuit de gestion 300 de la charge pyrotechnique, une interface de communication 301, un circuit d'alimentation 302, et une unité logique 303 de
20 gestion de l'ensemble du microsystème.

Certaines caractéristiques des signaux transmis sur les lignes ont été précisées sur les Figures 4 à 6 en référence à ces lignes.

Le circuit d'alimentation 302, tel qu'il apparaît sur
25 les Figures 4 et 5, comprend un pont redresseur 40 double alternance à diodes, qui fournit une tension continue Valim à partir de la tension continue provenant de la ligne de tir 50.

Une détection logique affranchit le module d'allumage
15 de toute polarisation. La tension Valim est nominalement
30 comprise entre 8V et 15 V.

Le circuit d'alimentation 302 comporte également une capacité batterie 41 de 100 μ F ayant une tension nominale de 16 V, assurant le lissage de la tension continue et constituant un réservoir énergétique permettant à l'ensemble

du microsystème de fonctionner pendant quelques secondes lorsqu'il n'est plus alimenté par la ligne de tir 50.

Un régulateur 42 est prévu pour produire une tension de fonctionnement V_{cc} continue et égale à 3 V, destinée à
5 alimenter l'ensemble des blocs basse tension du module d'allumage 15. Ce régulateur 42 est relié au pont redresseur 40 dont il reçoit une tension d'alimentation, ainsi qu'à la capacité batterie 41. Le régulateur 42 comporte une référence de tension et une boucle de réglage comprenant un
10 amplificateur opérationnel. La référence de tension est de type à barrière de potentiel (band-gap voltage reference) et fournit une tension de référence stable à 1,20 V. L'amplificateur opérationnel reçoit la tension de référence par une entrée de consigne et la tension d'alimentation par
15 une entrée d'alimentation, et compare une fraction de la tension d'alimentation à la tension de 3 V souhaitée.

Le circuit d'alimentation 302 comporte un circuit d'entrée 32 relié à l'unité logique 303 par une ligne d'entrée 58 et une ligne de commande 69.

20 La ligne de tension V_{cc} est reliée à une capacité 53 de 100 nF.

L'interface de communication 301, visible sur la Figure 4, comprend le circuit d'entrée 32 qui joue le rôle de sous-ensemble récepteur, ainsi qu'un sous-ensemble émetteur 33. Ce
25 dernier comprend essentiellement un transistor, dont la grille est reliée à l'unité logique 303 par une ligne de sortie 59, le drain au circuit de gestion 300 par une ligne de tête d'amorce 57, et la source à la terre.

Le circuit de gestion 300 de la charge pyrotechnique a
30 été représenté plus particulièrement sur la Figure 6. Il gère la capacité de tir du module d'allumage 15, ainsi que la commande d'un transistor DMOS référencé 56, externe au circuit de gestion 300, et servant à déclencher une mise à feu.

Le transistor 56 a son drain relié à la tête d'amorce
35 13 et sa source à la terre. Sa grille est commandée par une

ligne de mise à feu 62 provenant de l'unité logique 303, par l'intermédiaire de deux transistors 74 et 79. Le transistor 74 a sa grille reliée à la ligne 62, sa source à la terre et son drain à la grille du transistor 79, ainsi qu'à la tension Valim en parallèle, une résistance 77 de 4 M Ω étant interposée entre le drain et la tension Valim. Le transistor 79 a quant à lui son drain relié à la tension Valim, et sa source à la grille du transistor 56, ainsi qu'à la terre par l'intermédiaire d'une résistance 78 de 50 k Ω .

10 Une diode 84 est disposée de la terre vers la grille du transistor 56, et une diode 83 de la terre vers la borne de la tête d'amorce 13 autre que celle reliée au transistor 56.

De plus, une capacité de découplage 82 peut être connectée entre la grille et la source du transistor 56.

15 Le circuit de gestion 300 permet de charger une capacité de tir 29 de 220 μ F à sa tension nominale de 16 V.

Il est alimentée par la ligne de tête d'amorce 57 recevant une tension redressée Vtam à partir de la ligne de tir 50. La tension Vtam a une valeur nominale comprise entre 20 11 V et 16 V.

La capacité de tir 29 a une première armature 191 directement reliée à la terre, et sa seconde armature 192 est reliée à la terre par l'intermédiaire d'une résistance 20 de 400 Ω et d'un transistor MOS référencé 30. La grille du transistor 30 étant commandée par l'unité logique 303 au moyen d'un ligne de décharge 63, la capacité de tir 29 peut être déchargée rapidement à travers la résistance 20 lorsqu'une commande de décharge est envoyée au module d'allumage 15 ou lorsqu'une défaillance d'alimentation apparaît. Typiquement, 25 cette décharge peut être effectuée en 300 ms. La seconde armature 192 est également reliée à la tête d'amorce 13.

L'armement du module d'allumage 15 est effectuée par l'intermédiaire d'une ligne de charge 64 provenant de l'unité logique 303. Cette ligne de charge 64 aboutit à la grille d'un transistor 70 du circuit de gestion 300, dont la source est 35

reliée à la terre et le drain à la seconde armature 192 de la capacité de tir 29 à travers une résistance 71 de 193 k Ω et une résistance 22 de 1700 k Ω .

5 La seconde armature 192 de la capacité de tir 29 est aussi reliée à la terre par l'intermédiaire de la résistance 22 et d'une résistance 23 égale à 1700 k Ω . Quelle que soit la défaillance de l'ensemble du microsysteme, la capacité de tir 29 est toujours autodéchargée lors d'une coupure de tension d'alimentation, cette sécurité étant assurée par les
10 résistances 22 et 23.

Le circuit de gestion 300 comporte une boucle de réglage 24 comprenant un amplificateur opérationnel 26 et une référence de tension 27. La référence de tension 27, provenant d'un PTAT, fournit une tension de référence stable à 1,20 V.
15 L'amplificateur opérationnel 26 a une entrée de consigne reliée à la référence de tension 27, et une entrée d'alimentation reliée à la seconde armature 192 de la capacité de tir 29, via la résistance 22.

