

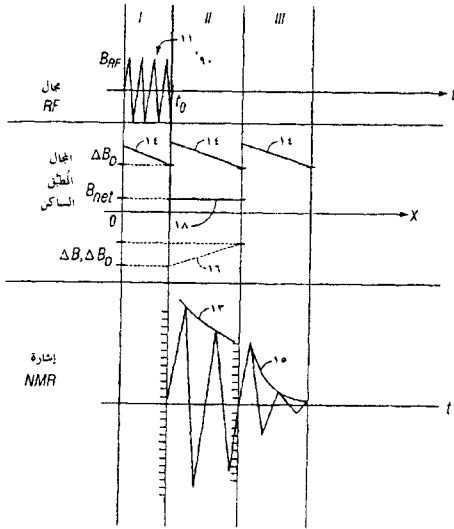


[11] رقم البراءة: ١٧٥٠٠
[45] تاريخ المنح ١٤٢٨/٠٢/٢٨ هـ
الموافق: ٢٠٠٧/٠٣/١٨ م

[19] المملكة العربية السعودية SA
مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

[12] براءة اختراع

[30] بيانات الأسبقية: ١٧٥٤٨٧١٠ [US] ٢٠٠٢/٠٦/١٩ م أمريكا [51] التصنيف الدولي^٧ : Int. Cl.⁷: G01V 3/00 [56] المراجع: براءة أمريكية ٦٥٢٢١٣٧ ٢٠٠٣/٠٢/١٨ م براءة أمريكية ٦٥٢٨٩٩٥ ٢٠٠٣/٠٣/٠٤ م براءة أمريكية ٦٥٣١٨٦٩ ٢٠٠٣/٠٣/١١ م براءة أمريكية ٦٥٣٨٤٣٨ ٢٠٠٣/٠٣/٢٥ م اسم الفاحص : ابراهيم بن منصور الفوزان	[72] اسم المخترع: كريشنا مورثي جانيسان [73] مالك البراءة: سيرفيسوس دي بيرفيلاجيز اليكترونيكوس ، اس.ايه. عنوانه: كرايجمور شامبيرز ، رود تاون ص.ب.٧١، تورتولا، الجزر العذراء البريطانية [74] الوكيل: سليمان ابراهيم العمار [21] رقم الطلب: ٣٢٤٠٠٧٥ [22] تاريخ الإيداع : ١٤٢٤/٠٢/١٢ هـ الموافق : ٢٠٠٣/٠٤/١٤ م
---	---



الشكل (٤)

[54] اسم الاختراع: أداة NMR لإجراء قياسات تقييم

تكوين باستخدام الأصداء المتدرجة

[57] الملخص: يتعلق الاختراع الحالي بطرق لإجراء

قياسات الرنين النووي المغناطيسي

nuclear magnetic resonance

measurements ؛ وتتضمن الطرق خطوات تطبيق

static magnetic field مجال مغناطيسي ساكن

أول لاستقطاب العينة؛ إشعاع نبضة تردد لاسلكي

على العينة. بعد ذلك، يتم تطبيق مجال مغناطيسي

ثان، بحيث أنه عند الجمع بينه وبين المجال

static magnetic field الساكن

الأول؛ فإنه يتم إنتاج مجال مغناطيسي ساكن ثالث.

أخيراً، يتم قياس إشارة NMR المنبعثة من العينة

أثناء تطبيق المجال المغناطيسي الساكن static

magnetic field الثاني، أو بعد إزالته. أخيراً،

يمكن استخدام هذه الطرق لإجراء قياسات رنين

نووي مغناطيسي nuclear magnetic resonance

measurements في الآبار wells .

أداة NMR لإجراء قياسات تقييم تكوين باستخدام الأصداء المتدرجة

الوصف الكامل

خلفية الاختراع

يتعلق الاختراع الحالي بوجه عام بطرق وجهاز للقياس الطيفي للرنين النووي المغناطيسي (NMR).

إن الأدوات ذات أساس كهربائي مغناطيسي المستخدمة لقياس خواص مادة أو التعرف على تركيبها معروفة جيداً. وقد تم استخدام تقنية الرنين النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance measurements (NMR) لتكوين صور لأنسجة حيوية أو لتحديد تركيبة، على سبيل المثال، صيغ أرضية.

إن جهاز قياسات الرنين النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance measurements معروف جيداً في المجال. على وجه العموم، يتضمن جهاز قياسات الرنين النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance measurements مغناطيسات لتشكيل مجال مغناطيسي ساكن، وهوائيات لإرسال واستقبال المجالات المغناطيسية اللاسلكية. عادة ما تكون الهوائيات عبارة عن ملفات لولبية تقع بالقرب من المنطقة المراد تحليلها. وقد تم الكشف عن أمثلة NMR في البراءة الأمريكية ٤٣٥٠٩٥٥ الصادرة لـ Jackson وآخرون والبراءة الأمريكية ٤٧١٧٨٧٧ الصادرة لـ Taicher وآخرون .

وتحدث ظاهرة الرنين النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance measurements بواسطة الأنوية الذرية atomic nuclei ذات إجمالي عدد فردي من البروتونات protons

والنيوترونات neutrons . عند وضعها في مجال مغناطيسي ساكن مطبق خارجياً، B_0 ، تميل الأنوية الذرية atomic nuclei إلى أن تصطف بواسطة المجال المطبق وتنتج مغنطة كلية، M ، في اتجاه المجال المطبق. وتتقدم الأنوية حول محور المجال المطبق مع إعطاء تردد NMR مميز ω (يسمى بتردد Larmor) الذي يتم التعبير عنه بواسطة المعادلة:

$$\omega = \gamma B_0$$

٥

حيث تعبر γ عن المعدل المغناطيسي الجيروسكوبي gyromagnetic ratio .

ويجعل المجال المغناطيسي magnetic field المعتمد على الزمن (RF)، ذي مكونات تردد مساوية لتردد Larmor النوعي للأنوية الذرية، والذي يتم تطبيقه في اتجاه عمودي على المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field B_0 ، الأنوية تمتص الطاقة وتتمايل بعيداً عن محور المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field B_0 . إذا ما تم إيقاف نبضة RF بشكل خاص عندما تصل زاوية التمايل إلى 90° ، فإن المغنطة تسقط إلى مستوى مستعرض على اتجاه B_0 (المستوى x-y) والآن تتقدم المغنطة الكلية حول المجال المغناطيسي B_0 magnetic field في المستوى المستعرض عند تردد Larmor. وتسمى هذه النبضة، نبضة 90° . ونبضة 180° هي تلك التي تميل المغنطة من خلال 180° ، وتعكسها. ويشكل هذين النوعين من نبضة RF الأدوات الرئيسية لقياس طيف NMR.

١٥

يوضح الشكلان ٢أ و ٢ب تعاقبات النبضة المستخدمة نمطياً في القياس الطيفي لـ NMR. يوضح الشكل ٢أ، النبضة 90° التي تم وصفها أعلاه على الرسم البياني العلوي، وإشارة تم الكشف عنها في الرسم البياني السفلي. يوضح الشكل ٢ب تعاقب نبضة الدوران - الصدى. يتم أولاً تطبيق نبضة 90° على نظام الأنوية الذرية. تُدير نبضة 90° درجة، المغنطة المناظرة إلى

المستوى x-y. تبدأ المغنطة المستعرضة في تغيير الطور. وعند نقطة زمنية معينة بعد نبضة 90° درجة، يتم تطبيق نبضة 180° . وتُدير هذه النبضة المغنطة بمقدار 180° حول المحور x. تتسبب نبضة 180° م في أن تُعيد المغنطة تشكيل إشارة تسمى الصدى جزئياً على الأقل. لهذا يُشار إلى 180° بنبضة إعادة تركيز. يوضح الرسم البياني السفلي بالشكل ٢ الإشارة التي تم الكشف عنها.

لا يتم استخدام فقط نبضات 90° . يكون تكرار العديد من نبضات RF ذات زوايا قفز صغيرة (أقل من 90°) نافعاً أيضاً لإنتاج إشارة مرتفعة لمعدلات الضوضاء (S/N). وتكمن الميزة من استخدام نبضة RF لها زاوية قفز صغيرة في أنه بعد نبضة RF تظل هناك بواقي من المغنطة بامتداد المحور z. يمكن استخدام المغنطة المتبقية لملاحظة إشارة NMR التالية. لهذا، يمكن تكرار تطبيق نبضة RF ذات زاوية قفز صغيرة أخرى بدون الحاجة إلى الانتظار لرجوع المغنطة بامتداد المحور z. ويُسمى معامل الزمن الذي تعود المغنطة بموجبه إلى المحور z بعد نبضة RF، زمن تراخي الدوران - التشابك (T_1). ويسمح تطبيق نبضة RF ذات زاوية قفز صغيرة، بتكرار نبضات RF التالية بدون وصول متجه المغنطة إلى قيمة التوازن الخاصة به. ولزمن محدد، من المحتمل الحصول على سلسلة من إشارات NMR ذات زاوية قفز صغيرة وأزمنة تكرار صغيرة بدلاً من نبضة RF ذات زاوية 90° مفردة. لهذا، يكون معدل الإشارة إلى الضوضاء (S/N) أكبر باستخدام سلسلة من زوايا قفز صغيرة منه عند استخدام نبضة RF ذات زاوية 90° مفردة.

وتتعلق أقصى زاوية قفز صغيرة α وتباعد زوايا القفز الصغيرة τ ، بزمن التراخي T_1 بواسطة العلاقة:

- ٥ -

$$\cos \alpha = \exp(-\tau/T_1).$$

من المعروف أن قوة إشارة NMR التي تمت ملاحظتها، تعتمد على زاوية قفز، وزمن التكرار، و T_1 . ويتم التعبير عن المقدار المبدئي لإشارة FID بواسطة:

$$M = M_o [(1 - E_1)/(1 - E_1 \cos \beta)] \sin \beta$$

٥ حيث

$$E_1 = \exp(-T/T_1)$$

T_1 = زمن تراخي الدوران - التشابك

T = زمن التكرار

β = زاوية القفز

١٠ يوضح الشكل ٩ رسم بياني لمقدار قمة FID المعياري كدالة في زاوية قفز (β) لقيم متنوعة من T_1/T .

على سبيل المثال، يكون مقدار الإشارة ٥٠٪ من المقدار التام مع زاوية قفز قدرها ٥٠° عندما يكون زمن التكرار ٥٠٪ من T_1 . ويكون مقدار إشارة FID لأقصى إشارة مع زاوية قفز قدرها ٩٠° وزمن تكرار $5T_1$. خلال زمن $5T_1$ ، يمكن تكرار زاوية القفز ٥٠°، ١٠ مرات وتكون

١٥ الزيادة في S/N هي ٥٨٪.

على نحو تجريبي، يتم الكشف عن إشارة NMR بواسطة ملف RF تم ضبطه، بحيث يكون محوره عمودياً على المجال المغناطيسي الساكن B_o static magnetic field، ويكون نفس الملف

المستخدم للاستثارة ملائم أيضاً للكشف، أو بطريقة أخرى، يمكن استخدام ملف متعامد على نحو متبادل. تقوم مغنطة NMR المتذبذبة بحث جهد في الملف. ويمكن الكشف عن إشارات NMR المذكورة وتحويلها بطريقة فورييه لاشتقاق مكونات التردد لإشارات NMR المميزة للأنوية التي تم حثها.

