

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

① N° de publication :  
(A n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction).

**2 458 347**

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

②

**N° 80 02987**

---

⑤④ Procédé d'usinage par décharges électriques et système d'alimentation électrique pour sa mise en œuvre.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.<sup>3</sup>). B 23 P 1/02.

②② Date de dépôt ..... 11 février 1980.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée : Japon, 6 juin 1979, n° 54-71,643.

④① Date de la mise à la disposition du  
public de la demande ..... B.O.P.I. — « Listes » n° 1 du 2-1-1981.

---

⑦① Déposant : Société dite : INOUE-JAPAX RESEARCH INC., résidant au Japon.

⑦② Invention de : Kiyoshi Inoue.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : André Netter, conseil en brevets d'invention,  
40, rue Vignon, 75009 Paris.

---

La présente invention concerne l'usinage par décharges électriques et de façon plus particulière un procédé amélioré pour un tel usinage et un système d'alimentation en énergie électrique, dans lesquels des impulsions d'usinage successives, distinctes et commandées de façon précise dans le temps, sont envoyées à travers un intervalle d'usinage, rempli ou balayé par un agent fluide d'usinage (par exemple un liquide diélectrique ou à basse conductibilité), entre une électrode outil (massive, tridimensionnelle ou ayant une forme allongée continue) et d'une pièce à usiner juxtaposée à cette électrode, pour enlever de la matière de la pièce.

Comme l'indiquent les recherches théoriques et expérimentales sur ce type d'usinage, on peut obtenir par ce procédé une finition ultrafine en commandant chaque impulsion (décharge) d'usinage individuelle envoyée successivement à travers l'intervalle d'usinage de façon que sa durée  $\tau$  soit comprise entre 0,01 et 1 microseconde, de préférence soit de l'ordre de 10 nanosecondes. Les décharges successives doivent être distinctes et doivent être espacées dans le temps par un intervalle entre impulsions  $\tau_{off}$ , commandé de même de façon précise à une valeur appropriée, de préférence inférieure à 5 ou 10 fois la durée d'impulsion, de telle sorte que l'application d'une quantité d'énergie prédéterminée en provenance de la source d'énergie soit strictement confinée dans chaque impulsion. Il est également souhaitable qu'un tel système d'alimentation permette de choisir dans une large plage les durées d'impulsions et les intervalles entre impulsions, indépendamment les uns des autres.

Il est également important, dans certains domaines, d'utiliser un certain mode d'impulsions d'usinage dont le développement a débuté il y a plus de 10 ans, presque au début de l'histoire de l'usinage par décharges électriques, (cf. brevets japonais N° 39-20 494 publié le 19 septembre 1964 et N° 44-83 17 publié le 18 avril 1969), mais dont on n'a reconnu les avantages particuliers que très récemment. Ainsi, on peut avantageusement appliquer les impulsions d'usinage sous la forme d'impulsions élémentaires interrompues par intermittences ou de trains successifs, espacés dans le temps, d'impulsions élémentaires. Le terme "impulsions élémentaires" est utilisé ici pour désigner une impulsion d'énergie unitaire ou minimale

assurant l'enlèvement d'un volume unitaire  $v$  minimal de matière. Dans ce mode, chaque train a une durée prédéterminée  $T_{on}$  et contient ainsi un nombre prédéterminé  $n$  d'impulsions élémentaires, ce qui permet d'enlever un volume total  $nv$ ;

5 les trains adjacents sont séparés par un intervalle  $T_{off}$ . Ainsi, étant donné une impulsion élémentaire de durée  $\tau_{on}$  et d'intervalle entre impulsions  $\tau_{off}$ , on peut obtenir une série d'impulsions "composites" quelconque simplement en réglant la durée du train  $T_{on}$  ou le nombre d'impulsions élémentaires dans chaque train, et l'intervalle entre trains  $T_{off}$

10 ou le nombre d'impulsions élémentaires à interrompre périodiquement. Ici encore, l'impulsion unitaire a une durée minimale  $\tau_{on}$  et un intervalle entre impulsions minimal  $\tau_{off}$  du même ordre de grandeur.

