



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201218521 A1

(43)公開日：中華民國 101 (2012) 年 05 月 01 日

(21)申請案號：100121687

(22)申請日：中華民國 100 (2011) 年 06 月 21 日

(51)Int. Cl. : *H01Q9/16 (2006.01)*  
*H01Q1/04 (2006.01)*

*H01Q1/44 (2006.01)*

(30)優先權：2010/06/22 美國

12/820,814

(71)申請人：賀利實公司(美國) HARRIS CORPORATION (US)  
美國

(72)發明人：帕其 法蘭西斯 尤金 PARSCHE, FRANCIS EUGENE (US)

(74)代理人：陳長文

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：10 項 圖式數：13 共 53 頁

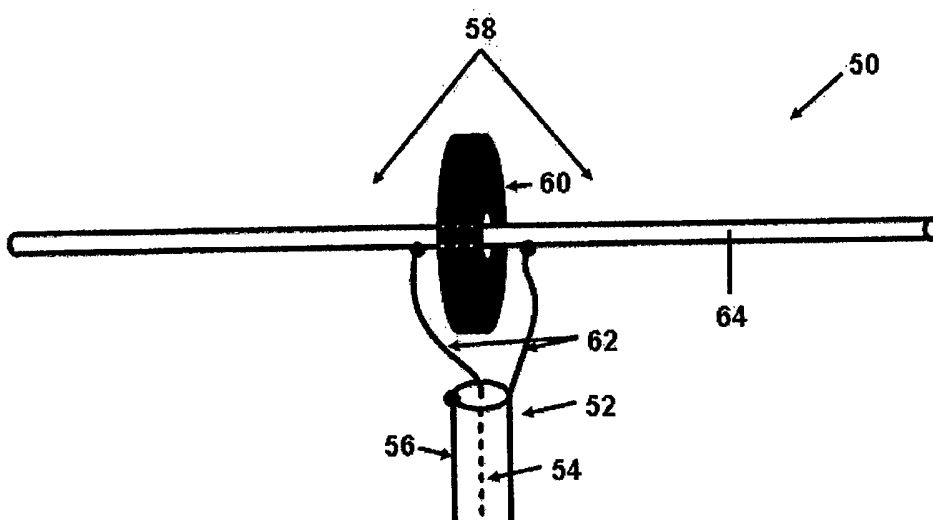
(54)名稱

連續偶極天線之雙軸功率傳輸線

DIAXIAL POWER TRANSMISSION LINE FOR CONTINUOUS DIPOLE ANTENNA

(57)摘要

可藉由用一不導電磁珠包圍連續導體之一部分且接著跨越該不導電磁珠將一電源施加至該連續導體來產生一偶極天線。該不導電磁珠產生一驅動間斷而無需該導體中之一裂口或間隙。該電源可使用多種較佳屏蔽組態而連接或施加至該連續導體，該等組態包括一同軸或偶軸嵌入或偏移饋入、一個三軸嵌入饋入或一雙軸偏移饋入。一第二不導電磁珠可定位以包圍該連續導體之一第二部分，以在該第一不導電磁珠之任一側上有效地產生兩個幾乎相等長度之偶極天線區段。該等不導電磁珠可包含各種不導電磁材料，且預成形以用於圍繞該導體安裝或在地下應用中圍繞該導體注入。可實現煙礦石之電磁加熱。



50：本發明之連續偶極天線

52：同軸饋入

54：內部導體

56：外部導體

58：偶極天線區段

60：不導電磁珠

62：饋線

64：連續導體

(21)申請案號：100121687

(22)申請日：中華民國 100 (2011) 年 06 月 21 日

(51)Int. Cl. : *H01Q9/16 (2006.01)*  
*H01Q1/04 (2006.01)*

*H01Q1/44 (2006.01)*

(30)優先權：2010/06/22 美國

12/820,814

(71)申請人：賀利實公司 (美國) HARRIS CORPORATION (US)  
美國

(72)發明人：帕其 法蘭西斯 尤金 PARSCHE, FRANCIS EUGENE (US)

(74)代理人：陳長文

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：10 項 圖式數：13 共 53 頁

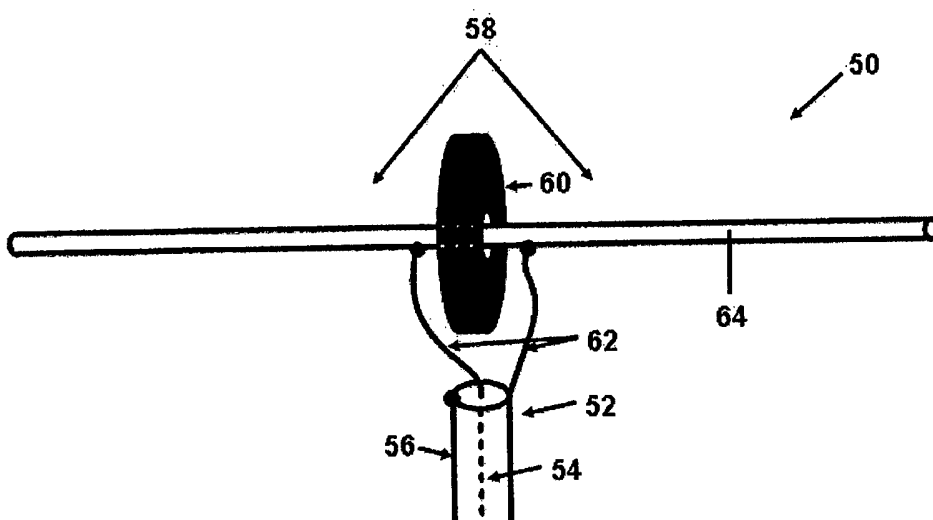
(54)名稱

連續偶極天線之雙軸功率傳輸線

DIAXIAL POWER TRANSMISSION LINE FOR CONTINUOUS DIPOLE ANTENNA

(57)摘要

可藉由用一不導電磁珠包圍連續導體之一部分且接著跨越該不導電磁珠將一電源施加至該連續導體來產生一偶極天線。該不導電磁珠產生一驅動間斷而無需該導體中之一裂口或間隙。該電源可使用多種較佳屏蔽組態而連接或施加至該連續導體，該等組態包括一同軸或偶軸嵌入或偏移饋入、一個三軸嵌入饋入或一雙軸偏移饋入。一第二不導電磁珠可定位以包圍該連續導體之一第二部分，以在該第一不導電磁珠之任一側上有效地產生兩個幾乎相等長度之偶極天線區段。該等不導電磁珠可包含各種不導電磁材料，且預成形以用於圍繞該導體安裝或在地下應用中圍繞該導體注入。可實現煙礦石之電磁加熱。



50：本發明之連續偶極天線

52：同軸饋入

54：內部導體

56：外部導體

58：偶極天線區段

60：不導電磁珠

62：饋線

64：連續導體

## 六、發明說明：

### 【發明所屬之技術領域】

本發明係關於能量傳輸線。詳言之，本發明係關於屏蔽之雙軸傳輸線，其特別適合用於使用連續導體(諸如，油井管路)作為偶極天線來傳輸用於加熱之射頻(「RF」)能量之有利裝置及方法中所使用之電功率的傳輸。

