

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

**N° 79 24317**

---

⑤4 Dispositif de pulvérisation comportant une alimentation en courant à plusieurs réseaux.

⑤1 Classification internationale (Int. Cl. 3). H 05 H 1/26.

⑫ Date de dépôt ..... 28 septembre 1979.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée : *EUA, 21 août 1979, n° 066 917.*

④1 Date de la mise à la disposition du  
public de la demande ..... B.O.P.I. — « Listes » n° 9 du 27-2-1981.

---

⑦1 Déposant : Société dite : COULTER SYSTEMS CORP., résidant aux EUA.

⑦2 Invention de : Harold James Weber.

⑦3 Titulaire : *Idem* ⑦1

⑦4 Mandataire : Cabinet Z. Weinstein,  
20, av. de Friedland, 75008 Paris.

La présente invention concerne un réseau de transmission de puissance, et plus particulièrement, un réseau de transmission de puissance pour la transmission d'une énergie à haute fréquence d'une source à une électrode, dans une machine de pulvérisation.

Les machines de pulvérisation et leur utilisation pour former des pellicules minces de matériau sont maintenant bien connues dans la pratique. De telles machines comprennent habituellement une ou plusieurs électrodes étudiées et agencées pour servir de cathodes ou cibles et une ou plusieurs électrodes étudiées et agencées pour servir d'anodes. L'énergie électrique employée pour exciter ou attaquer la machine est normalement reliée aux cibles tandis que les anodes sont maintenues à la masse ou à un potentiel qui en est proche.

L'utilisation d'une énergie à haute fréquence, disons à radio fréquence, pour exciter ou attaquer les cibles est également bien connue; ce type d'énergie étant nécessaire pour obtenir un dépôt par pulvérisation avec certains types de matériaux des cibles et certains types de matériaux des substrats. L'énergie à haute fréquence est habituellement comprise entre 1 MHz et 40 MHz. Afin d'obtenir une transmission maximum de puissance de l'énergie de la source aux cibles, il est de pratique courante de transmettre l'énergie à travers un réseau comprenant un circuit L-C résonnant.

Un type de réseau de transmission de puissance qui a été employé dans le passé, comporte une bobine et un condensateur connectés en résonance en série et reliés entre la source et la cible. On a réalisé une performance généralement satisfaisante avec ce réseau, en l'utilisant avec des cibles relativement petites ayant environ 10 centimètres carrés et présentant des capacités parasites vers la masse, pas supérieures à environ 100 picofarads, excitées typiquement à 13,56 MHz et à des niveaux de puissance nécessaires pour obtenir un taux souhaité de pulvérisation.

L'un des problèmes posés par ce type de réseau est qu'il ne permet pas d'obtenir une transmission très efficace de puissance en l'utilisant avec une électrode plus grande

présentant une capacité parasite vers la masse de l'ordre de 200 picofarads ou plus.

5 Ce problème d'une capacité relativement élevée est encore accru dans une condition d'électrode difficile à  
attaquer, par la diminution de la quantité de composante  
inductrice (par exemple bobine et autre) que l'on peut  
utiliser, dans la pratique, pour produire la résonance.  
10 Cette dimension diminuée et la nature de la composante inductrice limitent de façon sévère la façon dont elle est nécessairement reliée à la source, l'électrode de pulvérisation (cible) et le condensateur d'accord.

15 Un autre problème important posé par ce type de réseau de transmission de puissance, est qu'il ne peut produire une distribution de champ équipotentiel autour de l'électrode pulvérisée si l'électrode est relativement grande c'est-à-dire qu'elle a des dimensions de l'ordre de 10 cm sur 80 cm, ou plus.

20 Cela est dû partiellement à la petite dimension et à la forme de l'inducteur qui sert à limiter la position et la connexion de la bobine sous forme d'une inductance en bloc par rapport à l'électrode pulvérisante. De plus, un déséquilibre est produit par la valeur d'inductance  
relativement linéaire distribuée dans le corps de l'électrode pulvérisée quand elle est d'une configuration relativement  
25 grande, et en particulier qu'elle a la forme d'une électrode pulvérisée allongée.

30 La nécessité de transférer ou transmettre des quantités importantes de puissance a pour raison que le dispositif particulier selon l'invention est destiné à pulvériser de grandes surfaces du substrat de la surface d'une cible qui a une aire également bien plus importante qu'habituellement. Comme la puissance utile du dispositif de pulvérisation est investie dans le plasma, plus grande est l'aire du plasma, plus grande est l'aire de la cible  
35 et plus grande est la puissance requise pour la source.

La présente invention concerne également principalement la pulvérisation de matériaux isolants dans des techniques de pulvérisation directe, c'est-à-dire où la pulvérisation est effectuée à haute fréquence en utilisant

des cibles formées du composé complet qui doit être pulvérisé. Dans une telle pulvérisation, la différence de pression de vapeur entre les différents éléments formant le composé et le maintien de la stoechiométrie dans le dépôt sur le substrat sont assurés par le type approprié du gaz ou des gaz de fond.

Ces dernières années, la technique de la pulvérisation de matériaux non conducteurs s'est étendue jusqu'à un point où les demandes concernant le circuit fournissant la puissance au dispositif sont devenues importantes et de plus, assez inhabituelles. Les méthodes et circuits traditionnels qui ont été révélés dans l'art antérieur ne sont plus pratiques, et par conséquent ne peuvent permettre une production commerciale de matériaux pulvérisés avec de bons rendements. Afin de pulvériser des surfaces importantes du substrat à une vitesse relativement élevée, on doit utiliser de grandes cibles et de grandes anodes pour porter le substrat, le plasma est donc également assez important. Des changements radicaux se produisent dans un tel dispositif en comparaison avec les dispositifs de laboratoire à faible débit, où une pulvérisation en discontinu était effectuée sur des pièces du substrat ayant sensiblement moins de  $50 \text{ cm}^2$  de surface. Pour les surfaces importantes de plasma, ce qui est plus important encore, les phénomènes électriques qui se produisent dans la chambre de pression sont totalement différents de ceux se produisant dans les petites chambres et dans les conditions connues.

Le problème principal qui se pose provient du fait que la puissance disponible est perdue de façon non souhaitable vers la capacité shuntant le plasma plutôt que d'être absorbée par le plasma dans une configuration du type comprenant de grandes électrodes. cela sera décrit en détail ci-après. C'est uniquement la puissance dans le plasma qui est utile.

Dans une pulvérisation envisagée par la présente invention, la chambre dans laquelle se produit la pulvérisation est formée totalement ou de façon importante en métal, et dans des buts pratiques et de sécurité, ses parois sont

à la masse. La cible ou les cibles (et il y en a normalement un certain nombre) sont montées sur les parois internes de la chambre par des moyens et raccords isolants appropriés, requis pour offrir le support mécanique nécessaire et  
5 permettre en même temps d'appliquer une puissance à haute fréquence aux cibles. Elles doivent également être amovibles parce qu'elles se consomment lentement, et sont souvent piquées et craquées et doivent être remplacées.

Plusieurs des différents types de phénomènes rendant  
10 difficile le pompage de puissance dans la charge utile aux fréquences du mégahertz, sont mentionnés ci-après. La charge utile se compose du plasma pulvérisant qui se produit entre les cibles et les anodes ou l'anode. Etant donné le fait  
15 que la puissance est prise par des trajets parasites et analogues, seul un faible pourcentage de la puissance produite aux fréquences du mégahertz, qui est appliquée au dispositif de pulvérisation par un circuit traditionnel de transfert de puissance et d'adaptation, est utilisé  
20 pour produire le plasma.

La présente invention concerne une structure  
généralement adaptée au transfert efficace de puissance  
pratiquement dans toute sorte de dispositifs de pulvérisation,  
étudié pour enduire de grandes surfaces de substrat à  
partir de cibles de grande surface.

25 Afin de suivre la description de l'invention, il est essentiel de comprendre et d'apprécier le concept du facteur Q ou facteur de qualité d'un composant ou d'un circuit formé de parties électriques. Il est également essentiel de  
30 comprendre la différence entre le facteur statique Q et le facteur dynamique ou chargé Q qui sera désigné ci-après par QL.

Initialement, on peut généralement comprendre que le facteur Q est un rapport de la capacité de stockage d'énergie d'un composant ou circuit et de sa perte d'énergie.

35 Le facteur Q statique ou non chargé doit normalement être aussi élevé que possible. Dans le cas des inducteurs, cela est obtenu en utilisant des matériaux produisant aussi peu de résistance que possible, par exemple en utilisant

des tubes de très forte conductivité. Dans le cas des bobines des inducteurs selon l'invention que l'on décrira, certaines d'entre elles sont enroulées à partir d'un tube en cuivre ayant plus de 8 mm de diamètre, et plaqué d'argent. Les condensateurs doivent avoir la perte la plus faible possible, et dans le cas des condensateurs utilisés dans les circuits de l'invention, ce sont des types diélectriques sous vide, les condensateurs variables étant réglés par arbres mécaniques traversant des joints sous vide.

Une bobine typique à utiliser avec un circuit accordé selon l'invention ayant quatre spires d'un tube en cuivre de 13 mm de diamètre en une hélice d'environ 15 cm de long et 15 cm de diamètre, est pourvue de prises en des emplacements appropriés vers l'intérieur de ses extrémités et est accordée à la résonance par un condensateur sous vide calibré à 20.000 volts, ayant une capacité qui peut être réglée de 12 à 100 picofarads. Une telle bobine aura un facteur statique Q de plusieurs centaines ou plus.

Le facteur Q dynamique ou chargé est totalement différent, à cause du courant en circulation. Dans le cas de circuits résonnants tels que ceux de l'invention, QL est généralement déterminé par la relation entre le courant en circulation dans le circuit et le courant à fournir par la source à l'entrée du circuit. Un QL élevé indique un fort courant en circulation ou une forte impédance et cela n'est pas souhaitable pour un transfert maximum de puissance. Il faut atteindre un compromis entre le QL dynamique et le Q statique. Le Q statique doit être aussi élevé que possible et le QL doit être assez faible.

Dans des circuits accordés du type concerné par l'invention, il est couramment accepté qu'un transfert efficace de puissance est atteint quand le QL du circuit accordé est de préférence inférieur à 15. La gamme qui est habituellement satisfaisante est comprise entre 3 et 12 bien que cette limite supérieure ne soit pas préférée. Cette gamme offre une bonne stabilité pour l'accord, car la réponse est plus large qu'avec des valeurs supérieures de QL. Les valeurs supérieures de QL augmentent l'impédance

du circuit et augmentent le courant en circulation. Par ailleurs, pour la transmission et la réception d'une information, l'effet d'élargissement d'un QL faible n'est pas souhaitable, parce que cela diminue la capacité d'un circuit donné à rejeter les signaux non voulus.

Comme on le décrira ci-après, la présente invention est adaptée de façon idéale à un dispositif à plusieurs cibles, tandis que le circuit traditionnel devient pire dans ce cas. Quand le nombre de cibles augmente et qu'elles sont attaquées ou entraînées en parallèle, l'impédance diminue par un facteur qui est égal au nombre de cibles, l'effet réel étant une augmentation de la capacité. Si l'on suppose que la meilleure efficacité d'accouplement pour un circuit traditionnel ramifié décrit ci-dessus est de l'ordre de 74%, au moment où le nombre de cibles a augmenté à 12 (ce qui est typique pour le dispositif selon l'invention), l'efficacité aura baissé à environ 22%. Dans un tel cas, pour une puissance réelle de 1.800 watts par cible, le système traditionnel nécessiterait une source de 100.700 watts avec une perte résultante de l'ordre de 80.000 watts.

Par ailleurs, l'efficacité de la présente invention n'est pas matériellement affectée. Par un léger ajustement, le circuit selon l'invention continue à attaquer les douze cibles par une source d'une puissance appropriée, disons de l'ordre de 22 kW à une efficacité bien supérieure à 90% et très peu de perte.