٥ وينتج اضمحلال مقدار الإشارة مع الوقت بسبب ظاهرة تراخي الدوران- الدوران وحقيقة أن كل نواة ذرية تتعرض إلى مجال مغناطيسي مختلف بقدر ضئيل. عند أقصى قيمة للإشارة، تتقدم كل الأنوية الذرية atomic nuclei باتساق. وبانقضاء الوقت، تزيد اختلافات الطور بين الأنوية الذرية، ويكون مجموع إجمالي مساهمة متجهات المغنطة لكل نواة ذرية صفر بشكل حتمي.

١٠ تتعرض الأنوية الذرية atomic nuclei إلى قيم مجال مغناطيسي مختلفة فيما يتعلق ببعضها البعض بوجه عام بسبب عدم التجانس في المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field B_0 ، وظاهرة الإزاحة الكيميائية، أو بسبب عدم تجانس المجال المغناطيسي magnetic field الداخلي (المستحث بواسطة العينة).

١٥ يمكن أن يكون عدم التجانس في المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field B_0 ، ناتج عن نواقص في مصدر المجال المغناطيسي magnetic field المناظر. بالإضافة إلى ذلك، تتعرض قوة المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field B_0 ، إلى نقص كلما تم قياسها من مصدر المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field، كما هو موضح بالشكل ٣. ويُسمى ذلك بمعامل تدرج المجال المغناطيسي. ويكون لمعامل التدرج ميل محدد بواسطة كمية التغير في قوة المجال المغناطيسي magnetic field مقسومة على الإزاحة من مصدر المجال المغناطيسي. ويتم تعريف معامل التدرج بحيث تقل قوة المجال المغناطيسي magnetic field كلما

تم قياسه من مصدر المجال المغناطيسي magnetic field بأن له ميل سالب (dx/ dB أقل من صفر). ويتم تعريف المجالات المغناطيسية التي تزيد قوتها كلما تم قياسها من مصدر المجال المغناطيسي magnetic field بأن لها معاملات تدرج ذات ميل موجب (dx/ dB أكبر من صفر).

٥ وتحدث ظاهرة الإزاحة الكيميائية عندما توضع ذرة في مجال مغناطيسي. تدور إلكترونات الذرة حول اتجاه المجال المغناطيسي magnetic field المطبق مما يتسبب في مجال مغناطيسي عند النواة والذي يساهم في القيمة الإجمالية للمجال المغناطيسي المطبق على نواة الذرة.

وتكون أمثلة عدم تجانس المجال المغناطيسي magnetic field الداخلي (المستحث بواسطة العينة) تداخلات بين الأوساط ذات قابليات مغناطيسية مختلفة، مثل التداخل في المائع ذي مسام حبيبية في التكوينات الأرضية. وتظل الإشارة التي تم قياسها (اضمحلال الحث المطلق، FID) فقط بمدى تقدم الأنوية الذرية atomic nuclei في اتساق. وتتم الإشارة إلى الفترة الزمنية التي تضعف فيها الإشارة إلى صفر ب الزمن اضمحلال الحث المباشر.

وقد تمت ملاحظة أن الإشارة توهن تلقائياً بالنسبة إلى الزمن، ولهذا:

$$M(t)=M_0e^{(-t/T_2^*)} \quad (1)$$

١٥ حيث M_0 عبارة عن معامل توجيه المغنطة المبدئي وتسمى T_2^* ثابت نفاذ الوقت وهو الزمن المطلوب لتقليل M_0 بعامل e . ومقلوب T_2^* ($1/T_2^*$) هو النسبة التي تقل عندها قيمة M_0 في فترة زمنية محددة t .

كما تم الوصف أعلاه، يمكن أن ينتج اضمحلال مقدار الإشارة عن عدم التجانس في إجمالي المجال المغناطيسي magnetic field المطبق على المنطقة التي يتم حثها. يمكن أن يكون عدم التجانس المذكور نتيجة لتدرج المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field ، والإزاحة الكيميائية، وعدم التجانس المستحث بواسطة العينة. تساهم كل ظاهرة من الظواهر التي سبق وصفها بنسبتها المحددة في تقليل متجه المغنطة الإجمالي. لهذا،

$$1/T_2^* = 1/T_2 + 1/T_2' + \gamma \Delta B_0$$

حيث، ينتج $T_2/1$ على سبيل المثال عن تراخي الدوران - الدوران، ويكون هو $T_2/1$ هو نسبة عدم التجانس المستحث بواسطة العينة وينظر $\gamma \Delta B_0$ مساهمة عدم تجانس المجال الساكن. ويمكن كتابة المعادلة ١ كما يلي:

$$M(t) = M_0 [e^{-t(T_2 + T_2' + \gamma \Delta B_0)}] \quad (٢) \quad ١٠$$

لهذا، يمكن أن تنتج فترة الاضمحلال (FID) بعد نبضة RF ٩٠°، من عدم تجانس المجال المغناطيسي magnetic field للمجال الساكن B_0 ، وزمن تراخي الدوران - الدوران (T_2) وزمن عدم التجانس المستحث بواسطة العينة (T_2') كما هو موضح بالمعادلة ٢.

تنبعث إشارة NMR من منطقة تقع في العينة التي يتم إشعاعها بواسطة إشارة RF. وتسمى هذه المنطقة بمنطقة الاستثارة. الشكل ٣ عبارة عن توضيح للمنطقة التي تمت استثارتها (١٢) ذات سُمك Δx . ومن المعروف أنه كلما زادت قوة إشارة RF، تزيد قيمة Δx . وتدل قيمة Δx أكبر إلى ميل أكبر في قيمة المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field عبر المنطقة التي تمت استثارتها مما يدل على عدم تجانس أكبر في المجال المغناطيسي الساكن static magnetic

field (ΔB_0) واضمحلال أسرع بشكل حتمي للإشارة كما هو ملحوظ بالمعادلة ٢. لهذا، بزيادة قوة مجال RF، يقل استمرار الإشارة إلى حد كبير.

مع ذلك، تنتج مناطق مستثارة أكثر سُمكاً (Δx أكبر)، على سبيل المثال، في الإشارات التي يمكن الكشف عنها، مثل إشارات صدى تعاقب CPMG (Carll-Purcell-Meiboom-Gill).

٥ ويتكون تعاقب CPMG من نبضة ٩٠ يليها عدد نبضات ١٨٠ تحدث بينها الأصداء.

لهذا، من المفضل أن تكون هناك، عند أخذ قياسات NMR، إمكانية تعديل أو حتى إلغاء مساهمة خاصة لفترة الاضمحلال FID، مثل عدم تجانس المجال المغناطيسي magnetic field للمجال المغناطيسي B_0 .

علاوة على ذلك، من المفضل أيضاً تعديل معامل تدرج إجمالي المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field المطبق على المنطقة التي تمت استثارته لحث إشارات صدى حينما يتم تخزين التدرج الأصلي للمجال المغناطيسي الساكن static magnetic field المطبق B_0 .

وصف عام للاختراع

١٥ تتمثل إحدى سمات الاختراع في طريقة لقياسات الرنين النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance measurements . وتتضمن الطرق خطوات تطبيق مجال مغناطيسي ثابت لاستقطاب الأنوية polarize nuclei في منطقة مراد تحليلها. ويكون للمجال المغناطيسي الثابت معامل تدرج. بالإضافة إلى ذلك، يتم تطبيق مجال مغناطيسي ذي تردد لاسلكي على المنطقة لإعادة توجيه الأنوية بها وأيضاً يتم تطبيق مجال مغناطيسي متدرج gradient magnetic field على المنطقة محل الاهتمام. ويكون المجال المغناطيسي المتدرج gradient magnetic field معامل تدرج ثان معاكس إلى حد كبير في الإشارة ومساوي في المقدار

لمعامل تدرج المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field . أخيراً، يتم الكشف عن إشارة رنين نووي مغناطيسي nuclear magnetic resonance من المنطقة.

وتمثل سمة أخرى للاختراع في طريقة لقياسات الرنين النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance measurements . وتتضمن الطريقة خطوات تطبيق مجال مغناطيسي ساكن لاستقطاب الأنوية polarize nuclei في منطقة مراد تحليلها. ويكون للمجال المغناطيسي الساكن static magnetic field معامل تدرج أول first gradient. علاوة على ذلك، يتم تطبيق مجال مغناطيسي ذي تردد لاسلكي على المنطقة لإعادة توجيه الأنوية بها وأيضاً يتم تطبيق مجال مغناطيسي متدرج على المنطقة محل الاهتمام. ويكون المجال المغناطيسي المتدرج gradient magnetic field معامل تدرج ثان معاكس إلى حد كبير في الإشارة لمعامل تدرج المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field ويكون له مقدار يتم اختياره بحيث يعكس إشارة معامل تدرج المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field . أخيراً، تتم إزالة المجال المغناطيسي المتدرج gradient magnetic field ويتم الكشف عن إشارة رنين نووي مغناطيسي من المنطقة.

علاوة على ذلك، تتمثل سمات أخرى للاختراع في طرق لإجراء قياس الرنين النووي

المغناطيسي nuclear magnetic resonance measurements في الآبار wells . ١٥

سوف تتضح سمات ومزايا أخرى للاختراع من الوصف التالي وعناصر الحماية المرفقة.

شرح مختصر للرسومات

الشكل ١ عبارة عن توضيح لجهاز رنين مغناطيسي .

الشكلان ٢ و ٢ب عبارة عن توضيحات لإشارات مطبقة وتم قياسها.

الشكل ٣ عبارة عن رسم بياني لقيمة المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field

المطبق. ٥

الشكل ٤ عبارة عن رسم بياني للمجالات المطبقة والإشارات التي تم قياسها وفقاً لأحد نماذج

الاختراع.

الشكل ٥ عبارة عن رسم بياني للمجالات المطبقة والإشارات التي تم قياسها وفقاً لأحد نماذج

الاختراع.

الشكل ٦ عبارة عن رسم بياني للمجالات المطبقة والإشارات التي تم قياسها وفقاً لأحد نماذج ١٠

الاختراع.

الشكل ٧ عبارة عن رسم بياني تخطيطي لأداة تسجيل الأداء في حفر بئر well وفقاً لأحد نماذج

الاختراع.

الشكل ٨ عبارة عن رسم بياني تخطيطي لأداة تسجيل الأداء في حفر بئر well وفقاً لأحد نماذج

الاختراع. ١٥

الشكل ٩ عبارة عن رسم بياني لمقدار ذروة FID المعياري كدالة في زاوية القفز (β) لقيم

متنوعة T_1 / T .

الوصف التفصيلي:

يمكن استغلال الاختراع على سبيل المثال، من خلال جهاز NMR مثل ذلك الموضح بالشكل ١.