### 【先前技術】

由於世界之標準原油蘊藏枯竭，且對石油之繼續需求使石油價格上升，故石油生產者正在嘗試處理來自瀝青礦石、油砂、焦油砂及重油沈積物之煙。此等材料常常在砂子或黏土之天然存在混合物中發現。由於瀝青礦石、油砂、油葉岩、焦油砂及重油之極高黏度，在提取標準原油時所使用之鑽探及精煉方法通常不可用。因此，石油自此等沈積物之回收需要加熱以分離煙與其他地質材料且將煙維持在其將流動之溫度下。蒸汽通常用以在被稱為蒸汽輔助重力泄油系統或SAGD系統之物中提供此熱。有時亦使用電及RF加熱。加熱及處理可在原位或在露天開採沈積物之後在另一位置發生。

歸因於以下原因，藉由先前技術RF系統加熱含有地下重油之地層已為低效率的：匹配電源(傳輸器)及加熱中之異質材料之阻抗的傳統方法，導致受熱材料中之不可接受之熱梯度的不均勻加熱，電極/天線之無效間距，至受熱材料之不良電耦合，待藉由先前技術天線所發射之能量加熱之材料的有限穿透，及歸因於所使用之天線形式及頻率之

發射頻率。用於地下地層中之重油之先前技術RF加熱的天線通常為偶極天線。美國專利第4,140,179號及第4,508,168號揭示定位於地下重油沈積物內以加熱彼等沈積物之先前技術偶極天線。

偶極天線之陣列已用以加熱地下地層。美國專利第4,196,329號揭示異相地驅動以加熱地下地層之偶極天線的陣列。

在偶極天線之功率傳輸線處頻繁地產生磁場及電場。一般而言，地下地層中之表土層一般比礦石容易導電。因此，可優先對表土層而非目標地層進行電場及磁場經由用於RF加熱之功率傳輸線對表土層的施加。

#### 【發明內容】

本發明之一態樣為一種用於將功率供應至一連續偶極天線之方法。一交流電源電連接至一變壓器之一主側。一第一同軸饋線之一內部導體電連接在該變壓器的一副側與一線性導體中之一驅動間斷之一第一側之間。該第一同軸饋線包括該內部導體及一外鞘。一第二同軸饋線之一內部導體電連接在該變壓器的該副側與該線性導體中之該驅動間斷之一第二側之間。該第二同軸饋線包括該內部導體及一外鞘。該第一同軸饋線及該第二同軸饋線之該等內部導體係經由一電容器電連接。該變壓器之該副側電連接至該第一同軸饋線及該第二同軸饋線之該等外鞘。

該方法之該線性導體可為連續的，且該驅動間斷可為一不導電磁珠。該不導電磁珠可包括：鐵氧體、磁石、磁鐵

礦、粉末狀鐵、鐵片、矽鋼粒子、具有表面絕緣體塗層之五羰基E鐵粉，或此等材料中之兩者或兩者以上的一組合。此外，該連續線性導體可包含油井管路。

本發明之另一態樣為一種用於將功率供應至一連續偶極天線之方法。一交流電源電連接至一變壓器之一主側。一第一同軸饋線之一內部導體電連接在該變壓器的一副側與一第一線性導體之間。該第一同軸饋線包括該內部導體及一外鞘。一第二同軸饋線之一內部導體電連接在該變壓器的該副側與一第二線性導體之間。該第二同軸饋線包括該內部導體及一外鞘。該第二線性導體大體平行於該第一線性導體定位。該第一同軸饋線及該第二同軸饋線之該等內部導體係經由一電容器電連接。該變壓器之該副側電連接至該第一同軸饋線及該第二同軸饋線之該等外鞘。該方法中之該第一線性導體及該第二線性導體可包含井管路。

本發明之另一態樣為一種用於將功率供應至一連續偶極天線之裝置。該裝置包括一具有一驅動間斷之線性導體、一交流電源及一第一同軸饋線。該第一同軸饋線包括一內部導體及一外鞘。該裝置進一步包括一第二同軸饋線。該第二同軸饋線包括一內部導體及一外鞘。該裝置進一步包括一具有一主側及一副側之變壓器。該變壓器之該主側電連接至該交流電源。該變壓器之該副側藉由該第一同軸饋線之該內部導體在該驅動間斷的一第一側上電連接至該線性導體。該變壓器之該副側藉由該第二同軸饋線之該內部導體在該驅動間斷的一第二側上電連接至該線性導體。該

第一同軸饋線及該第二同軸饋線之該等內部導體係經由一電容器電連接。該變壓器之該副側電連接至該第一同軸饋線之該外鞘及該第二同軸饋線之該外鞘。

該裝置之該線性導體可為連續的，且該驅動間斷可為一不導電磁珠。該不導電磁珠可包括：鐵氧體、磁石、磁鐵礦、粉末狀鐵、鐵片、矽鋼粒子、具有表面絕緣體塗層之五羰基E鐵粉，或此等材料中之兩者或兩者以上的一組合。此外，該連續線性導體可包含油井管路。

本發明之又一態樣為一種用於將功率供應至一連續偶極天線之裝置。該裝置包括一第一線性導體、一第二線性導體、一交流電源及一第一同軸饋線。該第一同軸饋線包括一內部導體及一外鞘。該裝置進一步包括一第二同軸饋線。該第二同軸饋線包括一內部導體及一外鞘。該裝置進一步包括一具有一主側及一副側之變壓器。該變壓器之該主側電連接至該交流電源。該變壓器之該副側藉由該第一同軸饋線之該內部導體電連接至該第一線性導體。該變壓器之該副側藉由該第二同軸饋線之該內部導體電連接至該第二線性導體。該第一同軸饋線及該第二同軸饋線之該等內部導體係經由一電容器電連接。該變壓器之該副側電連接至該第一同軸饋線之該外鞘及該第二同軸饋線之該外鞘。該裝置中之該第一線性導體及該第二線性導體可包含井管路。

本發明之其他態樣將自本發明顯而易見。

### 【實施方式】

現將更全面地描述本發明之標的，且展示本發明之一或多個實施例。然而，本發明可以許多不同形式具體化且不應被解釋為限於本文中所闡述之實施例。實情為，此等實施例為本發明之實例，本發明具有藉由申請專利範圍之語言所指示的完整範疇。

本發明之連續偶極天線提供呈不導電磁珠而非導體中之裂口或間隙之形式的驅動間斷。因此，本發明之連續偶極天線在導體(諸如，管)不得含有裂口或間隙的應用中特別有用，且必須已置放於天線置放之所要位點處或附近。油井為此應用。新的或現有之油井管路可供本發明之連續偶極天線利用，且該(等)不導電磁珠可預成形且圍繞油井管路置放或在原位圍繞管路注入。此消除對天線之單獨陣列的需要，及與此等單獨陣列相關聯之各種問題中之若干者。

本發明之雙軸傳輸線可使用兩個連續同軸纜線來提供穿過表土層之屏蔽傳輸線，以藉由發源於(多根)功率傳輸線之電場及磁場之不合需要的施加來防止在其中加熱。連續金屬同軸鞘之壁厚度遠大於RF集膚深度，以使得磁場及電場不能穿透該鞘。傳輸線之雙軸組態提供具有電流之前向及返回支路的完整電路，且屏蔽係穿過表土層在兩個單獨屏蔽管內部實現。此促進安裝之便利，因為可能不需要井筒(well bore)之間的跳線連接。在一些應用中，此等跳線連接可能難以在地面以下安裝。

圖1為典型的先前技術偶極天線之表示。先前技術天線

10包括同軸饋入12，該同軸饋入又包括內部導體14及外部導體16。此等導體中之每一者在一末端處經由饋線22連接至偶極天線區段18。導體14及16之另一末端連接至交流電源(圖中未繪示)。偶極天線區段18之間的無屏蔽間隙或裂口20形成導致射頻傳輸之驅動間斷。油井管路一般不適合用作習知偶極天線，因為形成驅動間斷所需之井管路中的間隙或裂口亦可形成管路中之漏洞(leak)。