15 Quel que soit le mode utilisé : impulsions consécutives ou impulsions élémentaires interrompues périodiquement, on obtient les meilleurs résultats dans la formation de chaque impulsion précisément commandée dans le temps avec des paramètres  $\tau_{on}$  et  $\tau_{off}$  extrêmement courts, grâce à un système

20 d'alimentation en courant conçu pour rendre pulsatoire la sortie de la source de courant continu au moyen d'un interrupteur électronique prenant des états "fermé" et "ouvert" en réponse à des signaux de commande correspondants, "fermé" et "ouvert". On doit reconnaître que l'utilisation de transistors

25 à effet de champ ou de transistors MOS (metal - oxyde - semi-conducteurs) permet maintenant une telle commutation extrêmement rapide du système. Dans la technique antérieure d'usinage par décharges électriques cependant, il n'existait, ni système, ni procédé permettant de produire de façon fiable ou de

30 fournir de façon entièrement satisfaisante des impulsions d'usinage avec des durées d'impulsions et des intervalles entre impulsions de l'ordre de la microseconde, et en fonction précise de signaux de commande correspondants.

C'est en conséquence un but important de la présente invention de procurer un procédé amélioré d'usinage par décharges

35 électriques grâce auquel on peut fournir de façon sûre et satisfaisante, dans un circuit d'usinage par électro-érosion utilisant la commutation d'une source de courant continu, des impulsions d'usinage d'une durée d'impulsion extrêmement courte, qu'on n'avait jusqu'ici pu obtenir de façon pratique

40

dans un tel circuit.

Un autre but de l'invention est de procurer un système d'alimentation en énergie pour mettre en oeuvre le procédé.

On a maintenant constaté qu'une impédance de fuite  
5 inhérente au circuit raccordant l'interrupteur à l'intervalle  
d'usinage en série avec une source de courant continu, provo-  
que inévitablement un retard avant que chaque impulsion d'usi-  
nage individuelle soit complètement terminée après la fin de  
l'impulsion de signal correspondante appliquée à l'interrupteur,  
10 et ce retard n'est pas négligeable lorsque la durée  
d'impulsion est inférieure à 1 microseconde. On a noté que  
l'impédance de fuite comporte de façon caractéristique une  
capacité de fuite comprise entre 0,01 et 0,05 micro farad,  
une inductance de fuite comprise entre 10 et 50 microhenry  
15 et une résistance de l'ordre de  $10^{-5}$  ohms. cm.

En conséquence, l'invention propose un procédé pour usiner  
par décharges électriques une pièce avec une électrode outil  
(massive, tridimensionnelle, ayant la forme d'un fil ou ayant  
une forme allongée analogue) formant entre elles un intervalle  
20 d'usinage rempli d'un fluide, en faisant passer une succession  
d'impulsions d'usinage d'une durée prédéterminée  $T_{on}$  et d'un  
intervalle entre impulsions prédéterminé  $T_{off}$  à travers cet  
intervalle d'usinage, en fermant et en ouvrant de façon répé-  
titive un interrupteur électronique monté dans un circuit de  
25 puissance en série avec une source de courant continu et l'in-  
tervalle d'usinage, grâce à une succession d'impulsions de  
signaux correspondant aux impulsions d'usinage, le circuit de  
puissance ayant une impédance de fuite suffisante pour provo-  
quer un retard avant que chacune des impulsions d'usinage se  
30 termine après la fin de chaque impulsion de signal correspon-  
dante appliquée à l'interrupteur, caractérisé en ce qu'on règle  
la durée d'impulsion.  $T_{on}$  à une valeur désirée comprise entre  
0,01 et 1 microseconde, on détecte les caractéristiques de  
montée du courant d'intervalle d'usinage résultant du passage  
35 de chacune des impulsions d'usinage à travers l'intervalle  
d'usinage, et on procure un signal d'interruption d'impulsion  
pour interrompre l'impulsion de signal correspondante appliquée  
à l'interrupteur lorsque le courant d'intervalle d'usinage  
détecté excède une valeur prédéterminée liée à la valeur  
40 désirée de la durée d'impulsion  $T_{on}$ .