La sortie de l'amplificateur opérationnel 26 est
20 branchée à une ligne de comparaison 65 conduisant à l'unité logique 303. Elle est également connectée à une première entrée d'une porte NOR 72, comprenant deux autres entrées. La deuxième entrée de la porte NOR 72 reçoit des informations de la ligne de charge 64 via une porte NOR 73, cette porte ayant
25 une seconde entrée reliée à une ligne 67 de test de charge. La troisième entrée reçoit des signaux d'horloge en provenance de l'unité logique 303 par une ligne de pompage de charge 66, à une fréquence de 64 kHz.

La sortie de la porte NOR 72 conduit à un dispositif 25
30 à pompage de charges nécessitant, pour atteindre la pleine tension, de nombreuses impulsions d'horloge provenant de l'unité logique 303 par la ligne 66.

Ce dispositif 25 est alimenté par la ligne de tête d'amorce 57 à la tension V_{tam} et à deux sorties. La première
35 de ces sorties est reliée à la seconde armature 192 de la

capacité de tir 29, tandis que la seconde est reliée au drain d'un transistor 75 par une résistance 76 de 50 k Ω . Le transistor 75 a sa grille commandée par la ligne de décharge 63 et sa source reliée à la terre.

5 En fonctionnement, des signaux sont envoyés à la fréquence de 64 kHz à la porte NOR 72 par la ligne de pompage de charge 66. En l'absence d'un ordre de charge, la sortie de la porte NOR 72 vaut 0, si bien que la capacité de tir 29 n'est pas alimentée par la ligne de tête d'amorce 57.
10 Lorsqu'un ordre de charge est donné au moyen de la ligne de charge 64, la sortie de la porte NOR 72 produit la valeur 1 à une fréquence de 64 kHz, tant que la sortie de l'amplificateur opérationnel 26 n'indique pas l'égalité entre la tension nominale imposée au moyen de la référence de tension 27, et la
15 tension effective aux bornes de la capacité de tir 29. La grille du transistor 28 est ainsi activée, et la tension V_{tam} assure la charge de la capacité de tir 29. Une fois la tension nominale atteinte, la sortie de l'amplificateur opérationnel 26 vaut 0, de sorte que la sortie de la porte NOR 72 vaut 0 et
20 que l'alimentation de la capacité de tir 29 est interrompue.

La boucle de réglage 24 assure ainsi la stabilité de la tension nominale de la capacité de tir 29, quelle que soit la valeur de la tension V_{tam} comprise entre 11 V et 16 V.

25 Lors d'un ordre de décharge envoyé par la ligne de décharge 63, la grille du transistor 75 est activée et la capacité de tir 29 se décharge à travers le circuit de décharge.

30 Un mode test est prévu pour charger la capacité de tir 29 à une tension nominale de 2,4 V. L'entrée dans ce mode s'effectue par activation d'une variable charge test dans l'unité logique 303. Le processeur peut alors, en testant la sortie de l'amplificateur opérationnel 26, vérifier que la durée de charge de la capacité de tir 29 est comprise dans une fourchette acceptable.

L'unité logique 303 qui assure la gestion de chaque module d'allumage 15, détaillée sur le schéma bloc de la Figure 5, gère les communications avec la ligne de tir 50 ainsi que les commandes de la charge pyrotechnique. Elle comprend en particulier une unité de commande 45 essentiellement digitale ou CPU (central processing unit), composée d'un microprocesseur 48 à quatre bits, d'une mémoire ROM référencée 43 de 2048 mots de 16 bits contenant le programme d'application, d'un registre à décalage 44 de test, et de différents blocs périphériques. Chacun de ces périphériques est en relation avec l'un des blocs analogiques du module d'allumage 15, dont il assure le fonctionnement sous contrôle du logiciel.

L'unité logique 303 comprend également un ensemble 46 de registres ou register bank, destiné à des stockages provisoires d'informations numérisées, et une horloge interne 49.

Toutes les informations non volatiles nécessaires au fonctionnement du module d'allumage 15 sont stockées dans une mémoire EEPROM référencée 47 organisée en huit mots de 4 bits, cette mémoire EEPROM étant gérée par l'unité de commande 45 au moyen d'un microcontrôleur de mémoire 35. La mémoire 47 est destinée en particulier à recevoir les paramètres d'identification du module d'allumage 15 dans la ligne de tir 50, un mot de réglage de l'horloge interne 49 de l'unité logique 303, et un délai de mise à feu.

Le microprocesseur 48 de l'unité de commande 45 est respectivement raccordé au circuit de gestion 300, à l'horloge interne 49 et aux sous-ensembles récepteur 32 et émetteur 33 de l'interface de communication 301, par des microcontrôleurs 36, 37 et 38.

L'horloge interne 49 de l'unité logique 303 comporte un oscillateur double rampe fournissant un signal de valeur nominale 1 MHz, mais qui peut en pratique avoir une fréquence située entre 500 kHz et 2 MHz à cause de dispersions

technologiques. Afin de se placer dans des conditions industrielles optimales, l'oscillateur de l'horloge interne 49 est composé d'un simple circuit RC en technologie ASIC.

L'horloge interne 49 comporte également un dispositif
5 logique divisant la fréquence produite par l'oscillateur par un coefficient de réglage, de façon à générer une première fréquence de sortie d'environ 64 kHz à 20% près. Cette première fréquence de sortie, qui est la fréquence locale de l'horloge interne 49, est envoyée à l'unité de commande 45 par
10 une ligne 68 de fréquence locale. L'ajustage du coefficient s'effectue une fois pour toute au montage du module d'allumage 15 par une commande écrivant dans la mémoire EEPROM 47 le coefficient de réglage. Des fluctuations de température entre - 10°C et 40°C font dériver cette première fréquence de sortie
15 de 10% au maximum par rapport à une valeur fixée à 20°C.

