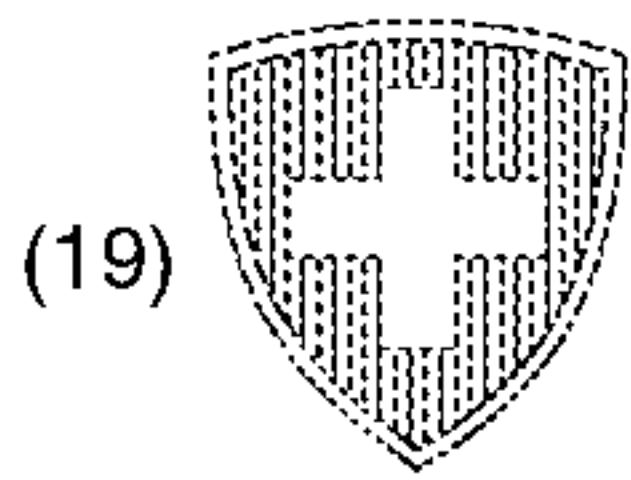




CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH 710 603 B1**

(51) Int. Cl.: **G04B 17/06** (2006.01)
G04B 17/20 (2006.01)
G04C 3/04 (2006.01)

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) **FASCICULE DU BREVET**

(21) Numéro de la demande: 00026/15

(22) Date de dépôt: 09.01.2015

(43) Demande publiée: 15.07.2016

(24) Brevet délivré: 15.06.2020

(45) Fascicule du brevet publié: 15.06.2020

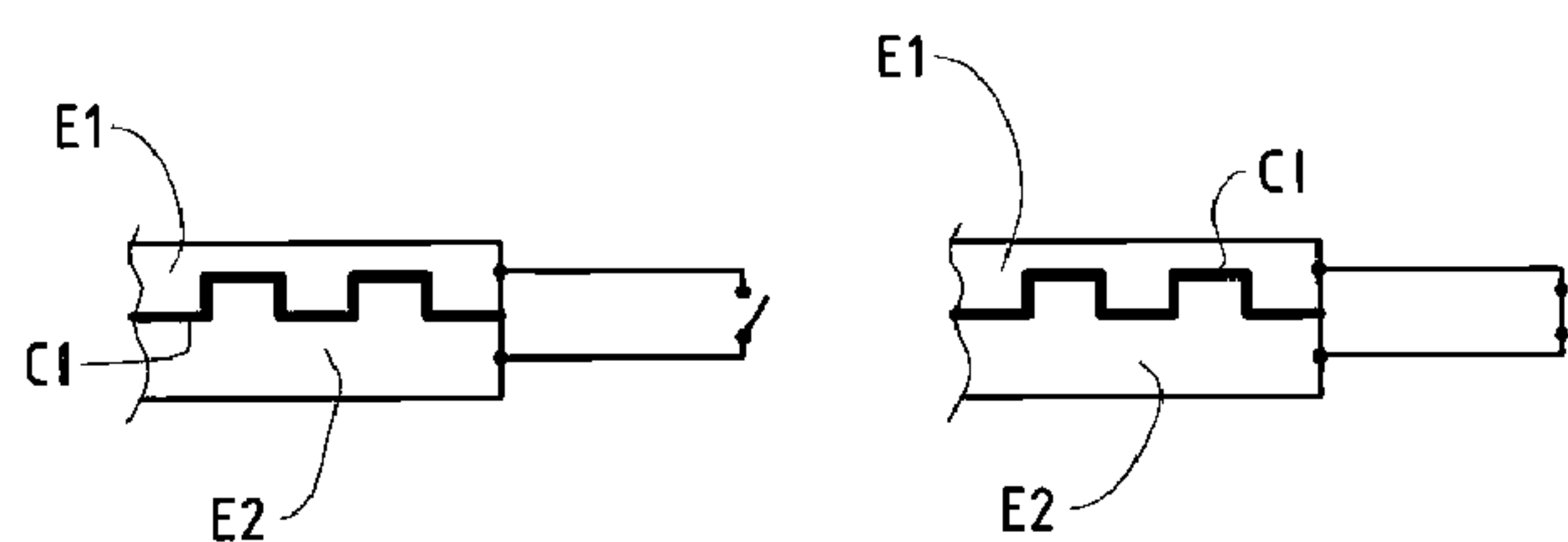
(73) Titulaire(s):
Sigatec SA, Route des Iles 20
1950 Sion (CH)

(72) Inventeur(s):
Marc-André Glassey, 1967 Bramois (CH)

(74) Mandataire:
BOVARD SA,
Conseils en propriété intellectuelle Optingenstrasse 16
3000 Berne 25 (CH)

(54) **Ressort-spiral d'horlogerie à fréquence réglable.**

(57) La présente invention se rapporte à un ressort-spiral (RS) d'horlogerie comprenant au moins un premier segment (E1) et un deuxième segment (E2). Le premier segment (E1) et le deuxième segment (E2) sont fabriqués chacun en un matériau électrostatique et sont reliés entre eux par une couche intermédiaire (CI) qui est en un matériau diélectrique et qui est telle que le ressort-spiral (RS) a une structure monobloc et qu'une déformation du ressort spiral (RS) provoque une variation de la capacité entre le premier segment (E1) et le deuxième segment (E2). La présente invention se rapporte également à un ensemble comprenant ce ressort-spiral et à des procédés de fabrication d'un tel ressort-spiral (RS).



Description

Domaine technique de l'invention

[0001] La présente invention se rapporte au domaine des ressorts spiraux pour résonateurs appelés balanciers-spiraux utilisés plus particulièrement dans le domaine d'horlogerie. De manière plus spécifique, la présente demande concerne un ressort-spiral avec une fréquence d'oscillation ajustable.

Etat de la technique

[0002] On connaît déjà des arrangements dans lesquels l'énergie générée par un ressort-spiral horloger est utilisée pour sa propre régulation. De tels arrangements ont par exemple été présentés dans les documents EP 2 561 409 et CH 704 551. Ces arrangements font notamment appel aux propriétés piézo-électriques du matériau du ressort-spiral ou de la couche en un tel matériau déposée sur le ressort-spiral.

[0003] Cependant, les ressorts-spiraux horlogers sont aujourd'hui souvent fabriqués en des matériaux ayant des propriétés électrostatiques, comme par exemple le silicium. On connaît par exemple les documents EP 1 422 436 et WO 2009/068091 qui montrent de tels ressorts-spiraux horlogers. Cependant, les géométries décrites dans ces documents font que les propriétés électrostatiques de ces ressorts-spiraux ne sont pas exploitées.