الشكل ١ عبارة عن جهاز لإجراء قياسات رنين نووي مغناطيسي nuclear magnetic resonance

(NMR) measurements (١) قريبة من مادة (٣) مراد فحصها. يمكن أن يتكون جهاز NMR

٥ (١) من مغناطيسيين magnets (٦) موضوعين على محور طولي (z). ويكون متجهات

المغناطيسيين (٦) موازياً للمحور الطولي z. تقع الملفات اللولبية (٨) في المنطقة الواقعة بين

المغناطيسيين (٦). ويُنتج المغناطيسيين (٦) مجال مغناطيسي ساكن B_0 ، حيث تتحرك خطوط

الحث المغناطيسي المذكورة من المركز إلى الخارج، إلى التكوين. تتم تهيئة ملفات متدرجة

بشكل أكبر (٩) لإنتاج مجال مغناطيسي متدرج B_g . يتم إمداد الملف Coil (٨) بالطاقة بتيار

١٠ متغير الزمن لإنتاج مجال مغناطيسي ذي تردد لاسلكي (RF). يمكن الكشف عن الإشارة

المستحثة المنتجة بواسطة الأنوية الذرية atomic nuclei التي تشكل المادة material (٣)، على

سبيل المثال بواسطة الملف (٨). عند تسجيلها، تتحول بيانات الإشارة المستحثة إلى طيف

NMR. يوفر طيف NMR معلومات قيمة متعلقة بتركيب المادة (٣). وقد تم توضيح جهاز

للحصول على قياس رنين نووي مغناطيسي، كما تم الوصف أعلاه، في البراءة الأمريكية

١٥ ٦٢٤٦٢٣٦ الصادرة لـ Poitzsch et al التي تم تضمينها كمرجع في هذه البراءة.

وفقاً لأحد نماذج الاختراع، يمكن أن يكون الملف (٩) عبارة عن ملف تدرج سمتي azimuthal

gradient بحيث يمكن فقط إشعاع المناطق المختارة بالمجال المغناطيسي المتدرج gradient

magnetic field للحصول على تصوير سمتي azimuthal imaging. على سبيل المثال، يمكن

الكشف عن الإشارة المناظرة فقط أمام الملف ويمكن كبتها في المناطق المتبقية.

تتكون بعض نماذج الاختراع من تطبيق مجال مغناطيسي متدرج على عينة متعرضة لمجال مغناطيسي ساكن B_0 ، لإلغاء أو تعديل استجابة العينة بسبب المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field . وتحت هذه الظروف، لا تكون إشارة FID signal (١٣)، الموضحة بالشكل ٤، بسبب تدرج المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field B_0 . لهذا، أثناء المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field ، يتغير طور الأنوية الذرية atomic nuclei بسبب مصادر أخرى لعدم تجانس المجال المغناطيسي، مثل الإزاحة الكيميائية، و عدم التجانس المستحث بواسطة العينة، المنتجة على سبيل المثال، عند الواجهة البينية بين الأوساط ذات قابليات مغناطيسية مختلفة (على سبيل المثال، المائع ذي مسام حبيبية البيني). كما تم التوضيح أعلاه، تكون فترات الاضمحلال (T_2 و T_2') لهذه الظاهرة أطول بكثير ولهذا تستمر إشارة FID لزمن أطول. ١٠

وللكشف عن إشارة FID استخدامات عديدة، من بينها على سبيل المثال، يمكن استخدام نبضات RF ذات زوايا قفز أقل (أكبر من ٩٠°) وأزمنة تكرار صغيرة للحصول على نسب إشارة إلى ضوضاء مرتفعة نسبياً (SIN). ومن المحتمل أيضاً الكشف عن إشارات FID ذات فترات اضمحلال قصيرة نسبياً (T_2). ويسمح استخدام ملفات التدرج السمتية بتحليل المناطق المختارة عن طريق كبت إشارات NMR في مناطق أخرى. ويتم الحصول على صور NMR السمتية ذات S/N مرتفع بزوايا قفز منخفضة وملفات تدرج سميتية. ١٥

الشكل ٤ عبارة عن رسم بياني للمجالات المغناطيسية المطبقة والتدرج الذي تم قياسه في NMR وفقاً لأحد نماذج الاختراع. يوضح الصفان ١ و ٢ المجالات المغناطيسية المطبقة. ويعرض الصف ٣ إشارة NMR المستحثة. توضح الأعمدة من I إلى III المراحل المختلفة للطريقة وفقاً لأحد نماذج الاختراع. وتتكون الطريقة الموضحة بيانياً بالشكل ٤ أولاً من تطبيق نبضة مجال ٢٠

مغناطيسي RF magnetic field pulse 90° (١١) لزمن t_0 ، على عينة تتعرض إلى نطاق مغناطيسي ساكن static magnetic field (١٤) B_0 ، (انظر الصف ١، العمود ١ الموضح بالشكل ٤). بعد ذلك، يتم تطبيق مجال مغناطيسي متدرج B_g gradient magnetic field (١٦)، على العينة. وتكون قيمة المجال المغناطيسي المتدرج B_g (١٦) بحيث أنه عند الجمع بينها وبين المجال المغناطيسي الساكن (١٤) B_0 ، يكون لإجمالي المجال المغناطيسي المُطبَّق net applied magnetic field (١٨) B_{net} مقدار ثابت خلال المنطقة المستحثة بالكامل (انظر الجدول ٢، العمود ٢ الموضح بالشكل ٤). على ذلك، يكون تدرج B_{net} هو صفر إلى حد كبير. لهذا، ينتج انحراف تقدم الأنوية الذرية atomic nuclei فقط، على سبيل المثال، عن الإزاحة الكيميائية و/ أو عدم التجانس الداخلي في المجال المغناطيسي magnetic field (المستحث بواسطة العينة). وقد تم توضيح إشارة FID المنبعثة (١٣، الشكل ٤) في الصف ٣، العمود II الموضح بالشكل ٤. تتقدم النواة الذرية بتردد جديد $\gamma(B_0 - B_g)$ في وجود المجال المغناطيسي المتدرج gradient magnetic field B_g . في غياب B_g ، تتقدم الأنوية الذرية atomic nuclei بتردد γB_0 . لهذا، للكشف عن إشارة NMR أثناء النبضة المتدرجة، يجب تهيئة الملف (٩ في الشكل ١) على التردد الجديد $\gamma(B_0 - B_g)$. ويوضح العمود III، الصف ٣ من الشكل ٤ إشارة NMR بعد إزالة المجال المغناطيسي المتدرج مباشرة، ولهذا يتوافق إجمالي المجال المغناطيسي المُطبَّق على المنطقة المستحثة مرة أخرى فقط بواسطة المجال المغناطيسي الساكن B_0 . وقد تم توضيح ذلك في العمود III، الصف ٢ بالشكل ٤.

وللقياس الطيفي لـ NMR باستخدام الكشف عن إشارة FID، تطبيقات متنوعة، ومن بينها على سبيل المثال، القياس الطيفي للمائع السائب. والمائع السائب هو أي مائع لا يخضع إلى عدم التجانس الداخلي المستحث بواسطة عينة.

ويمكن الحصول على المزيد من المعلومات عن طريق مقارنة الاضمحلال الذي تم الحصول عليه مع الاضمحلال الناتج بواسطة إشارات CPMG. وتتميز CPMG بزمّن تراخي الدوران- الدوران (T_2)، حيث يتميز اضمحلال FID بـ T_2 وأيضاً، وأيضاً T_2' (عدم التجانس المستحث بواسطة العينة). لهذا، عند مقارنة اضمحلال FID باضمحلال CPMG، فإنه يمكن الحصول على المعلومات المتعلقة بعدم التجانس المستحث بواسطة العينة. ٥

الشكل ٥ عبارة عن رسم بياني للمجالات المُطبَّقة والإشارات التي تم قياسها وفقاً لنموذج آخر للاختراع. وعلى نحو مماثل للشكل ٤، يوضح الصف ١ والصف ٢ المجالات المغناطيسية المُطبَّقة. ويعبر الصف ٣ عن إشارة NMR المستحثة. توضح الأعمدة من I إلى III المراحل المختلفة للطريقة وفقاً لهذا النموذج للاختراع. وتتكون الطريقة الموضحة بيانياً في الشكل ٥، من تطبيق نبضة مجال مغناطيسي RF ٩٠° مبدئياً (١٨)، لفترة زمنية t_0 ، على عينة تتعرض لمجال مغناطيسي ساكن (B_0 (٢٠) (انظر الصفين ١ و ٢ بالشكل ٥). بعد ذلك، يتم تطبيق مجال مغناطيسي متدرج (B_g' (٢٤) على العينة. وتكون قيمة المجال المغناطيسي المتدرج (B_g' (٢٤) بحيث أنه عند الجمع بينها وبين المجال المغناطيسي المتدرج (B_0 (٢٠)، يكون لإجمالي المجال المغناطيسي المُطبَّق (B_{net}' (٢٢) تدرج تكون القيمة المعاكسة له في الإشارة والقيمة المطلقة له أكبر من تدرج المجال المغناطيسي الساكن (B_0 (٢٠). (انظر الصف ٢، العمود II بالشكل ٥). لهذا، يكون انحراف تقدم الأنوية الذرية atomic nuclei في الاتجاه المعاكس لذلك عند تطبيق فقط المجال المغناطيسي الساكن (B_0 (٢٠).

وأخيراً، تتم إزالة المجال المغناطيسي المتدرج (B_g' (٢٤) (انظر العمود II، الصف ٢ بالشكل ٥) مما يدفع الأنوية الذرية atomic nuclei إلى إعادة التشكل. لهذا، تتكوّن إشارة صدى متدرجة.

وقد تم توضيح إشارة الصدى المتدرجة المنبعثة (١٩) في الشكل ٥، العمود III، الصف ٣. ويتم الكشف عن إشارة الصدى المتدرجة (١٩) عند عدم تطبيق أي مجال مغناطيسي متدرج B_g' . لهذا، أثناء قياس إشارة الصدى المتدرجة (١٩)، تتقدم الأنوية الذرية atomic nuclei بتردد γB_0 . ولهذا يجب تهيئة الملف (٩) إلى تردد مساو لـ γB_0 .

٥ ويتم حساب الزمن (t_e) الذي تتكون فيه إشارة الصدى المتدرجة (١٩) (انظر العمود III الصف ٣ بالشكل ٥) من المعادلة:

$$t_e = |(G_o - G_g)| t_g / |G_o| \quad (٣)$$

حيث تكون G_o و G_g عبارة عن تدرج المجال الساكن B_0 والمجال المتدرج B_g ، على التوالي. و t_g عبارة عن الفترة الزمنية التي يتم أثنائها تطبيق المجال المغناطيسي المتدرج B_g . على سبيل المثال، عندما يكون تدرج المجال B_g مثل تدرج المجال B_0 مرتين؛ يكون الزمن الذي تكونت فيه إشارة الصدى المتدرجة (١٩) t_e مساوياً للفترة الزمنية t_g التي يتم تطبيق المجال المغناطيسي المتدرج B_g أثنائها.

١٥ ويُنْتِج اضمحلال إشارة الصدى المتدرجة (١٩) فقط بسبب وجود أزمنة اضمحلال بسبب أزمنة تراخي الدوران - الدوران (T_2) وعدم التجانس الداخلي في المجال المغناطيسي المستحثة بواسطة العينة (T_2') magnetic inhomogeneities.

