

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①① N° de publication :

2 581 490

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national :

86 0640

⑤① Int Cl⁴ : H 03 K 3/80; G 01 R 33/20; G 01 V 3/14,
G 01 N 24/02.

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A

②② Date de dépôt : 2 mai 1986.

③① Priorité : GB, 3 mai 1985, n°s 8511382 et 8511354.

④③ Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 45 du 7 novembre 1986.

⑥① Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦① Demandeur(s) : Société dite : NATIONAL RESEARCH
DEVELOPMENT CORPORATION. — GB.

⑦② Inventeur(s) : Reginald Alfred Willard et William Spen-
cer Percival.

⑦③ Titulaire(s) :

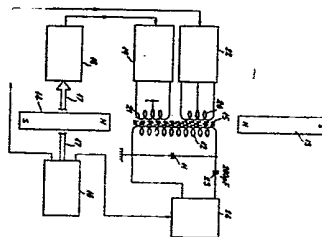
⑦④ Mandataire(s) : Cabinet Simonnot.

⑤④ Procédé et appareil de formation d'impulsions pour appareil de résonance magnétique nucléaire.

⑤⑦ L'invention concerne les appareils de résonance magné-
tique nucléaire.

Elle se rapporte à un appareil dans lequel une résonance
magnétique nucléaire est excitée à l'aide d'un enroulement 12
qui, avec un condensateur 11, forment un circuit résonnant.
Les signaux peuvent être observés avec l'enroulement 12
lorsque les impulsions sont atténuées par connexion de résis-
tances aux bornes d'un enroulement 26 couplé inductivement à
l'enroulement primaire 12. Cette connexion est réalisée par des
transistors à effet de champ montés dos à dos afin que les
signaux transitoires soient réduits lorsque les transistors ces-
sent de conduire.

Application aux appareils de résonance magnétique nu-
cléaire.



FR 2 581 490 - A1

D

La présente invention concerne un générateur d'une forme d'onde qui, lorsqu'elle est appliquée à un circuit résonnant, provoque des oscillations dans le circuit avec une enveloppe triangulaire comprenant une
5 croissance et une décroissance linéaires. L'invention convient particulièrement bien mais non exclusivement à un appareil de résonance magnétique nucléaire.

La demande de brevet britannique n° 2 141 236 décrit un procédé avantageux d'étude des sondages par
10 résonance magnétique nucléaire, mettant en oeuvre un solénoïde placé entre deux aimants permanents, le solénoïde recevant des impulsions afin qu'il crée un champ magnétique à haute fréquence dans la région de l'enroulement. Une application de l'invention est la création
15 d'oscillations dans un circuit résonnant dont le solénoïde fait partie. Dans cette application, le signal de pilotage a une amplitude de l'ordre de 250 V mais il faut que, 500 μ s environ après chaque application du signal de pilotage, le solénoïde soit utilisé pour la réception
20 d'un signal provenant des protons de l'eau se trouvant dans le matériau entourant un sondage, avec une amplitude qui peut être inférieure à 1 μ V. A cet effet, la tension d'excitation ou de pilotage doit être atténuée d'un facteur supérieur à 10^{-9} dans un intervalle d'environ
25 500 μ s. L'atténuation est obtenue essentiellement à l'aide d'un atténuateur commuté qui est décrit dans la demande de brevet français déposée ce même jour par la Demanderesse sous le titre "Appareil de résonance magnétique nucléaire
muni d'un atténuateur commuté et circuit résonnant". Cepen-
30 dant, l'atténuation assurée par cet atténuateur est encore réduite selon l'invention.

Un appareil analogue à celui qui est décrit dans la demande précitée de brevet peut aussi être utilisé dans d'autres types de cavités ou d'orifices, par exemple
35 une version miniaturisée peut être utilisée pour l'étude par résonance magnétique nucléaire du corps humain ou des animaux.

L'invention concerne un appareil de résonance magnétique nucléaire comprenant un premier et un second dispositif destinés à créer des champs magnétiques opposés dans un espace contenant un premier enroulement analogue à un solénoïde dont l'axe est aligné sur les champs et contenant un noyau d'un matériau magnétique, une impédance réactive montée aux bornes du premier enroulement afin qu'un circuit résonnant de facteur de qualité élevée Q soit formé, un dispositif générateur de forme d'onde destiné à créer des impulsions formées de salves d'oscillations et à appliquer les impulsions au premier enroulement, chaque impulsion ayant une enveloppe rectangulaire et deux parties contiguës, avec un changement de phase de 180° au raccord des deux parties, un dispositif destiné à régler l'amplitude de l'une des parties de chaque impulsion, un dispositif destiné à régler la durée de la même partie de chaque impulsion ou de l'autre partie, et un dispositif destiné à former des signaux représentatifs des signaux induits dans le premier enroulement, entre les salves..

L'invention concerne aussi un générateur de forme d'onde destiné à un circuit résonnant ayant un facteur de qualité Q élevé et destiné à créer, dans le circuit résonnant, des oscillations ayant une enveloppe dont l'amplitude augmente linéairement jusqu'à une valeur maximale puis diminue immédiatement d'une manière linéaire jusqu'à zéro, comprenant un dispositif générateur d'impulsions formé de salves d'oscillations, chaque impulsion ayant une enveloppe rectangulaire et deux parties contiguës présentant un changement de phase de 180° à la connexion des deux parties, un dispositif de réglage de l'amplitude de l'une des parties de chaque impulsion, et un dispositif de réglage de la durée de cette même partie de chaque impulsion ou de l'autre partie.