En conséquence, on prévoit un dispositif pour fournir efficacement une puissance à un plasma de décharge dans une machine de pulvérisation au moyen d'une énergie à haute fréquence, d'une fréquence prédéterminée dans la gamme des mégahertz, où il y a une configuration d'électrodes comportant un moyen formant cible ayant une aire relativement importante et des environnements métalliques qui sont à la masse, la capacité parasite du moyen formant cible vers les environnements étant supérieure à environ 200 picofarads, ainsi la charge de plasma a une résistance en parallèle avec la capacité parasite qui est sensiblement supérieure à la réactance capacitive de la capacité parasite, ce dispositif

comprenant une source de puissance à haute fréquence de l'ordre du mégahertz ayant une impédance relativement faible à sa sortie, du même ordre que la réactance capacitive de la capacité parasite, cette configuration comportant le

5 moyen formant cible pouvant servir de moyen formant cathode et un moyen formant anode supportant le substrat sensiblement à la masse, avec , selon l'invention, un réseau de charge entre la source et la configuration d'électrodes, le réseau de charge comprenant un circuit résonnant en parallèle

10 comprenant un seul auto-transformateur inducteur formé en un tube conducteur, une première partie de l'auto-transformateur comprenant au plus tout l'inducteur et étant reliée en parallèle à un condensateur variable d'accord ayant une armature à la masse, une seconde partie de l'auto-

15 transformateur comprenant moins que tout l'inducteur et étant définie par une prise de sortie sur l'inducteur et le potentiel de la masse, un moyen comprenant un élément de blocage en courant continu et une ligne d'accouplement s'étendant de la prise de sortie au moyen formant cible,

20 ainsi la capacité parasite est connectée en parallèle à la seconde partie de l'auto-transformateur, ce circuit résonnant en parallèle étant en résonance à la fréquence de la source, avec la réactance capacitive du condensateur d'accord et la capacité parasite équilibrant la réactance inductrice de la

25 partie du transformateur qui participe au circuit résonnant en parallèle, une prise d'entrée sur l'inducteur, la source étant reliée à cette prise d'entrée, l'emplacement de la prise d'entrée par rapport à l'inducteur étant choisi pour produire une bonne adaptation d'impédance entre la

30 source et le circuit résonnant en parallèle, l'emplacement de la prise de sortie étant choisi pour produire une bonne adaptation d'impédance pour le plasma de la machine de pulvérisation lors d'un fonctionnement à une tension pour effectuer une pulvérisation, et le rapport  $Q/QL$  du circuit

35 résonnant étant sensiblement supérieur à l'unité afin d'obtenir un faible courant en circulation et un transfert très efficace de puissance, la réactance capacitive parasite étant réalimentée par la réactance inductrice de l'inducteur.

On prévoit de plus un dispositif dans lequel sont prévus deux réseaux supplémentaires ayant respectivement un inducteur et des condensateurs entre la source et la configuration d'électrodes, le réseau de charge suivant les deux autres, le premier réseau suivant la source étant un réseau de transfert d'impédance, le second réseau suivant le réseau de transfert d'impédance étant un réseau intermédiaire, ce réseau intermédiaire ayant une borne de sortie à une certaine tension et impédance et une ligne d'accouplement s'étendant de la borne de sortie vers le moyen formant cathode afin que la tension à la borne de sortie du réseau intermédiaire soit appliquée à la ligne d'accouplement à l'impédance de la borne de sortie du réseau intermédiaire, au moins l'inducteur du second réseau étant un transformateur en plus de l'inducteur du réseau de charge, chaque réseau supplémentaire étant construit et agencé pour avoir un rapport de  $Q/QL$ , au moins de l'ordre de 10 à 100 pour produire un transfert suffisant de puissance en charge.

De plus, la présente invention concerne une méthode de transfert ou de transmission de puissance à haute ou radio fréquence dans la gamme des mégahertz vers une cible pulvérisante, qui est shuntée par une réactance capacitive parasite d'une source qui a une faible tension et une faible impédance, le plasma produit par la cible nécessitant qu'elle soit excitée à une tension sensiblement supérieure à celle de la source et à une impédance sensiblement supérieure à celle de la source ou de la réactance en shunt, cette méthode comprenant les étapes d'élever la tension et l'impédance de la source en stades résonnants, jusqu'à la bonne impédance et la bonne tension pour le fonctionnement de la cible, sans considérer la présence de la réactance en shunt, de mettre en résonance un circuit accordé à cette fréquence avec la réactance capacitive pour la résonance fournie par la réactance en shunt, et à coupler la tension et l'impédance élevées et le circuit accordé à la cible tout en équilibrant la réactance en shunt avec la réactance inductrice du circuit accordé.

L'invention sera mieux comprise, et d'autres buts,

caractéristiques, détails et avantages de celle-ci  
apparaîtront plus clairement au cours de la description  
explicative qui va suivre faite en référence aux dessins  
schématiques annexés donnés uniquement à titre d'exemple  
5 illustrant plusieurs modes de réalisation de l'invention  
et dans lesquels :

-la figure 1 est une vue en élévation avant,  
partiellement sous forme schématique et partiellement en  
coupe, d'un réseau de transfert de puissance construit  
10 selon l'invention et relié entre une source à haute  
fréquence et une cible d'une machine de pulvérisation;

-la figure 2 est une vue en plan du mode de  
réalisation de la figure 1;

- la figure 3 est un circuit équivalent du mode  
15 de réalisation de l'invention qui est représenté sur la  
figure 1;

- la figure 4 est une vue en plan, partiellement  
sous forme schématique et partiellement en coupe , d'un  
réseau de transfert de puissance construit selon l'invention  
20 et relié entre une source à haute fréquence et un certain  
nombre de cibles d'une machine de pulvérisation;

- la figure 5 est un schéma-bloc simplifié avec  
une représentation symbolique du dispositif de pulvérisation  
illustrant la forme de base du circuit selon l'invention,  
25 le dispositif de pulvérisation, dans ce cas, comprenant  
une cible ou cathode et une anode formant un seul champ de  
plasma;

- la figure 6 est une vue semblable à celle de la  
figure 5, mais dans ce cas, il y a un certain nombre de  
30 champs de plasma et la forme du circuit comporte un certain  
nombre de combinaisons de réseaux intermédiaires et de  
charge , chaque combinaison alimentant un seul champ de  
plasma;

- la figure 7 est un schéma de circuit électrique  
35 théorique tentant d'illustrer l'équivalent du circuit  
dynamique pour un champ de plasma excité à haute fréquence  
produit par le dispositif selon l'invention;

- la figure 8 est un schéma plus détaillé,  
principalement sous forme de circuit traditionnel, d'un

dispositif du type illustré sur la figure 6, pour alimenter le champ de plasma;

5 - la figure 9 est un schéma semblable à celui de la figure 8, illustrant un mode de réalisation de l'invention appliqué à un dispositif où il y a au moins trois champs de plasma mais avec une seule anode et un substrat passant séquentiellement à travers tous les champs de plasma;

10 - la figure 10 est un schéma d'une forme modifiée de l'invention où la distance électrique et/ou physique des cibles par rapport aux réseaux intermédiaires d'accord n'est pas la même; et

15 - la figure 11 est un schéma de circuit d'une forme modifiée de l'invention, alimentant un seul champ de plasma, le circuit étant semblable à une partie de la figure 8 mais illustrant deux variantes, l'une concernant la façon dont une polarisation peut être appliquée à l'anode de la configuration d'électrodes de pulvérisation et l'autre étant une variation de circuit pour recevoir une cible d'une capacité relativement élevée.

20 En se référant maintenant aux dessins, et en particulier aux figures 1 et 2, on peut voir une cible 11 d'une machine de pulvérisation, une anode 13 d'une machine de pulvérisation qui est reliée à la masse, une source de puissance à haute fréquence 15 reliée à une extrémité à la masse, et un réseau de transfert ou de transmission de puissance pour transférer l'énergie de la source 15 à l'électrode 11.

25 Le réseau de transfert ou de transmission de puissance comporte une section de ligne linéaire, ou inductance linéaire 19 pouvant avoir avantageusement la forme d'une certaine longueur d'un tube en cuivre de section transversale circulaire, mais pouvant avoir une forme de serpentín pour une électrode formant cible qui n'est pas aussi longue et étroite que cela est indiqué. Une extrémité 30 21 de la section 19 est reliée, par un élément conducteur 22, à un blindage 23 de mise à la masse entourant l'électrode 11, et l'autre extrémité 25 de la section 19 est reliée par un élément conducteur 26 à une extrémité d'un condensateur 27,

dont l'autre extrémité est reliée par un élément conducteur 28, au blindage 23. La source 15 est reliée à la section linéaire 19 à la jonction 29 et la cible 11 est reliée à la section 19 à la jonction 31 au moyen d'un condensateur de blocage en courant continu 33.

Un voltmètre 35 peut être relié, au moyen d'une self 37, au conducteur 39, reliant le condensateur 33 à la cible 11 afin de mesurer la tension continue auto-redressée apparaissant à la cible 11.

Quand le réseau est en résonance, les lignes de champ 41 du courant en circulation, comme on peut le voir sur la figure 2, entourent de très près la cible 11 et, ce qui est très important, elles l'entourent symétriquement. On comprendra, bien entendu, que le voltmètre 35 aide simplement à mesurer la tension continue et en tant que tel, il ne fait pas partie du réseau. De même, le condensateur de blocage ne doit pas nécessairement être relié entre la cible 11 et la section 19, mais il pourrait être aussi efficacement relié entre l'anode 13 et la masse.

Le condensateur 33 a pour rôle d'empêcher le courant continu auto-redressé d'être mis en court-circuit vers la masse, et en tant que tel, il ne joue pas de rôle important dans la condition de résonance du circuit. Le condensateur 33 peut être éliminé et remplacé par une connexion directe si l'on ne s'attend pas à une production de courant continu dans la cible 11 vers l'anode 13. Tandis qu'une telle condition n'est pas typique de l'application du dispositif de pulvérisation pour laquelle le présent circuit est particulièrement destiné, le fait que la résonance soit obtenue sans le condensateur 33 indique l'indépendance sensible du circuit résonant par rapport à la présence du condensateur 33.

Dans le circuit électrique équivalent du mode de réalisation de la figure 1 qui est représenté sur la figure 3, l'inductance linéaire 19 est représentée par une série de bobines 43, 45 et 47. La cible 11 est représentée en relation avec le blindage de la masse 23, montrant la capacité résiduelle et parasite importante 49 qui apparaît entre eux.

De plus, une certaine capacité parasite moindre 51 se produit entre la cible 11 et l'anode 13 ou le substrat 53 si un substrat est monté sur l'anode. On peut voir que, en pratique réelle, la capacité parasite 49 domine la capacité parasite 51.

5 Pour des cibles de grandes dimensions, cela peut être de l'ordre de 300 picofarads ou plus.

On donnera ci-après des valeurs et dimensions représentatives des composants du réseau de transfert de puissance 17, quand il est relié entre une source de puissance à haute fréquence opérant à 13,56 MHz et une électrode formant cible dont les dimensions sont de 12,5 cm sur 87 cm et dont la capacité parasite vers la masse est de l'ordre de 300 picofarads :

15 Section de ligne linéaire : 2,2 cm de diamètre,  
115 cm de long

Ajustement du condensateur  
accordable 75 pF

Condensateur de blocage : 2nF/5 kV, courant  
continu

20 Distance entre la jonction 29  
et l'extrémité 21 : 13,4 cm.

25 En se référant maintenant à la figure 4, elle représente deux cibles 61 et 63, deux anodes 65 et 67, qui sont reliées à la masse, et une source de puissance à haute fréquence 69 qui est reliée aux cibles 61 et 63.

30 Le réseau de transfert de puissance comporte deux sections linéaires de ligne 73 et 74 semblables à la section 19, la section 73 étant agencée pour fournir de la puissance à la cible 61 et la section 74 étant agencée pour fournir de la puissance à la cible 63.

35 Une extrémité 75 de la section linéaire 73 est reliée, au moyen d'un condensateur d'accord 77, à un blindage 79 de mise à la masse entourant la cible 61. L'autre extrémité 81 de la section 73 est reliée à la masse. La cible 61 est reliée au moyen d'un condensateur de blocage en courant continu 83, à la section linéaire 73, à peu près en un point médian 78 sur sa longueur totale.

Une extrémité 85 de la section de ligne linéaire 74

est reliée au moyen d'un condensateur d'accord 87, à un blindage 89 de mise à la masse entourant l'électrode 63 formant cible. L'autre extrémité 91 de la section 74 est reliée à la masse. La cible 63 est reliée au moyen d'un condensateur de blocage 93, à la section linéaire 74 en un emplacement intermédiaire 94 sur sa longueur. Les tensions auto-redressées aux cibles 61 et 63, respectivement, sont éventuellement mesurées par des voltmètres 95 et 97 reliés respectivement aux conducteurs 99 et 101, au moyen de selfs 103 et 105, respectivement.

L'énergie de la source 69 est reliée à la jonction 105 au moyen d'un capteur de puissance 107. La jonction 105 est reliée aux emplacements 109 et 112, respectivement, sur les sections linéaires 73 et 74. Le capteur de puissance 107 a des bornes qui sont reliées à des appareils de mesure 110 et 111 indiquant respectivement une puissance incidente ou vers l'avant et une puissance réfléchie ou vers l'arrière.

Un condensateur 115 d'équilibrage est relié entre la cible 61 et la section linéaire 73 et un condensateur d'équilibrage 113 est relié entre la cible 63 et la section linéaire 74. Ces condensateurs servent à compléter la capacité de la cible et on peut les utiliser soit pour attaquer les deux cibles d'une façon déséquilibrée ou pour compenser une capacité parasite inégale dans les diverses cibles.