Selon un autre aspect de l'invention, le système d'alimentation comporte une source de courant continu, un interrupteur électronique, un circuit de puissance pour raccorder l'interrupteur à une électrode outil et à une pièce à usiner en série avec la source de courant continu, et un circuit de commande pour fournir une succession d'impulsions de signaux d'une durée d'impulsion et d'un intervalle entre impulsions prédéterminés, fermant et ouvrant ainsi alternativement l'interrupteur pour faire passer à travers un intervalle d'usinage formé entre l'électrode outil et la pièce à usiner une succession d'impulsions d'usinage, d'une durée et d'un intervalle entre impulsions prédéterminés correspondant à la durée et à l'intervalle entre impulsions des impulsions de signaux, le circuit de puissance contenant une impédance de fuite suffisante pour provoquer un retard avant que chacune des impulsions d'usinage se termine après la fin de chaque impulsion de signal correspondante, et il est caractérisé par une source d'impulsions dans le circuit de commande pour régler la durée des impulsions de signaux à une valeur désirée de la durée de l'impulsion d'usinage dans la plage comprise entre 0,01 et 1 microseconde, des moyens pour détecter les caractéristiques de montée du courant d'intervalle résultant du passage de chacune des impulsions d'usinage à travers l'intervalle d'usinage, des moyens de circuit de seuil sensibles au courant d'intervalle détecté pour fournir un signal d'interruption d'impulsion lorsque le courant d'intervalle détecté excède une valeur prédéterminée, pour interrompre l'impulsion de signal correspondante appliquée à l'interrupteur et des moyens associés aux derniers moyens mentionnés pour établir la valeur de seuil en liaison avec la durée des impulsions de signaux réglée dans la source d'impulsion.

Les impulsions d'usinage peuvent se présenter sous la forme de trains successifs d'impulsions d'usinage élémentaires. Ainsi, une succession d'impulsions de signaux élémentaires peut être fournie par une source d'impulsions et être périodiquement interrompue pour former, à travers l'intervalle d'usinage, les trains successifs d'impulsions élémentaires d'usinage séparés par un intervalle de coupure. Le détecteur de courant à haute sensibilité utilise de préférence un élément à effet Hall et peut être constitué par un transducteur du type amplificateur

magnétique.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée donnée ci-après à titre d'exemple seulement, de plusieurs réalisations préférées, en liaison avec le dessin joint, sur lequel :

- la figure 1 est un schéma de circuit illustrant les principes et une certaine réalisation de la présente invention;
- la figure 2 est un schéma de forme d'ondes illustrant la caractéristique de montée du courant d'intervalle utilisé dans la présente invention pour fournir diverses valeurs de la durée des impulsions d'usinage;
- la figure 3 montre des schémas de formes d'ondes illustrant des formes caractéristiques d'impulsions élémentaires successives et périodiquement interrompues pouvant être utilisées selon la présente invention; et
- les figures 4 et 5 sont des schémas de réalisations préférées de l'appareil de mesure du courant d'intervalle utilisé dans la présente invention.

En se reportant à la figure 1, une électrode outil 1 (massive, tridimensionnelle, sous forme d'un fil ou sous une forme allongée continue analogue) d'usinage par décharges électriques est juxtaposée à une pièce électrode 2 avec formation d'un intervalle d'usinage G qui est balayé par un agent fluide d'usinage (par exemple pétrole ou eau distillée). Une alimentation en énergie d'usinage comporte une source en courant continu 3 et un condensateur de filtrage de courant 4, et elle est raccordée à l'électrode outil 1 et à la pièce à usiner 2 en série avec un interrupteur 5. Celui-ci est constitué de façon caractéristique par un banc de transistors de puissance, de préférence des transistors à effet de champ ou des transistors type MOS, capables de commutation ultra-rapide (avec une constante de temps de l'ordre de 10 nanosecondes) et il est fermé et ouvert de façon répétitive pour rendre pulsatoire le courant continu filtré fourni par la source 3 et le condensateur 4 et pour envoyer ainsi une succession d'impulsions d'usinage dans l'intervalle G entre l'électrode outil 1 et la pièce à usiner 2.

Le circuit de commande de l'interrupteur 5 comporte un premier oscillateur 6 qui engendre une série d'impulsions élémentaires de courte durée d'impulsion  $\tau$  on prédéterminé

et de court intervalle prédéterminé entre impulsions  $\tau_{off}$ , la durée d'impulsion correspondant à l'enlèvement unitaire de matière recherché. Un deuxième oscillateur 7 engendre une série d'impulsions de signaux d'une durée d'impulsion  $T_{on}$  et d'intervalles entre impulsions  $T_{off}$  prédéterminés,  $T_{on}$  et  $T_{off}$  étant beaucoup plus longs que les durées  $\tau_{on}$  et  $\tau_{off}$  des impulsions élémentaires. Les sorties du premier oscillateur 6 et du deuxième oscillateur 7 sont reliées à une première porte ET 8 dont la sortie est reliée à une première entrée d'une deuxième porte ET 9. La sortie de la deuxième porte ET 9 est reliée à l'électrode de commande de l'interrupteur de puissance 5 pour commander sa commutation.