وللكشف عن إشارة الصدى المتدرجة تطبيقات متعددة، من بينها على سبيل المثال، إمكانية استخدام نبضات RF بزوايا قفز أقل (أكبر من ٩٠°) للتوصل إلى نسب إشارة إلى ضوضاء مرتفعة نسبياً (S/N). كما أنه من المحتمل الكشف عن إشارات FID التي لها أزمنة اضمحلال قصيرة نسبياً (T_2 و T_2'). ويسمح استخدام الملفات المتدرجة سمياً بتحليل المناطق المختارة عن

طريق كبت إشارات NMR في مناطق أخرى. ويتم الحصول على صور NMR السميتية ذات نسب S/N مرتفعة بزوايا قفز منخفضة وملفات تدرج سميتية. بالنسبة إلى الكشف عن FID، توفر إشارة الصدى المتدرجة نسبة S/N أعلى.

يتم الحصول على المعادلة ٣ عن طريق ملاحظة أن انحراف الدورات في المنطقة التي تمت استئثارها أثناء تطبيق المجال المغناطيسي المتدرج B_g متناسب مع $(G_o - G_g) t_g$. ويتناسب الانحراف بعد تطبيق المجال المغناطيسي المتدرج B_g مع $G_o t_e$. ويجب أن تلغي قيمتي الانحراف المذكورتين بعضهما البعض لإعادة تركيز الإشارة (الصدى). أي أنه:

$$(4) \quad \text{صفر} = (G_o - G_g)t_g + G_o t_e$$

وقد تم توضيح نموذج آخر للاختراع في الشكل ٦. في هذه الحالة، يتم تكرار تكون إشارة الصدى المتدرجة الذي تم وصفه أعلاه، لعدة مرات حتى تخفي إشارة الصدى المتدرجة (٢٣)، (٢٧، ...). مبدئياً، يتم تطبيق نبضة مجال RF (٢٦) (الصف الأول، العمود ١ من الشكل ٦) بينما يقوم المجال المغناطيسي المُطبَّق الساكن (٢٨) B_o باستقطاب الأنوية في المنطقة الخاضعة للتحليل. بعد ذلك، يتم تطبيق مجال مغناطيسي متدرج (٣٠) B_g' على المنطقة. ويكون مقدار المجال المغناطيسي المتدرج (٣٠) B_g بحيث أنه عند الجمع بينه وبين المجال المغناطيسي الساكن (٢٨) B_o ، يكون تدرج إجمالي المجال المغناطيسي المُطبَّق (٣٢) B_{net}' في اتجاه معاكس لتدرج المجال المغناطيسي الساكن (٢٨) B_o (انظر الصف ٢، العمود ٢ بالشكل ٦). لهذا، يكون انحراف تقدم الأنوية الذرية atomic nuclei في الاتجاه المعاكس لذلك عند تطبيق المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field B_o . ويتم تكرار هذه الخطوة لعدة مرات (انظر

الصف ٢، الأعمدة من N إلى $N+1$ بالشكل ٦). كما هو ملحوظ، يقل مقدار إشارة الصدى المتدرجة المنبعثة (٢٣، ٢٧) حتى تنخفض إلى صفر.

يمكن استخدام إشارات الصدى المتدرجة المنبعثة (٢٣، ٢٧) للقياس الطيفي لـ NMR. ويتم الكشف عن كل إشارة من إشارات الصدى المتدرجة المنبعثة (٢٣، ٢٧) قبل تطبيق المجال المغناطيسي المتدرج gradient magnetic field المناظر (٣٢) B_g' مباشرة. يمكن أن يوفر تحويل فورييه لإشارات الصدى المتدرجة المنبعثة (٢٣، ٢٧)، طيف NMR.

وللقياس الطيفي لـ NMR باستخدام الكشف عن إشارة الصدى المتدرجة العديد من التطبيقات، من بينها، على سبيل المثال، القياس الطيفي للمائع السائب. وأيضاً كما قيل مسبقاً، يمكن الحصول على المزيد من المعلومات عن طريق مقارنة الاضمحلال الذي تم الحصول عليه مع الاضمحلال الناتج عن إشارات CPMG والقياس الطيفي لـ NMR في معيار MDT. بالنسبة إلى الكشف عن القياس الطيفي لـ NMR FID، يوفر القياس الطيفي لـ NMR باستخدام الكشف عن إشارة الصدى المتدرجة نسبة S/N أعلى.

على سبيل المثال، تكون التطبيقات التي تكون أداة NMR فيها محاطة بالعينة المراد تحليلها، ملائمة للاستغلال بالاختراع. ومن هذه التطبيقات تقنيات تسجيل الأداء في حفر بئر well .

الشكل ٧ عبارة عن توضيح لأداة تسجيل الأداء في الحفر (٢٩) وفقاً لأحد نماذج الاختراع، يتم وضعها داخل بئر well (٣١) على كبل معدني (٣٣). ويقع نظام المغناطيس كما هو موضح بالشكل ١ على نحو طولي داخل أداة تسجيل الأداء في حفر بئر well . تقوم الدوائر الإلكترونية (٤١) بالإمداد بالتيار الكهربائي المناظر إلى الملفات اللولبية (٣٨ و ٣٩) على التوالي، لإنتاج مجال مغناطيسي متدرج وانبعاث مجالات RF المطلوبة بترددات معينة. بالإضافة إلى ذلك، يتم

تصميم الدوائر الإلكترونية (٤١) بحيث تكون مهيأة للملف اللولبي (٣٩) لاستقبال إشارات NMR المنبعثة من الأنوية الذرية atomic nuclei المكوّنة للتكوين الأرضي. يوفر نظام مصدر القدرة (٤٣) التيارات متغيرة الزمن لمد الملف (٣٩) بالطاقة إلى جانب الكشف عن إشارات NMR. تتم تهيئة الأداة الموضحة بالشكل ٧ بحيث يتم نقلها على كبل معدني (٣٣).

٥ الشكل ٨ عبارة عن توضيح لأداة حفر (٤٥) وفقاً لنموذج ثان للاختراع، موضوعة داخل بئر well (٤٧). ويقع نظام المغناطيس كما هو موضح بالشكل ١ على نحو طولي داخل أداة الحفر. تقوم الدوائر الإلكترونية (٥٧) بالإمداد بالتيار الكهربائي المناظر إلى الملفات اللولبية (٥٦ و ٥٥) على التوالي، لإنتاج مجال مغناطيسي متدرج وانبعاث مجالات RF المطلوبة بترددات معينة. بالإضافة إلى ذلك، يتم تصميم الدوائر الإلكترونية (٥٧) بحيث تكون مهيأة للملف اللولبي (٥٥) لاستقبال إشارات NMR المنبعثة من الأنوية الذرية atomic nuclei المكوّنة للتكوين الأرضي. ١٠ يوفر نظام مصدر القدرة (٥٩) التيارات متغيرة الزمن لمد الملف (٥٥) بالطاقة إلى جانب الكشف عن إشارات NMR. سوف يُقدر المتمرسون في المجال أن النموذج الموضح بالشكل ٨ عبارة عن معدة قياس أثناء الحفر (MWD).

على الرغم من أنه قد تم وصف الاختراع بالنسبة إلى عدد محدود من النماذج، سوف يقدر المتمرسون في المجال المنتفعين بالكشف الحالي أنه يمكن تهيئة نماذج أخرى لا تحيد عن مجال الاختراع كما تم الكشف عنه في هذه البراءة. بالتالي، يجب أن يقتصر مجال الاختراع فقط على عناصر الحماية المرفقة. ١٥

عناصر الحماية

- ١ - طريقة لإجراء قياسات الرنين النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance ١
- ٢ measurements في بئر well ، حيث تشتمل على: ٢
- ٣ تطبيق مجال مغناطيسي ساكن static magnetic field لاستقطاب الأنوية polarize nuclei ٣
- ٤ في منطقة أسفل البئر well المراد تحليلها، ويكون للمجال المغناطيسي الساكن static ٤
- ٥ magnetic field تدرج أول first gradient ؛ ٥
- ٦ تطبيق نبضة مجال مغناطيسي magnetic field pulse له تردد لاسلكي على المنطقة لإعادة ٦
- ٧ توجيه الأنوية nuclei بها؛ ٧
- ٨ تطبيق مجال مغناطيسي متدرج gradient magnetic field على المنطقة محل الاهتمام، ٨
- ٩ ويكون المجال المغناطيسي المتدرج gradient magnetic field gradient magnetic field ٩
- ١٠ تدرج ثان معاكس إلى حد كبير في الإشارة ومساوي في المقدار للتدرج الأول first ١٠
- ١١ ؛ gradient ١١
- ١٢ الكشف عن إشارة صدى متدرجة gradient echo signal لرنين نووي مغناطيسي مُنتجة في ١٢
- ١٣ استجابة إلى التدرج الثاني second gradient . ١٣

- ١ -٢ الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث تكون نبضة المجال المغناطيسي ١
- ٢ magnetic field pulse للتردد اللاسلكي عند تردد Larmor للأنوية في المنطقة. ٢

- ١ -٣ الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث يكون لنبضة المجال المغناطيسي ١
- ٢ magnetic field pulse للتردد اللاسلكي فترة استمرار ومقدار يتم اختيارهما بحيث تُعيد ٢
- ٣ توجيه الأنوية في حوالي ٩٠°. ٣

- ١ ٤- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث يكون لنبضة المجال المغناطيسي magnetic field pulse للتردد اللاسلكي فترة استمرار ومقدار يتم اختيارهما بحيث تُعيد توجيه الأنوية في المنطقة في أقل من حوالي ٩٠°.
- ٢ ٥- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٤، حيث يتم تكرار نبضة المجال المغناطيسي magnetic field للتردد اللاسلكي مرة واحدة على الأقل.
- ١ ٦- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٥، حيث يكون التباعد الزمني بين نبضات المجال المغناطيسي magnetic field pulses للتردد اللاسلكي بحيث يتم تحقيق نسبة إشارة إلى ضوضاء مرتفعة.
- ١ ٧- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث يتم إنتاج المجال المغناطيسي المتدرج gradient magnetic field بواسطة ملف سمّي azimuthal coil azimuthal coil واحد على الأقل.
- ١ ٨- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٧، حيث يقوم الملف السمّي azimuthal coil azimuthal coil بإشعاع irradiates منطقة مختارة واحدة على الأقل.
- ١ ٩- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٨، حيث يقوم الملف المتدرج السمّي azimuthal gradient coil بإشعاع irradiates مناطق متعددة للحصول على صورة سمّية azimuthal لمنطقة محيطة بحفرة البئر well .