On peut indiquer, comme valeurs et dimensions représentatives des composants du réseau de transfert de puissance selon l'invention, quand il est relié entre une source de puissance à haute fréquence opérant à 13,56 MHz et deux électrodes formant cibles dont les dimensions en longueur et en largeur sont chacune de l'ordre de 90 cm sur 10 cm, et qui présentent chacune une capacité parasite vers la masse de l'ordre de 300 picofarads, les valeurs qui suivent :

35	Sections linéaires (73,74)	: 2,2 cm de diamètre, 111,7 cm de long
	Réglages des condensateurs accordables	85 picofarads

Condensateurs de blocage (83,93) : 2 nanofarads  
 Puissance à la jonction 105 : 2800 watts  
 Tension continue à chaque  
 appareil de mesure 95 ou 97 : - 1500 volts  
 Impédance à la fréquence de  
 fonctionnement entre la  
 jonction 105 et la masse : 50 ohms  
 Distance des jonctions 109 et  
 112 aux extrémités 81 et 91,  
 respectivement, en ohms et cm : 100 ohms  
 21,6 cm  
 Distance des jonctions 78 et 94  
 aux extrémités 75 et 85,  
 respectivement, en cm : 68,6

5

10

15

20

Bien que le circuit soit illustré come ayant une cible reliée en un certain point médian sur la longueur de la ligne tandis qu'une extrémité de cette dernière est à la masse, la masse peut être reliée à la position médiane, la cible étant reliée à l'extrémité de la ligne qui était précédemment à la masse.

25

30

Dans la forme préférée, la ligne accordée représente une ligne résonnante quart d'onde raccourcie tandis que dans cette autre connexion, la ligne représente plus précisément une ligne résonnante demi-onde raccourcie et par conséquent, elle est quelque peu plus longue, en général. On comprendra de plus que des lignes linéaires résonnantes plus longues, de trois-quarts de longueur d'onde, de longueur d'onde complète et ainsi de suite sont simplement des extensions opératives de la ligne quart d'onde ou de la ligne demi-  
 onde.

35

On comprendra que des bobines de conducteurs tubulaires creux peuvent remplacer les conducteurs linéaires et dans les exemples de l'invention qui seront illustrés et décrits sur les figures 5 à 7, cela sera le cas. D'autres réseaux sont ajoutés au réseau de charge illustré, pour être insérés entre la source et les cibles des figures 1 à 4.

40

En se référant maintenant à la figure 5, elle illustre un schéma-bloc et symbolique d'une forme de l'invention en utilisant des réseaux multiples, formant le dispositif désigné en 20. La combinaison comporte, comme

cela est indiqué, toute la partie du dispositif de pulvérisation lui-même contribuant aux effets électriques qui produisent les problèmes résolus par l'invention, et qui participent au circuit externe dans la solution de ces problèmes.

5 Le circuit externe est illustré comme comprenant quatre composants consistant en une source de puissance à haute fréquence 15, un réseau de transfert d'impédance 24 relié à la source 15 par le moyen de transmission ou de  
10 couplage ou d'accouplement 26', un réseau intermédiaire 28 relié au réseau de transfert d'impédance 24 par l'accouplement 30, un réseau de charge 32 équivalent au circuit des figures 1, 2 et 3 relié au réseau intermédiaire 28 par l'accouplement 34 et un dispositif ou chambre de pulvérisation 36  
15 relié ou connecté au réseau de charge 32 par une ligne 38 qui traverse la paroi 40 du récipient de la chambre 36 et s'étend jusqu'à la cathode ou cible 42 de la configuration d'électrodes 44 du dispositif. La configuration 44 comporte une anode 46 qui est illustrée comme étant mise à la masse  
20 en 48 par la ligne 50. La zone en pointillés 52 représente le plasma de décharge lumineuse ou champ de plasma qui est établi entre les électrodes pendant le fonctionnement du dispositif 36, avec un petit espace indiqué en 56 pour représenter l'espace obscur de Crookes à proximité de la  
25 face de la cible 42. Le gros point signifie qu'il y a une atmosphère gazeuse dans la chambre 36.

Le réseau de charge 32 ne doit pas être considéré comme un composant ou circuit indépendant car la condition de résonance qui sera décrite comme devant y exister, doit  
30 tenir compte des effets de la configuration d'électrodes 44 sur la capacité du réseau 32 et des effets de la structure environnante qui n'est pas représentée sur la figure 5. En fait, l'une des caractéristiques de l'invention est que l'inductance du réseau de charge 32 stimule la capacité de  
35 la configuration d'électrodes 44. Cela sera expliqué ci-après.

La sortie de la source de puissance 15 sur la ligne de transmission 26' est à une faible valeur, normalement

de l'ordre de 50 ohms. Une puissance à haute fréquence est appliquée par cet accouplement 26', à l'entrée du réseau 24 de transfert d'impédance. Le transfert d'impédance 24 convertit le signal de puissance en un signal qui produit une plus forte impédance à l'accouplement de sortie 30. On obtient également une transformation de tension.

Dans un exemple, le réseau de transfert d'impédance se compose d'une série de circuits résonnants en  $\Pi$  et dans un second exemple, il se compose d'un circuit résonnant en parallèle qui comporte une bobine et un condensateur, la bobine étant pourvue d'une prise en un point adapté pour obtenir la tension souhaitée. La bobine sert d'autotransformateur pour élever la tension. Dans les deux cas, il y a une transformation d'impédance et l'accouplement de sortie 30 est à une impédance bien plus élevée que l'accouplement d'entrée 26'. Cette valeur est typiquement de 1.250 ohms, c'est-à-dire le carré du rapport de transformation de tension.

Dans les deux cas, la tension à l'entrée du réseau de transfert d'impédance 24 est de l'ordre de 850 volts crête à crête tandis que la sortie est de 4.250 volts crête à crête. Cela se produit par un bon choix du condensateur et de la bobine et des prises choisies pour l'entrée et la sortie du réseau. Le QL du circuit pratique dans ce cas était de 6,25. Le Q statique du circuit était de l'ordre de 200 ou plus; par conséquent sensiblement plus élevé que de 10 à 1 par rapport au QL.

Dans chaque cas, le réseau intermédiaire 28 comprend un transformateur élévateur qui est un autotransformateur et qui a pour but d'élever sensiblement la tension à la sortie du réseau de transfert d'impédance 24. Le circuit du réseau intermédiaire 28 est également un circuit résonnant en parallèle et la prise sur le transformateur est choisie pour produire une haute tension à l'accouplement 34. Elle est de 3.600 volts crête à crête à la sortie 34 avec une impédance abaissée, disons de l'ordre de 1.000 ohms, en vue d'attaquer la cible 42 et son plasma.

Le réseau de charge qui a été indiqué dans la

description des figures 1 à 3, et qui comprend l'inducteur linéaire 19 est l'équivalent électrique, à haute fréquence, d'une bobine et la prise le long de l'inducteur ne représente pas plus que l'équivalent de prises sur une bobine. Cela sera clairement compris par ceux qui sont compétents en la matière.

Le composant de base de transfert de puissance selon l'invention comprend ce réseau de charge désigné en 32 sur les figures 5 à 11, et illustré avec une bobine comme 442-1 ou 442-2 remplaçant l'inducteur linéaire 19. Dans le cas du circuit de la figure 5, il n'y a que l'un de ces réseaux de charge 32 mais dans d'autres exemples de l'invention, il y a plusieurs de ces réseaux de charge, chacun produisant un transfert efficace de puissance vers une seule cible.

On reconnaîtra également qu'en plus du réseau de charge 32 des figures 1 à 3, les circuits qui seront décrits ci-après comprennent des réseaux supplémentaires rendant le transfert de puissance encore plus efficace que l'utilisation d'un seul réseau. On notera également que dans la description de l'invention, la source de haute fréquence peut également être considérée comme la sortie du réseau intermédiaire ou des réseaux à décrire.

Le réseau de charge 32 est un autre circuit résonnant comprenant un auto-transformateur, et il est relié à la cathode 42 au moyen d'un condensateur d'accouplement dans la ligne 38. La capacité parasite du dispositif 36 en combinaison avec le réseau de charge 32 sert à ramener l'impédance dans la ligne 38 à environ 500 ohms, la tension restant à 3.600 volts crête à crête. Ce réseau élimine l'effet du bypass à faible impédance dans les électrodes de pulvérisation et permet ainsi à la sortie intermédiaire d'être efficace.

Dans le réseau intermédiaire, il y a une condition de résonance qui produit une multiplication de la tension d'entrée en 30. Cette tension d'entrée de 4.250 est accrue par un facteur qui est le QL du réseau intermédiaire 28. Dans l'exemple pratique de l'invention, on a un QL pour le

réseau intermédiaire qui est de l'ordre de 4,2, et l'extrémité à haute tension du transformateur dans ce circuit produit une tension qui est de  $4.250 \times 4,2$  ou environ 18.000 volts crête à crête. Avec cette valeur pour la haute tension à une extrémité du transformateur, il est simple de prévoir une prise en un point adapté du transformateur, pour obtenir la tension de sortie, en 34, de 3.600 volts crête à crête, et c'est également la tension à la sortie du réseau de charge.

Par suite, il y a un transfert totalement efficace de puissance car l'impédance de sortie en 38 correspond à l'impédance de charge effective qui est de l'ordre de 500 ohms et se produit à une tension qui donne les meilleures conditions du plasma, c'est-à-dire de l'ordre de 2.000 à 4.000 volts crête à crête.

Sur la figure 6 est illustré le schéma-bloc d'une forme modifiée de l'invention. Dans ce cas, le dispositif 60 comprend un dispositif de pulvérisation 36 qui comporte une seule anode 46 mais un certain nombre de cathodes ou cibles 42-1, 42-2, ... 42-n, et on comprendra que tout nombre de cibles peut être utilisé dans des limites pratiques.

La même source de courant 15, l'accouplement 26' et le réseau de transfert d'impédance 24 sont utilisés comme dans le cas du dispositif 20 de la figure 5. Il y a un réseau intermédiaire séparé pour chaque cible afin de simplifier l'accord et d'empêcher une interaction entre les cibles et leurs circuits de charge respectifs. Il y aura toujours une certaine interaction électrique, et l'accord doit être effectué de façon échelonnée pour arriver aux conditions optimales. Chaque réseau intermédiaire 28-1, 28-2, ... 28-n est construit sensiblement comme le réseau 28 de la figure 5 et accomplit les mêmes fonctions. De même, les réseaux de charge 32-1, 32-2, ... 32-n ont les mêmes fonctions que ceux du circuit des figures 1 à 4 et la même construction que le réseau 32 de la figure 5. Les accouplements 30-1, 30-2, ... 30-n sont les mêmes que l'accouplement 30 de la figure 5; les accouplements 34-1, 34-2, ... 34-n sont les mêmes que l'accouplement 34 de la figure 5; les

lignes 38-1, 38-2, ... 38-n sont les mêmes que la ligne 38 de la figure 5.

Dans ce cas, chaque cathode a son plasma indépendant 52-1, 52-2, ... 52-n, avec les espaces obscurs de Crookes en rapport 56-1, 56-2, ... 56-n comme sur la figure 5. On peut supposer qu'il y a un substrat commun passant au-dessus ou se déplaçant au-delà de l'anode 46, qui est mis à la masse par des lignes 50 vers la masse 48 ou, des substrats indépendants peuvent recouvrir l'anode à proximité des champs respectifs de plasma. Il est évident que, comme le dispositif 36 est destiné à avoir un débit important, il est préférable et pratique qu'une seule longueur du substrat se déplace continuellement sur l'anode 46 et soit soumise en séquence aux champs de plasma.

Sur la figure 7 est illustré un schéma de circuit 62 qui est une tentative théorique pour représenter le circuit équivalent d'une configuration d'une cible comme la cible 42 en mode dynamique, c'est-à-dire lors d'une utilisation pour pulvériser un matériau et quand il y a un champ de plasma entre les électrodes.

Une simple source à haute fréquence 64 est représentée qui est imprimée sur un circuit 66 qui comprend les capacités et résistances qui sont représentées. Elles sont comme suit :

25 CD est la capacité distribuée d'entrée;  
 CS est la capacité distribuée du blindage de la cible;  
 CP est la capacité du plasma pulvérisant;  
 CT est la capacité de la cible;  
 30 CC est la capacité de l'espace sombre de Crookes;  
 RT est l'impédance résistive de la cible;  
 RL est la perte résistive; et  
 RP est la résistance du plasma.

Le circuit complexe est divisé en blocs par des lignes en pointillés qui représentent généralement la cathode ou cible 42, l'anode 46 et l'espace sombre 56, mais dans un sens dynamique, c'est-à-dire quand le dispositif 36 fonctionne et qu'un champ de plasma existe entre les électrodes.

Dans des modes de réalisation pratiques comme le type de dispositif de pulvérisation concerné par l'invention, la capacité d'entrée CD est principalement due au moyen de connexion de la cible comme des raccords d'alimentation sous vide, les montages de la cible et analogues.