Exposé sommaire de l'invention

[0004] Un premier but de la présente invention vise à proposer un nouveau ressort-spiral, utilisable dans le cadre d'une montre mécanique, qui peut être régulé grâce à l'énergie générée par lui-même. En même temps, un but de la présente invention est également de proposer d'utiliser un tel ressort-spiral dans un balancier-spiral pour une montre mécanique dont la fréquence est précise et insensible aux variations thermiques.

[0005] A cet effet, l'invention a pour objet selon un premier aspect un ressort-spiral d'horlogerie selon la revendication 1.

[0006] Un autre but de la présente invention est de proposer un nouveau procédé de fabrication d'un tel ressort-spiral.

[0007] A cet effet, la présente invention a pour objet selon un deuxième aspect un procédé de fabrication selon la revendication 13 et un procédé de fabrication selon la revendication 14.

Brève description des dessins

[0008] La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple et faite en référence au dessin dans lequel :

- figure 1 est une vue schématique en perspective d'un ressort-spiral traditionnel utilisé pour un oscillateur (balancier-spiral) horloger ;
- figure 2 est une vue schématique d'une portion de ressort-spiral de la figure 1 ;
- figure 3 est une vue de dessus d'un ressort-spiral traditionnel utilisé pour un oscillateur (balancier-spiral) horloger ;
- figures 4 à 8 sont des vues des portions de ressort-spiral de la figure 3 illustrant différents modes de réalisation de la présente invention ;
- figures 9 et 10 sont des représentations schématiques d'une connexion électrique du ressort-spiral ; figure 9 illustre la situation avec la boucle électrique „ouverte“ et figure 10 illustre la situation avec la boucle électrique „fermée“ ; et
- figure 11 est une représentation schématique du fonctionnement d'un ressort-spiral autonome régulé par un circuit électronique externe.

Description détaillée de l'invention

[0009] Un ressort-spiral RS selon un mode de réalisation de la présente invention est représenté de manière schématique à la figure 1 et un détail de sa structure à la figure 2.

[0010] Comme on peut s'apercevoir en regardant les figures 1 et 2, le ressort-spiral RS selon ce premier mode de réalisation de la présente invention est réalisé en forme d'un barreau enroulé en spiral, composé d'un premier segment E1 et un deuxième segment E2 de formes complémentaires reliés entre eux par le biais d'une couche intermédiaire CI. Le premier segment E1 et le deuxième segment E2 sont généralement fabriqués en un premier matériau et la couche intermédiaire est fabriquée en un deuxième matériau, différent du premier matériau.

[0011] Même si le premier segment E1 et le deuxième segment E2 sont généralement fabriqués en un même matériau, il serait sans autre également possible de prévoir un premier segment E1 fabriqué en le premier matériau et un deuxième

segment E2 fabriqué en un autre matériau. Cependant, dans les deux cas le matériau du premier segment E1 et le matériau du deuxième segment E2 est un matériau électrostatique. En même temps, le deuxième matériau de la couche intermédiaire CI est un matériau diélectrique.

[0012] La couche intermédiaire CI qui relie (mais aussi qui sépare) les premier et deuxième segments E1, E2 a essentiellement une forme de créneau et cette couche intermédiaire CI est excentrée par rapport à l'axe central (dans la direction de longueur) du barreau qui est illustré à la figure 2 par une ligne intermittente.

[0013] Le principe général de fonctionnement du ressort-spiral RS selon ce mode de réalisation de la présente invention est le suivant : Lors du mouvement du ressort-spiral RS, on assistera à sa déformation sous forme de compression ou sous forme de traction. Grâce aux propriétés électrostatiques du matériau des deux segments E1, E2, cette déformation du ressort-spiral RS provoquera une variation de la capacité entre le premier segment E1 et le deuxième segment E2. Cette variation de capacité peut ensuite être utilisée pour générer de l'énergie électrique. Cette énergie électrique générée par le ressort-spiral RS peut ensuite être utilisée pour régler la marche du ressort-spiral RS, comme sera expliqué plus bas. La manière de dissiper cette énergie générée par les mouvements du ressort-spiral RS permet de réguler le ressort-spiral RS en le rendant plus raide ou plus souple.

[0014] La forme de la couche intermédiaire CI „en escalier“ représentée dans la figure 2 n'est qu'un exemple parmi les différentes formes de séparation possibles. Il en va de soi que d'autres formes comme des triangles (cf. figure 5) ou des vagues (cf. figure 6) peuvent être utilisées afin de permettre d'optimiser la capacité et sa variation lors du mouvement du ressort-spiral RS.

[0015] De même, ce premier mode de réalisation de la présente invention comprend deux segments E1, E2 fabriqués généralement en un même matériau électrostatique séparée par un deuxième matériau. Le désavantage de ce mode de réalisation de la présente invention est le fait qu'il ne permet d'utiliser la déformation du ressort-spiral RS que d'un seul côté de sa spire. Pour pallier ce problème, il est cependant possible d'utiliser les variantes à trois segments (ou plus) afin de permettre d'obtenir de l'énergie de manière simultanée sur les deux faces de la spire du ressort-spiral RS, donc d'optimiser l'énergie récupérée lors de son mouvement (cf. par exemple le mode de réalisation illustré à la figure 7 avec un premier segment E1, un deuxième segment E2 et un troisième segment E3 en un ou plusieurs matériaux électrostatiques, séparés entre eux par une première couche intermédiaire CI1 et une deuxième couche intermédiaire CI2).

[0016] A cet endroit, il est important de mentionner que la forme extérieure du ressort-spiral RS influence également la déformation locale et donc la variation de sa capacité. Une exécution différente de la forme extérieure est donnée par exemple à la figure 8. Bien entendu, un homme du métier peut sans autre facilement comprendre que d'autres formes extérieures peuvent être utilisées afin d'obtenir des résultats souhaités. Dans la forme illustrée à la figure 8, l'extérieur de la spire a une forme qui permet plus de déformation du matériau de la couche intermédiaire CI et donc une variation de capacité plus grande qu'avec une forme „classique“.

[0017] En ce qui concerne le réglage du ressort-spiral RS, il est possible d'utiliser plusieurs solutions.

[0018] Dans une première variante, le ressort-spiral RS est connecté à une charge de type résistive ou résistive-capacitive. Dans les deux cas extrêmes, le ressort-spiral sera soit en circuit ouvert (tel que représenté à la figure 9) ou en circuit fermé (tel que représenté à la figure 10). Lorsque le ressort-spiral RS se trouve en circuit ouvert, la fréquence de l'oscillateur est plus faible que lorsqu'il est en circuit fermé. On peut donc facilement réguler la fréquence de l'oscillateur entre ces deux positions extrêmes en utilisant des valeurs résistive/capacitive différentes.