- ١ -١٠ الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٨، حيث يقوم الملف المتدرج السمتي بإشعاع irradiates ١
- ٢ مناطق متعددة للحصول على صورة سمّية لمنطقة محيطة بحفرة البئر well . ٢
- ١ -١١ الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٨، حيث يقوم الملف المتدرج السمتي بإشعاع irradiates ١
- ٢ مناطق متعددة للحصول على صورة سمّية لمنطقة محيطة بحفرة البئر well . ٢
- ١ -١٢ الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٨، حيث يقوم الملف المتدرج السمتي بإشعاع irradiates ١
- ٢ مناطق متعددة للحصول على صورة سمّية لمنطقة محيطة بحفرة البئر well . ٢
- ١ -١٣ الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث تشتمل أيضاً على التحليل الطيفي لإشارة ١
- ٢ الرنين النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance signal . ٢
- ١ -١٤ الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث يتم تحديد استجابة طيفية من إشارة الرنين ١
- ٢ النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance signal . ٢
- ١ -١٥ الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث يتم تطبيق المجال المغناطيسي المتدرج ١
- ٢ gradient magnetic field في وجود المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field . ٢
- ١ -١٦ الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث يؤدي الجمع بين المجال المغناطيسي ١
- ٢ magnetic field والمجال المغناطيسي الساكن static magnetic field إلى مجال مُطبّق ٢
- ٣ متجانس applied field that is homogeneous . ٣

- ١ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث تشتمل أيضاً على اشتقاق قياس طيف NMR
- ٢ من واحد أو أكثر من الأصداء المتدرجة gradient echoes.
- ١ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث يتم تطبيق المجال المغناطيسي المتدرج
- ٢ gradient magnetic field على نحو مواز للمجال المغناطيسي الساكن static magnetic
- ٣ . field
- ١ - طريقة لإجراء قياسات الرنين النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance
- ٢ measurements في بئر well ، حيث تشتمل على:
- ٣ تطبيق مجال مغناطيسي ساكن static magnetic field لاستقطاب الأنوية polarize nuclei
- ٤ في منطقة أسفل البئر well مراد تحليلها، ويكون للمجال المغناطيسي الساكن static
- ٥ magnetic field تدرج أول first gradient ؛
- ٦ تطبيق مجال مغناطيسي لتردد لاسلكي على المنطقة لإعادة توجيه الأنوية بها؛
- ٧ تطبيق مجال مغناطيسي متدرج gradient magnetic field على المنطقة محل الاهتمام،
- ٨ ويكون المجال المغناطيسي المتدرج gradient magnetic field تدرج ثان، ويكون التدرج
- ٩ الثاني second gradient معاكس إلى حد كبير في الإشارة لتدرج المجال المغناطيسي الساكن
- ١٠ static magnetic field ويكون له مقدار يتم اختياره بحيث يعكس إشارة تدرج المجال
- ١١ المغناطيسي الساكن static magnetic field ؛
- ١٢ إزالة المجال المغناطيسي المتدرج gradient magnetic field ؛
- ١٣ والكشف عن إشارة صدى متدرجة لرنين نووي مغناطيسي مُنتجة في استجابة إلى التدرج
- ١٤ الثاني second gradient .

- ١ ٢٠- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ١٩، حيث يكون المجال المغناطيسي magnetic field
- ٢ للتردد اللاسلكي عند تردد Larmor للأنوية في المنطقة.
- ١ ٢١- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ١٩، حيث يكون للمجال المغناطيسي للتردد اللاسلكي
- ٢ فترة استمرار ومقدار يتم اختيارهما بحيث يُعيد توجيه الأنوية في حوالي ٩٠°.
- ١ ٢٢- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ١٩، حيث يكون لنبضة المجال المغناطيسي
- ٢ magnetic field pulse للتردد اللاسلكي فترة استمرار ومقدار يتم اختيارهما بحيث تُعيد
- ٣ توجيه الأنوية في المنطقة في أقل من حوالي ٩٠°.
- ١ ٢٣- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٢٢، حيث يتم تكرار نبضة المجال المغناطيسي
- ٢ magnetic field للتردد اللاسلكي مرة واحدة على الأقل.
- ١ ٢٤- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٢٣، حيث يكون التباعد الزمني بين نبضات المجال
- ٢ المغناطيسي magnetic field pulses للتردد اللاسلكي بحيث يتم تحقيق نسبة إشارة إلى
- ٣ ضوضاء مرتفعة.
- ١ ٢٥- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ١٩، حيث يتم إنتاج المجال المغناطيسي المتردد
- ٢ gradient magnetic field بواسطة ملف سمّي azimuthal coil واحد على الأقل.
- ١ ٢٦- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٢٥، حيث يقوم الملف السمّي azimuthal coil بإشعاع
- ٢ irradiates منطقة مختارة واحدة على الأقل.

- ١ ٢٧- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ١٩، حيث تشتمل أيضاً على التحليل الطيفي لإشارة
- ٢ الرنين النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance signal .
- ١ ٢٨- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ١٩، حيث يتم تكرار تطبيق المجال المغناطيسي المتدرج
- ٢ gradient magnetic field ؛ وإزالة المجال المغناطيسي المتدرج gradient magnetic field
- ٣ والكشف عن إشارة الرنين النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance signal من
- ٤ المنطقة حتى ينخفض مقدار إشارة الرنين النووي المغناطيسي nuclear magnetic
- ٥ resonance signal إلى صفر.
- ١ ٢٩- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٢٨، حيث يكون المجال المغناطيسي magnetic field
- ٢ للتردد اللاسلكي عند تردد Larmor للأنوية في المنطقة.
- ١ ٣٠- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٢٨، حيث يكون للمجال المغناطيسي للتردد اللاسلكي
- ٢ فترة استمرار ومقدار يتم اختيارهما بحيث يُعيد توجيه الأنوية في حوالي ٩٠°.
- ١ ٣١- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٢٨، حيث يكون لنبضة المجال المغناطيسي
- ٢ magnetic field للتردد اللاسلكي فترة استمرار ومقدار يتم اختيارهما بحيث تُعيد توجيه
- ٣ الأنوية في المنطقة في أقل من حوالي ٩٠°.
- ١ ٣٢- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٣١، حيث يتم تكرار نبضة المجال المغناطيسي
- ٢ magnetic field للتردد اللاسلكي مرة واحدة على الأقل.

- ١ ٣٣- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٣٢، حيث يكون التباعد الزمني بين نبضات المجال
٢ المغناطيسي magnetic field pulses للتردد اللاسلكي بحيث يتم تحقيق نسبة إشارة إلى
٣ ضوضاء مرتفعة.
- ١ ٣٤- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٢٨، حيث يتم إنتاج المجال المغناطيسي المتدرج
٢ gradient magnetic field بواسطة ملف سمّي azimuthal coil واحد على الأقل.
- ١ ٣٥- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٣٤، حيث يقوم الملف السمّي azimuthal coil بإشعاع
٢ irradiates منطقة مختارة واحدة على الأقل.
- ١ ٣٦- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٢٨، حيث تشتمل أيضاً على التحليل الطيفي لإشارة
٢ الرنين النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance signal .
- ١ ٣٧- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ١٩، حيث يتم تحديد استجابة طيفية من إشارة الرنين
٢ النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance signal .
- ١ ٣٨- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ١٩، حيث يتم تطبيق المجال المغناطيسي المتدرج
٢ gradient magnetic field في وجود المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field .
- ١ ٣٩- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ١٩، حيث يؤدي الجمع بين المجال المتدرج والمجال
٢ المغناطيسي الساكن static magnetic field إلى مجال مُطبّق متجانس applied field that is
٣ .homogeneous

- ١ -٤٠- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ١٩ ، حيث تشتمل أيضاً على خطوة اشتقاق قياس طيف
- ٢ NMR من واحد أو أكثر من الأصداء المتدرجة gradient echoes .
- ١ -٤١- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ١٩ ، حيث يتم تطبيق المجال المغناطيسي المتدرج
- ٢ gradient magnetic field على نحو مواز للمجال المغناطيسي الساكن static magnetic field .field
- ١ -٤٢- طريقة لإجراء قياسات الرنين النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance
- ٢ measurements في بئر well ، حيث تشتمل الطريقة على:
- ٣ إنزال جهاز تسجيل الأداء في حفر بئر well بالرنين النووي المغناطيسي nuclear
- ٤ resonance measurements إلى البئر well ؛
- ٥ تطبيق مجال مغناطيسي ساكن static magnetic field لاستقطاب الأنوية polarize nuclei
- ٦ في منطقة بالبئر well ، ويكون للمجال المغناطيسي الساكن static magnetic field تدرج
- ٧ أول first gradient ؛
- ٨ تطبيق مجال مغناطيسي لتردد لاسلكي على المنطقة لإعادة توجيه الأنوية بها؛
- ٩ تطبيق مجال مغناطيسي متدرج gradient magnetic field على المنطقة محل الاهتمام،
- ١٠ ويكون المجال المغناطيسي المتدرج gradient magnetic field تدرج ثان second gradient
- ١١ ، معاكس إلى حد كبير في الإشارة للتدرج الأول first gradient ؛
- ١٢ الكشف عن إشارة صدى متدرجة لرنين نووي مغناطيسي مُنتجة في استجابة إلى التدرج
- ١٣ الثاني second gradient .

- ١ -٤٣- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٤٢، حيث يكون المجال المغناطيسي magnetic field
- ٢ للتردد اللاسلكي عند تردد Larmor للأنوية في المنطقة بالبئر well .
- ١ -٤٤- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٤٢، حيث يكون للمجال المغناطيسي magnetic field
- ٢ للتردد اللاسلكي فترة استمرار ومقدار يتم اختيارهما بحيث يُعيد توجيه الأنوية في
- ٣ حوالي ٩٠°.
- ١ -٤٥- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٤٢، حيث يكون لنبضة المجال المغناطيسي magnetic
- ٢ field pulse للتردد اللاسلكي فترة استمرار ومقدار يتم اختيارهما بحيث تُعيد توجيه الأنوية
- ٣ في المنطقة في أقل من حوالي ٩٠°.
- ١ -٤٦- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٤٥، حيث يتم تكرار نبضة المجال المغناطيسي
- ٢ magnetic field pulse للتردد اللاسلكي مرة واحدة على الأقل.
- ١ -٤٧- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٤٦، حيث يكون التباعد الزمني بين نبضات المجال
- ٢ المغناطيسي magnetic field pulses للتردد اللاسلكي بحيث يتم تحقيق نسبة إشارة إلى
- ٣ ضوضاء مرتفعة.
- ١ -٤٨- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٤٢، حيث يتم إنتاج المجال المغناطيسي المتدرج
- ٢ gradient magnetic field بواسطة ملف سمّي azimuthal coil واحد على الأقل.