Avec des cibles pulvérisant un matériau semi-conducteur ou non conducteur, l'impédance RT est élevée et la réactance capacitive CT est très faible, et par conséquent dominante pour contribuer à l'impédance totale de la configuration parce qu'elle shunte l'impédance RT comme cela est indiqué sur la figure 7. Avec des cibles en métal ou autres cibles conductrices, l'impédance RT sera faible, étant pratiquement nulle, shuntant et annulant l'effet d'impédance réactive de la capacité CT de la cible. Dans des configurations pratiques de cibles pulvérisantes, un moyen formant blindage en métal entoure la cible pour empêcher une décharge lumineuse de partout sauf de la surface active avant de la cible. Un tel moyen formant blindage sera espacé de quelques millimètres ou analogues, de la cible, pour se trouver dans les confins de l'espace sombre de Crookes afin d'empêcher un redépôt, sur l'arrière et les côtés de la cible, du matériau retiré par pulvérisation. La proximité de ce moyen formant blindage introduit une capacité parasite considérable indiquée en CS.

L'espace sombre qui se produit dans l'espace entre la cible et l'anode produit une capacité CC d'espace sombre, mais comme il n'est pas tellement capacitif, il est illustré comme étant shunté par un petit trajet résistif RL appelé perte résistive.

Le plasma ou champ de plasma est en réalité une décharge lumineuse qui se produit entre les deux électrodes et représente l'ionisation du gaz de fond. Cela peut être considéré comme une capacité CP shuntée par une résistance de décharge modérée RP. Cette dernière résistance RP est considérée comme contribuant de façon dominante à l'impédance de charge du système de puissance qui peut être fournie par la source 64. Le plasma apparaît sous forme d'une résistance RL de l'ordre de 1.000 ohms et une capacité en parallèle CC

de l'ordre de 20 à 50 picofarads entre la cathode 42 et l'anode 46.

Sur la figure 7, on peut analyser les divers composants théoriques et apprécier ce qui se produit dans le dispositif de pulvérisation en conditions dynamiques. Par ce schéma, on peut facilement voir la raison pour laquelle se pose le problème ci-dessus décrit.

Sur la figure 7 est également illustré un voltmètre 66 de courant continu de la cible, relié par une sonde appropriée 68, à travers un réseau de découplage à haute fréquence, au conducteur 38, et il permet la mesure de la tension continue négative entre la cible et la masse 48. La notera qu'il y a une composante en courant continu entre les électrodes par l'action de diode qui doit se produire dans une configuration de cette sorte, et avec la décharge luminescente du plasma.

En se référant en ce point à la figure 8, on peut voir qu'elle se compose d'un schéma de circuit général avec des parties représentées schématiquement et par des symboles, d'un dispositif de pulvérisation 70 illustrant un agencement où il y a une chambre ou machine de pulvérisation 36 enfermée par un seul récipient 40, où se trouvent deux cibles 42-1 et 42-2 ainsi que deux anodes 46-1 et 46-2. L'agencement de base qui comporte la mise à la masse des anodes et la condition dynamique illustrée qui donne lieu au plasma et aux espaces sombres sont dérivés de cette vue en observant que les repères suivent le même système que celui utilisé pour les figures 5 et 6.

Dans ce cas, la source de puissance 15 opérant à des fréquences de l'ordre du magahertz, est reliée au réseau 24 de transfert d'impédance par un accouplement généralement désigné en 26' qui, dans ce cas, est illustré comme un câble coaxial 72 dont le blindage est à la masse en 48 et dont l'impédance interne est habituellement de 50 ohms. Certains câbles de ce type ont des impédances quelque peu supérieures, disons de 73 ohms. L'inducteur 223 comprend un auto-transformateur formé du tube de grand diamètre précédemment mentionné, et il est relié aux bornes d'un condensateur variable 224, typiquement de 80 picofarads,

au moyen duquel il est accordé pour résonner à la fréquence de la source . A la résonance, la bobine 223 agit comme une impédance élévatrice et un transformateur de tension. La borne supérieure 226 de l'inducteur 223 est le point de signal d'impédance élevée du réseau 24 opérant à une tension qui est sensiblement supérieure à celle de la source 15. La tension de la source de puissance est appliquée au transformateur 223 par la prise 222 en un point d'impédance pour s'adapter à l'impédance de la source . Typiquement, la tension est de l'ordre de 850 volts crête à crête en ce point 227. L'impédance au point 227 a également été élevée par le carré du rapport d'enroulement et cela peut typiquement être de l'ordre de 1.250 ohms.

La ligne d'accouplement de sortie 30 est reliée, en 331, à deux ramifications 30-1 et 30-2 qui relient ainsi le réseau de transfert 24 à deux réseaux intermédiaires 28-1 et 28-2, respectivement. Ces réseaux sont sensiblement identiques et ils comprennent des circuits en résonance formés d'un condensateur et d'un inducteur dans chaque cas. Le circuit supérieur sur la figure 8 comprend le condensateur variable 332-1 typiquement de 75 picofarads , et l'inducteur 334-1 ce dernier servant d'auto-transformateur, les composants ayant la construction générale précédemment décrite. L'inducteur 334-1 est pourvu d'une prise en 336-1, et sa borne inférieure est mise à la masse en 48.

Le réseau intermédiaire inférieur 28-2 se compose de même du condensateur variable 332-2 et de l'inducteur-transformateur 334-2 ayant une prise en 336-2. Les deux réseaux 28-1 et 28-2 sont agencés pour résonner à la fréquence de la source et sont respectivement reliés aux réseaux de charge 32-1 et 32-2 par les lignes d'accouplement 34-1 et 34-2. Ces réseaux 28-1 et 28-2 peuvent être considérés comme étant en résonance en série; par conséquent, on comprendra que la tension à la borne supérieure de chaque inducteur 334-1 et 334-2 sera sensiblement supérieure à la tension à la connexion 331. Ces tensions pour des circuits équilibrés seront les mêmes et seront en rapport avec le QL de chaque circuit. Cela a été précédemment expliqué et l'on a fait

remarquer que les bornes supérieures des inducteurs 334-1 et 334-2 pouvaient être à des tensions de 18.000 volts crête à crête pour un QL de l'ordre de 4,2, avec une tension d'entrée de l'ordre de 4.250 volts crête à crête à la connexion 331. Avec les inducteurs ayant des prises en 336-1 et 336-2, respectivement, à 20%, la tension de sortie aux lignes d'accouplement 34-1 et 34-2 sera de l'ordre de 3.600 volts crête à crête et l'impédance sera de l'ordre de 500 ohms.

Ces prises 336-1 et 336-2 sont choisies pour produire les tensions crête à crête nécessaires pour établir le potentiel correct à haute fréquence aux cibles 42-1 et 42-2.

Les positions des prises 336-1 et 336-2 sont critiques et doivent par conséquent être choisies avec soin pendant le processus d'accord. Une fraction d'une spire, d'une façon ou de l'autre, par rapport à l'emplacement idéal, changera l'efficacité du transfert de puissance. De telles prises sont effectuées au moyen de cosses qui sont serrées à la main en place, sur le tube de grand diamètre formant les inducteurs.

Le choix de la bonne prise a pour but d'obtenir la meilleure combinaison des valeurs de QL pour chaque réseau. On comprendra que tous les inducteurs seront faits d'un tube en cuivre relativement mince et de grand diamètre, et auront une valeur de Q bien supérieure à 175. Il y a si peu de perte dans toute partie du circuit qu'il n'est pas nécessaire de refroidir les inducteurs à l'eau.

La position des prises 336-1 et 336-2 contrôlera la tension et l'impédance sur chaque ligne. Par exemple, si au lieu d'une position d'une prise à 20%, elle était à environ un tiers par rapport à l'extrémité à la masse, la tension serait de 6.000 volts crête à crête en ces points, au lieu de la valeur précédemment mentionnée, en supposant que la tension totale dans les inducteurs soit de 18.000 volts crête à crête. De même, il y aurait une impédance différente, dépendant du carré du rapport des spires aux points où sont les prises.

On a mentionné que le réseau de charge 32 de la

figure 5 n'était pas indépendant des conditions dans la chambre de pulvérisation, et cela est également vrai pour le circuit réel de la figure 8. L'impédance principale de la charge est une capacité sensiblement totale à la masse, shuntée par une résistance modérée dans des conditions dynamiques de pulvérisation avec du plasma présent (figure 7). Dans le circuit du dispositif de l'invention, la capacité de la cible 42-1 et ses trajets parasites sont forcés à être en résonance à la fréquence de source avec l'inducteur 442-1. Le condensateur 443-1 est un condensateur d'équilibrage en résonance pour accorder le réseau de charge 32-1 pour la cible particulière. La construction des inducteurs 442-1 et 442-2 en grands tubes, rend peu pratique la variation mécanique de leur inductance, bien que cela puisse être fait en cas de nécessité.

La même construction est utilisée dans le réseau de charge 32-2, l'inducteur 442-2 et le condensateur variable 443-2 étant accordés sur la cible 42-2 et ses trajets parasites.

La combinaison d'impédance choisie pour chaque cible 42-1 et 42-2 est ajustée par un choix approprié des prises 336-1 et 336-2, respectivement, qui ajustent l'impédance sur les lignes 34-1 et 34-2.

On notera que chaque réseau intermédiaire 28-1 et 28-2 est relié, au moyen de condensateurs respectifs de blocage en courant continu 444-1 et 444-2, aux cathodes 42-1 et 42-2 par les lignes d'accouplement 38-1 et 38-2 respectivement. Ces condensateurs peuvent avoir une capacité, respectivement, de l'ordre de 2 nanofarads, et n'affectent pas le fonctionnement des circuits.

En examinant de façon détaillée les circuits des réseaux de charge 32-1 et 32-2, on trouve un aspect important de l'invention parce que c'est une caractéristique clé de l'efficacité du dispositif. Les inducteurs 442-1 et 442-2 sont respectivement pourvus de prises en leur point central 445-1 et 445-2, les points d'alimentation 441-1 et 441-2 étant connectés en ces points. L'inducteur, dans chaque cas, sert à s'opposer à l'effet de la capacité de la cible en

produisant une réactance inductrice pour contrer la réactance capacitive de la cible. Cela ne peut être accompli que si la réactance capacitive effective nette de la cible combinée à la capacité d'accord de la cible est exactement égale à la réactance inductrice effective nette de l'inducteur.

Ainsi, pour le réseau de charge 32-1, la réactance inductrice de la bobine 442-1 doit être égale à la réactance capacitive de la cible 42-1 et du condensateur d'accord 443-1; pour le réseau de charge 32-2, la réactance inductrice de la bobine 442-2 doit être égale à la réactance capacitive de la cible 42-2 et du condensateur d'accord 443-2. Cela est également vrai sur la figure 4.

En considérant le circuit du dispositif 70, on notera que l'entrée à basse tension et à basse impédance à la prise 222 a été convertie en un signal de puissance à haute tension sur les lignes 38-1 et 38-2, permettant un transfert maximum de puissance à une charge qui a une faible impédance, shuntant l'impédance absorbant la puissance modérée souhaitée.

Dans un système pratique utilisant l'invention, la tension d'entrée de la source 15 était de l'ordre de 400 volts en courant alternatif, formant 1.128 volts crête à crête, tandis que la tension dans un certain nombre de cibles servies par le circuit était de 4.200 volts crête à crête pour une puissance de la source de 3.200 watts. Chaque cible développait ainsi environ 2.000 volts en courant continu et présentait une charge ayant une capacité parasite de l'ordre de 620 picofarads représentant une réactance capacitive de shunt de l'ordre de 15 ohms à la fréquence de 13,56 MHz.

Sur la figure 9 est illustré le dispositif 80, où il y a un certain nombre de cibles qui sont attaquées, et il y a un certain nombre de séries de réseaux en résonance pour produire la transformation de tension et d'impédance nécessaire pour transférer efficacement la puissance à toutes les cibles. Dans ce cas, il y a trois séries représentées, la source de puissance 15 et le réseau de transfert d'impédance 24 étant communs à chaque série,

deux des séries étant destinées à attaquer les cibles 42-1 et 42-2 et la troisième étant illustrée pour désigner toute série destinée à attaquer un certain nombre de cibles respectives jusqu'au nombre  $n$  , cette cible étant désignée en 43-n.

Un dispositif de cette sorte a été construit et a fonctionné avec succès avec douze cibles attaquées par douze séries de réseaux résonnants accordés , dont la configuration totale ne s'écartait pas radicalement de celle illustrée sur la figure 9. La ligne 82 en traits mixtes est destinée à signifier que tout nombre de séries peut être inclus dans le montage pour servir ce même nombre de cibles.

Les repères de la figure 9 sont constitués de façon qu'en considérant l'explication de la figure 8, il soit possible de suivre la construction de fonctionnement du dispositif 80, car il n'y a pratiquement pas de différence sensible entre les circuits.

On notera que la prise 227 de la figure 9 est placée en une position quelque peu différente de la prise 227 de la figure 8. Dans le cas de la figure 9, la prise 227 est plus proche de la masse 48 que sur la figure 8. Cela a pour raison que l'impédance de charge réfléchie par chaque configuration de cible et ses effets parasites influencent l'impédance au point d'alimentation 331. L'impédance est quelque peu abaissée par l'addition de chaque cible. Cet ajustement est obtenu par une expérimentation appropriée, de la compétence d'un ingénieur faisant fonctionner le dispositif 80.