現轉至圖2，本發明之連續偶極天線50在無裂口或間隙之連續導體64中提供驅動間斷。天線50包括同軸饋入52，該同軸饋入又包括內部導體54及外部導體56。此等導體中之每一者在一末端處經由饋線62連接至偶極天線區段58。導體54及56之另一末端連接至交流電源(圖中未繪示)。請注意，偶極天線區段58之間不存在無屏蔽間隙或裂口。實情為，不導電磁珠60圍繞饋線62之間的連續導體64定位。不導電磁珠60對抗隨著電流試圖在饋線62之間流動所產生之磁場，且藉此形成驅動間斷。

轉至圖3中之用於石油生產之連續偶極天線的簡化描繪，井管102為連續偶極天線100之連續導體。井管102之較深區段貫穿生產區域110，該區域可包含石油、水、砂子及其他組份。無屏蔽饋線106連接至AC源104且下降穿過淺層區段108以連接至井管102。不導電磁珠(圖中未繪示)圍繞來自饋線106之連接之間的井管102定位。隨著加熱生產區域110，石油及其他液體將穿過井管102流至連接112處之表面。然而，生產區域110上方之較淺區域108通

常包含損耗極高之材料，且無屏蔽傳輸線106在區域114中產生熱，其表示此配置中之效率損失。

圖4中之連續偶極天線150藉由使用屏蔽同軸饋入156來解決此效率損失。屏蔽同軸饋入156在表面處連接至AC源154且下降以經由饋線158連接至井管152。第一不導電磁珠160圍繞來自饋線158之連接之間的井管152定位。第二不導電磁珠162亦包圍井管152且與第一不導電磁珠160間隔開以產生兩個幾乎相等長度之偶極天線區段164。因此，第一不導電磁珠160形成驅動間斷，而第二不導電磁珠162限制天線區段長度。隨著連續偶極天線150加熱井區域，石油及其他液體穿過井管152流至連接166處之表面。

不導電磁珠可包含(例如)鐵氧體、磁石、磁鐵礦、粉末狀鐵、鐵片、矽鋼粒子、具有表面絕緣體塗層之五羰基E鐵粉，或此等材料中之兩者或兩者以上的組合。不導電磁珠材料可預成形或置放於基質材料(諸如，波特蘭水泥、橡膠、乙烯等)中，且在原位圍繞井管注入。

圖5中之連續偶極天線200利用屏蔽偶軸饋入206。屏蔽偶軸饋入206在表面處連接至AC源204且下降以經由饋線208連接至井管202。不導電磁珠210圍繞來自饋線208之連接之間的井管202定位。不導電磁珠210形成驅動間斷。類似於先前實施例，第二不導電磁珠可定位以產生兩個幾乎相等長度之偶極天線區段214。隨著連續偶極天線200加熱井區域，石油及其他液體穿過井管202流至連接216處之表面。

圖6中所見之連續偶極天線250結合用於煙之原位處理之現有的蒸汽輔助重力泄油(SAGD)系統使用。當以蒸汽加熱方式使用時，穿孔井管252加熱生產井管258周圍之區域。在使用FR加熱之本實施例中，穿孔井管252用於加熱。在表面處連接至AC源254之同軸饋入利用內部饋入255(其選徑於穿孔井管252內)及在表面處連接至穿孔井管252的外部饋入257。內部饋入255係經由連接器線258連接至穿孔井管252。第一不導電磁珠260圍繞來自內部饋入255及外部饋入257之連接之間的井管252定位。此不導電磁珠260形成驅動間斷。第二不導電磁珠262經定位以產生兩個幾乎相等長度之偶極天線區段264。第二不導電磁珠262亦用來防止管區段256中之損耗。隨著連續偶極天線250加熱井區域，石油及其他液體流至生產井管258中且接著流至連接266處之表面。石油及其他液體接著通常抽汲至提取槽中以用於儲存及/或進一步處理。

圖7中所描繪之連續偶極天線300亦結合SAGD系統使用。此天線使用在表面處連接至AC源304且選徑於穿孔井管302內之偶軸饋入303。偶軸饋入303係經由連接器線302連接至跨越第一不導電磁珠310之穿孔井管302。第一不導電磁珠310形成驅動間斷。第二不導電磁珠312經定位以產生兩個幾乎相等長度之偶極天線區段314。第二不導電磁珠312亦用來防止管區段306中之損耗。隨著連續偶極天線300加熱井區域，石油及其他液體流至生產井管318中且接著流至連接316處之表面。

現轉至圖8，連續偶極天線350利用屏蔽三軸饋入356。三軸饋入356在表面處連接至AC源354且選徑於井管352內，且跨越連接359處之第一不導電磁珠360且經由連接器線358連接。第一不導電磁珠360形成驅動間斷。第二不導電磁珠362經定位以產生兩個幾乎相等長度之偶極天線區段364。類似於先前實施例，第二不導電磁珠362亦用來防止管區段368中之能量損耗及熱損耗。隨著連續偶極天線350加熱井區域，石油及其他液體流過三軸饋線356周圍之井管352且在連接366處之表面處離開。

圖9中展示一類似實施例，但使用雙軸嵌入饋入配置。雙軸饋入411在表面處連接至AC源404且下降至井管402。AC源404連接至變壓器主側405。變壓器副側406供應同軸饋入409及410。雙軸饋線係使用線407及電容器408平衡。同軸饋入409及410係經由饋線412跨越第一不導電磁珠414連接。第一不導電磁珠414形成驅動間斷。第二不導電磁珠416經定位以產生兩個幾乎相等長度之偶極天線區段418。第二不導電磁珠416亦用來防止管區段403中之能量損耗及熱損耗。隨著連續偶極天線400加熱井區域，石油及其他液體流過井管402且在連接420處之表面處離開。

圖9a一般描繪與圖9之屏蔽雙軸嵌入饋入配置相關聯之電場及磁場動力學。此實施例集中於利用地上之兩個平行孔來提供兩元件之線性天線陣列，諸如，可用於蒸汽輔助重力泄油提取之水平方向鑽探(HDD)井的水平延展。圖9a中之雙軸饋入之平行導體天線可合成方向加熱圖案及/或

將熱集中在該等天線之間，此(例如)對起始用於SAGD啟動之對流有用。圖9a中之天線配置提供嵌入電流饋入，且箭頭指示電流之存在及方向。上部天線元件712及下部天線元件722可為線性(直線)電導體，諸如貫穿地下礦石之金屬管或導線。傳輸線管區段714及724可穿過表土層延展至表面處之傳輸器，且該等管區段可含有彎曲(圖中未繪示)。同軸內部導體716及726可穿過表土層輸送電。

磁RF抗流器732及734置放於該等傳輸線管區段(其中不希望有RF電磁場之加熱)之上。RF抗流器732及734為不導電材料(諸如，波特蘭水泥中之鐵氧體粉末)之區，且該等抗流器提供串聯電感以中止射頻電流且阻止射頻電流在管之外部流動。磁RF抗流器732、734可離開轉位742及744一距離設置，以使得包圍彼等區段中之該等管的礦石將被加熱。或者，RF抗流器732、734可鄰近於轉位742及744設置以防止沿著管714及724之加熱。管區段714及724僅在其穿過表土層區(其中不希望有RF電磁加熱)之內表面上攜載電流。