[0019] En même temps, si les valeurs de la charge sont dépendantes de la température, ces paramètres permettront une compensation thermique du ressort-spiral RS.

[0020] Une autre variante qui peut être utilisée pour réguler la fréquence du ressort-spiral RS est représentée à la figure 11. Dans cette deuxième variante, le ressort-spiral RS peut être connecté à un circuit électronique I, II, III ou alors à un microprocesseur externe. Le circuit électronique (ou le microprocesseur) peut notamment comprendre une base de temps externe I sous forme d'un oscillateur électronique, un module de comparaison II, et un mémoire III avec les valeurs de fréquence de l'oscillateur mécanique (balancier-spiral) qui sont enregistrés constamment par un capteur et transmises à ce mémoire III. Le ressort-spiral RS selon la présente invention est utilisé pour alimenter la partie électronique I, II, III.

[0021] Dans cette variante, on peut utiliser la base de temps externe I sous forme d'un oscillateur électronique plus précis que l'oscillateur balancier-spiral. Le module de comparaison II peut alors comparer constamment les valeurs de cette base de temps électronique I avec les valeurs enregistrées de l'oscillateur balancier-spiral dans le mémoire III et agir sur la charge M afin de faire varier la fréquence du balancier-spiral.

[0022] En effet, si l'oscillateur mécanique (balancier-spiral) est trop rapide ou trop lent, l'électronique externe I, II, III pourra corriger cette erreur en faisant varier la charge M sur le ressort-spiral RS. De cette façon on est capable d'obtenir une fréquence moyenne de l'oscillateur mécanique qui aura la précision d'un oscillateur électronique, et même un oscillateur électronique thermocompensé.

[0023] De manière préférentielle, le premier matériau (utilisé pour fabriquer le premier segment E1 et le deuxième segment E2 du ressort-spiral RS) est le silicium et le deuxième matériau (utilisé pour fabriquer la couche intermédiaire CI) est l'oxyde de silicium. Bien entendu, d'autres matériaux sont également possibles.

[0024] Pour fabriquer un ressort-spiral selon la présente invention, on peut par exemple utiliser la méthode suivante :

- 1) Ouverture dans une plaque en un premier matériau des espaces destinés à recevoir le deuxième matériau :
On grave dans le premier matériau les espaces destinés à recevoir le deuxième matériau au moyen de la technologie DRIE (Deep Reactive Ion Etching). A cette fin, une solution préférentielle consiste à utiliser un wafer SOI (assemblage silicium-oxyde de silicium) et graver ensuite la partie supérieure en silicium („device layer“). De cette manière l'épaisseur du ressort-spiral correspond à l'épaisseur de ce „device layer“.
- 2) Remplissage des espaces avec le deuxième matériau
De manière préférentielle on remplit les espaces gravés avec de l'oxyde thermique. Cet oxyde est formé automatiquement à partir du silicium dans un four à atmosphère humide. Après un certain temps dans le four, l'oxyde remplira totalement les cavités gravées. Des techniques de dépôt par vapeur peuvent également permettre le remplissage.
- 3) Détourage du pourtour du ressort-spiral
Une nouvelle gravure DRIE, après les étapes de photolithographie, permettra de détourer complètement le ressort-spiral dans le plan. De manière préférentielle le ressort-spiral sera totalement détourné à l'exception éventuelle d'une attache qui le rend solidaire au wafer et qui sera brisée en fin de procédé. Cette étape peut se faire pour certaines exécutions en même temps que l'étape 1.
- 4) Libération du ressort-spiral
Dans cette étape on retire la face arrière du wafer SOI. Ce retrait peut être réalisé soit uniquement sous les ressorts-spiraux ou sur la totalité du wafer.
- 5) Post-traitements
Des post-traitements peuvent alors être réalisés dans les buts suivants :
 - Dépôt ou traitement visant à augmenter la résistance du ressort-spiral aux chocs ; ou
 - Dépôt ou retrait de matière visant à ajuster ou changer le module d'élasticité du ressort-spiral.

[0025] Une solution alternative de fabrication des étapes 1 et 2 ci-dessus peut par exemple consister à

- 1a) graver les espaces destinés à recevoir le deuxième matériau C1 et une électrode E2 au moyen de la technologie DRIE (Deep Reactive Ion Etching).
- 2a) former la couche C1 sur les faces latérales de la gravure par déposition ou oxydation thermique
- 2b) remplir le solde de l'ouverture avec une déposition de silicium ou de polysilicium pour former l'électrode E2.

[0026] Dans ce qui précède, l'invention a été décrite d'abord en termes généraux et ensuite sous forme d'une explication de réalisations pratiques. Bien entendu, l'invention n'est pas limitée à la description de ces modes de mise en œuvre ; il va de soi que de nombreuses variations et modifications peuvent être apportées sans que l'étendue de l'invention qui est définie par le contenu des revendications, ne soit quittée.

Revendications

1. Ressort-spiral (RS) d'horlogerie comprenant au moins un premier segment (E1) et un deuxième segment (E2), caractérisé en ce que le premier segment (E1) et le deuxième segment (E2) sont fabriqués chacun en un matériau électrostatique et en ce que le premier segment (E1) et le deuxième segment (E2) sont reliés entre eux par une couche intermédiaire (CI) qui est réalisée en un matériau diélectrique et qui est telle que le ressort-spiral (RS) a une structure monobloc et qu'une déformation du ressort spiral (RS) provoque une variation de la capacité entre le premier segment (E1) et le deuxième segment (E2).
2. Ressort-spiral (RS) selon la revendication 1, caractérisé en ce que, dans le sens de la longueur, un barreau du ressort-spiral (RS) a un axe central par rapport auquel la couche intermédiaire (CI) est excentrée.
3. Ressort-spiral (RS) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la forme de la couche intermédiaire (CI) en coupe a la forme d'un créneau, d'un triangle, d'une vague.
4. Ressort-spiral (RS) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le premier segment (E1) et/ou le deuxième segment (E2) sont fabriqués en silicium, par exemple en polysilicium, et/ou en ce que la couche intermédiaire (CI) est fabriquée en oxyde de silicium.