Une autre différence que l'on peut observer dans ce dispositif 80 concerne la forme du dispositif de pulvérisation . Le substrat qui a été décrit est plus particulièrement représenté en 84. Il est supposé être présent dans les autres exemples qui ont été décrits. Ici le substrat est une pièce de métal, résine synthétique ou matériau flexible analogue, qui est interposée entre les cibles et l'anode commune 46. Le plasma 52-1, 52-2, ... 52-n , dans chaque cas, est directement sur le substrat ainsi le dépôt du matériau pulvérisé est formé sur le substrat 84 au lieu d'être fait

sur l'anode 46. Dans ce dispositif 36, il y a un rouleau d'alimentation 86 en substrat et un rouleau d'enroulement 88 pour accumuler le substrat enduit, la chambre étant définie par le récipient 40. D'autres structures peuvent avoir ces éléments à l'extérieur, afin que le substrat entre et sorte sans devoir arrêter le fonctionnement au bout d'un certain temps si l'alimentation est épuisée sur le rouleau 86.

On notera que dans les réseaux intermédiaires, les condensateurs 332-1, 332-2, ...332-n, peuvent être considérés comme les condensateurs "d'attaque" et que les inducteurs 336-1, 336-2, ...336-n peuvent être considérés comme les bobines intermédiaires.

Il se produit souvent que des cibles soient placées à différentes distances physiques de leurs réseaux d'accord intermédiaires ce qui, aux fréquences de fonctionnement, produit des conditions électriques différentes. Les emplacements des cibles peuvent produire des phénomènes électriques différents à cause de la structure environnante et de la structure à l'extérieur de la chambre de pulvérisation. De même, l'inductance distribuée peut retarder les signaux à différentes quantités. Dans un tel cas, le dispositif 90 de la figure 10 est avantageux pour compenser les différences électriques qui en résultent.

Sur la figure 10, la solution à ce problème est illustrée en utilisant une forme légèrement modifiée de l'invention. Dans le dispositif 10, une autre configuration des électrodes est également représentée. Dans ce cas, l'anode 46 a la forme d'un tambour rotatif mis à la masse par le conducteur 50. Les cibles 42-1 et 42-2 sont représentées ici comme étant enfermées dans des blindages 92 à la masse. Les surfaces exposées des cibles 42-1 et 42-2 font face à l'anode 46 et elles sont de configuration arquée, ainsi l'espace de plasma entre les cibles et l'anode est uniforme. Le plasma résultant est indiqué en 52-1 et 52-2. Aucun substrat n'est représenté, et on peut supposer qu'il y aura une pièce du matériau du substrat passant sur le tambour pendant le processus de pulvérisation.

Le problème posé ici provient du fait que les distances électriques entre les points des prises 336-1 et

336-2 d'une part et les bornes d'entrée des réseaux de charge 32-1 et 32-2 respectivement, d'autre part, sont différentes. Pour la compréhension, on suppose que la distance physique entre le réseau intermédiaire 28-1 et sa cible 42-1 est inférieure à celle entre le réseau intermédiaire 28-2 et sa cible 42-2. Les longueurs électriques des lignes 34-1 et 34-2 doivent donc être égales pour le meilleur fonctionnement équilibré. Cela est facilement effectué en introduisant un petit inducteur dans la ligne plus courte 34-1 comme cela est indiqué en 94, de façon que les lignes soient électriquement égales. En supposant que la ligne 34-1 est la plus courte, son inductance théorique en bloc 96 est illustrée comme étant inférieure à l'inductance 98. L'équilibre des lignes empêchera toute différence du retard des signaux dans les lignes, ainsi toutes les cibles seront également excitées et en même temps.

La figure 10 montre également une autre forme du réseau de transfert d'impédance 24 qui présente certains avantages dans certains cas. Dans cette forme de l'invention, le réseau de transfert d'impédance est formé de deux réseaux résonnants en  $\Pi$  230 et 231 connectés en tandem. Etant donné la condition de résonance, il est possible, par un bon accord des condensateurs variables 226, 221, et 229, en combinaison avec les inducteurs 225 et 228, d'obtenir des conditions à la borne 227 par rapport à l'entrée en 222, qui sont identiques à celles existant dans les autres formes de l'invention qui ont été décrites. Cette configuration présente les avantages de permettre de réduire les signaux parasites pouvant rayonner du câble coaxial 72.

Une autre variation du mode de réalisation 90 par rapport aux autres formes de l'invention réside dans la façon dont les inducteurs 442-1 et 442-2 sont pourvus de prises. Dans ce cas, bien que les prises de sortie 445-1 et 445-2 soient aux centres des inducteurs 442-1 et 442-2 respectivement, l'entrée est insérée à proximité du fond de chaque bobine en 441-1 et 441-2. Cela s'est révélé avantageux pour obtenir l'accord et l'équilibre souhaités

quand la capacité des cibles est très faible, disons de l'ordre de 100 picofarads. Une telle condition existe dans la pratique quand un dispositif de pulvérisation qui a été construit et équilibré pour recevoir une cible d'une  
5 certaine dimension a des cibles plus petites remplaçant les cibles habituelles, soit en permanence ou sur une base temporaire.

Dans une configuration pratique des électrodes semblable à celle du dispositif de pulvérisation de la  
10 figure 10, chaque cible avait environ 900 centimètres carrés de surface exposée, et cette dimension, avec le blindage 92 entourant la cible donnait une capacité de l'ordre de 550 picofarads. Dans un tel dispositif, les réseaux de charge 32-1 et 32-2 sont de préférence physiquement placés aussi  
15 près des cibles que possible, étant montés, si possible, directement sur la paroi 40 ou des raccords de montage exposés derrière les cibles à l'extérieur de la chambre.

La figure 11 est une vue schématique d'un autre mode de réalisation à utiliser dans le cas où la capacité  
20 de la cible est exceptionnellement élevée, par exemple de l'ordre de 800 picofarads ou plus. Une certaine amélioration de l'efficacité de couplage peut être effectuée en augmentant l'impédance effective au réseau de charge 32. Contrairement aux autres formes de l'invention, la ligne 34 est reliée à  
25 l'inducteur 442 à sa borne de tension supérieure ou la plus élevée, là où l'impédance est également la plus élevée. L'inducteur 442 est pourvu d'une prise en son point central 445, mais cette prise est reliée à la masse, le condensateur d'accord 443 étant relié uniquement à travers la moitié  
30 inférieure de la bobine 442. Dans ce cas, la capacité parasite de la cible et le condensateur d'accord 443 ne sont connectés qu'à la moitié inférieure de la bobine 442. Ainsi, la capacité parasite de la cible et le condensateur d'accord coopèrent de façon à permettre d'utiliser un plus  
35 grand nombre de spires de l'inducteur 442, pour augmenter ainsi son inductance et améliorer le rapport L/C et améliorer généralement les valeurs des impédances de fonctionnement. Cela décharge partiellement l'effet de la capacité parasite

de la cible 42 sur la bobine 442, permettant à la bobine d'avoir une inductance quelque peu supérieure à ce qui serait autrement possible. Le QL est réduit en même temps que les courants en circulation, au bénéfice de la bobine 442 et de la bobine intermédiaire 334 également.

Le dispositif 100 comporte également une structure pour permettre une polarisation de l'anode 46. Dans le système pratique 100, il y a une capacité parasite vers la masse associée à l'anode 46, cette capacité étant représentée par le condensateur 102 dans la ligne 50. La polarisation constitue une faible tension négative existant à l'anode 46, ainsi au lieu d'être maintenue à la masse comme dans le cas des autres formes du dispositif décrit, elle est maintenue à quelques volts (10 à environ 100) en-dessous de la masse. On comprendra que, comme c'est une configuration de diode, si la cathode 42 est à une certaine tension négative en dessous de la masse, alors la masse est le potentiel le plus positif par rapport à la cathode dans l'ajustement particulier. Si l'anode est à quelques volts en dessous de la masse, alors la masse est plus positive que l'anode.

En reliant un condensateur variable 104 dans une ligne 106, qui a une prise à la sortie de la source 15 en 108, avec la même tension qu'au point 222, on peut ajuster la division de tension entre la cible 42 et l'anode 46. Cela est déterminé par le rapport de la réactance capacitive des condensateurs 102 et 104 agissant comme des sections d'un diviseur de tension. De cette façon, il est possible d'ajuster la polarisation à partir d'une valeur proche de zéro jusqu'à une valeur qui est assez proche de la tension au point 222 bien que cette dernière valeur ne soit pas normalement utilisée pendant une pulvérisation.

Bien entendu, l'invention n'est nullement limitée aux modes de réalisation décrits et représentés qui n'ont été donnés qu'à titre d'exemple. En particulier, elle comprend tous les moyens constituant des équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs combinaisons si celles-ci sont exécutées suivant son esprit et mises en oeuvre dans le cadre des revendications qui suivent.

R E V E N D I C A T I O N S  
-----

- 1.- Dispositif pour fournir efficacement de la puissance au plasma de décharge dans une machine de pulvérisation au moyen d'une énergie à haute fréquence à une fréquence prédéterminée dans la gamme du mégahertz, du type où il y a une configuration d'électrodes comprenant un moyen formant cible ayant une aire relativement importante et un environnement métallique à la masse, la capacité parasite dudit moyen formant cible vers l'environnement étant supérieure à environ 200 picofarads, et la charge de plasma a une résistance en parallèle avec la capacité parasite qui est sensiblement supérieure à la réactance capacitive de ladite capacité parasite, ledit dispositif comprenant :
- A. une source de puissance à haute fréquence de l'ordre du mégahertz ayant une impédance relativement faible à sa sortie, du même ordre que la réactance capacitive de la capacité parasite,
- B. ladite configuration comportant ledit moyen formant cible pouvant fonctionner comme une cathode et un substrat supportant un moyen formant anode sensiblement à la masse ,
- caractérisé par un réseau de charge entre la source et la configuration d'électrodes , ledit réseau comprenant :
- i. un circuit résonnant en parallèle comprenant un seul auto-transformateur inducteur formé d'un tube conducteur,
- ii. une première partie dudit auto-transformateur comportant au plus tout l'inducteur et étant connectée en parallèle à un condensateur variable d'accord dont une armature est à la masse,
- iii. une seconde partie dudit auto-transformateur comportant moins de tout l'inducteur et étant définie par une prise de sortie sur ledit inducteur et le potentiel de la masse, un moyen comportant un élément de blocage en courant continu et une ligne d'accouplement s'étendant de ladite prise de sortie audit moyen formant cible, ainsi ladite capacité parasite est appliquée en parallèle à la seconde

partie dudit auto-transformateur ,

iv. ledit circuit résonnant en parallèle étant en résonance à la fréquence de la source avec la réactance capacitive dudit condensateur d'accord et la capacité parasite équilibrant la réactance inductive de la partie dudit transformateur qui participe au circuit résonnant en parallèle,

C. une prise d'entrée sur ledit inducteur , ladite source étant couplée à ladite prise d'entrée, l'emplacement de ladite prise d'entrée par rapport audit inducteur étant choisi pour former une bonne adaptation d'impédance entre ladite source et ledit circuit résonnant en parallèle, l'emplacement de la prise de sortie étant choisi pour produire une bonne adaptation d'impédance pour le plasma de la machine de pulvérisation fonctionnant à une tension pour une pulvérisation efficace, et

D. le rapport  $Q/QL$  dudit circuit résonnant étant sensiblement supérieur à l'unité , afin de permettre une faible circulation de courant et un transfert très efficace de puissance, la réactance capacitive parasite étant stimulée par la réactance inductive dudit inducteur.

2.- Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la première partie du transformateur précité comprend sensiblement tout l'inducteur , une extrémité dudit inducteur étant reliée à la masse, son autre extrémité étant reliée à la seconde armature du condensateur d'accord précité.

3.- Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la première partie du transformateur précité comporte sensiblement moins que tout l'inducteur précité.

4.- Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que les prises précitées d'entrée et de sortie sont espacées en tension et respectivement espacées en tension des extrémités de l'inducteur précité.

5.- Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que les prises d'entrée et de sortie précitées sont communes.

6.- Dispositif selon la revendication 3, caractérisé

en ce que les connexions du transformateur précité sont telles que la capacité parasite et le condensateur d'accord soient connectés à différentes parties de l'inducteur précité.

5 7.- Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que la prise de sortie précitée est connectée à une extrémité de l'inducteur précité, la seconde armature du condensateur d'accord précité est connectée à la seconde extrémité dudit inducteur, le centre approximatif dudit inducteur est connecté à la masse et la prise d'entrée  
10 précitée est placée entre ledit centre approximatif et ladite prise de sortie.

8.- Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que l'inducteur précité est une section de ligne rectiligne.

15 9.- Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que la longueur effective de la section de ligne rectiligne précitée est au moins aussi longue que la dimension longitudinale du moyen formant cible précité.