La ligne 68 de fréquence locale parvient au microprocesseur 48 par le biais d'un comparateur de fréquence 81, dont une première entrée est la ligne 68, une seconde entrée est une ligne 61 d'horloge extérieure, et la sortie est
20 connectée au microprocesseur 48. Le comparateur 81 est destiné à permettre un calibrage de l'horloge interne 49, la ligne 61 étant reliée à la base de temps de référence de la console de tir 17.

L'horloge interne 49 permet également de produire une
25 deuxième fréquence de sortie de 500 kHz pour travailler avec la mémoire EEPROM 47, par le biais d'un diviseur de fréquence 54. Cette deuxième fréquence de sortie est destinée à être envoyée à un tripleur de tension 55, relié au circuit d'alimentation 302.

30 L'horloge interne 49 fournit aussi une troisième fréquence de sortie de 16 kHz au circuit de gestion 300.

Les tolérances sur les valeurs RC étant de plus ou moins 10%, on peut admettre que les fréquences locales des horloges internes des modules 15 présentent typiquement des
35 incertitudes de l'ordre de plus ou moins 20%. Cette plage

d'incertitude est centrée sur la valeur souhaitée, de 64 kHz, lors d'un ajustement en usine.

Cependant, un calibrage individualisé des horloges internes avant une séquence de tir par rapport à la base de temps de la console de tir 17, permet de remédier à ces incertitudes.

L'unité logique 303 comporte également un circuit POR (Power-on Reset) référencé 51, relié au microprocesseur 48 par l'intermédiaire du microcontrôleur 37. Le circuit POR 51 produit lors d'une mise sous tension du module d'allumage 15 une impulsion d'initialisation permettant de générer un signal d'initialisation de l'unité de commande 45 et de diverses variables de commande. Cette impulsion d'initialisation apparaît lors d'une montée ou d'une descente de la tension d'alimentation normalement égale à 3 V. De ce fait, le module d'allumage 15 produit également un signal d'initialisation lorsque la tension d'alimentation tombe au-dessous d'un seuil de fonctionnement correct. Lors d'une initialisation, la capacité de tir 29 est automatiquement déchargée. Cette propriété garantit l'absence de mise à feu intempestive en cas de coupure accidentelle d'alimentation.

En ce qui concerne ses relations, schématisées sur la Figure 4, avec les éléments extérieurs, l'unité logique 303 est reliée au circuit d'entrée 32 par la ligne d'entrée 58 et la ligne de commande 69.

Les connexions entre l'unité logique 303 et le circuit de gestion 300 comprennent les lignes de mise à feu 62, de décharge 63, de charge 64, de comparaison 65 et de pompage de charge 66.

L'unité logique est également reliée à une plage de connexions de test 80 (test pads), qui font office de points de contrôle du circuit lors de sa fabrication.

L'ensemble de ces liaisons sont effectuées avec l'unité de commande 45.

En fonctionnement, on distinguera les deux procédures manuelle et automatique.

En procédure manuelle, l'opérateur programme sur le clavier de la console de programmation 18 les temps de retard
5 désirés, en millisecondes. Ces temps de retard sont compris entre 1 et 3000 millisecondes, voire davantage, et définis avec un pas de 1 milliseconde. Les temps de retard peuvent être choisis librement par l'opérateur et peuvent être par exemple identiques pour deux ou plus de deux modules 15.

10 Successivement, pour chacun des modules 15, l'ensemble des opérations suivantes est effectué. La console 18 est connectée au module 15, comme ceci apparaît sur la Figure 2A. L'opérateur entre alors le temps de retard correspondant, puis le valide en appuyant sur une touche de validation du clavier
15 alphanumérique. La console 18 envoie alors au module d'allumage 15 un ordre de programmation.

Cet ordre de programmation se décompose en deux temps: le premier consiste en un test des fonctionnalités des parties électronique et pyrotechnique du détonateur 1 associé, et le
20 deuxième temps consiste en une écriture effective des paramètres d'identification dans la mémoire non volatile du module 15, et des paramètres spécifiques dans des mémoires EEPROM de la console de programmation 18.

Les deux paramètres d'identification, numéro de carte
25 de tir et numéro d'ordre, sont déterminés automatiquement par la console de programmation 18 en fonction du numéro de carte de tir courant et de l'ordre de programmation effectué. Avantagement, la console de programmation 18 incrémente automatiquement le numéro d'ordre après chaque programmation,
30 et le numéro de carte de tir après chaque séquence de tir.

En variante, l'opérateur a la possibilité de choisir lui-même les deux paramètres d'identification.

La fonction effacement de la console de programmation 18 est utilisée si l'opérateur s'est trompé dans l'opération
35 de saisie du temps de retard.

L'écriture effective des paramètres est assujettie à la réussite du test effectué.

Après que l'ensemble des modules 15 utilisés dans la séquence de tir a été programmé, la console de programmation 5 18 est connectée à la console de tir 17, comme représentée sur la Figure 2B.

Le raccordement des consoles de tir 17 et de programmation 18 n'est autorisé qu'après introduction de la carte magnétique appropriée. Tout autre organe de sécurité 10 peut également être employé pour autoriser ce raccordement.

Les paramètres spécifiques des modules 15, stockés dans la console de programmation 18 sont alors automatiquement transférés à la console de tir 17 lors de la connexion entre les deux consoles 17 et 18, par la fonction transfert prévue 15 sur la console de programmation 18. Ce transfert est réalisé au moyen de la communication de type RS 232. Les paramètres spécifiques sont stockés dans des mémoires EEPROM de la console de tir 17.

Une fois l'ensemble des paramètres spécifiques transférés dans la console de tir 17, la ligne de tir 50 50 reliant la console de tir 17 aux détonateurs 1 est activée, comme ceci apparaît sur la Figure 2C. La console de tir 17 effectue alors automatiquement un test des modules d'allumage 15 en ligne. Elle attend ensuite le temps nécessaire à la 25 réalisation de cet ordre de test par tous les modules 15, puis interroge individuellement chacun des modules 15 par ses paramètres d'identification. Chaque module 15 envoie successivement le résultat du test sous forme d'une information binaire relative à son état de fonctionnement: 30 informations du type "module correct" ou "module incorrect". Cette information peut être éventuellement plus compliquée.