管區段716及726在其外部充當加熱天線，同時在其外部亦提供屏蔽傳輸線。產生雙工電流，且電流在管之內部及外部上在不同方向上流動。此係歸因於磁集膚效應及導體集膚效應。導電表土層及下伏岩層可受激發以充當夾在其間之礦石之天線，藉此提供水平散熱及邊界區域加熱。因此，導體712及714可設置在水平平坦之礦脈之頂部及底部附近。

圖9b描繪以與圖9之單一線性組態相反之雙線性組態使用油井管路及雙軸饋入的本發明之連續偶極天線600之另一實施例。此處，饋線饋入平行導體601及602。此等導體(例如)在使用現有之SAGD系統時可為管。雙軸饋入611在表面處連接至AC源604且下降至井管601及602。AC源604連接至變壓器主側605。變壓器副側606供應同軸饋入609及610。雙軸饋線係使用線607及電容器608平衡。同軸饋入609及610分別連接至井管601及602。同軸饋入609及610自身可包含井管路。隨著連續偶極天線600加熱井區域，石油及其他液體流過井管602且在連接620處之表面處離開。

為了使地下加熱圖案變化，可使導體601及602上之電流平行或垂直。電流之方向取決於表面連接，亦即，連接是形成差分模式抑或共同模式天線陣列。此處，穿過表土層區提供電屏蔽之傳輸線。此有利地提供將在地下形成之多元件之線性導體天線陣列而無需形成可能難以實施之井筒之間的地下電連接。另外，此提供穿過表土層之電流之屏蔽同軸型傳輸，以防止該處的不合需要之加熱。

作為背景，電絕緣但無屏蔽之導體上之通過表土層的電流可引起表土層中之不合需要之加熱，除非使用接近DC之頻率。然而，接近DC之頻率下的操作可由於許多原因(包括對液體水接觸之需要、礦石中之不可靠加熱，及過度之電導體規格要求)而為不良的。本實施例可在任何射頻下操作而無表土層加熱問題，且可在礦石中可靠地加熱

而無需天線導體與礦石之間的液體水接觸。

優先設置於礦石中之導體601及602可視情況分別用不導電絕緣612及613覆蓋。不導電絕緣612及613使天線之負載電阻增加且降低導體載流量要求。因此，可使用小規格導線或至少較小的鋼管或導線。絕緣亦可減小或消除導體之電流腐蝕。

導體601及602在不與礦石導電接觸之情況下藉由使用近磁場(H)及近電場(E)可靠地發熱。不導電磁抗流器614及615沿著管之位置判定RF加熱在地上開始之處。磁抗流器614及615可包含注入至地中之填充有鐵氧體粉末之水泥罩殼，或藉由其他構件(諸如，套管)實施。在圖9b中所描繪之電網路中，表面將0、180度之相位激發提供至管天線元件601及602，此可提供增加之水平散熱。如一般熟習此項技術者可瞭解，AC源604在需要時可連接至僅一個井筒之同軸傳輸線，以僅沿著一個地下管進行加熱。

圖9c展示在表面處具有兩個單獨AC源(AC源622及AC源623)之天線陣列。此等AC源中之每一者伺服機械分離之井天線。AC源622及623之振幅及相位可相對於彼此變化，以合成地下之不同的加熱圖案或個別地控制沿著每一井筒之加熱。舉例而言，由AC源623所供應之電流的振幅可遠大於由源622所供應之電流的振幅，此可減少在生產期間沿著下部生產井(producer)管天線之加熱。可在較早啟動時間期間使由AC源622所供應之電流的振幅高於AC源623之振幅。許多電激發模式因此為可能的，且井天線管601

及602可為個別天線或作為一陣列一起工作之天線。

可藉由AC源622及633之0度及180度相對定相在管601與602之間汲取電流，以將加熱集中在該等管之間。或者，AC源622及603可為電同相的以減小管601與602之間的加熱。作為背景，均勻介質中之RF施加器天線之加熱圖案傾向於為簡單的三角函數，諸如 $\cos^2 \theta$ 。然而，地下重煙地層常常為各向異性的。因此，地層感應電阻率對數應以數位分析方法使用，以預測已實現之RF加熱圖案。RF加熱之已實現等溫線常常遵循較多與較少導電地球層之間的邊界條件。最陡峭之溫度梯度通常正交於地球岩層。因此，圖9a、圖9b及圖9c說明可用以藉由調整傳遞至井天線601及602之電流的振幅及相位來調整地下加熱之形狀的天線陣列技術及方法。應理解，可將三個或三個以上井天線置放於地下。本發明之天線陣列不限於兩個天線。

圖10中展示本發明之連續偶極天線之例示性電路等效模型。該電路等效模型為分析用之畫出以表示實體系統之電特性的電路圖(electrical diagram)。因此，應理解，圖10之圖為用於解釋之手段。電流源(較佳為RF產生器)具有電位或電壓502( $V_{\text{generator}}$ )且將電流508( $I_{\text{generator}}$ )供應至兩個饋入節點(例如，端子)504及506。在此實例中，磁珠之任一側上存在一個節點。510及512分別表示電感及電阻。510表示通過珠粒之管區段之電感( $L_{\text{bead}}$ )，且512表示通過珠粒之管區段的電阻( $r_{\text{bead}}$ )。電阻器514( $r_{\text{ore}}$ )及電容器516( $C_{\text{ore}}$ )分別表示連接至珠粒之任一側上之管或跨越該等管耦接的

煙礦石之電阻及電容。電流 518 通過珠粒 ( $I_{\text{bead}}$ ) 且電流 520 通過礦石 ( $I_{\text{ore}}$ )。穿過珠粒及穿過礦石之兩個路徑跨越該等饋入節點並聯。經由此分流器 520 供應至礦石之電流由下式給出：

$$I_{\text{ore}} = [Z_{\text{ore}} / (Z_{\text{ore}} + Z_{\text{bead}})] I_{\text{generator}}$$

由於電流通過最小阻抗之路徑，故珠粒在  $Z_{\text{bead}} \gg Z_{\text{ore}}$  時為井「天線」提供電驅動為足夠的。當珠粒之感性電抗大於礦石之負載電阻(亦即， $X_{\text{bead}} \gg r_{\text{ore}}$ )時，本發明之連續偶極天線之較佳操作發生。磁珠接著充當跨越井管中之虛擬間隙所插入之串聯電感器，其又提供驅動間斷。為清楚起見，本電路分析中未展示一些特性，諸如，(多根)表面引線之導體電阻、井管電阻、井管自感、輻射電阻(若存在)等。一般而言，由通過珠粒之管所產生之感性電抗大約與管的一匝(若管圍繞珠粒纏繞)之感性電抗相同。圖 11 展示根據本發明之連續偶極天線之例示性磁珠的自阻抗(以歐姆為單位)。該自阻抗為跨越通過珠粒之小直徑導電管所看到的阻抗，且不包括天線元件。例示性珠粒量測 3 呎之直徑及 6 呎之長度，且包含與矽橡膠混合之燒結錳鋅鐵氧體粉末。例示性珠粒為約 70 重量%之鐵氧體。例示性珠粒之相對磁導率  $\mu_r$  在 10 KHz 下為 950 法/公尺。例示性珠粒在 10 KHz 下顯出 658 微亨之電感。例示性珠粒之感性電抗足以為許多煙井之 RF 加熱/激勵提供充足的電驅動間斷。在最低頻率(約 100 至 1000 Hz)下，珠粒之任一側上之井管可充當用於電阻加熱的電極，從而藉由接觸將電流傳

遞至地層。

在約1 Khz至100 Khz之頻率下，通過例示性珠粒之任一側上之井管的電流產生形成用於礦石中之感應加熱之渦電流的近磁場。礦石之電負載阻抗藉由井天線歸諸於表面傳輸器，且礦石負載阻抗一般歸因於感應加熱而隨著上升頻率迅速地上升。下表中描述根據本發明之候選井天線之實例：