20 10.- Dispositif selon la revendication 1, du type où le moyen formant cible précité se compose de plusieurs cibles, caractérisé en ce qu'il y a plusieurs réseaux de charge entre la source précitée et chaque cible, avec autant de réseaux de charge que de cibles, chaque inducteur desdits réseaux de charge ayant une prise d'entrée et la source  
25 étant reliée à toutes lesdites prises d'entrée, chaque circuit résonnant en parallèle comprenant chaque inducteur, l'emplacement de chaque prise de sortie desdits réseaux de charge par rapport à l'inducteur respectif étant choisi pour produire la bonne adaptation d'impédance pour la cible  
30 servie par le circuit résonnant particulier qui comporte ledit inducteur lors d'un fonctionnement à ladite tension, un faible courant de circulation étant produit dans chaque circuit résonnant avec la réactance capacitive parasite de chaque cible stimulée par la réactance inductrice du circuit résonnant  
35 relié à ladite cible.

11.- Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que chaque inducteur précité se compose d'une section de ligne rectiligne.

12.- Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que des moyens sont prévus pour équilibrer les différences des paramètres électriques des cibles respectives.

5 13.- Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que deux réseaux supplémentaires sont prévus, ayant respectivement un inducteur et des condensateurs entre la source précitée et la configuration d'électrodes précitée, le réseau de charge suivant les deux autres, 10 ledit premier réseau suivant ladite source étant un réseau de transfert d'impédance, ledit second réseau suivant ledit réseau de transfert d'impédance étant un réseau intermédiaire, ledit réseau intermédiaire (a) ayant une borne de sortie à une certaine tension et une impédance et (b) une ligne 15 d'accouplement s'étendant de ladite borne de sortie audit moyen formant cathode, de façon que la tension à ladite borne de sortie dudit réseau intermédiaire soit appliquée à ladite ligne d'accouplement à l'impédance de ladite borne de sortie dudit réseau intermédiaire, au moins l'inducteur 20 dudit second réseau étant un transformateur en plus de l'inducteur dudit réseau de charge, chaque réseau supplémentaire étant construit et agencé pour avoir un rapport Q/QL au moins de l'ordre de 10, afin de produire un transfert suffisant de puissance en charge.

25 14.- Dispositif selon la revendication 13, caractérisé en ce que le premier réseau supplémentaire précité élève la tension aux bornes de sortie de la source précitée et augmente son impédance, le second réseau 30 supplémentaire précité augmente sensiblement la tension et l'impédance aux bornes de sortie dudit premier réseau et la borne de sortie du réseau intermédiaire précité qui n'est pas à la masse est à une tension sensiblement inférieure à la tension maximum dudit second réseau qui est 35 requise pour le plasma et à une impédance qui est sensiblement adaptée à l'impédance du plasma, quelle que soit la réactance capacitive en parallèle.

15.- Dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 ou 14, caractérisé en ce que chaque

transformateur précité des réseaux précités est un auto-transformateur.

5 16.- Dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 ou 14, caractérisé en ce que l'inducteur précité du réseau de transfert d'impédance précité est un auto-transformateur .

10 17.- Dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 ou 14, caractérisé en ce que le réseau de transfert d'impédance précité comprend au moins un circuit en  $\pi$  résonnant ayant un inducteur en série et des condensateurs variables en parallèle pour permettre l'accord dudit réseau.

15 18.- Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'un condensateur de blocage en courant continu est prévu dans la ligne d'accouplement précitée.

20 19.- Dispositif selon la revendication 18, caractérisé en ce que la ligne d'accouplement précitée s'étend directement de la borne de sortie du réseau intermédiaire précité jusqu'au condensateur de blocage en courant continu précité, le réseau de charge précité étant relié à ladite borne de sortie dudit réseau intermédiaire.

25 20.- Dispositif selon la revendication 18, caractérisé en ce que la ligne d'accouplement précitée comporte une partie de l'inducteur du réseau de charge précité entre la borne de sortie du réseau intermédiaire précité et le condensateur de blocage en courant continu précité.

30 21.- Dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 ou 14, caractérisé en ce que l'inducteur du réseau de charge précité est une bobine d'un tube conducteur et en ce qu'il a une prise qui est commune à la borne de sortie du réseau intermédiaire précité.

35 22.- Dispositif selon la revendication 21, caractérisé en ce que la prise précitée est sensiblement une prise centrale.

23.- Dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 ou 14, caractérisé en ce que le moyen formant cathode précité se compose d'un certain nombre de

cathodes et en ce qu'il y a un certain nombre de séries de réseaux, chaque série étant reliée entre la source précitée et une cathode différente respective, chaque série ayant un réseau de transfert d'impédance en commun, ainsi un seul réseau de transfert d'impédance sert toutes les séries.

24.- Dispositif selon la revendication 23, caractérisé en ce que le moyen formant anode précité se compose d'une seule anode, toutes les cathodes précitées étant disposées en relation de formation de plasma avec ladite anode, et chacune étant adaptée à former un plasma sensiblement indépendant, le moyen produisant le transport étant agencé pour déplacer le substrat précité de façon que toute surface donnée dudit substrat soit pulvérisée par tous les plasmas en séquence, lors de son passage au-delà desdites cathodes.

25.- Dispositif selon la revendication 24, caractérisé en ce que l'anode précitée se compose d'un tambour cylindrique et rotatif, le moyen de transport précité servant à maintenir le substrat précité en engagement avec ledit tambour sur une partie circonférentielle sensible de la surface cylindrique dudit tambour, les cathodes précitées sont disposées dans l'aire définie par ladite partie circonférentielle et ledit substrat passe au-delà desdites cathodes tandis que ledit tambour tourne.

26.- Dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 ou 14, caractérisé en ce que la cathode précitée et le moyen formant anode précité comprennent un certain nombre de configurations cathode-anode et en ce qu'il y a un certain nombre de séries de réseaux connectés à la source précitée et à des configurations respectives cathode-anode.

27.- Dispositif selon la revendication 26, caractérisé en ce que la distance électrique entre la source précitée et au moins deux des configurations précitées est différente et en ce que des moyens sont prévus, dans le circuit desdites séries, pour compenser cette différence, ainsi toutes les configurations seront excitées au même

instant.

28.- Dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 ou 14, caractérisé en ce que des moyens sont prévus pour maintenir le moyen formant anode précité à un faible potentiel négatif effectif, qui est sensiblement inférieur au potentiel négatif effectif du moyen formant cathode précité, afin de produire ainsi une polarisation sur ledit moyen formant anode pendant le fonctionnement dudit dispositif.

29.- Dispositif selon la revendication 28, caractérisé en ce que le moyen précité pour maintenir le moyen formant anode précité à un faible potentiel comprend un pont diviseur de tension à réactance capacitive s'étendant entre la source précitée et la masse, ledit moyen formant anode étant relié à un point de tension sur ledit diviseur, ladite source étant le point de potentiel négatif maximum dudit diviseur.

30.- Dispositif selon la revendication 29, caractérisé en ce qu'un condensateur variable est prévu entre le point de tension du diviseur précité et la masse, qui produit une partie de la réactance le long dudit diviseur ainsi, une variation de la capacité dudit condensateur variable fera varier le potentiel audit point.

31.- Méthode pour transférer une puissance à haute fréquence dans la gamme des mégahertz vers une cible pulvérisante qui est shuntée par une résistance capacitive parasite sensible d'une source qui a une relativement faible tension et faible impédance, le plasma produit par ladite cible nécessitant qu'elle soit excitée à une tension sensiblement supérieure à celle de ladite source et à une impédance sensiblement supérieure à celle de ladite source ou de ladite réactance en shunt, caractérisée par les étapes de :

A. élever la tension et l'impédance de ladite source en stades résonnants à la bonne impédance et la bonne tension pour le fonctionnement de ladite cible sans considérer la présence de ladite réactance en shunt,

B. mettre un circuit accordé en résonance à ladite

fréquence, la réactance capacitive pour la résonance étant fournie par ladite réactance en shunt, et

- 5 C. coupler ladite tension élevée et ladite impédance élevée et ledit circuit accordé à ladite cible tout en équilibrant ladite réactance shunt à la réactance inductrice dudit circuit accordé.