Une résistance de mesure 10 est montée en série avec l'électrode outil 1, la pièce 2, la source 3 et les bornes principales de l'interrupteur de puissance 5 pour détecter la valeur de l'intensité d'une impulsion de décharge et pour développer un signal de tension la représentant. Un circuit de seuil 11, ayant une valeur de seuil prédéterminée, est associé à la résistance de mesure 10 et peut être constitué par un circuit de bascule de Schmitt. La sortie du circuit de seuil 11 est reliée par l'intermédiaire d'un inverseur ou porte NON 12 à la deuxième entrée de la porte ET 9. Une capacitance de fuite, une inductance de fuite et une résistance de circuit, comprise dans le circuit de décharge reliant la source 3, 4 à l'intervalle d'usinage G (1,2) sont indiqués par des condensateurs 13, une inductance 14 et une résistance 15 respectivement. L'inductance 14 est shuntée par une diode 16. Dans un circuit d'usinage par décharges électriques caractéristique, la capacitance de fuite est comprise entre 0,01 et 0,05  $\mu F$ , l'inductance de fuite entre 10 et 50  $\mu F$  et la résistance de circuit est de l'ordre de  $10^{-5}$  ohm.

Avec les dispositions de circuit connues comportant un interrupteur de puissance 5 et un circuit de commande de cet interrupteur qui ne contient qu'un oscillateur 6 ou une combinaison d'oscillateurs 6, 7, et un élément 8, il est possible de produire à travers l'intervalle d'usinage G une succession ou des successions interrompues par intermittence de petites impulsions élémentaires distinctes d'une durée d'impulsion  $\tau_{on}$  et d'un intervalle entre impulsions  $\tau_{off}$  aussi courts que 0,01 microseconde. On a maintenant constaté

que cette difficulté provenait de la présence inévitable dans le circuit de décharge d'une capacitance de fuite, d'une inductance et d'une résistance ayant les ordres de grandeur indiqués ci-dessus.

5 Le circuit d'interruption de courant pour usinage par décharges électriques selon la présente invention comporte le détecteur de courant de décharge 10 et le circuit de seuil 11. Pendant chaque cycle de commande, lorsque chaque  
10 impulsion de signal élémentaire de l'oscillateur 6 survient, l'interrupteur 5 est fermé pour déclencher une décharge électrique à travers l'intervalle G. La résistance de mesure 10 est sensible à l'établissement du courant de décharge et envoie à l'entrée du circuit de seuil 11 un signal de tension  
15 proportionnel à l'intensité. La sortie du circuit de seuil est normalement "0", qui est inversé en "1" par la porte NON 12 pour exciter la porte ET 9 par l'intermédiaire de sa deuxième entrée de telle sorte que, chaque fois que la première entrée est également "1", l'interrupteur 5 est maintenu fermé.

Lorsque le signal de courant à la résistance de mesure 10  
20 dépasse une certaine valeur établie comme valeur de seuil dans le circuit 11, ce dernier change de phase de sorte que sa sortie devient "1" et, après inversion à "0" par la porte NON 12, ceci rend non passante ou desexcite la porte ET 9, ouvrant ainsi l'interrupteur 5. Le courant à travers l'intervalle  
25 d'usinage G diminue alors à une vitesse déterminée par les valeurs des capacitances et des inductances de fuite dans le circuit de décharge pour achever la décharge pulsatoire. En établissant le courant d'intervalle G maximal en liaison avec la constante de durée de décharge déterminée par les  
30 valeurs de la capacitance et de l'inductance de fuite, la durée d'impulsion  $\tau$  on de chaque impulsion élémentaire peut être réglée à la valeur désirée et on peut produire à travers l'intervalle d'usinage G une succession d'impulsions de décharges élémentaires ainsi réglées périodiquement interrompues  
35 par le deuxième oscillateur 7.