Les salves sont de préférence des salves d'oscillations sinusoïdales.

La première partie de chaque impulsion, lors-

qu'elle est appliquée à un circuit résonnant de facteur élevé de qualité, crée des oscillations ayant une enveloppe qui croît d'une manière pratiquement linéaire dans l'enroulement et, lorsque la seconde partie suit avec une inversion de phase, les oscillations décroissent, l'enveloppe
5 diminuant d'une manière sensiblement linéaire.

L'utilisation d'impulsions ayant une telle enveloppe dans le solénoïde d'un appareillage d'étude des sondages par résonance magnétique nucléaire, forme
10 un signal de pilotage qui est relativement proche de zéro à la fin d'une impulsion et facilite ainsi l'atténuation du signal de pilotage avant la réception des signaux de résonance magnétique nucléaire.

Une caractéristique importante de l'invention
15 est que la décroissance linéaire de la forme d'onde de l'enveloppe peut être réglée de manière qu'elle se poursuive pratiquement linéairement jusqu'à zéro. Ceci est obtenu par observation de la forme d'onde et utilisation du dispositif de réglage de l'amplitude et de la
20 durée pour que la décroissance linéaire atteigne zéro. L'opération peut être facilement réalisée lorsque c'est l'amplitude et la durée de la seconde partie de chaque impulsion qui sont réglables. L'utilisation d'un mode de réalisation de l'invention rend possible la réduction
25 de l'amplitude à la fin de chaque impulsion dans le circuit résonnant à moins de 1 % de l'amplitude de crête et, dans l'exemple donné, la tension est réduite à moins de 1 volt.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description qui va suivre, faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

5 la figure 1 est un diagramme synoptique d'un appareil de résonance magnétique nucléaire RMN selon l'invention ;

la figure 2 représente des impulsions créées par le générateur de forme d'onde de la figure 1 ;

10 la figure 3 représente des impulsions obtenues dans un circuit résonnant à facteur élevé de qualité Q, à la suite des impulsions de la figure 2 ;

la figure 4 représente plus en détail l'une des impulsions de la figure 2 ;

15 la figure 5 est un schéma du générateur de forme d'onde de la figure 1 ;

la figure 6 est un schéma d'un circuit selon l'invention, pouvant être utilisé comme atténuateur commuté de la figure 1 ; et

20 la figure 7 représente la forme d'onde d'une impulsion de commutation utilisée dans le circuit de la figure 6.

On décrit d'abord un appareil de résonance magnétique nucléaire mettant en oeuvre l'invention. Sur la
25 figure 1, un condensateur 11, un enroulement 12 sous forme d'un solénoïde, deux aimants permanents 13 et 14 et un noyau 15 (destiné à l'enroulement 12) formés d'un matériau ferrimagnétique de perméabilité élevée, sont disposés afin qu'ils travaillent de la manière décrite
30 dans la demande précitée de brevet britannique n° 2 141 236. Cependant, comme indiqué précédemment, l'appareil, éventuellement avec d'autres dimensions, peut être utilisé dans d'autres applications de RMN. Les aimants, l'enroulement 12 et son noyau et la plus grande
35 partie ou la totalité du circuit électronique représenté sur la figure 1 sont placés dans un boîtier cylindrique non représenté qui, lors de l'utilisation, est par exemple

descendu dans un sondage ou introduit dans une cavité d'un corps.

Un générateur 16 de synchronisation crée une séquence d'impulsions le long d'une ligne commune 17 afin qu'un générateur 18 de forme d'onde forme une série d'impulsions ayant la forme représentée sur la figure 2 et constituant des signaux d'entrée d'un amplificateur équilibré 19 de pilotage qui alimente un enroulement 21 formé autour de l'enroulement 12. L'enroulement 21 induit des impulsions dans l'enroulement 12, provoquant l'excitation de la résonance magnétique nucléaire dans un fluide (par exemple de l'eau ou du pétrole) dans une formation géologique entourant un sondage ou dans un tissu d'un corps entourant une cavité. Le générateur de forme d'onde est décrit plus en détail dans la suite. La forme d'onde induite dans le circuit résonnant formé par l'enroulement 12 et le condensateur 11 est telle que représentée sur la figure 3 et, à la fin de chaque salve d'oscillations formant une impulsion, la tension résiduelle est atténuée par un atténuateur commuté 22 couplé à un enroulement 26 formé autour de l'enroulement 12. L'atténuateur 22 est décrit plus en détail dans la suite. Dans les intervalles séparant les salves d'oscillation, lorsque la tension d'excitation a diminué et a été suffisamment atténuée, des signaux de RMN sont prélevés par l'enroulement 12 et transmis par un condensateur 23 à un amplificateur 24 à faible bruit. Des diodes de limitation, non représentées, sont connectées à l'entrée de l'amplificateur afin qu'elles réduisent la tension de pilotage pendant les salves d'oscillations de la figure 3. Un ou plusieurs commutateurs de mise en court-circuit sous forme de transistors à effet de champ (non représentés) peuvent aussi être incorporés à l'amplificateur et commandés par le générateur 16 de synchronisation afin qu'ils soient fermés lorsque la tension de pilotage est présente.