例示性井天線系統資料	
井類型	水平方向鑽探(HDD)
礦石	豐富的Athabasca油砂
分析頻率	1 Khz
礦石初始相對電容率 $\epsilon_r$	500法/公尺(1 KHz下)
礦石初始電導率， $\sigma$	0.005姆歐/公尺(1 KHz下)
礦石初始含水百分數(以重量計)	1.5%
水平延展長度， $l$	1公里
管直徑， $d$	28公分
管絕緣	外部井管為裸露的
珠粒位置(饋入點)	水平延展之中點
珠粒磁材料	燒結之粉末狀錳鐵氧體， $\mu_r \approx 950$
珠粒基質材料	矽橡膠(波特蘭水泥亦為合適的)
珠粒電感	> 50毫亨
主要電加熱模式	來自天線導體之感應(近磁場之施加)
礦石之負載電阻 $r_l$ (初始)	587歐姆
礦石之負載電容	3800微微法
徑向熱梯度(初始)	約 $1/r^7$
至礦石中之初始徑向熱穿透，在饋入點附近(耗散50%能量之深度)	約8公尺

圖12展示根據本發明之連續偶極天線之用天線井所激勵的礦石地層中之熱施加之瞬時速率(以瓦特/平方公尺為單

位)的例示性圖案。圖12中之圖案恰在RF功率最初接通(時間 $t=0$ )之後且關於至礦石之5兆瓦的總傳遞功率展示。RF激發為1 KHz下之正弦波。定向為穿過水平方向鑽探(HDD)井之底部部分的XY平面切口(水平區段)之定向。如可瞭解，存在熱能至礦石地層中之許多公尺深之幾乎瞬時的穿透。此可比所進行之加熱方法快得多。

稍後，圖12之初始加熱圖案將縱向地生長，以使得煙礦石沿著井之整個水平區段變暖。換言之，飽和溫度帶(例如，蒸汽波(圖中未繪示))圍繞磁珠160形成且沿著管天線102生長及行進。最終實現之溫度圖形(圖中未繪示)在形狀上可為幾乎圓柱形的且沿著井覆蓋任何所要長度。

飽和溫度帶生長及行進所用之速率取決於礦石之比熱、礦石之含水量、RF頻率及所經過之時間。由於在天線饋入點(圖中未繪示，但在磁珠160之任一側上)附近之 $H_2O$ 同相地自液體變為蒸氣，故提供熱調節，因為礦石溫度不會上升至地層中之水沸騰溫度以上。水蒸氣並非RF加熱感受器，而液體水為RF加熱感受器。所實現之最高溫度為在礦石地層中之深度壓力下之沸騰( $H_2O$ 相轉變)溫度。此溫度可為(例如)攝氏100度至攝氏300度。

瀝青礦石(諸如，Athabasca油砂)一般在低於海平面處之沸水之溫度的溫度下充分熔融以用於提取。即使當井天線不與礦石水導電接觸時，井天線仍將可靠地繼續加熱礦石，因為RF加熱包括電場及磁場(E及H)兩者。一般而言，與本發明之連續偶極天線相關聯之RF加熱的機制未必限於

電或磁加熱。該等機制可包括下列各者中之一或多者：藉由用井管或包含裸電極之其他天線導體將電流(I)施加至礦石所產生之電阻加熱；藉由來自井管或其他天線導體之近磁場H之施加所產生的涉及礦石中之渦電流之形成的感應加熱；及由藉由近電場(E)之施加所輸送之位移電流所引起的加熱。在後一情況下，可將井天線視為電容器板之同類。

根據本發明之連續偶極天線，可能需要用足以消除電流至礦石中之直接類電極傳導之不導電層或塗層來使井天線與礦石電絕緣。此意欲最初提供更均勻之加熱。當然，井天線亦可能不與礦石電絕緣，且電場及磁場加熱仍可被利用。

圖13展示根據本發明之連續偶極天線以電磁方式加熱之例示性井的簡化溫度圖。在圖13中，已允許RF電磁加熱進行一段時間。因此，圖12中所描繪之初始熱施加圖案已擴展以使大的礦石帶沿著井天線102之整個水平長度得到加熱。呈行波蒸汽前部之形式的飽和溫度帶168已自不導電磁珠160向外傳播。飽和溫度帶168可包含扁圓之三維區，其中溫度已上升至原位水之沸點。飽和帶168中之溫度取決於礦石地層之深度處之壓力。

飽和溫度帶168可主要含有瀝青及砂子，特別在礦石抽出(withdrawal)尚未開始之情況下。若礦石已經過提取以用於生產，則飽和溫度帶168可為填充有蒸汽之腔室。取決於加熱之程度及生產，飽和溫度帶亦可為瀝青、砂子及/

或蒸氣之混合。

圖 13 中亦描繪梯度溫度帶 166。梯度溫度帶 166 可包含熔融瀝青之壁，熔融瀝青係藉由重力排出至附近或下面之生產井(圖中未繪示)。歸因於用以增強熔融之 RF 加熱，溫度梯度可為陡的。飽和溫度帶 168 之直徑可藉由以下操作而相對於其長度變化：使射頻(赫茲)變化、使所施加之 RF 功率(瓦特)及/或 RF 加熱之持續時間(例如，分鐘、小時或天)變化。

電磁加熱為耐用且可靠的，因為井天線可不管飽和溫度帶 168 中之條件而在梯度溫度帶 166 中繼續加熱。井天線 102 並不需要天線表面處之液體水接觸來繼續加熱，因為電場及磁場向外顯出以到達液體水且繼續加熱。礦石中之原位液體水經受電磁加熱，且礦石總體上藉由至原位水之熱傳導而發熱。由於蒸汽並非電磁加熱感受器，故一形式之熱調節發生，且溫度可能不超過礦石中之水的沸騰溫度。

不同於穿過管將蒸汽迫至井中之習知蒸汽提取方法，本發明之連續偶極天線之電磁加熱可穿過不透性岩石發生且不需要對流。由於利用了蒸汽增強型石油回收方法，故電磁加熱可減小對可能需要之煙礦石之上之蓋岩的需要。另外，可減小或消除對用以製成注入蒸汽之表面水資源之需要。

RF 加熱實際上可同時停止及開始以調節生產。RF 加熱在井之壽命可僅為 RF。然而，RF 加熱亦可藉由習知蒸

汽加熱來實現。在該情況下，RF加熱可為有利的，因為其可開始用於習知蒸汽加熱之啟動之對流。RF加熱亦可驅動所注入之溶劑或催化劑以增強石油回收，或修改所獲得之產品的特性。因此，RF加熱可用於起始礦石中之對流流動以用於蒸汽加熱之稍後應用，或加熱在井之壽命可僅為RF，或兩者。

圖13中所展示之第二不導電磁珠162用以防止表土層中之不合需要的加熱。第二不導電磁珠162抑制超出珠粒162位置朝向表面之在天線中之電流流動。此為本發明之連續偶極天線勝於蒸汽(其中井係穿過永凍層操作)之一優點。不同於用於增強型石油回收之蒸汽注入方法，使用本發明之連續偶極天線之井管路在表面附近可比使用蒸汽注入方法之井管路更冷。