Après ce test effectué par la console de tir 17, pour chacun des modules 15, la fréquence locale de l'horloge interne 49 du module 15 est mesurée et comparée à la base de 35 temps de référence de la console de tir 17. La console de tir

17 calcule alors une valeur de correction algorithmique qu'elle enregistre dans une mémoire EEPROM du module 15. Le temps de retard associé au module 15 est ensuite également envoyé à ce module 15 par la console de tir 17. Le module 15
5 en déduit une valeur de décompte permettant d'obtenir le temps réel de retard voulu.

Dans une variante, les temps réels de retard sont calculés par la console de tir 17 et directement envoyés aux modules 15.

10 Après le test et le calibrage des modules 15, et l'enregistrement des temps de retard, l'opérateur donne un ordre d'armement avec la touche correspondante. Les capacités de tir 29 des modules d'allumage 15 sont alors chargées. Un message valide la réalisation de cette opération.

15 A tout moment, l'opérateur a la possibilité d'annuler le tir en donnant l'ordre aux modules d'allumage 15 de décharger leurs capacités de tir 29, par l'utilisation de la touche annulation de la console de tir 17.

20 Après armement, l'opérateur peut ordonner une mise à feu avec la touche de tir. L'activation de cette touche provoque les opérations suivantes.

Tout d'abord, il est avantageux qu'un test soit prévu pour que les modules 15 répondent individuellement à la console de tir 17 pour confirmer qu'ils sont prêts à une mise
25 à feu.

Une fois cette validation faite, la ligne de tir 50 peut être coupée, la batterie autonome de chaque module 15, sous forme de la capacité batterie 41, se mettant en route.

30 L'unité logique 303 peut alors commander avantageusement une réinitialisation de l'horloge interne 49, qui la reconfigure à son état calibré précédemment par la console de tir 17 au moyen de la base de temps de référence. Aussitôt après, elle déclenche le décompte du temps de retard corrigé, déterminant l'instant de la mise à feu. La séquence
35 de tir est ainsi mise en route pour l'ensemble des modules 15.

A titre purement illustratif, pour 200 modules 15, les étapes de test, calibrage et programmation durent une dizaine de minutes, et le chargement des capacités de tir 29, environ 5 minutes. Une séquence de tir est par exemple déclenchée une
5 demi-heure après la programmation des modules 15, cette séquence de tir s'étalant sur une dizaine de secondes.

Les horloges internes 49 rudimentaires sont parfaitement adaptées à ces opérations, même sans réinitialisation. En effet, les circuits ASIC bénéficient
10 d'une bonne protection thermique, qui les rend peu sensibles à la demi-heure écoulée entre la programmation et la séquence de tir. Les fréquences locales des horloges internes ont ainsi la propriété d'être stables au cours du temps.

Dans le mode optionnel de mise en oeuvre avec réinitialisation, les horloges internes 49 sont de plus
15 reconfigurées précisément à l'état calibré. Les oscillateurs employés sont alors très stables pendant la dizaine de secondes séparant, au maximum, la réinitialisation et la mise à feu.

Dans la procédure automatique, l'opérateur ne programme
20 pas les temps de retard mais se contente d'appuyer sur la touche de validation de la console de programmation 18. Pour chaque module 15, la console de programmation 18 effectue un test du module 15, puis stocke dans la mémoire de ce dernier
25 ses paramètres d'identification en cas d'informations satisfaisantes au test, comme dans la procédure manuelle.

La procédure automatique diffère de la procédure manuelle en ce que les paramètres spécifiques des modules 15 sont transférés à la console de tir 17 non pas par la console
30 de programmation 18, mais par le support informatique interne ou externe à la console de tir 17. Ce support informatique peut typiquement être une disquette ou une cassette, la console de tir 17 étant alors pourvue d'un lecteur correspondant. Il peut aussi consister en une mémoire interne

à la console de tir 17. La suite de la procédure automatique est identique à celle manuelle.

5 En variante, en procédure manuelle ou automatique, la console de tir 17 est apte à détecter la présence sur la ligne de tir 50 de tout module d'allumage 15 non programmé par la console de programmation 18. Dans une autre variante, la console de tir 17 est apte à traiter des informations provenant simultanément de plusieurs consoles de programmation 18.

10 De nombreuses procédures de sécurité sont prévues. L'accès aux consoles de tir 17 et de programmation 18 suppose que l'opérateur soit muni de codes de reconnaissance. Les consoles 17 et 18 et les modules 15 peuvent être personnalisés avant la sortie d'usine.

15 Avantageusement, la console de tir 17 ne peut exécuter une mise à feu que si elle est physiquement connectée, au moment d'un tir, à la ou les consoles de programmation 18 utilisées pour programmer les modules d'allumage 15 concernés par la séquence de tir. Cette mesure accroît la sécurité du dispositif.

20 Il peut ainsi être prévu une reconnaissance entre les consoles de tir 17 et de programmation 18. En cas de vol notamment, un opérateur n'a alors la possibilité d'utiliser une console de tir 17 pour mettre à feu des modules 15 que si
25 cette console de tir 17 correspond à la console de programmation 18 ayant servi à programmer les modules 15. Une reconnaissance par un code interne de la console de programmation 18 par la console de tir 17 est prévu à cet effet. Si le code n'est pas reconnu, la console de tir 17
30 n'enregistre pas les informations relatives aux temps de retard mémorisés dans la console de programmation 18 et le tir est bloqué.