Les impulsions (formées par des salves d'oscil-

lations) représentées sur la figure 3 ont la forme générale de la séquence de Carr-Purcell qui est connue pour son utilisation en résonance magnétique nucléaire (RMN). Cependant, les impulsions représentées diffèrent de la séquence normale de Carr-Purcell en ce qu'elles présentent un déphasage de 180° au centre de chaque impulsion. De manière classique, la séquence commence par une impulsion de demi-amplitude appelée $\pi/2$ et elle est suivie par des impulsions de pleine amplitude ayant des phases qui alternent, en commençant par une impulsion de phase opposée à celle de l'impulsion $\pi/2$. Etant donné le changement de phase au début de chaque impulsions, les impulsions suivantes sont appelées impulsions $-\pi$ et π en alternance. Les impulsions π et $-\pi$ sont séparées, dans cet exemple, par des intervalles d'environ 4 ms (entre deux débuts) alors que l'intervalle initial entre l'impulsion $\pi/2$ et la première impulsion $-\pi$ est d'environ 2 ms (entre les deux débuts). Chaque impulsion $\pi/2$, $-\pi$ et π a une durée d'environ 500 μ s.

Lorsque la première moitié de l'une des impulsions de la figure 2 est appliquée à un circuit résonnant à facteur élevé de qualité Q tel qu'un circuit utilisé dans un dispositif d'étude de sondage par résonance magnétique nucléaire du type indiqué précédemment dans lequel le circuit résonnant comporte un solénoïde placé entre deux aimants permanents, le résultat est une croissance linéaire de l'amplitude des oscillations dans le solénoïde, pourvu que la fréquence de la forme d'onde sinusoïdale soit égale à la fréquence de résonance du circuit résonnant ou proche de celle-ci. La croissance linéaire d'amplitude est suivie d'une décroissance linéaire commençant lorsque le changement de phase de 180° apparaît. Ces impulsions dans un circuit résonnant sont représentées sur la figure 3.

A la partie maximale de l'enveloppe de la figure 3 dans une impulsion π ou $-\pi$, l'amplitude de la forme d'onde de tension est de l'ordre de 250 V et il faut que

l'enveloppe diminue linéairement jusqu'à 0 V. Ceci est réalisé par formation de chaque impulsion π ou $-\pi$ avec la configuration indiquée sur la figure 4 dans laquelle la première partie a une durée constante et une amplitude constante, mais la seconde partie a une durée et une amplitude réglables. Lors de la préparation de l'appareil, la forme d'onde aux bornes du circuit résonnant est observée, par exemple avec un oscilloscope, et la seconde moitié de chaque impulsion est réglée afin qu'elle donne la décroissance linéaire nécessaire jusqu'à zéro. Ainsi, une partie 25 peut être avancée (comme représenté) ou retardée par rapport à la position dans laquelle le signal se termine au point de passage à zéro si bien que la seconde moitié de chaque impulsion peut être réalisée, grâce au réglage d'amplitude, d'une manière telle qu'elle annule chaque première moitié aussi exactement que possible, si bien que la forme d'onde sinusoïdale de chaque impulsion se termine à une valeur aussi proche de zéro que possible. La première moitié de chaque impulsion de la figure 6 est constituée de cinq à dix oscillations sinusoïdales, de même que la seconde moitié.

Sur la figure 2, la forme d'onde de la figure 4 apparaît à une borne 110 de sortie de la figure 5 et est formée par commutation d'une forme d'onde sinusoïdale appliquée à une borne d'entrée 111 sans inversion et aussi par l'intermédiaire d'un amplificateur 119 d'inversion. Lors de l'étude par résonance magnétique nucléaire, la forme d'onde appliquée à la borne 111 est à la fréquence de Larmor qui dépend du champ magnétique créé et du matériau soumis au champ. Dans un exemple, la fréquence de Larmor est prise comme étant égale à 41,5 kHz. La borne 111 d'entrée, lorsque la première moitié des salves π et la seconde moitié des salves $-\pi$ doivent être créées, est connectée par les contacts 112 et 113 de commutateurs analogiques doubles 114 et 115 et par résistances 120 et 130 respectivement à l'entrée d'un amplificateur 118 d'addition. Une résistance variable 126 est connectée

entre la résistance 130 et l'amplificateur 118. La seconde moitié de chaque salve π et la première moitié de chaque salve $-\pi$ sont obtenues par connexion de la sortie d'un amplificateur d'inversion 119, connecté à la borne d'entrée 111 par des contacts 121 et 122 et des résistances 123 et 124, à l'amplificateur d'addition 118. Une résistance variable 125 est connectée entre la résistance 123 et l'amplificateur d'addition 118.

Des connexions analogues sont formées afin que les salves $\pi/2$ soient créées, avec un commutateur analogique double 127 ayant des contacts 128 et 129, de résistances 131 et 132 et d'une résistance variable 133. Cependant, un amplificateur 134 à gain variable ainsi que des résistances fixe et variable 135 et 136 et une résistance 137 de sortie sont montés à l'entrée de l'amplificateur d'addition 118.

Lors du fonctionnement, une impulsion 139 de déclenchement est d'abord appliquée à une borne 140 créant la première moitié de l'impulsion $\pi/2$ par fermeture des contacts 128 et transmission du signal à 41,5 kHz à l'amplificateur 118 et ainsi à la borne de sortie 110. La seconde moitié est obtenue par lancement d'une impulsion de déclenchement 141 simultanément à la fin de l'impulsion 139 afin qu'une impulsion analogue mais inversée du signal à 41,5 kHz soit transmise à l'amplificateur 118 par l'intermédiaire des contacts 129. Ainsi, le changement nécessaire de phase est obtenu au milieu des impulsions $\pi/2$. La résistance variable 136 est utilisée pour le réglage de l'amplitude des impulsions $\pi/2$ et la résistance variable 133 est utilisée pour le réglage de l'amplitude de la seconde moitié de ces impulsions. Chaque impulsion 139 et 141 a une durée de 250 μ s environ.