當針對磁珠材料陳述詞不導電(nonconductive或electrically nonconductive)時，應理解，此意謂著對珠粒而言為成塊地不導電的。強磁性之元素(例如，Fe、Ni、Co、Gd及Dy)當然導電，且在RF應用中，此可導致渦電流及減小之磁導率。藉由在珠粒中形成磁材料之多個區及使該等區彼此絕緣而在本發明之連續偶極天線珠粒中減輕此情況。此絕緣可包含(例如)疊層、絞合、導線繞芯、經塗佈之粉末顆粒或多晶晶格摻雜(鐵氧體、石榴石、尖晶石)。個別磁粒子可包含許多原子之基團，但粒徑小於約一個射頻集膚深度可能較佳(但不需要)。集膚深度可根據公式預測：

$$\Delta\delta=(1/\sqrt{\pi\mu_0})[\sqrt{(\rho/\mu_r f)}]$$

其中：

$\delta$ =以公尺為單位之集膚深度；

$\mu_0$ =自由空間之磁導率 $\approx 4\pi\times 10^{-7}$ 亨/公尺；

$\mu_r$ =介質之相對磁導率；

$\rho$ =以歐姆/公尺為單位之介質之電阻率；且

$f$ =以赫茲為單位之波之頻率

個別磁粒子可浸沒於不導電介質(諸如，例如但非限制，波特蘭水泥、矽橡膠或酚)中。將該等粒子浸沒於此等介質中用來使粒子彼此絕緣。每一磁粒子亦可在其表面上具有絕緣塗層，諸如磷酸鐵( $H_3PO_4$ )。該等磁粒子亦可混合至用以將井管密封至地中之波特蘭水泥中。在該情況下，珠粒由此可注入至適當位置(例如，原位模製)。一些合適之珠粒材料包括：充分燒結之粉末狀錳鋅鐵氧體，諸如，National Magnetics Group Inc.(Bethlehem, Pennsylvania)所製造之型號M08；Powder Processing Technology LLC (Valparaiso Indiana)所製造之FP215，及Fair-Rite Products (Wallkill, New York)所製造之混合79。

在本發明之連續偶極天線中，井管可與礦石電絕緣或不電絕緣。換言之，管可具有不導電之外層或根本不具有外層。當管不絕緣時，管至礦石之導電接觸准許經由傳導之電流自井管天線半電池(half element)至礦石中之流動的焦耳效應( $P=I^2R$ )電阻加熱。因此，井管自身變為電極。此操作方法較佳在自DC至約100 Hz之頻率下進行，但本發明之

連續偶極天線不限於該頻率範圍。

當管與礦石絕緣時，RF電流沿著管之流動轉換管周圍之近磁場，從而准許礦石之感應加熱。此係因為管天線之圓形近磁場經由一化合物或兩步驟過程轉換礦石中之渦電流。渦電流最後藉由焦耳效應( $P=I^2R$ )發熱。RF加熱之感應模式可較佳自約1 KHz至20 KHz，但本發明之連續偶極天線不限於僅此頻率範圍。

感應加熱負載電阻通常隨著頻率上升。在位移電流藉由近電場(E)自絕緣管轉換至礦石中之情況下，又一加熱模式可形成。本發明之連續偶極天線由此可使用許多電模式將熱施加至礦石，且特別不限於任何一個模式。

本發明之井管可視情況含有複數個磁珠以沿著井管(圖中未繪示)形成多個電饋入點。該多個饋入點可串聯或並聯連線。該複數個珠粒饋入點可使沿著管之電流分佈(位置相關之電流振幅及相位)變化。此等電流分佈可經合成(例如，均勻、正弦、二項或甚至行波)。

根據本發明之連續偶極天線，傳輸器之頻率可變化以隨時間增加或減少天線至礦石負載中之耦合。此又使加熱之速率及呈現給傳輸器之電負載變化。舉例而言，頻率可隨時間或隨著資源自地層抽出而升高。

井珠160之形狀可為(例如)球形或扁圓的，或甚至為圓柱或套筒。球形珠粒形狀對節省材料要求而言可為較佳的，而細長形狀對安裝需要而言為較佳的。珠粒160可包含具有薄塗層之管之區。舉例而言，井珠160在態樣及保

形上可為實質上細長的，以准許連同管一起插入至井筒中。

**【圖式簡單說明】**

圖1描繪典型的先前技術偶極天線；

圖2描繪本發明之連續偶極天線之實施例；

圖3描繪無屏蔽傳輸線所引起之加熱；

圖4描繪使用油井管路及同軸偏移饋入之本發明之連續偶極天線的實施例；

圖5描繪使用油井管路及偶軸偏移饋入之本發明之連續偶極天線的實施例；

圖6描繪使用SAGD井管路及同軸嵌入饋入之本發明之連續偶極天線的實施例；

圖7描繪使用SAGD井管路及偶軸嵌入饋入之本發明之連續偶極天線的實施例；

圖8描繪使用油井管路及三軸嵌入饋入之本發明之連續偶極天線的實施例；

圖9描繪使用油井管路及雙軸嵌入饋入之本發明之連續偶極天線的實施例；

圖9a描繪根據圖9之雙軸饋入之電流；

圖9b描繪使用油井管路及雙軸饋入之本發明之連續偶極天線的另一實施例；

圖9c描繪在表面處具有兩個單獨AC源之天線陣列；

圖10描繪本發明之連續偶極天線之實施例的電路等效模型；

圖 11 描繪根據本發明之連續偶極天線之例示性磁珠的自  
阻抗；

圖 12 描繪根據本發明之連續偶極天線之連續偶極天線井  
在時間  $t=0$  的例示性初始加熱速率圖案；及

圖 13 描繪例示性井之簡化溫度圖。

**【主要元件符號說明】**

10	先前技術天線
12	同軸饋入
14	內部導體
16	外部導體
18	偶極天線區段
20	無屏蔽間隙或裂口
22	饋線
50	本發明之連續偶極天線
52	同軸饋入
54	內部導體
56	外部導體
58	偶極天線區段
60	不導電磁珠
62	饋線
64	連續導體
100	連續偶極天線
102	井管
104	AC源

106	無屏蔽饋線/無屏蔽傳輸線
108	淺層區段/較淺區域
110	生產區域
112	連接
114	區域
150	連續偶極天線
152	井管
154	AC源
156	屏蔽同軸饋入
158	饋線
160	第一不導電磁珠
162	第二不導電磁珠
164	偶極天線區段
166	連接/梯度溫度帶
168	飽和溫度帶
200	連續偶極天線
202	井管
204	AC源
206	屏蔽偶軸饋入
208	饋線
210	不導電磁珠
214	偶極天線區段
216	連接
250	連續偶極天線

252	穿孔井管
254	AC源
255	內部饋入
256	管區段
257	外部饋入
258	生產井管/連接器線
260	第一不導電磁珠
262	第二不導電磁珠
264	偶極天線區段
266	連接
300	連續偶極天線
302	穿孔井管/連接器線
303	偶軸饋入
304	AC源
306	管區段
310	第一不導電磁珠
312	第二不導電磁珠
314	偶極天線區段
316	連接
318	生產井管
350	連續偶極天線
352	井管
354	AC源
356	屏蔽三軸饋入

358	連接器線
359	連接
360	第一不導電磁珠
362	第二不導電磁珠
364	偶極天線區段
366	連接
368	管區段
400	連續偶極天線
402	井管
403	管區段
404	AC源
405	變壓器主側
406	變壓器副側
407	線
408	電容器
409	同軸饋入
410	同軸饋入
411	雙軸饋入
412	饋線
414	第一不導電磁珠
416	第二不導電磁珠
418	偶極天線區段
420	連接
502	電位或電壓