35 On aura également noté que, bien que l'ensemble de tir ait été prévu pour une programmation sur site, une programmation en usine est également possible.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de commande de détonateurs (1) à module d'allumage (15) électronique, chaque module d'allumage (15) étant associé à des paramètres spécifiques comprenant au moins un paramètre d'identification et un temps de retard d'explosion du détonateur (1) associé, ledit module d'allumage (15) comportant:
- une capacité de tir (29) destinée, après chargement, à se décharger dans une tête d'amorce (13) dudit détonateur (1) pour produire une mise à feu,
 - une capacité batterie (41) assurant une autonomie momentanée de fonctionnement,
 - une horloge interne (49) rudimentaire ayant une fréquence locale,
 - une mémoire (47) d'identification non volatile destinée à stocker lesdits paramètres d'identification, lesdits modules (15) étant aptes à dialoguer avec une unité de commande de tir (17) munie d'une base de temps de référence, et destinée à leur transmettre notamment un ordre de chargement de leurs capacités de tir (29), ainsi qu'un ordre de tir et à recevoir desdits modules (15) une ou des informations relatives à leur état, procédé dans lequel:
 - on mémorise dans au moins un support informatique lesdits paramètres spécifiques,
 - on fait acquérir à au moins une unité de programmation (18) les paramètres d'identification,
 - on mémorise avec l'unité de programmation (18) dans les modules (15) les paramètres d'identification,
 - on mémorise avec le support informatique dans l'unité de commande de tir (17) les paramètres spécifiques,
 - on ordonne aux modules (15) avec l'unité de commande de tir (17) un chargement des capacités de tir (29),
 - on envoie aux modules (15) avec l'unité de commande de tir (17) un ordre de tir déclenchant une séquence de tir synchronisée au moyen desdites fréquences locales, caractérisé

en ce qu'après la mémorisation des paramètres spécifiques dans l'unité de commande de tir (17) et avant le chargement des capacités de tir (29), on effectue avec l'unité de commande de tir (17) pour chaque module (15) successif une mesure de la fréquence locale de l'horloge interne (49) dudit module (15) au moyen de la base de temps de référence, un calibrage de ladite horloge interne (49) qui prend en compte ladite mesure au moyen d'une valeur de correction algorithmique de ladite fréquence locale, et un envoi audit module (15) du temps de retard associé.

2. Procédé de commande selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'après l'ordre de tir, on réinitialise les horloges internes (49) de l'ensemble des modules (15).

3. Procédé de commande selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que lors du calibrage de l'horloge interne (49) de chaque module (15), on calcule avec l'unité de commande de tir (17) un temps de retard corrigé, ledit temps de retard étant envoyé audit module (15).

4. Procédé de commande selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que chaque module (15) comportant une unité de traitement (303) lors du calibrage de l'horloge interne (49) du module, on envoie audit module (15) avec l'unité de commande de tir (17) la valeur de correction algorithmique de la fréquence locale de son horloge interne (49), puis on calcule avec l'unité de traitement (303) dudit module (15) un temps de retard corrigé.

5. Procédé de commande selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le support informatique est distinct de l'unité de programmation (18).

6. Procédé de commande selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'après la mémorisation des paramètres spécifiques dans l'unité de commande de tir (17) et avant la mesure des fréquences locales, on teste lesdits modules (15) avec l'unité de commande de tir (17), en leur demandant simultanément au moins

une information et en s'adressant individuellement à chaque module (15) par ses paramètres d'identification pour recueillir ladite information.

5 7. Procédé de commande selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'avant de mémoriser les paramètres d'identification dans chaque module (15), on teste avec l'unité de programmation (18) les fonctionnalités électronique et pyrotechnique du détonateur (1) associé.

10 8. Ensemble codé de commande de tir comportant des détonateurs (1) à module d'allumage (15) électronique, chaque module d'allumage (15) étant associé à des paramètres spécifiques comprenant au moins un paramètre d'identification et un temps de retard d'explosion du détonateur (1)
15 correspondant lors d'une séquence de tir, ledit module d'allumage (15) comportant:

- une capacité de tir (29) destinée, après chargement, à se décharger dans une tête d'amorce (13) dudit détonateur (1) pour produire une mise à feu,

20 - une capacité batterie (41) assurant une autonomie momentanée de fonctionnement,

- une horloge interne (49) rudimentaire ayant une fréquence locale,

25 - une mémoire (47) d'identification non volatile destinée à stocker lesdits paramètres d'identification, l'ensemble codé comportant également:

30 - une unité de programmation (18) apte à acquérir les paramètres spécifiques des modules (15) et à mémoriser les paramètres d'identification dans les modules (15) correspondants,

35 - une unité de commande de tir (17) munie d'une base de temps de référence et d'une mémoire pouvant recevoir les paramètres spécifiques des modules (15), ladite unité de commande de tir (17) pouvant être reliée électriquement en ligne auxdits modules (15) et dialoguer avec eux, en

particulier en envoyant auxdits modules (15) ayant reçu de l'unité de programmation (18) leurs paramètres d'identification, les temps de retard associés, en mesurant les fréquences locales de leurs horloges internes (49) au
5 moyen de la base de temps de référence, en calibrant lesdites horloges internes (49), et en envoyant auxdits modules (15) un ordre de tir déclenchant une séquence de tir, caractérisé en ce que l'unité de commande de tir (17) et les modules (15) comprennent des moyens de calibrage permettant de
10 calibrer les horloges internes (49) par rapport à la base de temps de référence après mémorisation des paramètres spécifiques dans l'unité de commande de tir.

9. Ensemble codé selon la revendication 8, caractérisé en ce que les modules (15) comportent des moyens de réinitialisation de leurs horloges internes (49) à la suite
15 d'un ordre de tir envoyé par l'unité de commande de tir (17).

10. Ensemble codé selon l'une des revendication 8 ou 9, caractérisé en ce que ledit ensemble comportant une liaison électrique entre chaque module (15) et la tête d'amorce (13)
20 du détonateur (1) associé, et ledit module (15) étant capable d'envoyer dans ladite tête d'amorce (13) par ladite liaison électrique un courant provoquant une mise à feu, les têtes d'amorce (13) comportent des ponts conducteurs ou semi-conducteurs.