Après un intervalle de 1,5 ms environ, une impulsion 142 de déclenchement est appliquée à une borne 144, et elle est immédiatement suivie d'une impulsion 143 de déclenchement appliquée à une borne 145. Des cycles inversé et non inversé du signal à 41,5 kHz at-

teignent la borne de sortie 110 par l'intermédiaire des contacts 122 et 113 respectivement et donnent les impulsions $-\pi$. La résistance variable 126 permet un réglage de l'amplitude des cycles non inversés comme indiqué sur la figure 3. Chaque impulsion 142 et 143 a aussi une durée d'environ 250 μ s, comme les impulsions ultérieures 146 et 147.

Après un intervalle de 3,5 ms environ, des impulsions 146 et 147 de déclenchement apparaissent et commutent les contacts 112 et 121 successivement avec création des impulsions π , l'amplitude de la partie inversée étant réglable à l'aide de la résistance variable 125.

Des paires d'impulsions 142, 143 et 146, 147 sont maintenant créées en alternance à des intervalles de 4 ms environ jusqu'à la fin de la séquence des impulsions d'excitation. La séquence $\pi/2$, $-\pi$, π est alors répétée après un intervalle prédéterminé.

Les impulsions de déclenchement 139, 142 et 146 sont formées dans le générateur 16 de synchronisation par division à partir d'un oscillateur maître de type piézoélectrique (non représenté) et les impulsions de cet oscillateur déclenchent aussi des circuits monostables respectifs non représentés qui transmettent des impulsions 140, 143 et 147. Les circuits monostables sont réglables afin qu'ils assurent le réglage de la durée des secondes moitiés des impulsions π , $-\pi$ et $\pi/2$. Les impulsions de déclenchement atteignent le générateur 18 de forme d'onde par la ligne commune 17.

La borne 110, à la sortie du circuit de la figure 5, est connectée par l'amplificateur 19 à l'enroulement 21 qui a un faible facteur Q. L'enroulement 12 a un enroulement secondaire de facteur élevé de qualité Q et forme, avec le condensateur 11, le circuit résonnant (dans cet exemple qui résonne à 41,5 kHz) dans lequel la forme d'onde de la figure 3 apparaît.

L'atténuateur commuté 22 représenté sur la figure 6 est maintenant décrit. Lorsque les oscillations

de la figure 3, dans le circuit résonnant (le condensateur 11 et l'enroulement 12) diminuent, elles sont en outre rapidement atténuées par l'atténuateur commuté 22 connecté à l'enroulement 26. L'atténuateur 22 comprend deux transistors à effet de champ MOS 214 et 215 de type appauvri (canal n ou p), ayant chacun une électrode de source connectée à une prise centrale 216 de l'enroulement 26 par l'intermédiaire d'une résistance 229 ayant par exemple une valeur de 10 k Ω . Des résistances 217 et 218 sont montées entre les extrémités opposées de l'enroulement 26 et les bornes de drain des transistors 214 et 215 respectivement. Les résistances 217 et 218 ont ensemble une résistance qui, lorsqu'elle est ajoutée aux résistances des transistors à effet de champ (qui sont souvent d'environ 1 ohm chacune) et par rapport à l'enroulement 12, est égale à la réactance de l'inductance formée par les enroulements 12, 21 et 26 et le noyau 15, en référence à l'enroulement 12. De manière connue, la connexion d'une résistance de cette valeur aux bornes de l'inductance d'un circuit résonnant provoque une atténuation des oscillations dans le circuit à la plus grande vitesse possible. Dans de nombreuses applications, les transistors à effet de champ MOS 214 et 215 peuvent être du type IRF 830 de International Rectifier ou analogue, qui, à l'état conducteur, ont une résistance d'environ 1 ohm, et les résistances 217 et 218 peuvent alors être des résistances de 1,5 ohm, dans l'hypothèse où la réactance de l'inductance indiquée précédemment comme étant l'enroulement 26 est de 5 ohms.

En l'absence d'un signal de pilotage, les transistors 214 et 215 sont polarisés à l'état non conducteur par une tension de polarisation dérivée d'une résistance 220 et de résistances variables 221 et 222 connectées à une tension positive d'alimentation. Un condensateur 219 découpe les résistances 220 et 221. La tension transmise par ces résistances est appliquée par un amplificateur opérationnel 223, un transistor bipolaire 224 ayant

une résistance 225 d'émetteur et deux résistances égales 226 et 227, par exemple de 100 ohms, en série avec les électrodes de grille des transistors à effet de champ respectifs. Un réglage fin et un réglage grossier de la tension de polarisation sont obtenus par réglage des résistances 221 et 222 respectivement, et une résistance variable 228, par exemple de 10 k Ω , montée entre la grille du transistor 215 et la masse afin que les électrodes de grille soient équilibrées à la masse dans la région des caractéristiques des transistors à effet de champ dans lesquels la transition entre la résistance faible et la résistance élevée a lieu.