La figure 2 montre le mode selon lequel l'intensité du courant de décharge augmente et diminue du fait du fonctionnement du circuit de la figure 1. On peut voir que, étant donné les constantes du circuit de décharge contenant l'intervalle d'usinage, la variation de courant s'effectue avec  
40

des caractéristiques prédéterminées de montée et de descente. Par exemple, si on a choisi comme niveau du seuil une intensité maximale ou de pointe de 2,5 ampères, on pourra obtenir de façon précise des impulsions élémentaires ayant une durée  
5 d'impulsion  $\tau_{on}$  de 0,01 microseconde. On peut de même régler cette durée  $\tau_{on}$  à 0,02 et 0,03 microseconde en choisissant une intensité de pointe de 5 et 8 ampères respectivement. On obtient ainsi des trains successifs d'impulsions élémentaires  $\tau_{on}$ ,  $\tau_{off}$ ,  $T_{on}$  et  $T_{off}$  en liaison avec le  
10 réglage des oscillateurs 6 et 7.

En supposant par exemple que la durée d'impulsion et l'intervalle entre impulsions des impulsions de signaux de l'oscillateur 6 soit respectivement réglée à 0,01 microseconde, en réglant l'intensité de pointe à détecter à 2,5 ampères,  
15 les impulsions de décharge résultantes pourront avoir de façon précise la durée  $\tau_{on}$  de 0,01 microseconde et l'intervalle  $\tau_{off}$  de 0,01 microseconde. De même, lorsqu'on doit produire de façon précise les impulsions de décharge de  $\tau_{on} = 0,03$  microseconde et  $\tau_{off} = 0,03$  microseconde, on  
20 utilisera une intensité de pointe de 8 ampères; la durée et l'intervalle entre impulsions des impulsions de signaux à l'oscillateur 6 peuvent être simplement réglés de façon identique avec les durées  $\tau_{on}$  et les intervalles entre durées  $\tau_{off}$  de décharges recherchés. On peut effectuer à volonté  
25 le réglage de l'oscillateur 6 et l'intensité de pointe de seuil à l'élément 11 en liaison l'un avec l'autre pour obtenir une large plage de paramètres d'impulsions d'usinage. On a trouvé que cette disposition était particulièrement efficace pour produire des impulsions d'usinage par décharges ayant  
30 des caractéristiques  $\tau_{on}$  et  $\tau_{off}$  non inférieures à 0,01 microseconde (10 nanosecondes) et particulièrement avantageuse pour régler de façon précise la durée d'impulsions  $\tau_{on}$  à une valeur ne dépassant pas 1 ou 10 microsecondes.

Les impulsions élémentaires haute fréquence du premier  
35 oscillateur 6 et les impulsions basse fréquence formant les trains du deuxième oscillateur sont combinées à la porte ET 8. Le résultat en est qu'une succession d'impulsions de signaux élémentaires  $\tau_{on}$  et  $\tau_{off}$  périodiquement interrompues ou des trains successifs d'impulsions de signaux élémentaires  $\tau_{on}$   
40 et  $\tau_{off}$  ayant chacun une durée  $T_{on}$  et un intervalle  $T_{off}$

sont appliqués à la deuxième porte ET 9. Chaque fois qu'une impulsion de signal élémentaire est appliquée, l'interrupteur de puissance 5 est fermé et il est ensuite ouvert lorsqu'on a détecté que l'intensité de décharge atteint une valeur pré-réglée. De cette manière, on obtient aisément et avec grande précision une succession de fines impulsions élémentaires distinctes ayant des durées  $\tau_{on}$  aussi courtes que 0,01 microseconde.

La figure 3 montre schématiquement certains exemples d'impulsions élémentaires successives périodiquement interrompues pour produire les décharges correspondantes à travers l'intervalle d'usinage G. Par exemple, la succession d'impulsions peut comporter des trains d'impulsions élémentaires de durée  $\tau_{on}$  et d'intervalle  $\tau_{off}$ , chaque train ayant deux impulsions élémentaires successives et durant  $T_{on}$  et les trains successifs étant séparés par un intervalle  $T_{off}$  (figure 3a); chaque train peut aussi être composé de trois impulsions élémentaires pour une durée  $T_{on}$  (figure 3b) ou comporter six impulsions élémentaires ou plus pour une durée  $T_{on}$ , les trains successifs étant séparés par l'intervalle  $T_{off}$  (figure 3c). Les paramètres  $\tau_{on}$ ,  $\tau_{off}$ ,  $T_{on}$ ,  $T_{off}$  sont réglés par les oscillateurs 6 et 7 respectivement. Ceux-ci peuvent être synchronisés de telle sorte que toutes les impulsions élémentaires ont une durée prédéterminée.