5. Ressort-spiral (RS) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'épaisseur de la couche intermédiaire (CI) est de moins de 10 μm .
6. Ressort-spiral (RS) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le ressort-spiral (RS) est recouvert d'un troisième matériau sur son pourtour.
7. Ensemble comprenant un ressort-spiral (RS) selon l'une des revendications 1 à 6, ainsi qu'une charge (M) résistive et/ou capacitive connectée au ressort-spiral (RS) et permettant d'ajuster sa rigidité.
8. Ensemble selon la revendication 7, caractérisé en ce que la charge (M) est variable et/ou réglable.
9. Ensemble comprenant un ressort-spiral (RS) selon l'une des revendications 1 à 6, ainsi qu'un circuit électronique (I, II, III) connecté au ressort-spiral (RS) et comprenant une base de temps de référence (I), le circuit électronique (I, II, III) étant capable de réguler la fréquence d'oscillation du ressort-spiral (RS) en fonction de la base de temps de référence (I).
10. Ensemble selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il comprend une charge (M) résistive et/ou capacitive connectée au ressort-spiral (RS) et permettant d'ajuster sa rigidité, la charge (M) étant réglable ou bien réglable et variable.
11. Ensemble selon la revendication 10, caractérisé en ce que la régulation est effectuée en modifiant la charge (M) sur le ressort-spiral (RS).
12. Ensemble selon l'une des revendications 9 à 11, caractérisé en ce que le circuit électronique (I, II, III) est alimenté par l'énergie générée par le ressort-spiral (RS).
13. Procédé de fabrication d'un ressort-spiral (RS) selon l'une des revendications 1 à 6, comprenant les étapes suivantes :
 - a) gravure d'espaces dans une plaque en un matériau électrostatique au moyen de la technologie DRIE,
 - b) dans les espaces, réception d'un matériau diélectrique de la couche intermédiaire (CI) que l'on forme en ce matériau diélectrique, sur les faces latérales de la gravure, par dépôt ou oxydation thermique,
 - c) remplissage du solde des espaces par dépôt de silicium, par exemple de polycilicium, pour former le deuxième segment (E2), et
 - d) détournage du pourtour du ressort-spiral (RS) par une nouvelle gravure au moyen de la technologie DRIE de manière que les premier et deuxième segments (E1, E2) soient reliés entre eux par la couche intermédiaire (CI) en le matériau diélectrique.
14. Procédé de fabrication d'un ressort-spiral (RS) selon l'une des revendications 1 à 6, comprenant au minimum les étapes de fabrication suivantes :
 - gravure de tranchées dans une plaque en un matériau électrostatique ;
 - remplissage de ces tranchées par un matériau diélectrique pour fabriquer la couche intermédiaire (CI) ; et
 - libération du ressort-spiral de la plaque de manière que les premier et deuxième segments (E1, E2) du ressort spiral (RS) soient en le matériau diélectrique et soient reliés entre eux par la couche intermédiaire (CI) en le matériau électrostatique.