Lorsque les oscillations doivent être atténuées dans le circuit résonnant, une impulsion positive provenant du générateur 16 de synchronisation est appliquée au transistor 22, les deux transistors passant à l'état conducteur. Les transistors conduisent alors ensemble et transmettent un courant alternatif décroissant rapidement, en fonction de la tension aux bornes de l'enroulement 26. Lorsque les transistors sont commutés à l'état non conducteur à la fin de l'impulsion, les tensions transitoires qui apparaissent aux bornes des transistors 214 et 215 sont en opposition au niveau de l'enroulement primaire 26 et s'annulent donc. Un réglage soigneux de la polarisation des électrodes de grille et un équilibrage par rapport à la masse sont nécessaires pour que les signaux parasites produits soient négligeables dans le circuit résonnant dans une largeur donnée de bande qui peut être par exemple comme décrit précédemment.

L'impulsion de commutation nécessaire aux transistors à effet de champ est de plusieurs volts et doit être réduite à bien moins d'un microvolt afin que les fuites dans le circuit résonnant soient évitées. Si l'impulsion utilisée était rectangulaire, des composantes à des tensions considérables apparaîtraient par exemple dans la largeur de bande indiquée précédemment et ces composantes ne pourraient pas être totalement supprimées

par équilibrage. Pour cette raison, l'impulsion de commutation a la forme indiquée sur la figure 7, comprenant un flanc antérieur 40 très abrupt et un flanc postérieur approximativement exponentiel 41 ayant de préférence

5 une vitesse constante de variation qui ne fait pas apparaître des composantes importantes dans une largeur de bande nécessaire. Dans les exemples représentés, une impulsion rectangulaire allant vers les valeurs négatives et ayant une durée d'environ 500 μ s est appliquée

10 à l'entrée de non-inversion d'un amplificateur opérationnel 230, avec une sortie connectée à un circuit conformateur d'impulsions comprenant une résistance de 500 ohms 231, une résistance de 10 k Ω 232, un condensateur de 6800 pF 233 et une diode 234. Le temps de montée de l'impulsion

15 résultante est déterminé par la résistance 231 et la diode 234 et la décroissance exponentielle est déterminée par la résistance 232 et le condensateur 233. Les valeurs de ces composants sont choisies empiriquement mais ne sont pas primordiales. Le signal de sortie du circuit conformateur

20 est transmis par un amplificateur opérationnel 236 formant un amplificateur tampon et une résistance variable 237 qui permet un réglage de l'amplitude des impulsions lorsque cela est nécessaire.

Le couplage capacitif entre les enroulements

25 21 et 26 et l'enroulement 12 de l'inductance provoque l'apparition d'une composante additive à la suite de la commutation des signaux transitoires, et elle doit donc être éliminée dans la mesure du possible. Dans cet exemple, les enroulements 21 et 26 sont entourés cha-

30 cun d'un mince câble coaxial, le conducteur externe étant à la masse en un point. En outre, ces enroulements sont formés sur toute la longueur de l'enroulement 12 afin que les fuites du champ magnétique soient réduites.

Le générateur selon l'invention permet la création

35 de salves d'oscillations dans de nombreux circuits résonnants ayant des applications très diverses en plus du circuit de l'appareil décrit de RMN.

REVENDICATIONS

1. Circuit générateur de forme d'onde destiné à un circuit résonnant de facteur élevé de qualité, afin que, dans le circuit résonnant, des oscillations ayant
5 une enveloppe dont l'amplitude croît linéairement jusqu'à une valeur maximale puis décroît linéairement vers zéro immédiatement après, soient formées, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif (18) générateur d'impul-
10 sions formé de salves d'oscillations, chaque impulsion ayant une enveloppe rectangulaire et deux parties contiguës avec un changement de phase de 180° à la jonction des deux parties, un dispositif (237) de réglage de l'amplitude de l'une des parties de chaque impulsion, et un dispositif (228) de réglage de la durée de la
15 même partie de chaque impulsion ou de l'autre partie.

2. Circuit d'appareil de résonance magnétique nucléaire, caractérisé en ce qu'il comprend un premier et un second dispositif (13, 14) destinés à créer des champs magnétiques opposés dans un espace contenant
20 un premier enroulement (12) sous forme d'un solénoïde dont l'axe est aligné sur les champs et contenant un noyau d'un matériau magnétique, une impédance réactive (11) connectée aux bornes du premier enroulement afin qu'un circuit résonnant de facteur élevé de qualité soit formé,
25 un dispositif générateur de forme d'onde (18) destiné à créer des impulsions formées de salves d'oscillations et à appliquer les impulsions au premier enroulement, chaque impulsion ayant une enveloppe rectangulaire et deux parties contiguës avec un changement de phase de
30 180° à la jonction des deux parties, un dispositif (237) de réglage de l'amplitude de l'une des parties de chaque impulsion, un dispositif (228) de réglage de la durée de la même partie de chaque impulsion ou de l'autre partie, et un dispositif (12) destiné à dériver des
35 signaux représentatifs des signaux induits dans le premier enroulement entre les salves.

3. Circuit selon l'une des revendications 1 et 2,

caractérisé en ce que le dispositif générateur d'impulsions crée des salves d'oscillations sinusoïdales.

4. Circuit selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le dispositif (18) destiné à créer des impulsions crée des salves dans lesquelles la phase initiale de chaque salve successive d'oscillations dans une séquence de salves est changée de 180° par rapport à la phase initiale de la salve précédente.

5. Circuit selon la revendication 4, caractérisé en ce que le dispositif générateur d'impulsions crée une première impulsion dans chaque séquence qui a la moitié de l'amplitude maximale des impulsions suivantes.