504	饋入節點
506	饋入節點
508	電流
510	電感
512	電阻
514	電阻器
516	電容器
518	電流
520	電流/分流器
600	連續偶極天線
601	導體/井管/管天線元件
602	導體/井管/管天線元件
604	AC源
605	變壓器主側
606	變壓器副側
607	線
608	電容器
609	同軸饋入
610	同軸饋入
611	雙軸饋入
612	不導電電絕緣
613	不導電電絕緣
614	不導電磁抗流器
615	不導電磁抗流器

620	連接
622	AC源
623	AC源
712	上部天線元件
714	傳輸線管區段
716	同軸內部導體
722	下部天線元件
724	傳輸線管區段
726	同軸內部導體
732	磁RF抗流器
734	磁RF抗流器
742	轉位
744	轉位

# 發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：100121687

※申請日：100. 6. 21

※IPC 分類：H01Q 9/16 (2006.01)

H01Q 1/44 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

H01Q 1/04 (2006.01)

連續偶極天線之雙軸功率傳輸線

DIAXIAL POWER TRANSMISSION LINE FOR CONTINUOUS  
DIPOLE ANTENNA

## 二、中文發明摘要：

可藉由用一不導電磁珠包圍連續導體之一部分且接著跨越該不導電磁珠將一電源施加至該連續導體來產生一偶極天線。該不導電磁珠產生一驅動間斷而無需該導體中之一裂口或間隙。該電源可使用多種較佳屏蔽組態而連接或施加至該連續導體，該等組態包括一同軸或偶軸嵌入或偏移饋入、一個三軸嵌入饋入或一雙軸偏移饋入。一第二不導電磁珠可定位以包圍該連續導體之一第二部分，以在該第一不導電磁珠之任一側上有效地產生兩個幾乎相等長度之偶極天線區段。該等不導電磁珠可包含各種不導電磁材料，且預成形以用於圍繞該導體安裝或在地下應用中圍繞該導體注入。可實現煙礦石之電磁加熱。

### 三、英文發明摘要：

A dipole antenna may be created by surrounding a portion of the continuous conductor with a nonconductive magnetic bead, and then applying a power source to the continuous conductor across the nonconductive magnetic bead. The nonconductive magnetic bead creates a driving discontinuity without requiring a break or gap in the conductor. The power source may be connected or applied to the continuous conductor using a variety of preferably shielded configurations, including a coaxial or twin-axial inset or offset feed, a triaxial inset feed, or a diaxial offset feed. A second nonconductive magnetic bead may be positioned to surround a second portion of the continuous conductor to effectively create two nearly equal length dipole antenna sections on either side of the first nonconductive magnetic bead. The nonconductive magnetic beads may be comprised of various nonconductive magnetic materials, and preformed for installation around the conductor, or injected around the conductor in subsurface applications. Electromagnetic heating of hydrocarbon ores may be accomplished.

## 七、申請專利範圍：

1. 一種用於將功率供應至一連續偶極天線之裝置，其包含：

一線性導體，該線性導體具有一驅動間斷；

一交流電源；

一第一同軸饋線，該第一同軸饋線包含一內部導體及一外鞘；

一第二同軸饋線，該第二同軸饋線包含該內部導體及一外鞘；

一變壓器，該變壓器具有一主側及一副側，該變壓器之該主側電連接至該交流電源，該變壓器之該副側藉由該第一同軸饋線之該內部導體在該驅動間斷之一第一側上電連接至該線性導體，且該變壓器之該副側藉由該第二同軸饋線之該內部導體在該驅動間斷之一第二側上電連接至該線性導體；

其中該第一同軸饋線及該第二同軸饋線之該等內部導體係經由一電容器電連接；且

該變壓器之該副側電連接至該第一同軸饋線之該外鞘及該第二同軸饋線之該外鞘。

2. 如請求項1之裝置，其中該線性導體為連續的，且該驅動間斷為一不導電磁珠。

3. 如請求項2之裝置，其中該不導電磁珠可包含下列各者中之一或多者：鐵氧體、磁石、磁鐵礦、粉末狀鐵、鐵片、矽鋼粒子，或具有表面絕緣體塗層之五羰基E鐵

粉。

4. 如請求項2或3之裝置，其中該連續線性導體包含油井管路。

5. 一種用於將功率供應至一連續偶極天線之裝置，其包含：

一第一線性導體；

一第二線性導體；

一交流電源；

一第一同軸饋線，該第一同軸饋線包含一內部導體及一外鞘；

一第二同軸饋線，該第二同軸饋線包含該內部導體及一外鞘；

一變壓器，該變壓器具有一主側及一副側，該變壓器之該主側電連接至該交流電源，該變壓器之該副側藉由該第一同軸饋線之該內部導體電連接至該第一線性導體，且該變壓器之該副側藉由該第二同軸饋線之該內部導體電連接至該第二線性導體；

其中該第一同軸饋線及該第二同軸饋線之該等內部導體係經由一電容器電連接；且

其中該變壓器之該副側電連接至該第一同軸饋線之該外鞘及該第二同軸饋線之該外鞘。

6. 一種用於將功率供應至一連續偶極天線之方法，其包含：

將一交流電源電連接至一變壓器之一主側；

將一第一同軸饋線之一內部導體電連接在該變壓器的一副側與一線性導體中之一驅動間斷之一第一側之間，該第一同軸饋線包含該內部導體及一外鞘；

將一第二同軸饋線之一內部導體電連接在該變壓器的該副側與該線性導體中之該驅動間斷之一第二側之間，該第二同軸饋線包含該內部導體及一外鞘；

經由一電容器電連接該第一同軸饋線及該第二同軸饋線之該等內部導體；及

將該變壓器之該副側電連接至該第一同軸饋線及該第二同軸饋線之該等外鞘。

7. 如請求項6之方法，其中該線性導體為連續的，且該驅動間斷為一不導電磁珠。
8. 如請求項7之方法，其中該不導電磁珠包含：鐵氧體、磁石、磁鐵礦、粉末狀鐵、鐵片、矽鋼粒子、具有表面絕緣體塗層之五羰基E鐵粉，或此等材料中之兩者或兩者以上的一組合。
9. 如請求項7或8之方法，其中該連續線性導體包含油井管路。
10. 一種用於將功率供應至一連續偶極天線之方法，其包含