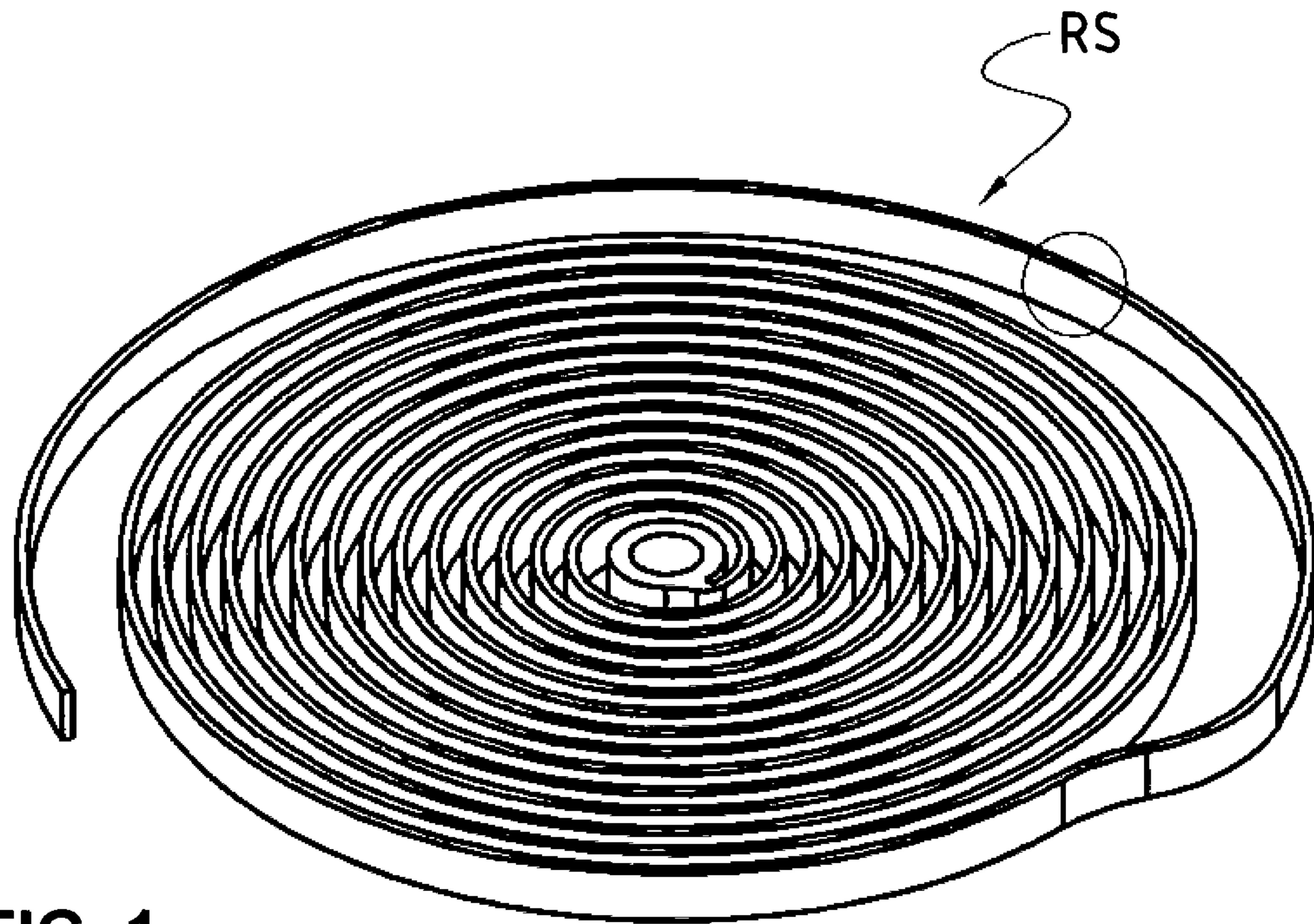


FIG. 1

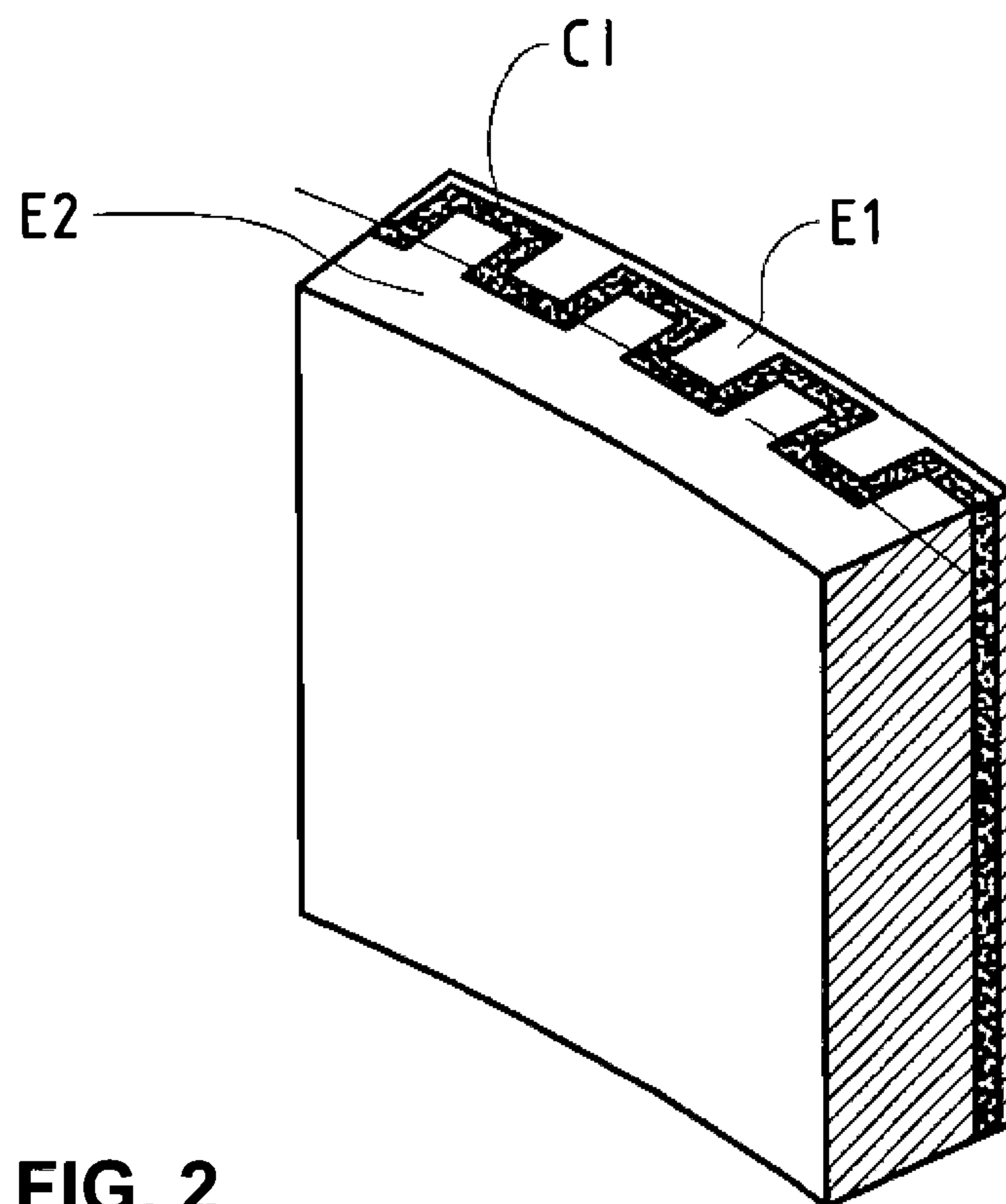


FIG. 2