La figure 4 montre une réalisation préférée pour le détecteur d'intensité de décharge pouvant être utilisé pour remplacer l'élément 10 de la figure 1. Dans cette réalisation, le détecteur comporte un élément à effet Hall 20, un élément de noyau 21 pour appliquer un champ magnétique à l'élément à effet Hall 20, et des bornes de circuit 22 conçues pour faire passer une intensité de mesure et montées en série avec l'intervalle d'usinage, la source d'énergie 3, 4 et l'interrupteur de puissance 5. En outre, des bornes de circuit de détection 23 sont prévues pour détecter la tension induite par l'effet Hall. Le noyau 21 a un enroulement d'excitation 24 enroulé autour de lui et il est relié à une source d'excitation 25 par l'intermédiaire d'un interrupteur 26 représenté sous la forme d'un transistor. L'interrupteur 26 est commandé par un circuit de commande 27 de telle sorte qu'une force constante de champ magnétique est toujours appliquée à l'élé-

ment à effet Hall 20. Celui-ci peut être constitué, par exemple, d'arséniure d'indium, (InAs), de silicium (Si) ou de germanium (Ge). Cette disposition peut avoir une réponse très forte à la variation de l'intensité de mesure et peut suivre aussi rapidement que 50 ou 100 mégahertz. De ce fait, il convient particulièrement pour détecter la montée et la descente instantanée de l'intensité d'intervalle dans la présente invention.

La figure 5 montre une autre forme possible de l'appareil détecteur de l'intensité du courant de décharge, qui est du type à amplificateur magnétique, comportant un élément de noyau 31, deux bobines de charge 32 et 33 et une bobine de détection de courant 34 ayant des bornes de sortie 35. L'enroulement 32 sert d'enroulement de polarisation excité par une source constante. Lorsque le courant de décharge passe à travers l'enroulement de charge 33, un signal de courant amplifié est détecté aux bornes de sortie 35, avec une réponse extrêmement élevée.

Il est ainsi procuré un procédé amélioré et une source de courant améliorée avec des durées d'impulsions de l'ordre de 10 à 100 nanosecondes, ce qui permet d'utiliser de façon fiable la source d'énergie pour une diversité d'applications comportant l'usinage de finition ultrafin et un usinage par impulsions composites.

REVENDEICATIONS

1. Procédé pour usiner par décharges électriques une pièce avec une électrode outil formant entre elles un intervalle d'usinage rempli d'un fluide, en faisant passer une succession d'impulsions d'usinage ayant une durée prédéterminée  $\tau_{on}$  et un intervalle entre impulsions  $\tau_{off}$  également prédéterminé entre l'électrode outil et la pièce en fermant et en ouvrant de façon répétitive un interrupteur électrique monté dans un circuit de puissance en série avec une source de courant continu et l'intervalle d'usinage, grâce à une succession d'impulsions de signaux correspondant aux impulsions d'usinage, le circuit de puissance ayant une impédance de fuite suffisante pour provoquer un retard avant que chacune des impulsions d'usinage se termine après la fin de chaque impulsion de signal correspondante appliquée à l'interrupteur, caractérisé en ce qu'on règle la durée d'impulsion  $\tau_{on}$  entre 0,01 et 1 microseconde, qu'on détecte la caractéristique de montée de l'intensité du courant d'intervalle résultant du passage de chacune des impulsions d'usinage à travers l'intervalle d'usinage, que, lorsque cette intensité de courant mesurée excède une valeur de seuil prédéterminée, on envoie un signal d'interruption d'impulsion pour arrêter l'impulsion de signal correspondante appliquée à l'interrupteur, la valeur de seuil étant établie en liaison avec la valeur désirée de la durée d'impulsions  $\tau_{on}$ .

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'impédance de fuite comporte une capacitance comprise entre 0,01 et 0,05 microfarad, une inductance comprise entre 10 et 50 microhenry, et une résistance de l'ordre de  $10^{-5}$  ohm.

3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que la durée d'impulsion  $\tau_{on}$  des impulsions d'usinage coïncide pratiquement avec la durée d'impulsion des signaux d'impulsion.