6. Circuit selon l'une des revendications 4 et 5, caractérisé en ce que le dispositif générateur d'impulsions comprend :

une alimentation (111) destinée à transmettre un signal oscillant,

un dispositif d'inversion (119) couplé au dispositif d'alimentation,

20 un premier et un second groupe de dispositifs de commutation couplés au dispositif d'alimentation et au dispositif d'inversion,

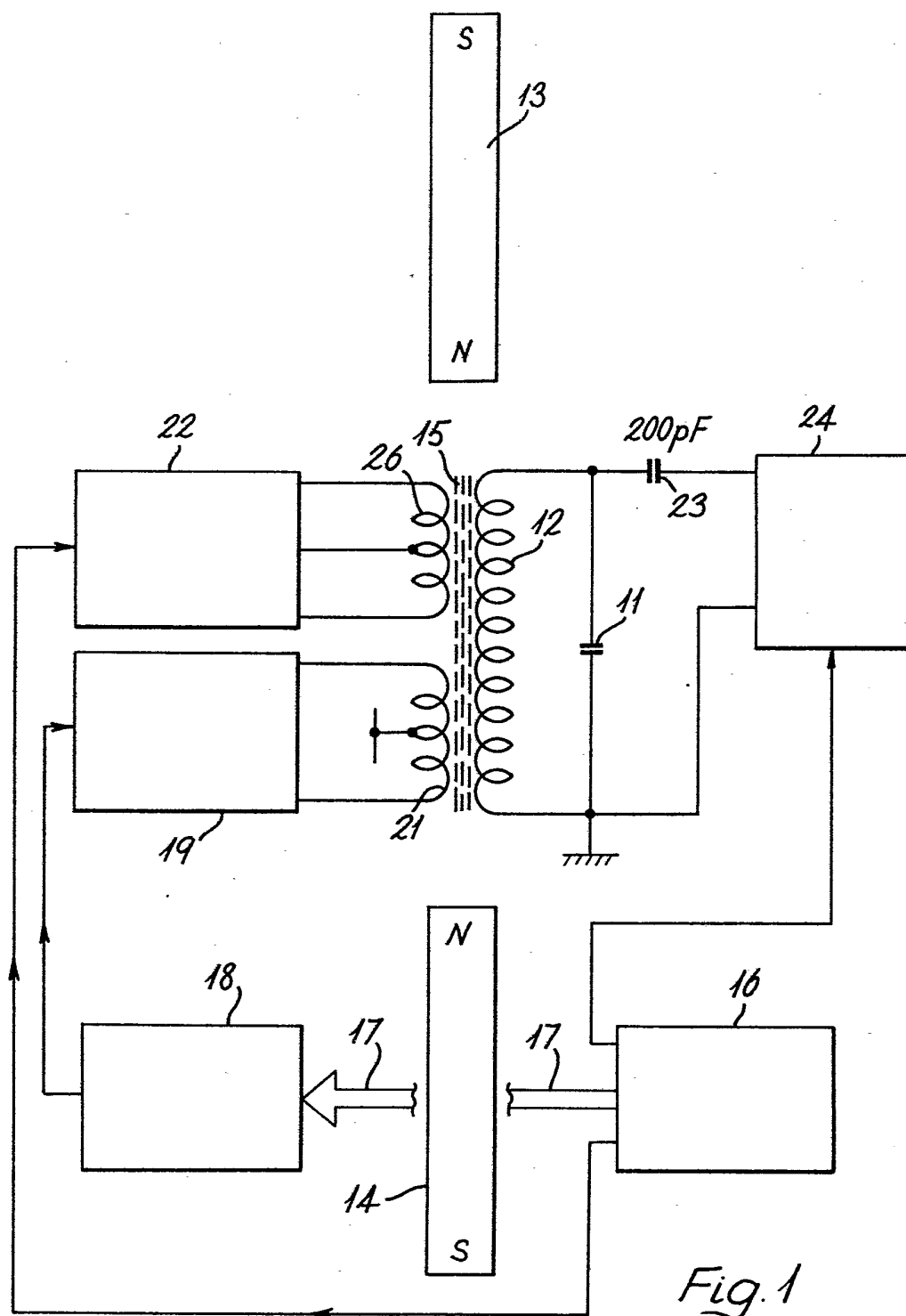
un dispositif de combinaison des signaux de sortie des groupes de dispositifs de commutation, et