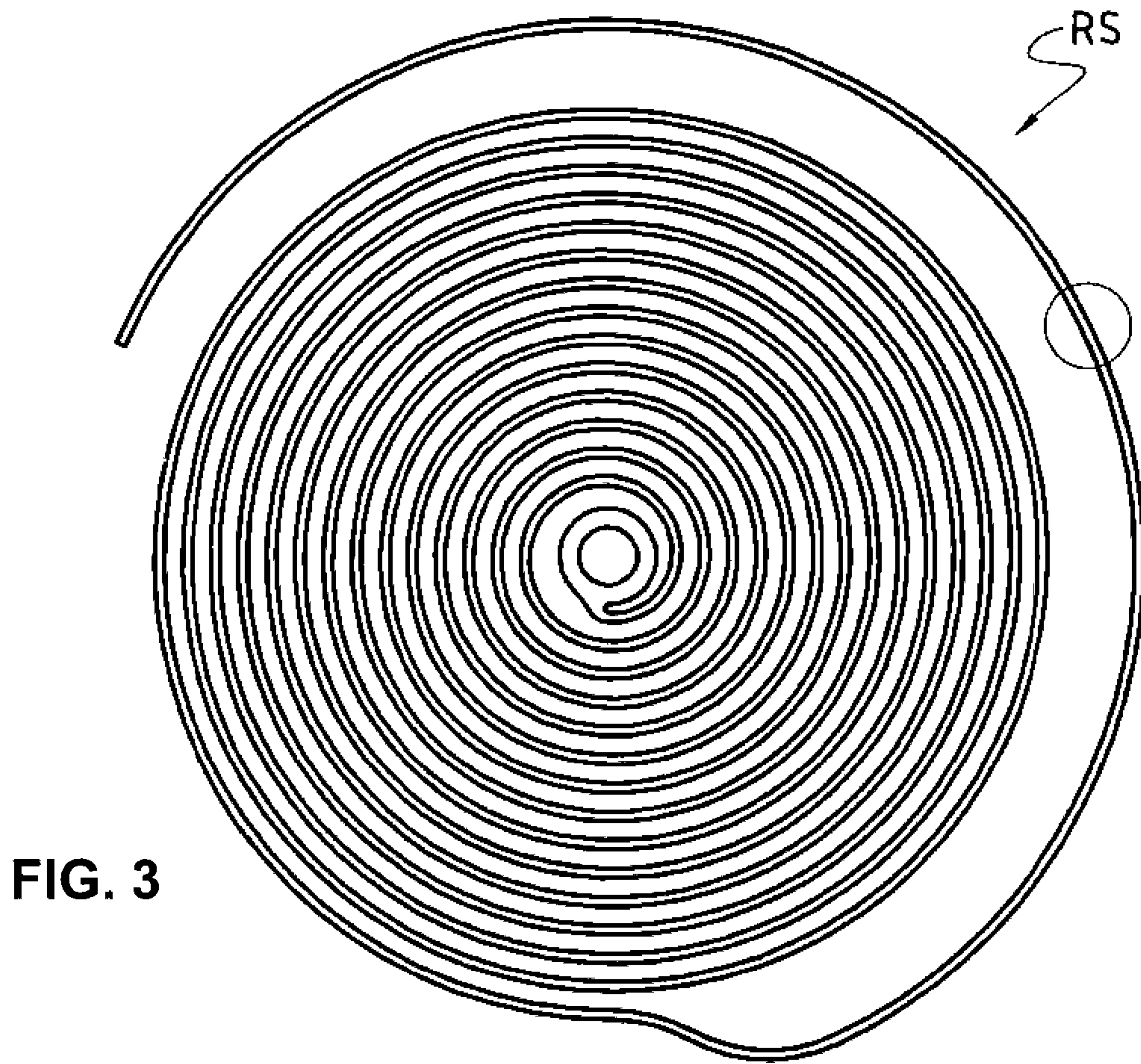


FIG. 3

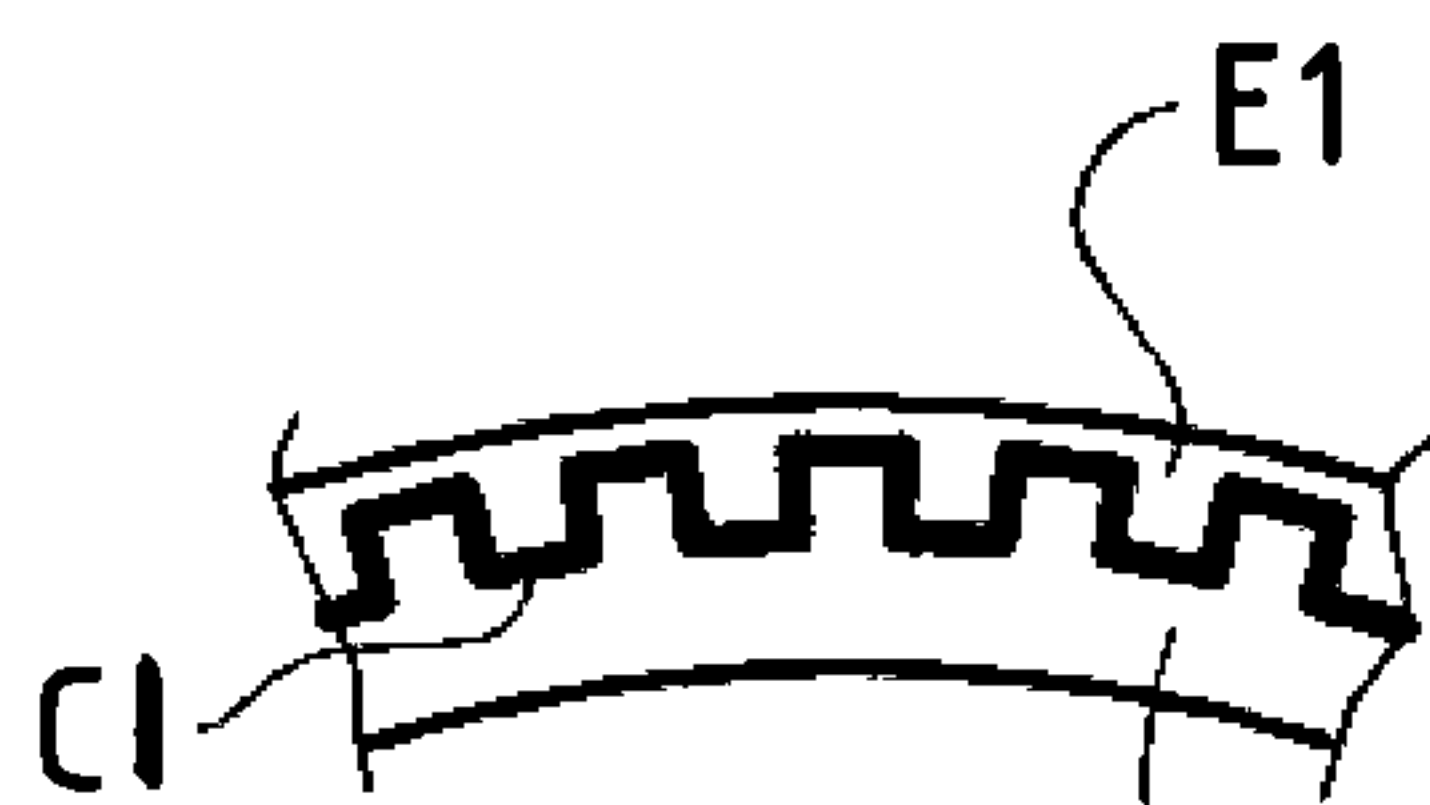


FIG. 4