4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les impulsions d'usinage se présentent sous la forme de trains successifs d'impulsions d'usinage élémentaires, que l'interrupteur est fermé et ouvert par des impulsions de signaux élémentaires correspondant à ces impulsions d'usinage élémentaires, et qu'on interrompt de façon intermittente les signaux d'impulsions élémentaires pour former des trains

successifs séparés par un intervalle de coupure.

5 5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que les impulsions de signaux élémentaires ont une durée et sont séparées par un intervalle compris chacun entre 0,01 et 1 microseconde.

6. Procédé selon la revendication 4 ou la revendication 5, caractérisé en ce que chaque train successif contient un nombre prédéterminé d'impulsions d'usinage élémentaires.

10 7. Système d'alimentation en énergie électrique pour effectuer un usinage par décharges électriques, comportant une source de courant continu, un interrupteur électronique, un circuit d'alimentation en courant pour relier l'interrupteur à une électrode outil et à une pièce à usiner en série avec la source de courant continu, et un circuit de commande  
15 pour fournir une succession d'impulsions de signaux ayant une durée et un intervalle entre impulsions prédéterminés, ce qui ferme et ouvre alternativement l'interrupteur pour faire passer à travers un intervalle d'usinage formé entre l'électrode outil et la pièce une succession d'impulsions d'usinage d'une  
20 durée et d'un intervalle entre impulsions prédéterminés correspondant à la durée et à l'intervalle entre impulsions des impulsions de signaux, le circuit d'alimentation en courant contenant une impédance de fuite suffisante pour provoquer un retard avant que chacune des impulsions d'usinage se termine  
25 après la fin de chaque impulsion de signal correspondante, caractérisé en ce qu'il comporte une source d'impulsions dans le circuit de commande pour régler la durée des impulsions de signaux à une valeur déterminée comprise entre 0,01 et 1 microseconde, des moyens pour détecter la caractéristique de montée  
30 de l'intensité de courant d'intervalle résultant du passage de chacune de ces impulsions d'usinage à travers l'intervalle d'usinage, des moyens de circuit de seuil sensible à l'intensité d'intervalle détectée pour procurer un signal d'interruption d'impulsion lorsque l'intensité en courant d'intervalle  
35 détecté dépasse une valeur de seuil prédéterminée, ce qui interrompt l'impulsion de signal correspondante appliquée à l'interrupteur, et des moyens associés aux moyens mentionnés en dernier pour établir la valeur de seuil en liaison avec la durée des impulsions des signaux réglée dans la source  
40 d'impulsions.

8. Système d'alimentation selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'impédance de fuite comporte une capacitance comprise entre 0,1 et 0,05 microfarad, une inductance comprise entre 10 et 50 microhenry, une résistance de l'ordre de  $10^{-5}$  ohm.

9. Système d'alimentation selon la revendication 7, caractérisé en ce que les impulsions d'usinage se présentent sous la forme de trains successifs d'impulsions d'usinage élémentaires, le circuit de commande comportant des moyens de commutation cadencée associés à la source d'impulsions pour transformer les impulsions de signaux en trains successifs et interrompus de façon intermittente d'impulsions de signaux élémentaires et pour appliquer ces dernières à l'interrupteur pour former des trains successifs séparés par un intervalle de coupure.

10. Système d'alimentation selon la revendication 9, caractérisé en ce que les moyens de commutation cadencée comportent une deuxième source d'impulsions pour procurer une succession de secondes impulsions de signaux d'une fréquence inférieure à celle des impulsions de signaux mentionnées en premier, et une porte ET pour recevoir cette succession d'impulsions de signaux mentionnés en premier et de deuxièmes impulsions de signaux pour procurer des trains successifs et interrompus de façon intermittente d'impulsions de signaux élémentaires.

11. Système d'alimentation selon la revendication 7, caractérisé en ce que les moyens de détection comportent un transducteur à effet Hall.

12. Système d'alimentation selon la revendication 7, caractérisé en ce que les moyens de détection comportent un transducteur à amplificateur magnétique.