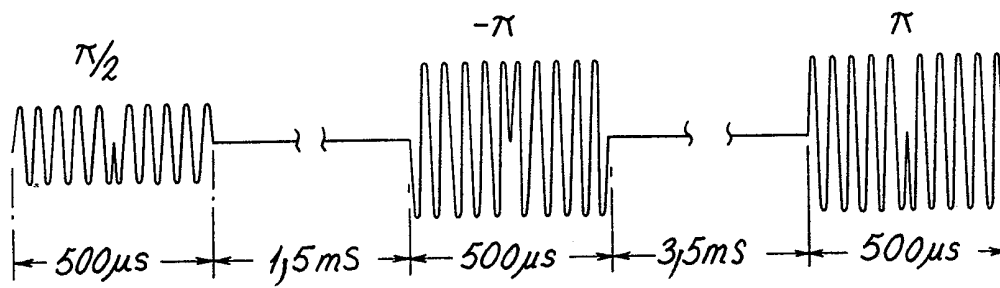
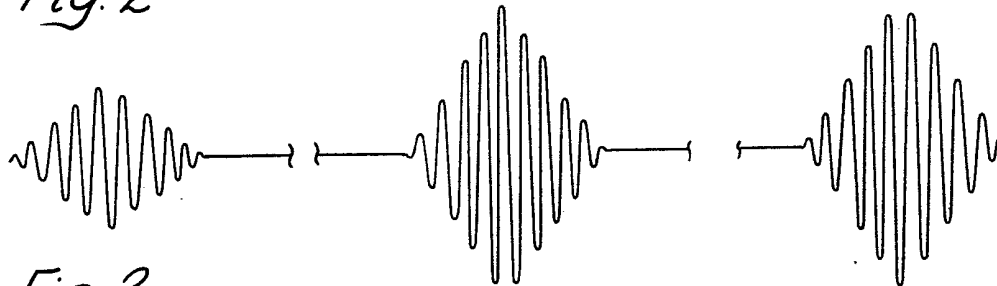
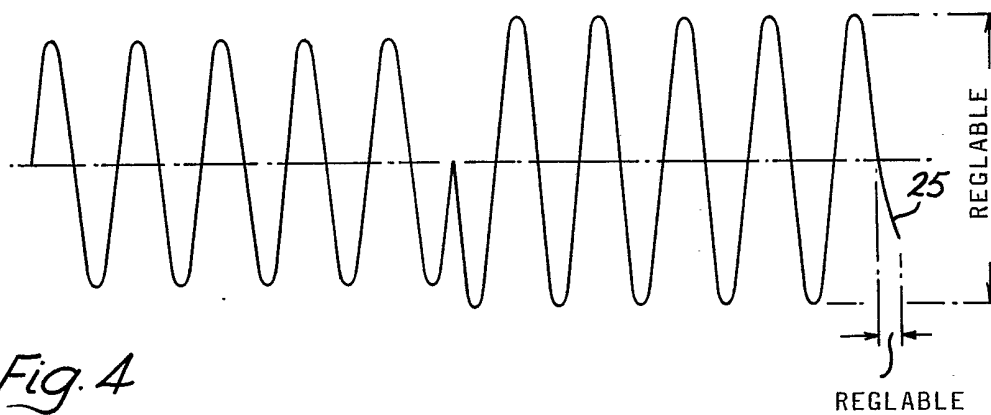
25 un dispositif (110) destiné à transmettre les impulsions de commutation aux dispositifs de commutation de manière que les séquences d'impulsions ayant les phases relatives nécessaires apparaissent à la sortie du dispositif de combinaison.

30 7. Procédé de création d'oscillations dans un circuit résonnant ayant une enveloppe dont l'amplitude croît linéairement jusqu'à une valeur maximale puis diminue immédiatement linéairement jusqu'à zéro, caractérisé en ce qu'il comprend la création d'impulsions formées
35 par des salves d'oscillations, chaque impulsion ayant une enveloppe rectangulaire et deux parties contiguës avec un changement de phase de 180° à la jonction des deux

parties, et le réglage de l'amplitude de l'une des parties de chaque impulsion et de la durée de la même partie ou de l'autre partie de chaque impulsion de manière que la décroissance linéaire nécessaire jusqu'à zéro soit obtenue.

- 5
8. Circuit générateur de forme d'onde destiné à créer des salves d'oscillations dans un circuit résonnant, avec une enveloppe dont l'amplitude augmente jusqu'à une valeur de crête puis diminue jusqu'à zéro, caractérisé
- 10 en ce qu'il comprend un dispositif générateur de salves d'impulsions présentant un changement de phase en un point compris à l'intérieur de chaque salve.