FIG. 5



FIG. 6

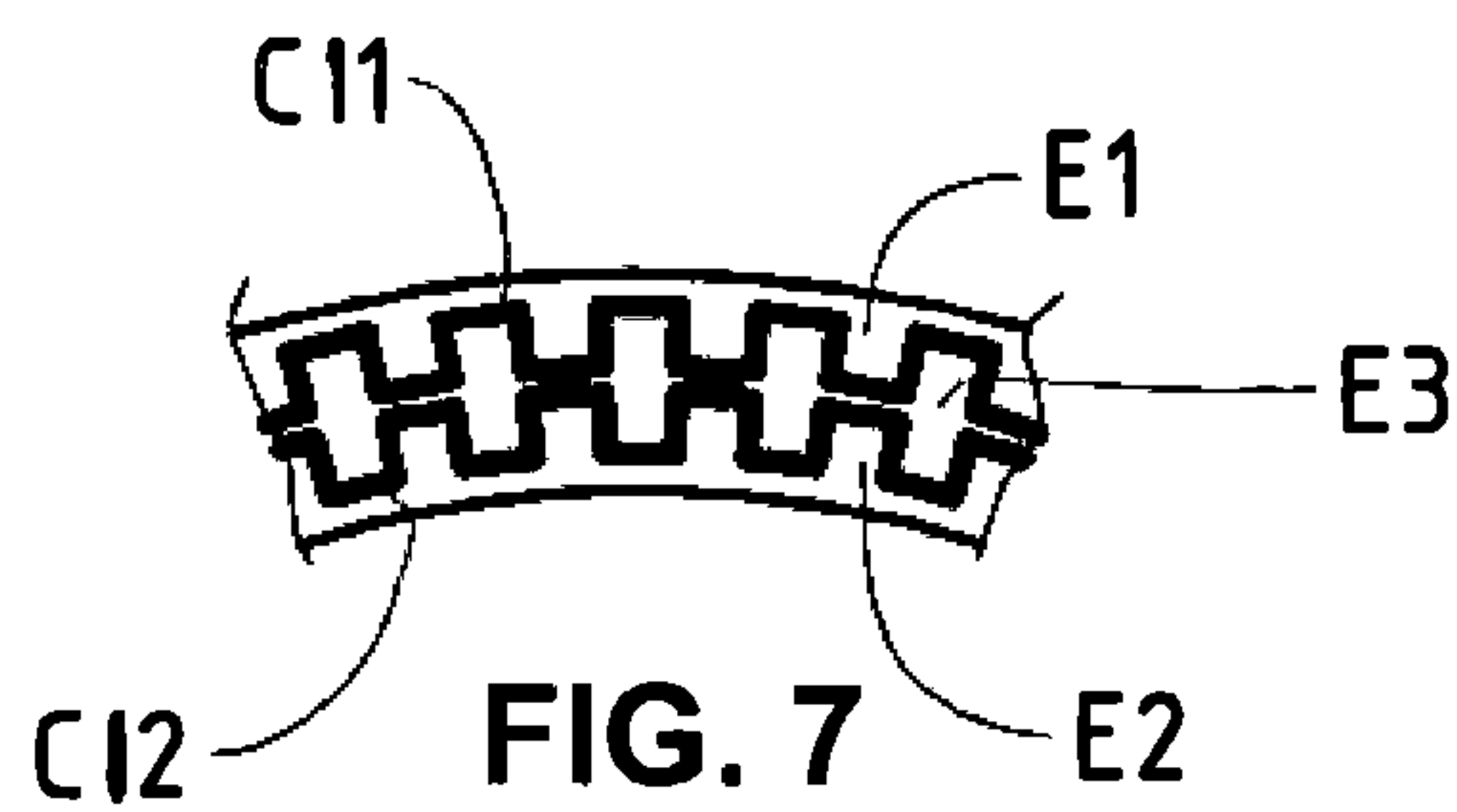


FIG. 7



FIG. 8

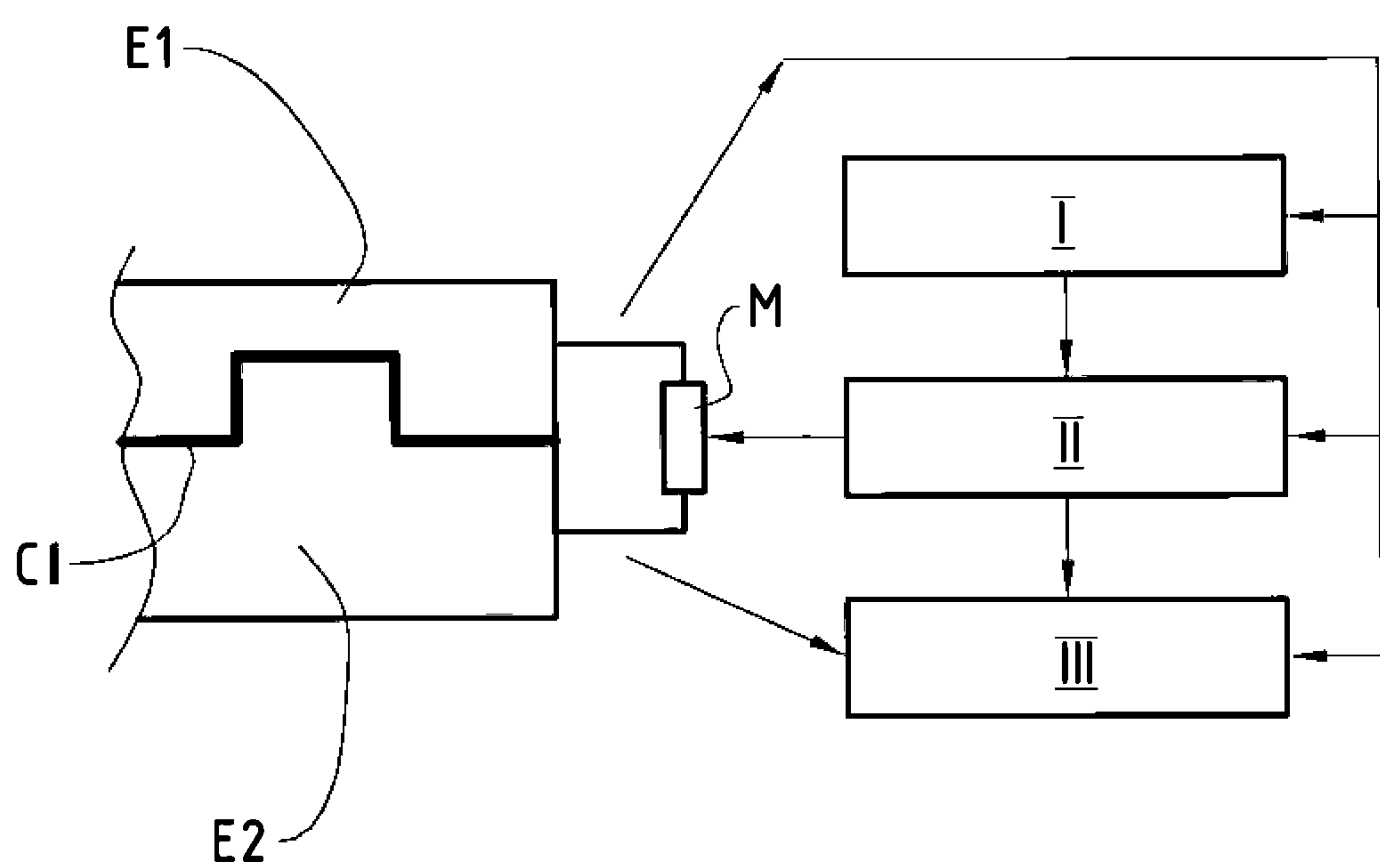