25 11. Module d'allumage (15) du détonateur (1) à charge pyrotechnique comportant un circuit d'alimentation (302) comprenant notamment une capacité batterie (41) assurant une autonomie momentanée de fonctionnement, une interface de communication (301), un circuit de gestion (300) de la charge
30 pyrotechnique comprenant notamment une capacité de tir (29) destinée, après chargement, à se décharger dans une tête d'amorce (13) du détonateur (1), ainsi qu'une unité logique (303) de gestion de l'ensemble du module (15), ladite unité logique (303) comprenant une mémoire (47) d'identification non
35 volatile destinée à recevoir au moins un paramètre

d'identification dudit module (15) et une horloge interne (49) rudimentaire ayant une fréquence locale, caractérisé en ce que le module (15) comprend une mémoire de calibrage permettant de recevoir une valeur de calibrage de l'horloge interne (49) par rapport à une base de temps de référence, en provenance d'une unité de commande de tir (17) apte à envoyer au module (15) un ordre de tir.

12. Module selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de réinitialisation de l'horloge interne (49) à un état calibré et l'unité logique (303) comprend une commande de réinitialisation activant les moyens de réinitialisation lors d'un ordre de tir.

13. Module selon l'une des revendications 11 ou 12, caractérisé en ce qu'il comprend un circuit intégré personnalisé du type ASIC, la capacité de tir (29), la capacité batterie (41), un transistor de puissance (56) et un moyen de protection contre des décharges électrostatiques.