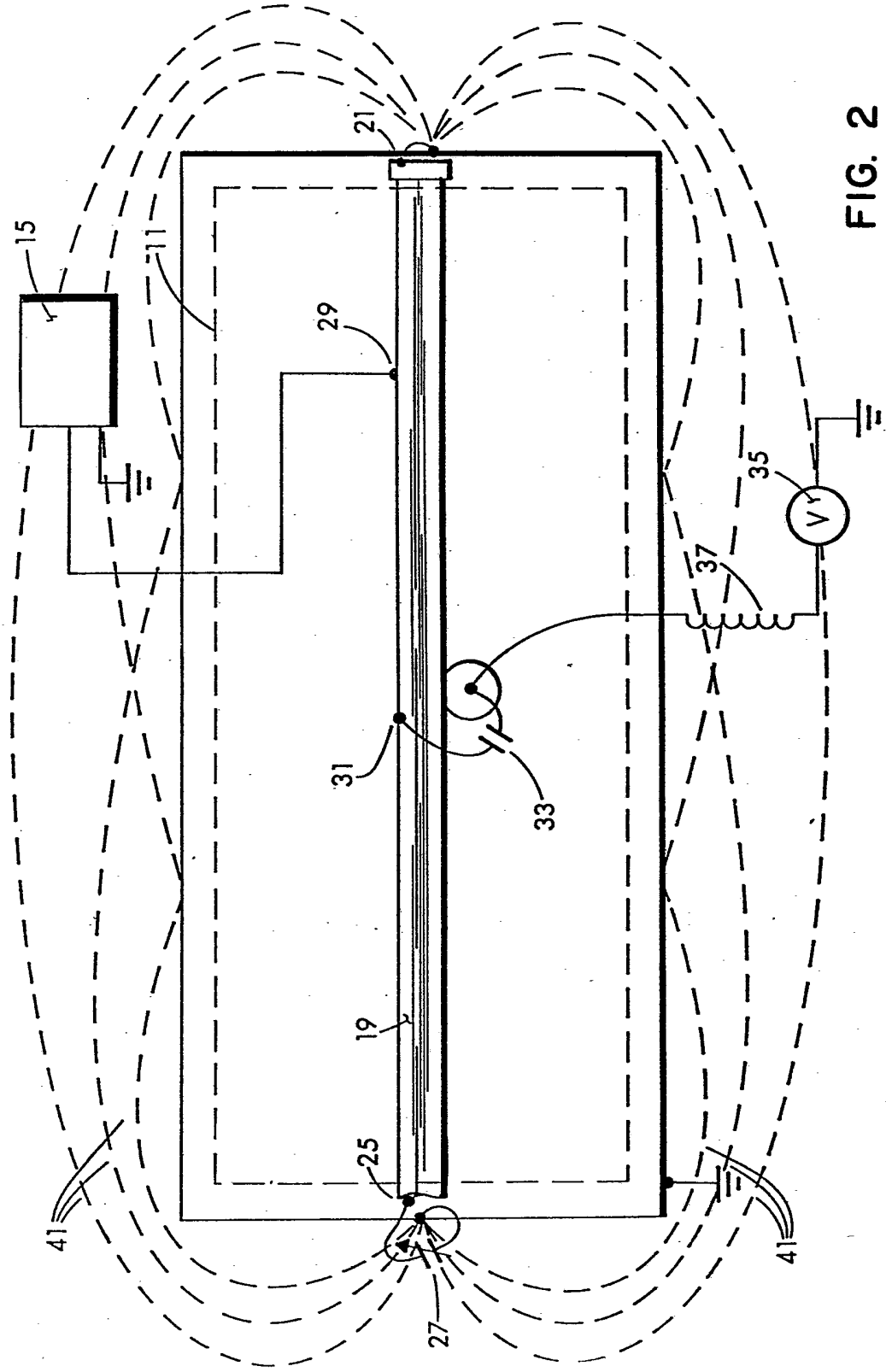


FIG. 2

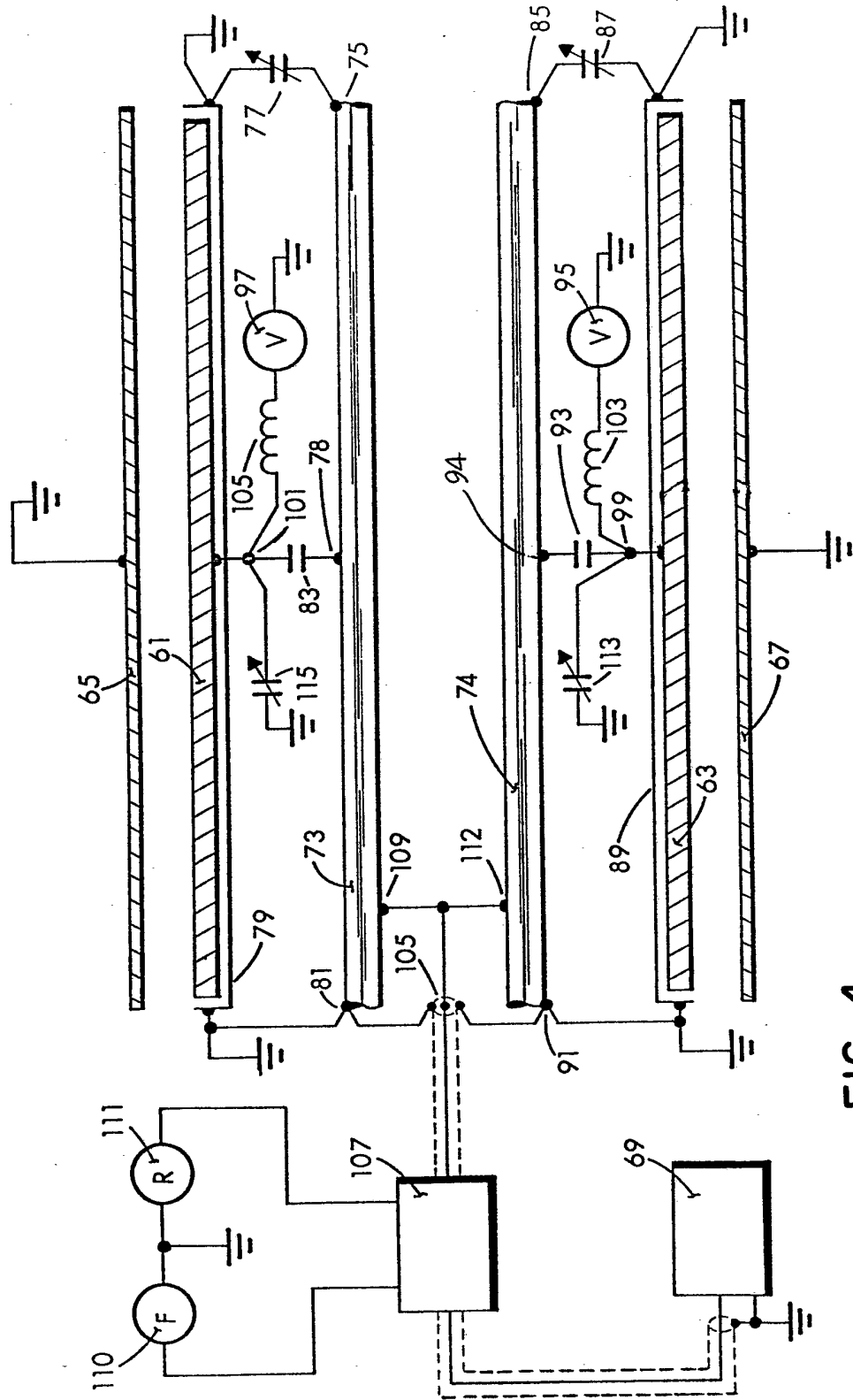


FIG. 4

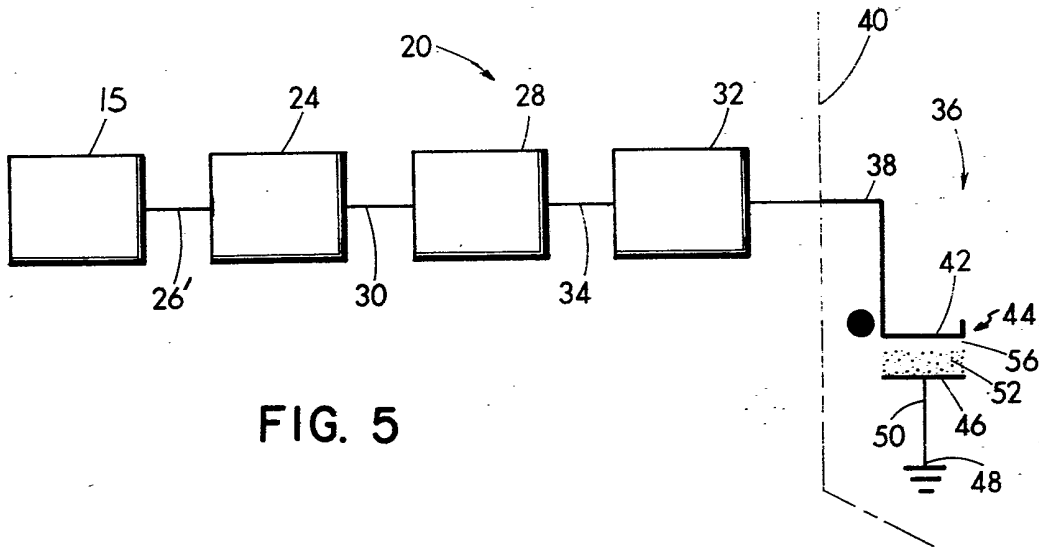


FIG. 5

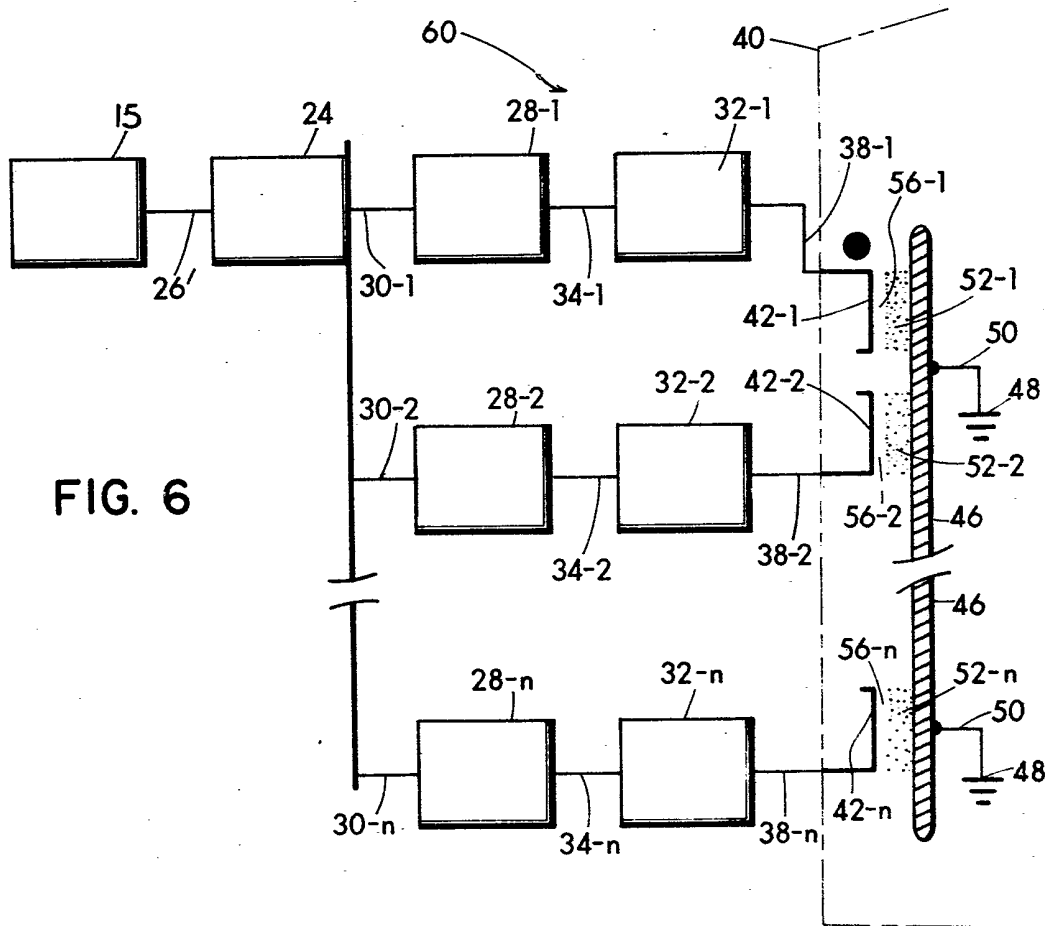


FIG. 6

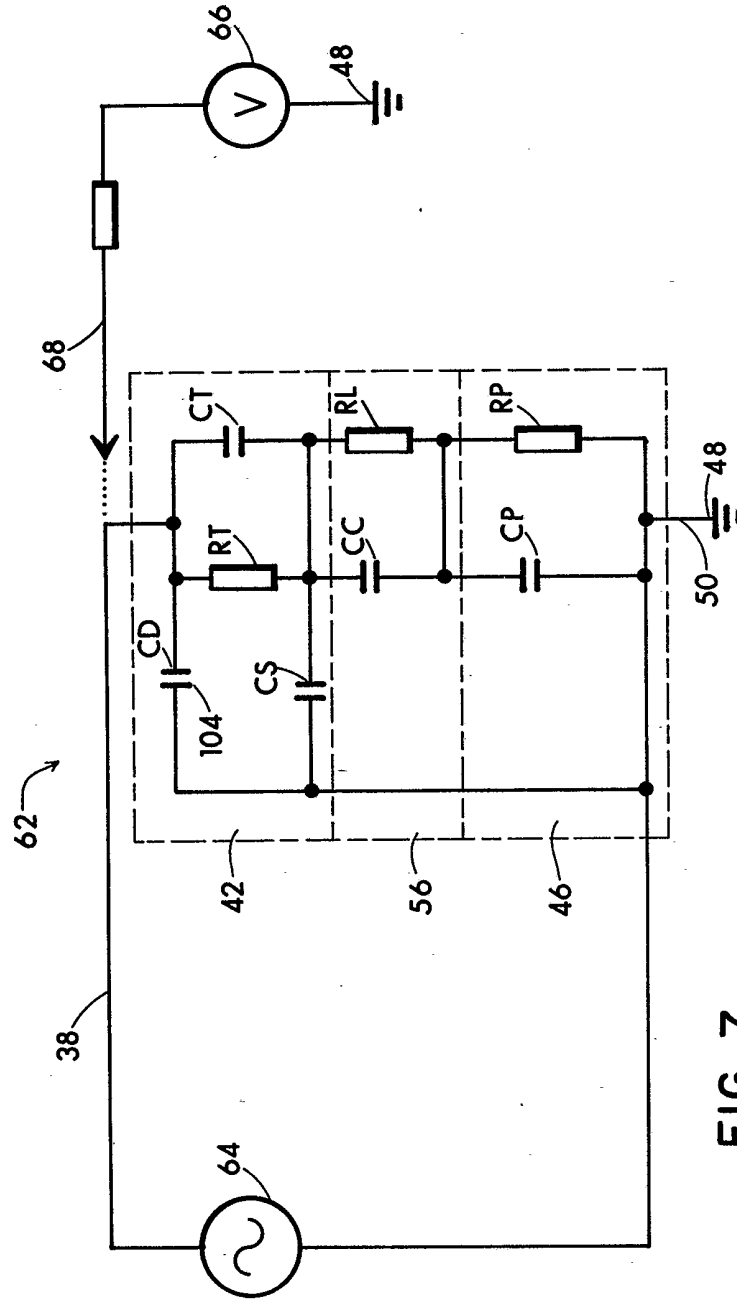