*Fig. 2**Fig. 3**Fig. 4*

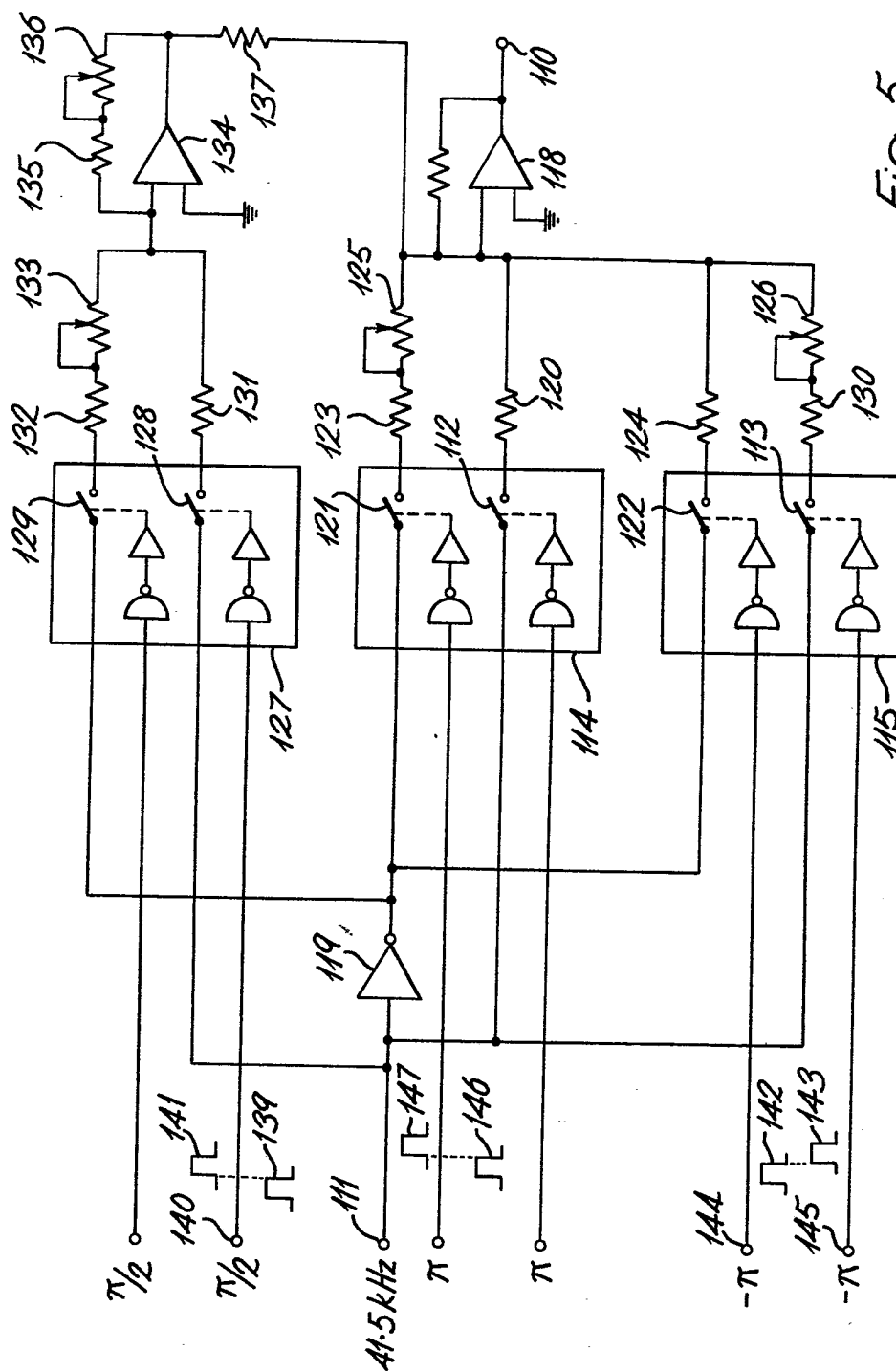


Fig. 5

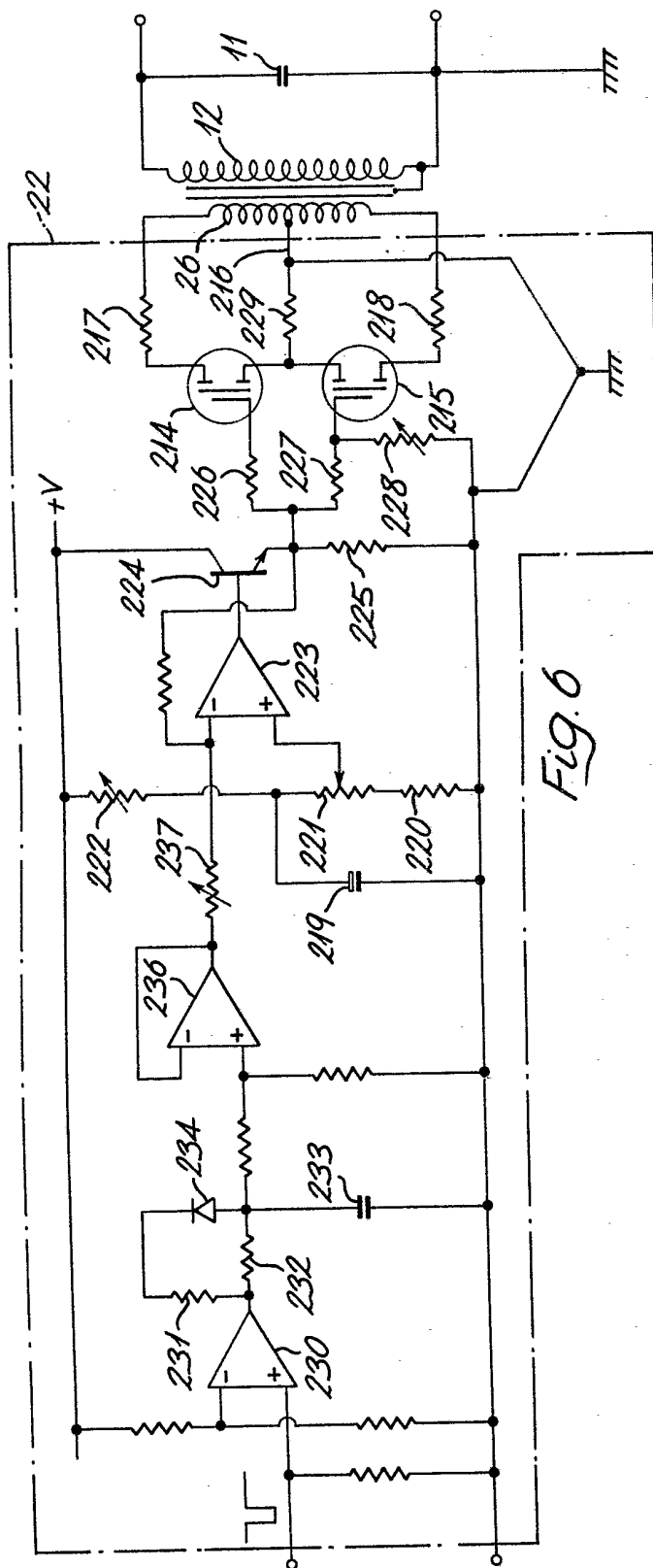


Fig. 6