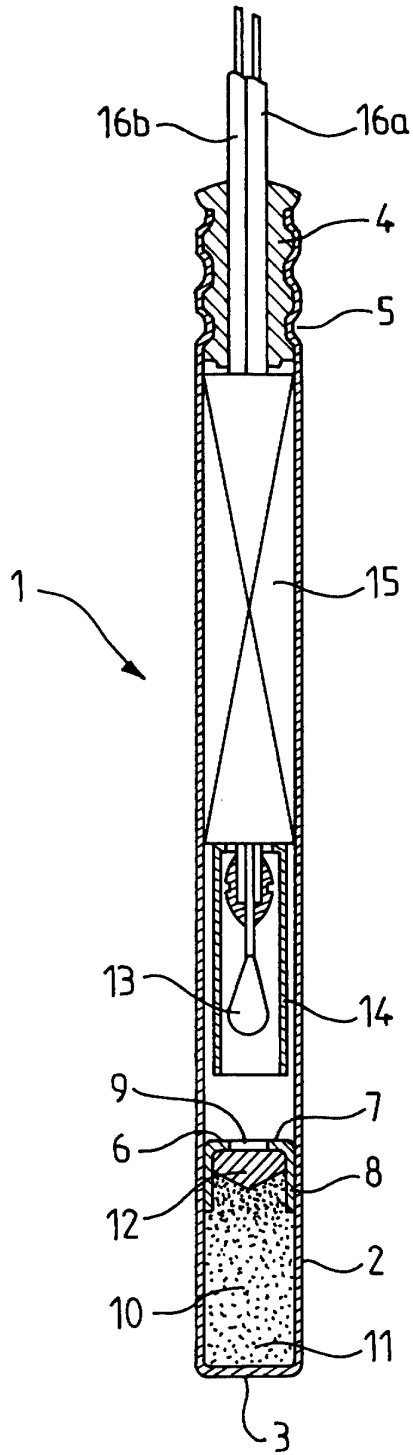


FIG. 1

2/6

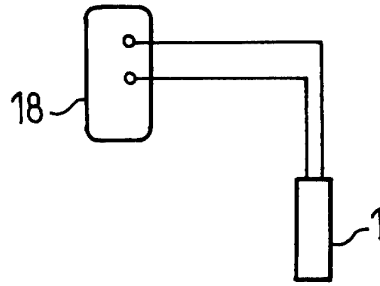


FIG. 2A

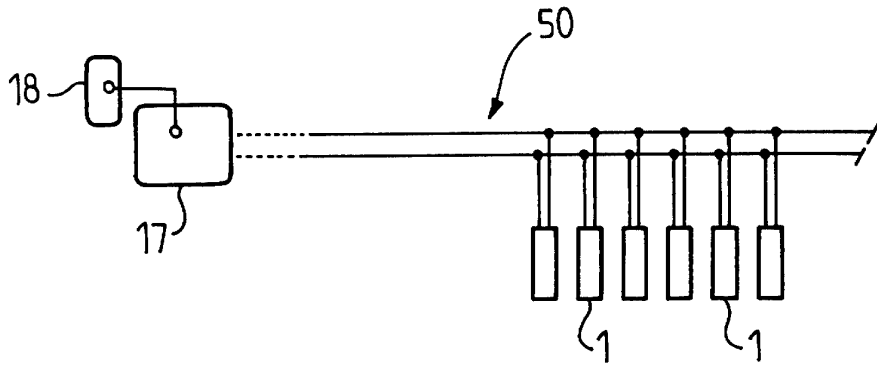


FIG. 2B

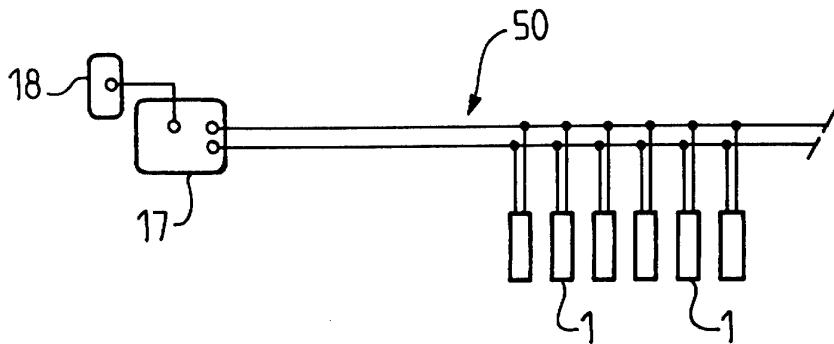


FIG. 2C

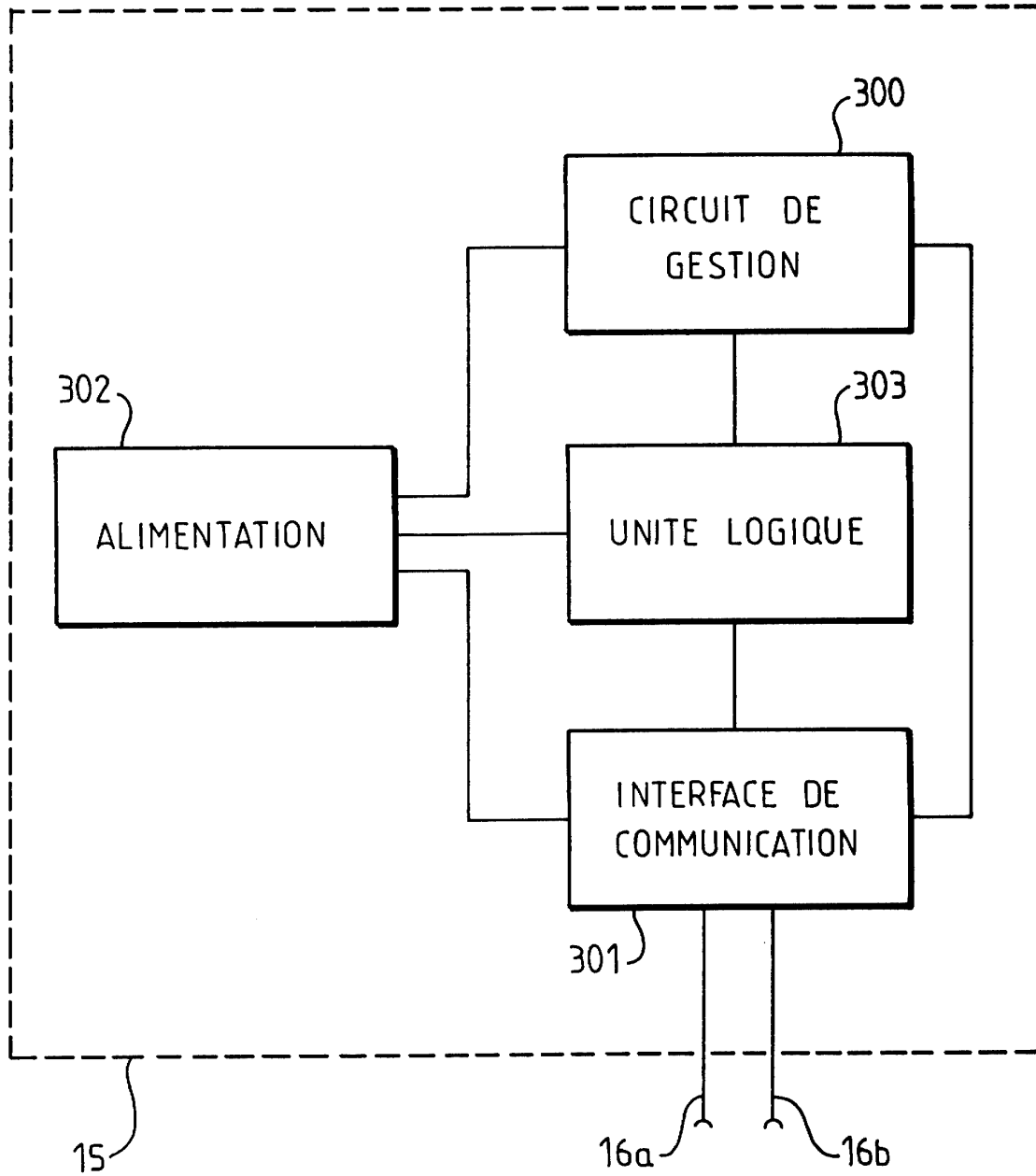


FIG. 3

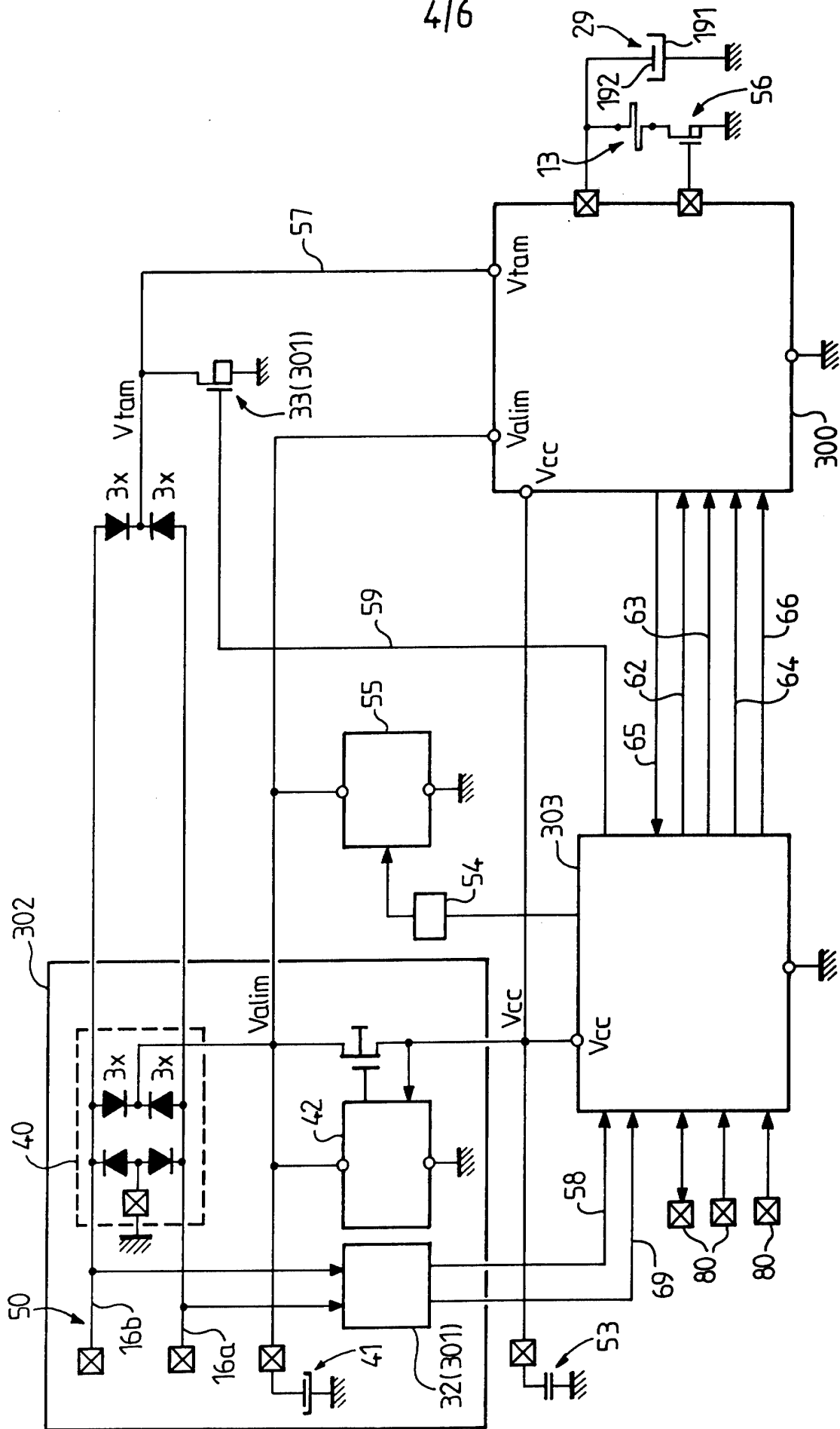


FIG. 4

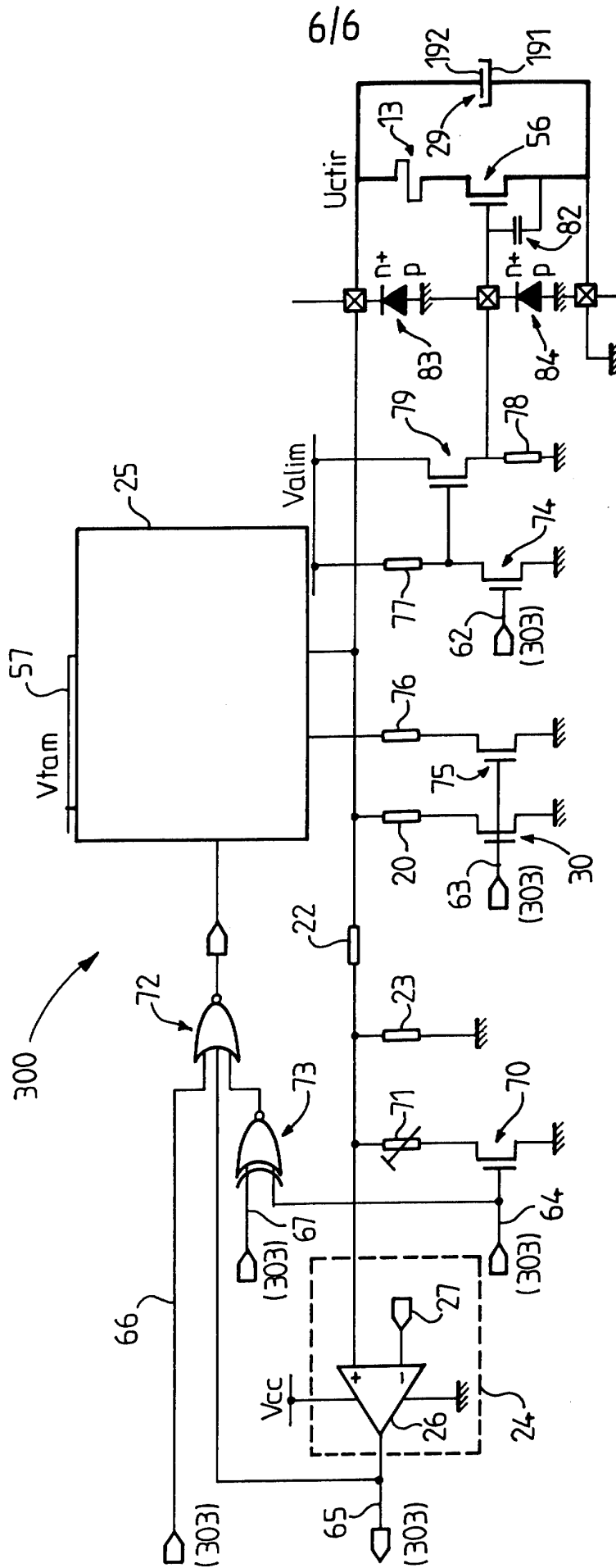


FIG. 6

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
Y	FR 2 672 675 A (DAVEY BICKFORD) * abrégé; revendications; figures 1,3,4 * ---	1,8
Y	EP 0 433 697 A (HUGHES AIRCRAFT CO.) * abrégé * * colonne 2, ligne 35 - colonne 4, ligne 43; figures * ---	1
Y	WO 87 00265 A (ABOUAV) * abrégé; revendications 1,14,18 * * figures 4,6-8,11,15,18,19,22 * * page 20, ligne 13 - page 36, ligne 18 * ---	8
A	DE 39 42 842 A (DYNAMIT NOBEL) * colonne 3, ligne 25 - colonne 5, ligne 18; figures * ---	1,8
A	US 5 214 236 A (MURPHY) * abrégé * * colonne 9, ligne 17 - colonne 11, ligne 35; figures * ---	1,8
A	US 5 460 093 A (PRINZ) -----	
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)
		F42C F42D
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
17 Février 1997		Rodolausse, P
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention 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. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>		