- ١ ٤٩- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٤٨، حيث يقوم الملف السمتي azimuthal coil بإشعاع
٢ irradiates منطقة مختارة واحدة على الأقل.
- ١ ٥٠- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٤٢، حيث تشتمل أيضاً على التحليل الطيفي لإشارة
٢ الرنين النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance signal .
- ١ ٥١- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٤٢، حيث يتم تحديد استجابة طيفية من إشارة الرنين
٢ النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance signal .
- ١ ٥٢- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٤٢، حيث يتم تطبيق المجال المغناطيسي المتدرج
٢ gradient magnetic field في وجود المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field .
- ١ ٥٣- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٤٢، حيث يؤدي الجمع بين المجال المتدرج والمجال
٢ المغناطيسي الساكن static magnetic field إلى مجال مُطبَّق applied field متجانس
٣ .homogeneous
- ١ ٥٤- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٤٢، حيث تشتمل أيضاً على خطوة اشتقاق قياس طيف
٢ NMR من واحد أو أكثر من الأصداء المتدرجة gradient echoes .
- ١ ٥٥- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٤٢، حيث يتم تطبيق المجال المغناطيسي المتدرج
٢ gradient magnetic field على نحو مواز للمجال المغناطيسي الساكن static magnetic
٣ .field

- ١ ٥٦- طريقة لإجراء قياسات الرنين النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance
- ٢ measurements في بئر well ، حيث تشتمل الطريقة على:
- ٣ إنزال جهاز تسجيل الأداء في حفر بئر well بالرنين النووي المغناطيسي nuclear
- ٤ resonance measurements إلى البئر well ؛
- ٥ تطبيق مجال مغناطيسي ساكن static magnetic field لاستقطاب الأنوية polarize nuclei
- ٦ في منطقة بالبئر well ، ويكون للمجال المغناطيسي الساكن static magnetic field تدرج
- ٧ أول first gradient ؛
- ٨ تطبيق مجال مغناطيسي لتردد لاسلكي على المنطقة لإعادة توجيه الأنوية بها؛
- ٩ تطبيق مجال مغناطيسي متدرج gradient magnetic field على المنطقة محل الاهتمام،
- ١٠ ويكون المجال المغناطيسي المتدرج gradient magnetic field تدرج ثان second gradient
- ١١ ، ويكون التدرج الثاني second gradient معاكس إلى حد كبير في الإشارة لتدرج المجال
- ١٢ المغناطيسي الساكن static magnetic field الأول وله مقدار يتم اختياره بحيث يعكس إشارة
- ١٣ تدرج المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field ؛
- ١٤ إزالة المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field ؛
- ١٥ الكشف عن إشارة صدى متدرجة لرنين نووي مغناطيسي مُنتجة في استجابة إلى التدرج
- ١٦ الثاني second gradient .

- ١ ٥٧- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٥٦، حيث يكون المجال المغناطيسي magnetic field
- ٢ للتردد اللاسلكي عند تردد Larmor للأنوية في المنطقة بالبئر well .

- ١ ٥٨- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٥٦، حيث يكون للمجال المغناطيسي magnetic field
- ٢ للتردد اللاسلكي فترة استمرار ومقدار يتم اختيارهما بحيث يُعيد توجيه الأنوية في
- ٣ حوالي ٩٠° .

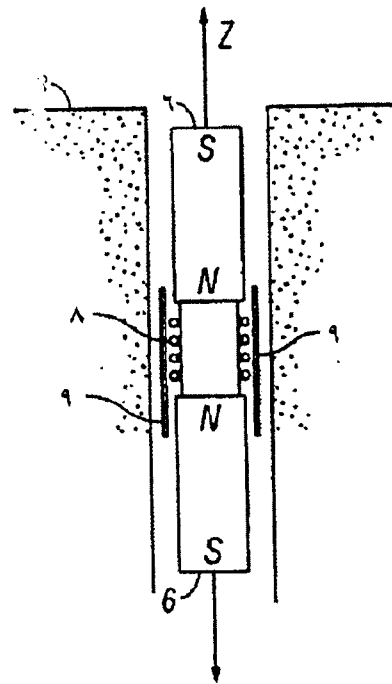
- ١ ٥٩- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٥٦، حيث يكون لنبضة المجال المغناطيسي
- ٢ magnetic field pulse للتردد اللاسلكي فترة استمرار ومقدار يتم اختيارهما بحيث تُعيد
- ٣ توجيه الأنوية في المنطقة في أقل من حوالي ٩٠°.
- ١ ٦٠- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٥٩، حيث يتم تكرار نبضة المجال المغناطيسي
- ٢ magnetic field pulse للتردد اللاسلكي مرة واحدة على الأقل.
- ١ ٦١- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٦٠، حيث يكون التباعد الزمني بين نبضات المجال
- ٢ المغناطيسي magnetic field pulses للتردد اللاسلكي بحيث يتم تحقيق نسبة إشارة إلى
- ٣ ضوضاء مرتفعة.
- ١ ٦٢- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٥٦، حيث يتم إنتاج المجال المغناطيسي المتدرج
- ٢ gradient magnetic field بواسطة ملف سمّي azimuthal coil واحد على الأقل.
- ١ ٦٣- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٦٢، حيث يقوم الملف السمّي azimuthal coil بإشعاع
- ٢ irradiates منطقة مختارة واحدة على الأقل.
- ١ ٦٤- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٥٦، حيث تشتمل أيضاً على التحليل الطيفي لإشارة
- ٢ الرنين النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance signal .
- ١ ٦٥- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٥٦، حيث يتم إنزال أداة الرنين النووي المغناطيسي
- ٢ nuclear magnetic resonance measurements على كبل معدني.

- ١ -٦٦- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٥٦، حيث يتم إجراء قياسات الرنين النووي المغناطيسي
- ٢ nuclear magnetic resonance measurements أثناء الحفر.
- ١ -٦٧- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٥٦، حيث يتم تكرار تطبيق المجال المغناطيسي المتدرج
- ٢ gradient magnetic field ؛ وإزالة المجال المغناطيسي المتدرج gradient magnetic field
- ٣ والكشف عن إشارة الرنين النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance signal من
- ٤ المنطقة حتى ينخفض مقدار إشارة الرنين النووي المغناطيسي nuclear magnetic
- ٥ resonance signal إلى صفر.
- ١ -٦٨- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٦٧، حيث يكون المجال المغناطيسي magnetic field
- ٢ للتردد اللاسلكي عند تردد Larmor للأنوية في المنطقة.
- ١ -٦٩- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٦٧، حيث يكون للمجال المغناطيسي للتردد اللاسلكي
- ٢ فترة استمرار ومقدار يتم اختيارهما بحيث يُعيد توجيه الأنوية في حوالي ٩٠°.
- ١ -٧٠- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٦٧، حيث يكون لنبضة المجال المغناطيسي magnetic
- ٢ field pulse للتردد اللاسلكي فترة استمرار ومقدار يتم اختيارهما بحيث تُعيد توجيه الأنوية
- ٣ في المنطقة في أقل من حوالي ٩٠°.
- ١ -٧١- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٧٠، حيث يتم تكرار نبضة المجال المغناطيسي
- ٢ magnetic field pulse للتردد اللاسلكي مرة واحدة على الأقل.

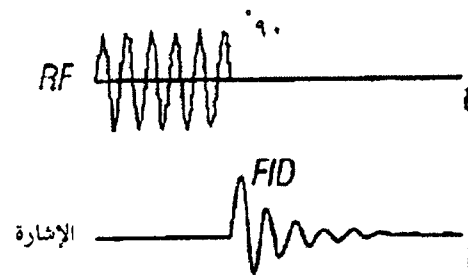
- ١ ٧٢- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٧١، حيث يكون التباعد الزمني بين نبضات المجال
٢ المغناطيسي magnetic field pulses للتردد اللاسلكي بحيث يتم تحقيق نسبة إشارة إلى
٣ ضوءاء مرتفعة.
- ١ ٧٣- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٦٧، حيث يتم إنتاج المجال المغناطيسي المتدرج
٢ gradient magnetic field بواسطة ملف سمتي azimuthal coil واحد على الأقل.
- ١ ٧٤- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٧٣، حيث يقوم الملف السمتي azimuthal coil بإشعاع
٢ irradiates منطقة مختارة واحدة على الأقل.
- ١ ٧٥- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٦٧، حيث تشتمل أيضاً على التحليل الطيفي لإشارة
٢ الرنين النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance signal .
- ١ ٧٦- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٦٧، حيث يتم إنزال أداة الرنين النووي المغناطيسي
٢ nuclear magnetic resonance measurements على كبل معدني.
- ١ ٧٧- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٦٧، حيث يتم إجراء قياسات الرنين النووي المغناطيسي
٢ nuclear magnetic resonance measurements أثناء الحفر.
- ١ ٧٨- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٥٦، حيث يتم تحديد استجابة طيفية من إشارة الرنين
٢ النووي المغناطيسي nuclear magnetic resonance signal .

- ١ ٧٩- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٥٦، حيث يتم تطبيق المجال المغناطيسي المتدرج
- ٢ gradient magnetic field في وجود المجال المغناطيسي الساكن static magnetic field .
- ١ ٨٠- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٥٦، حيث يؤدي الجمع بين المجال المتدرج والمجال
- ٢ المغناطيسي الساكن static magnetic field إلى مجال مُطبَّق متجانس.
- ١ ٨١- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٥٦، حيث تشتمل أيضاً على خطوة اشتقاق قياس طيف
- ٢ NMR من واحد أو أكثر من الأصداء المتدرجة.
- ١ ٨٢- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية ٥٦، حيث يتم تطبيق المجال المغناطيسي المتدرج
- ٢ gradient magnetic field على نحو مواز للمجال المغناطيسي الساكن.