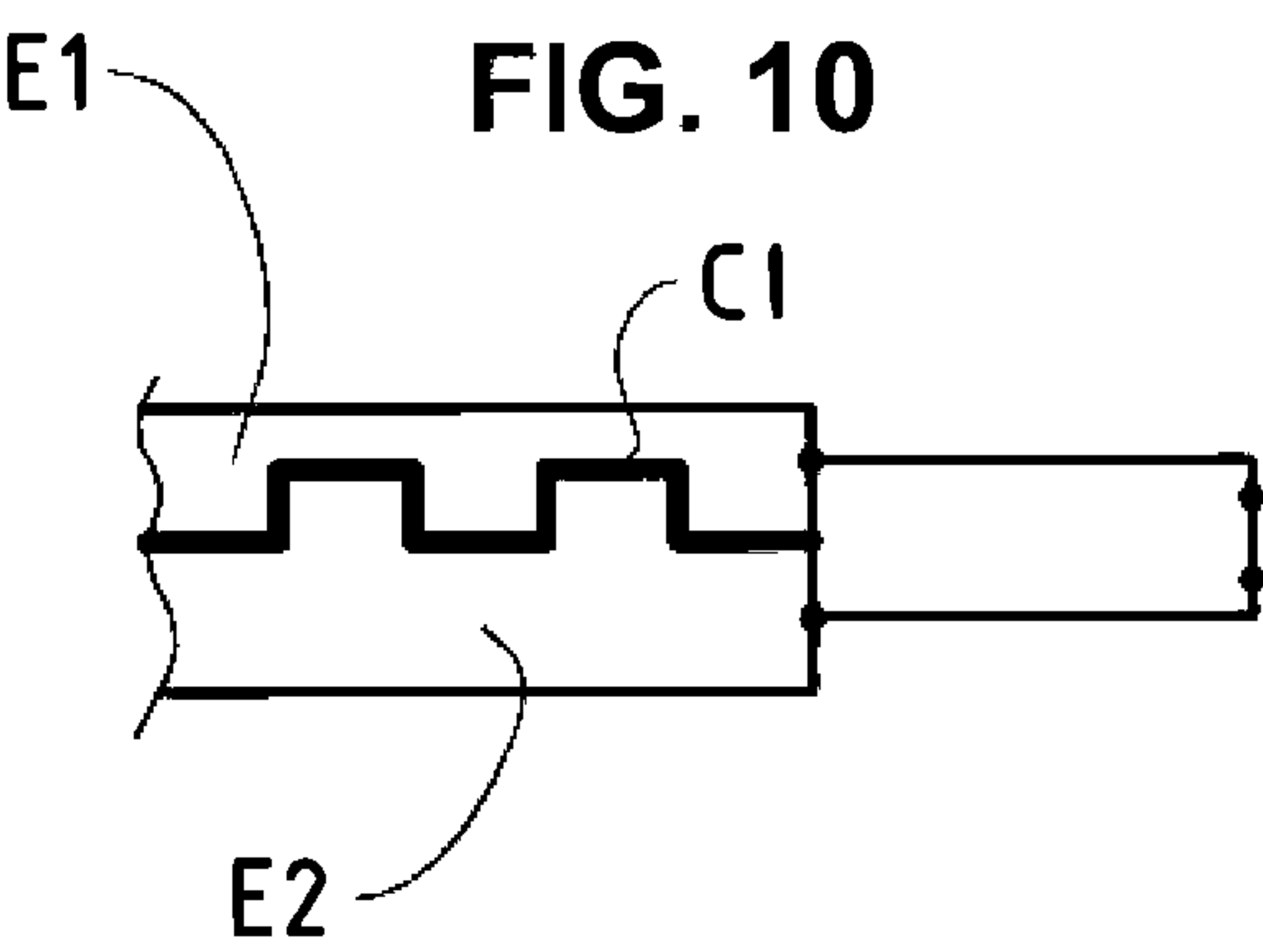
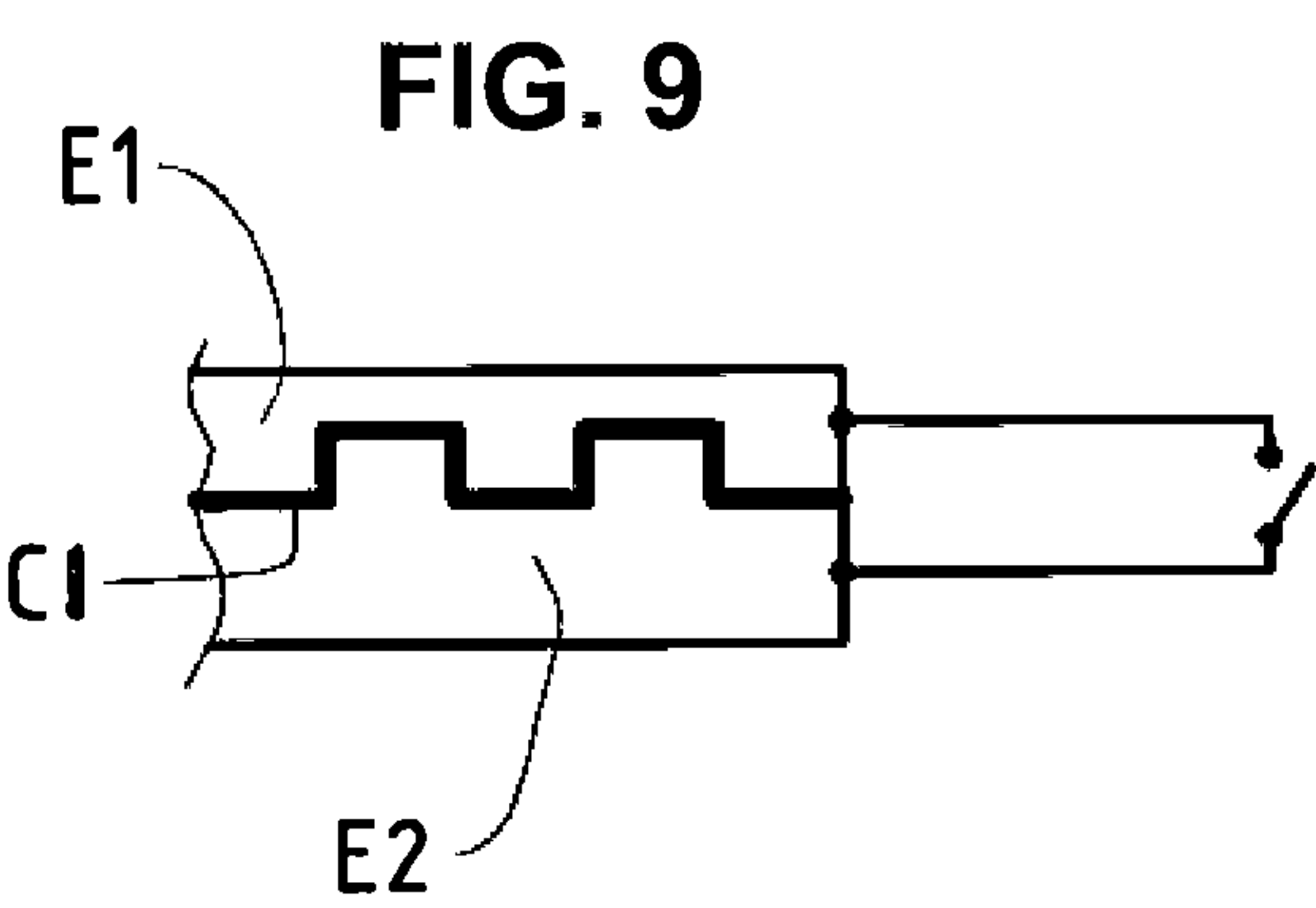


FIG. 11