FIG. 7

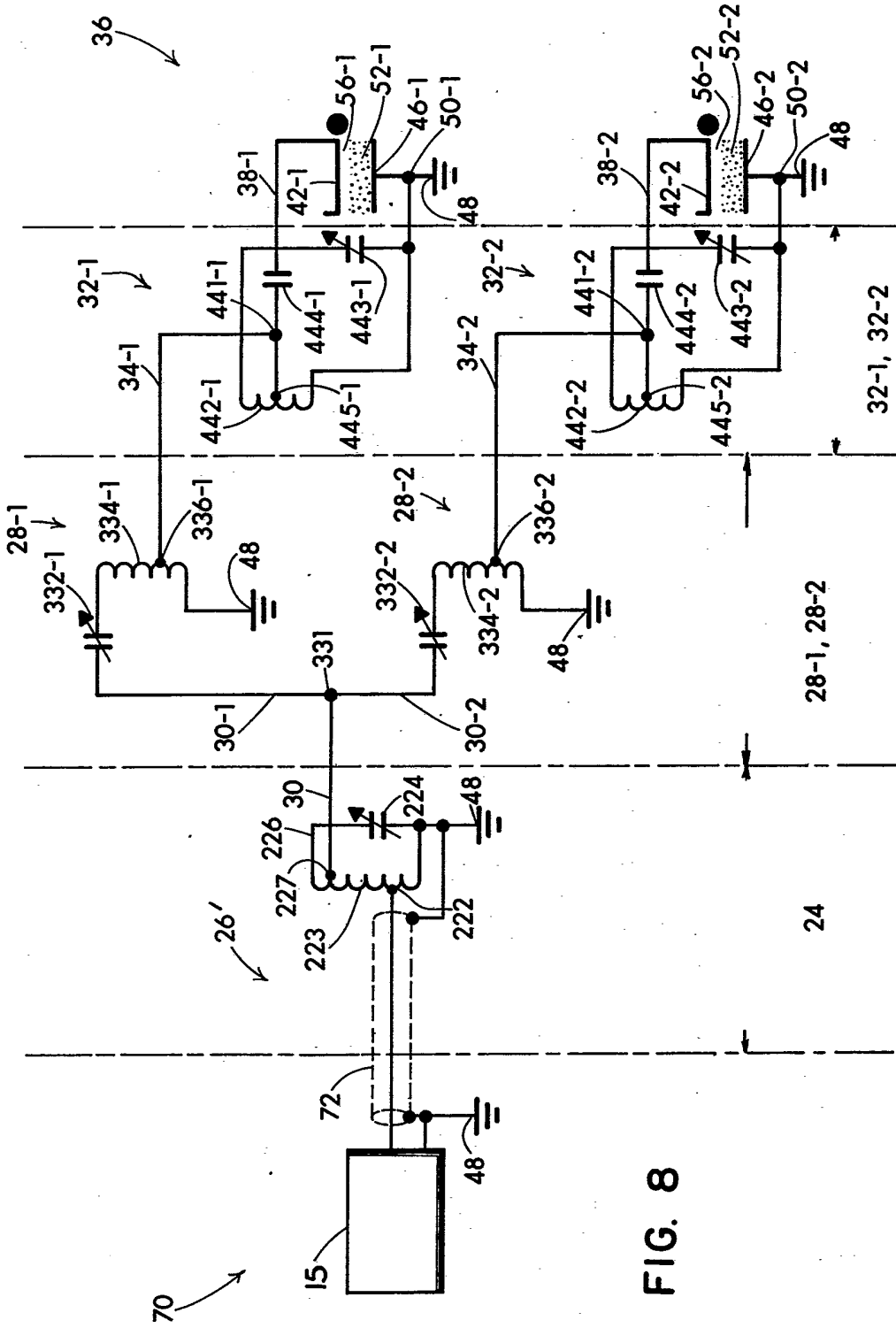


FIG. 8

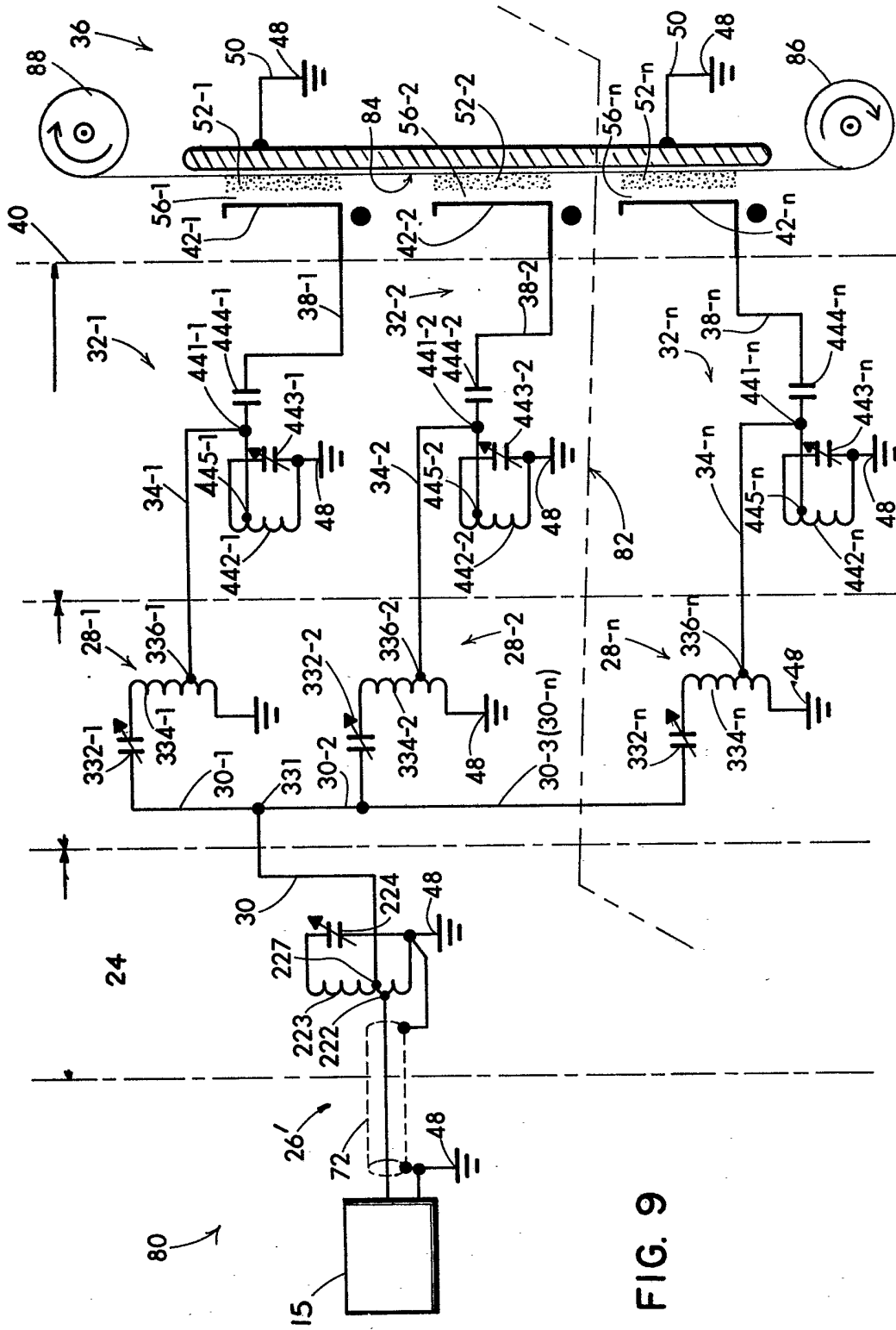


FIG. 9

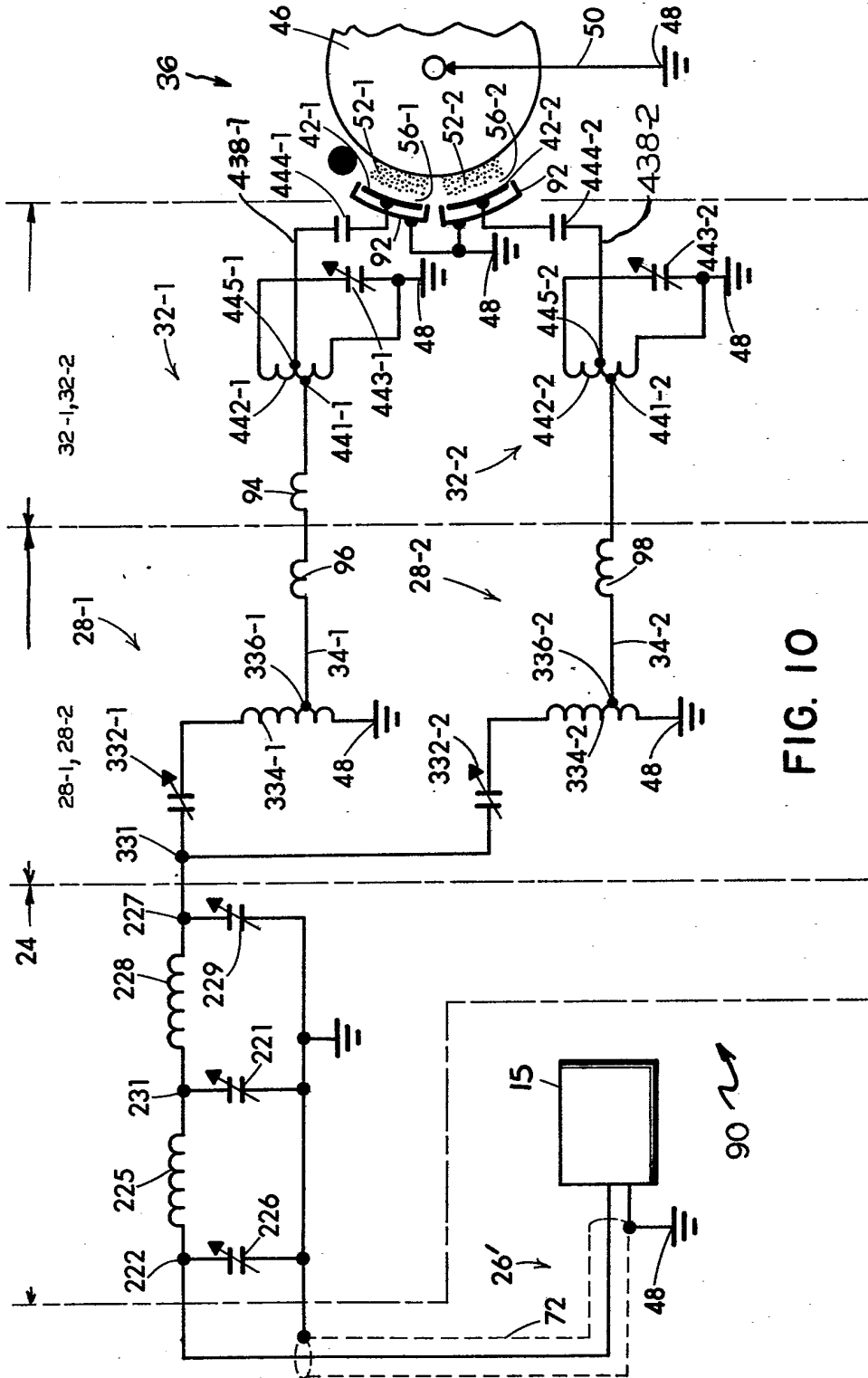


FIG. 10

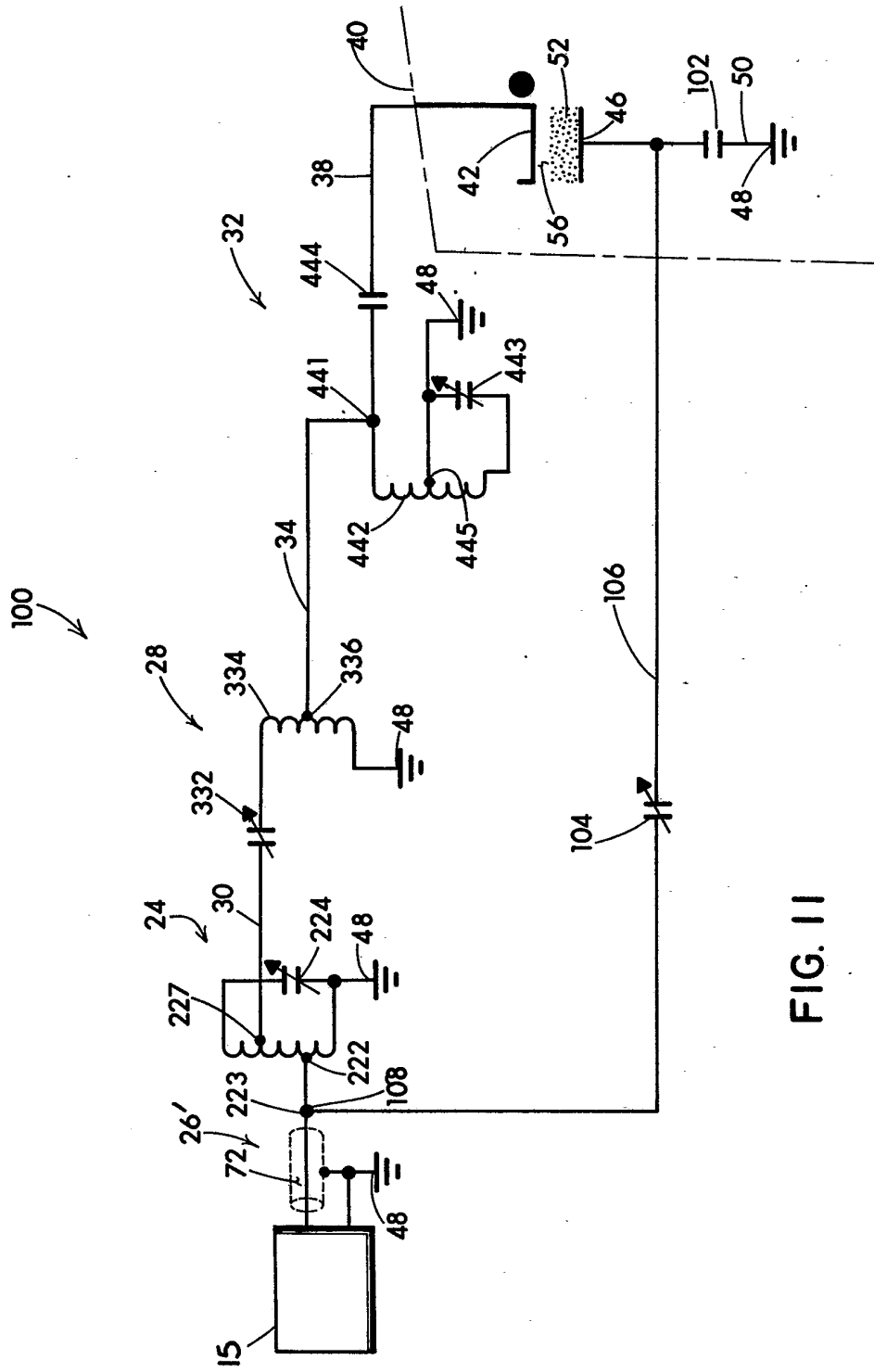


FIG. 11