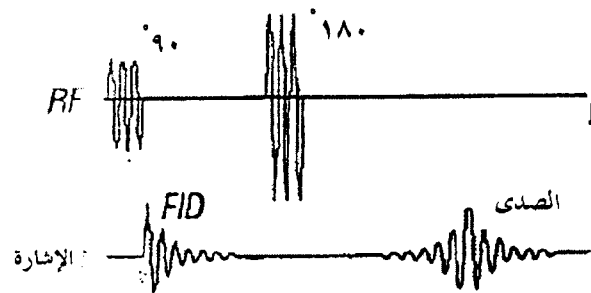
الشكل ١
الفن السابق

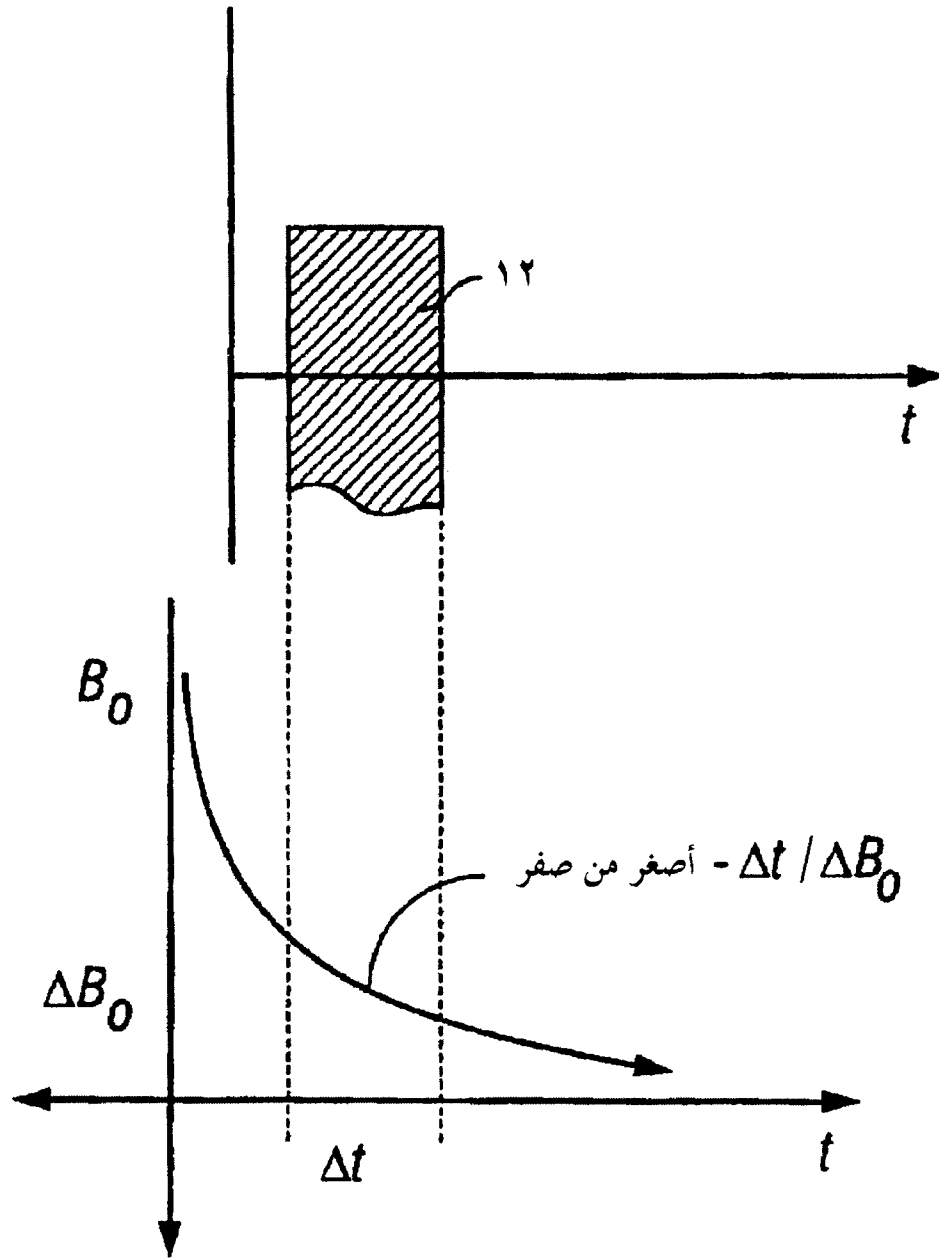


الشكل ٢
الفن السابق

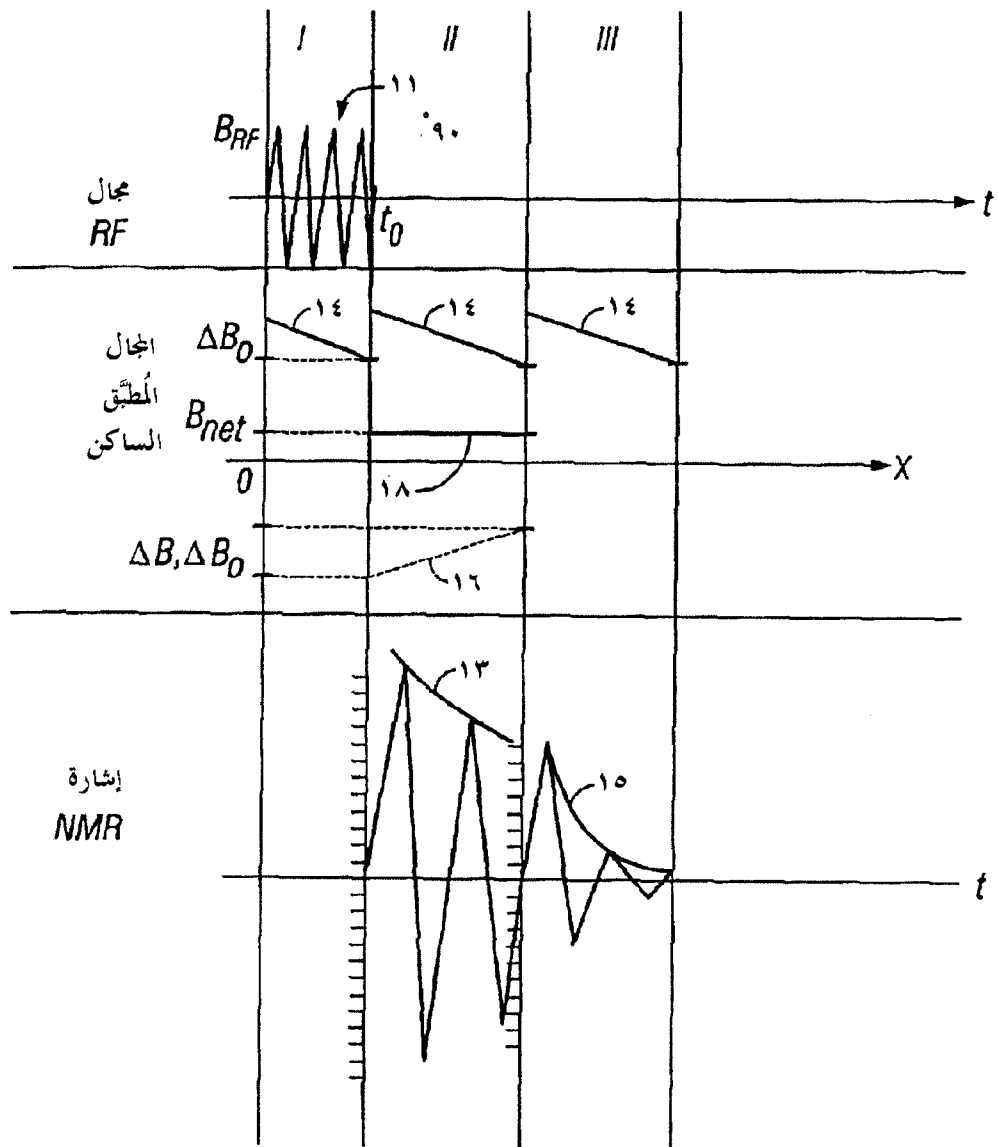


الشكل ٢ ب
الفن السابق

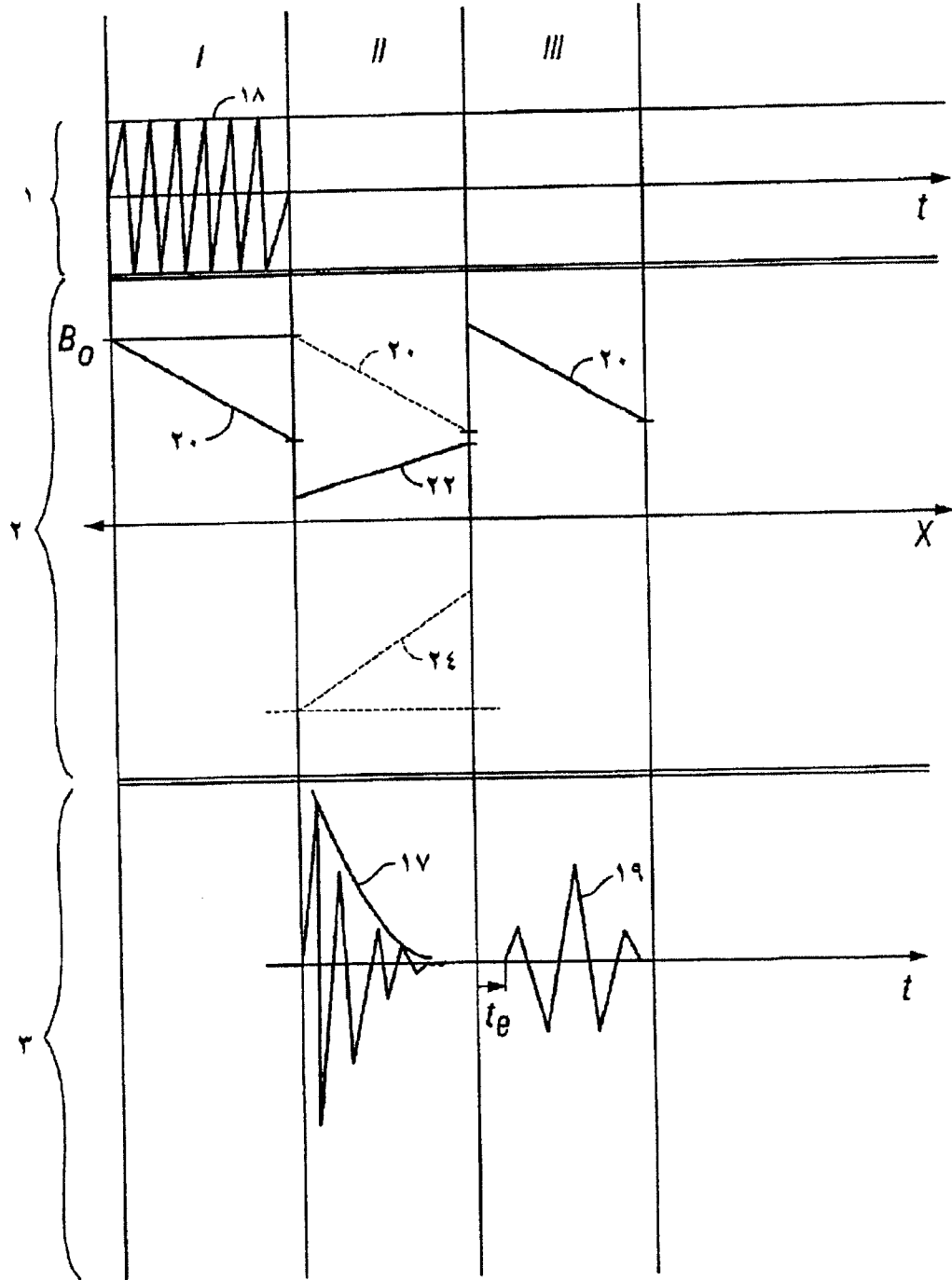