FIG. 1

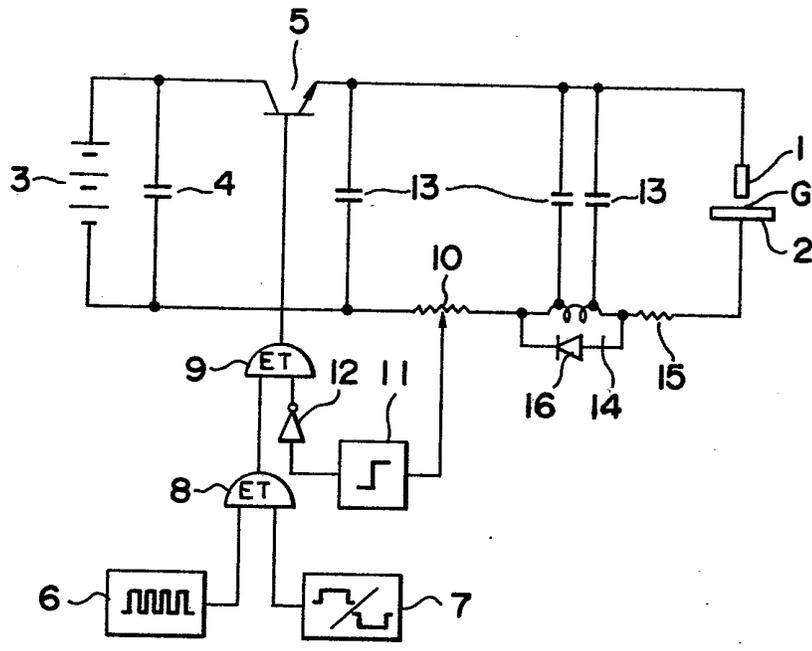
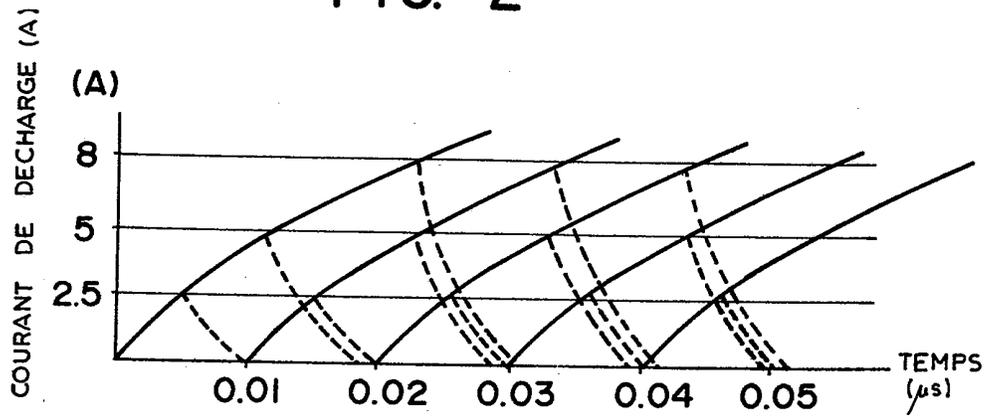
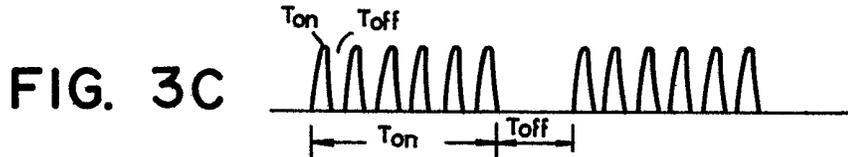
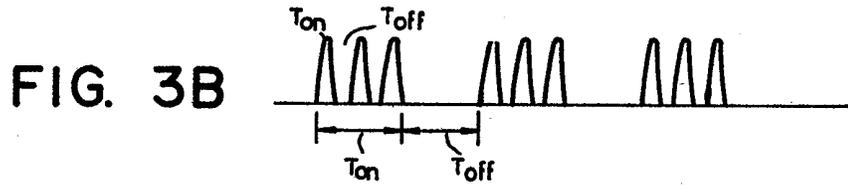
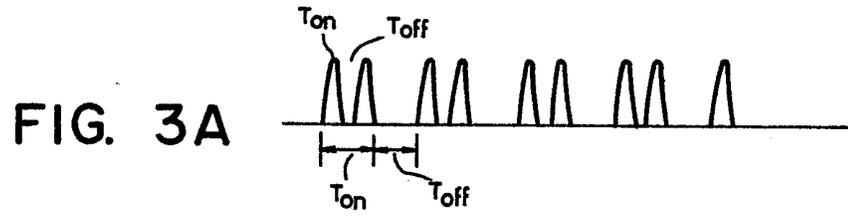


FIG. 2





**FIG. 4**

**FIG. 5**