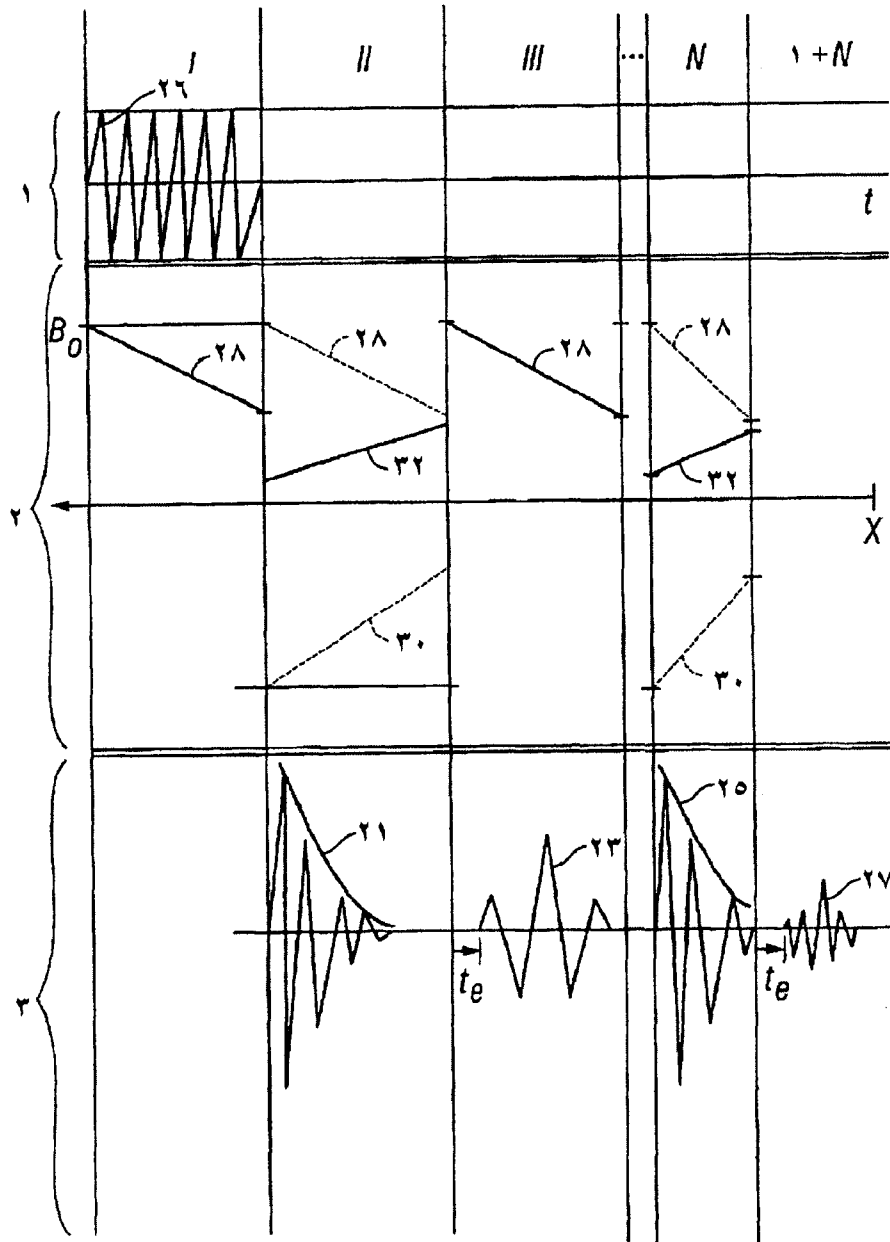
الشكل ٣



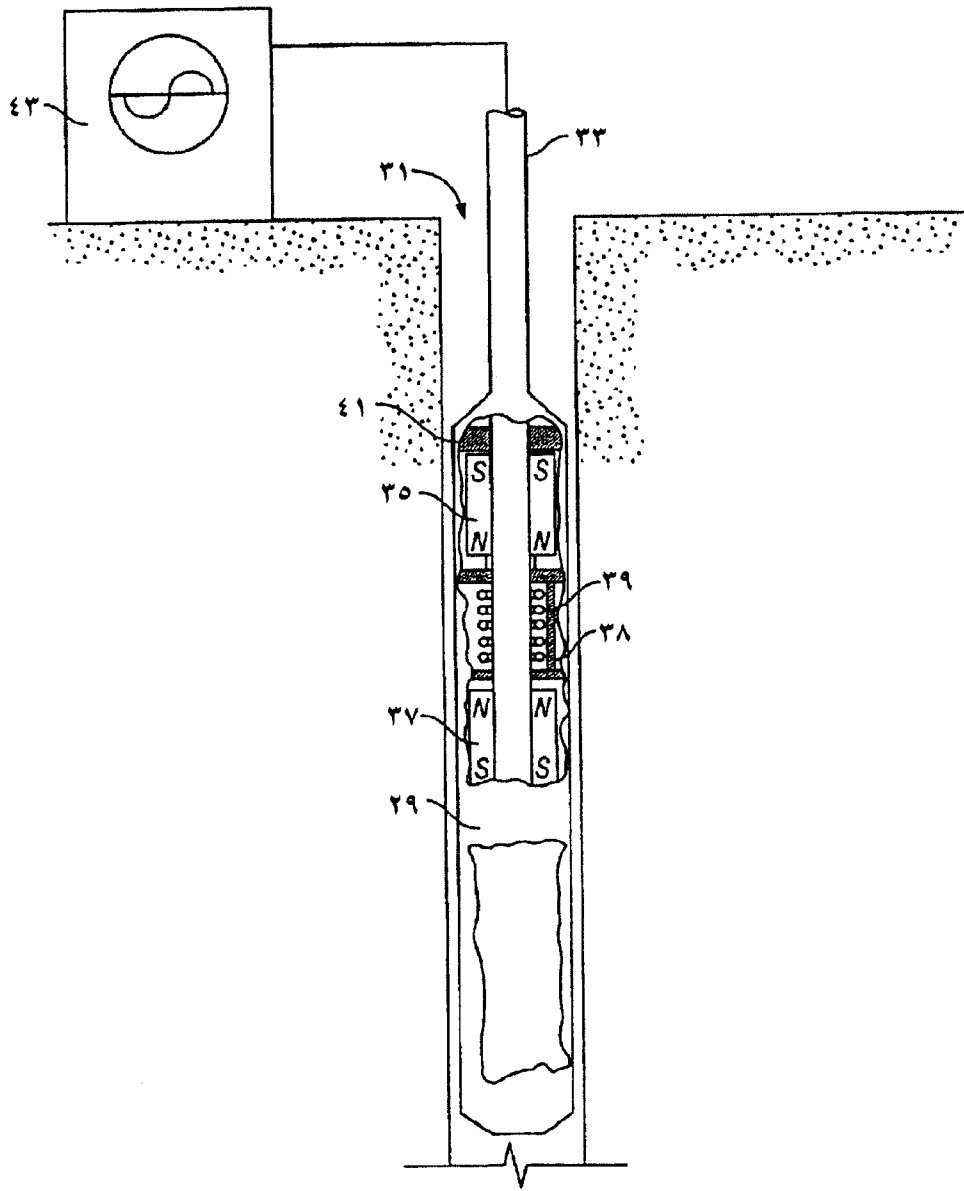
الشكل ٤



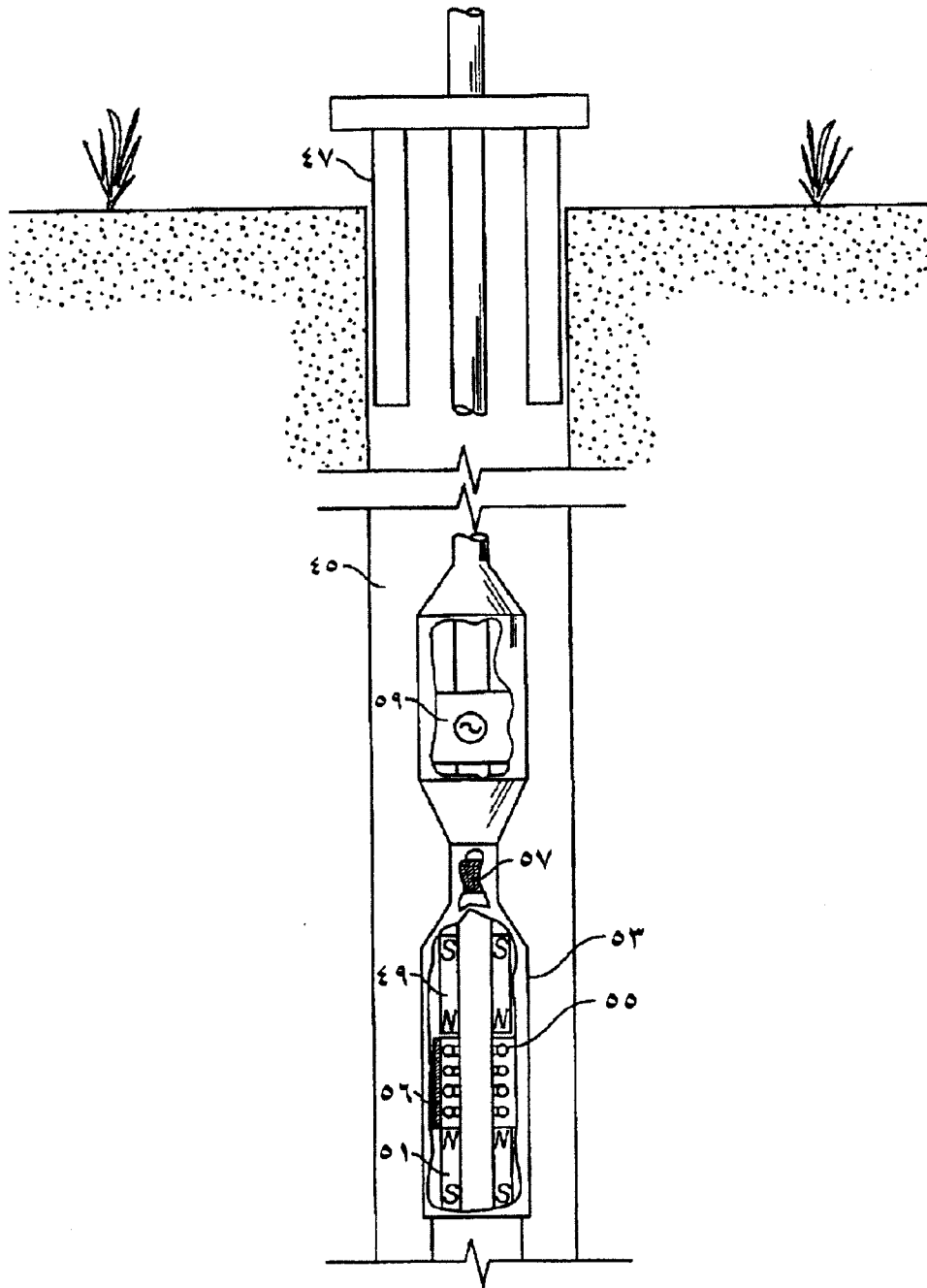
الشكل ٥



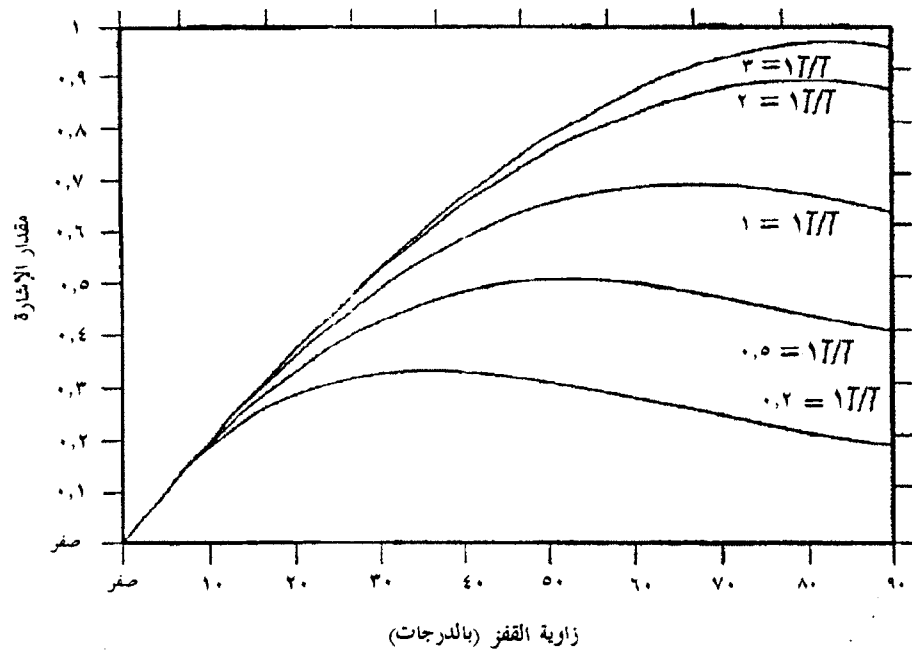
الشكل ٦



الشكل ٧



الشكل ٨



الشكل ٩
الفن السابق