將一交流電源電連接至一變壓器之一主側；

將一第一同軸饋線之一內部導體電連接在該變壓器的一副側與一第一線性導體之間，該第一同軸饋線包含該內部導體及一外鞘；

將一第二同軸饋線之一內部導體電連接在該變壓器的

該副側與一第二線性導體之間，該第二線性導體大體平行於該第一線性導體定位，該第二同軸饋線包含該內部導體及一外鞘；

經由一電容器電連接該第一同軸饋線及該第二同軸饋線之該等內部導體；及

將該變壓器之該副側電連接至該第一同軸饋線及該第二同軸饋線之該等外鞘。

八、圖式：

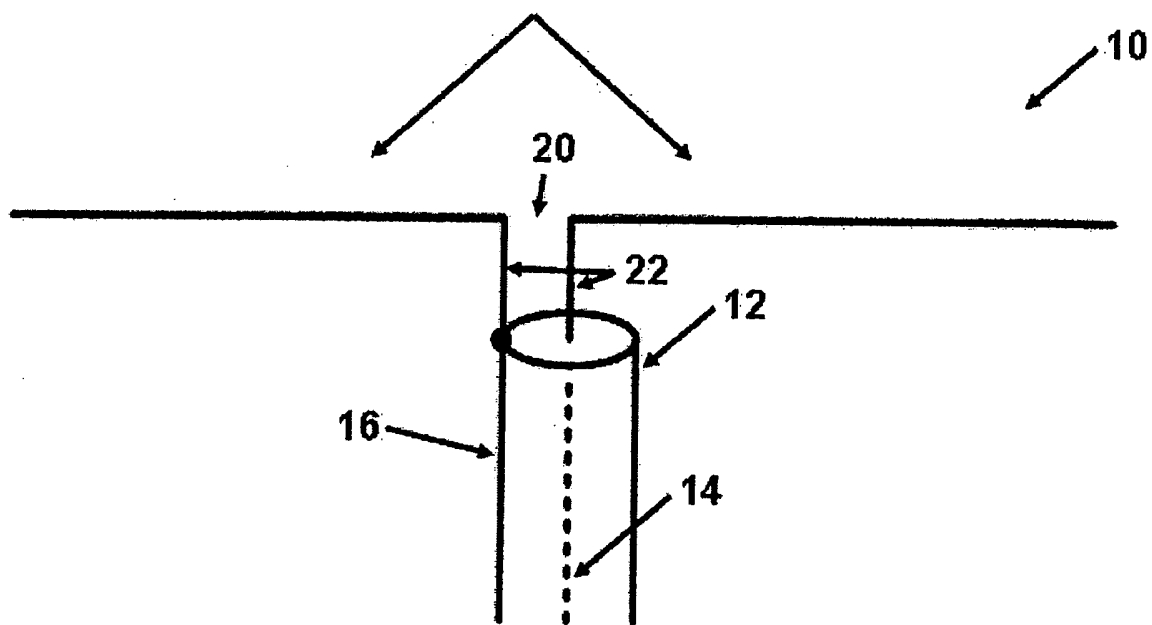


圖1

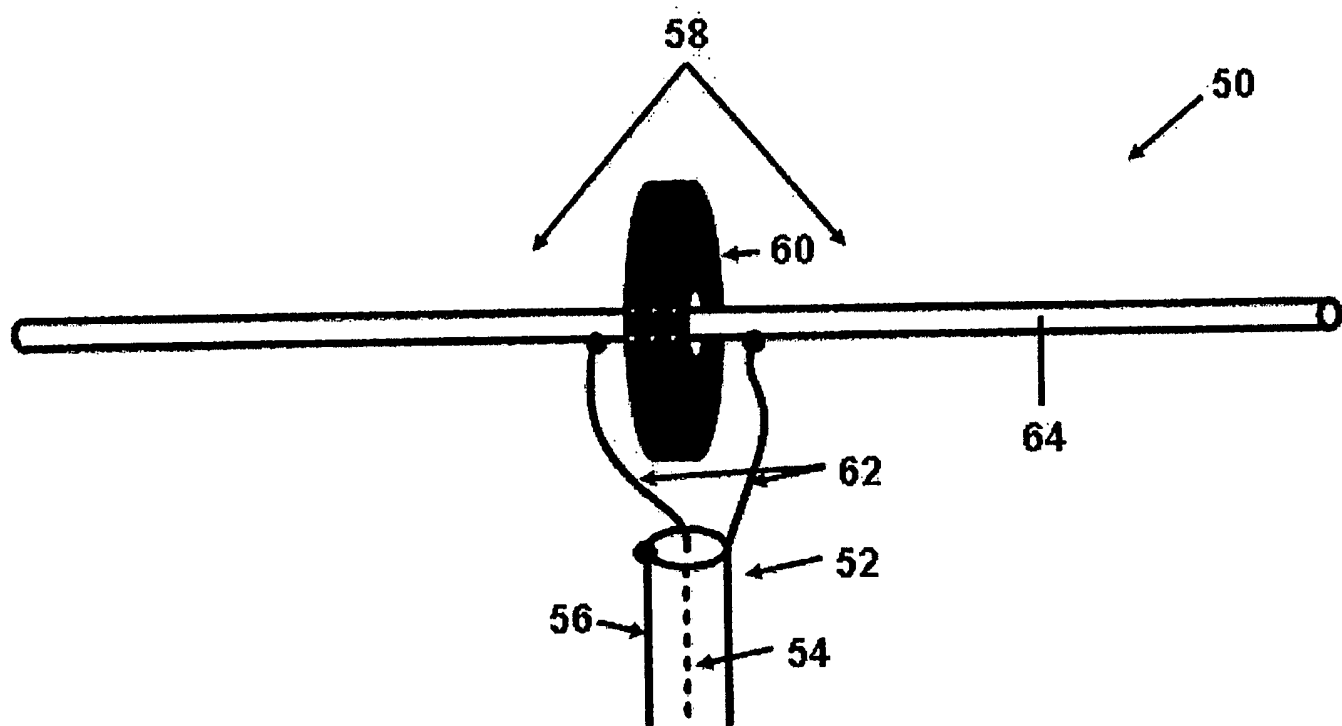


圖2

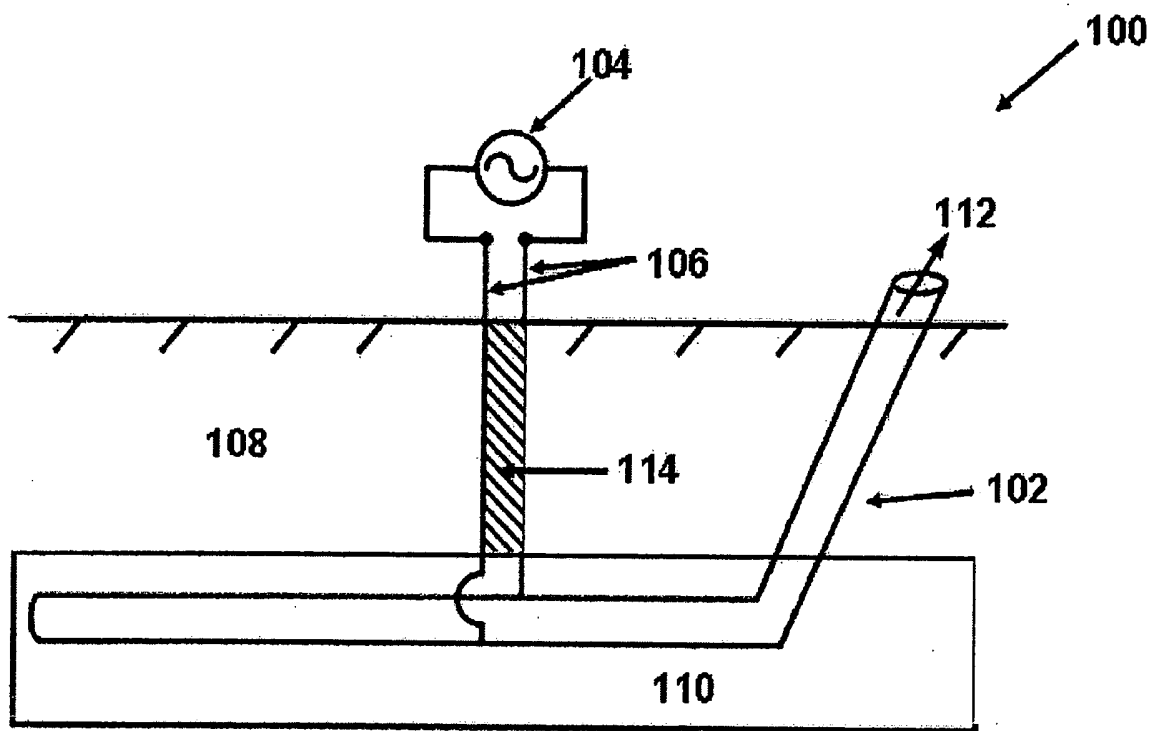


圖3

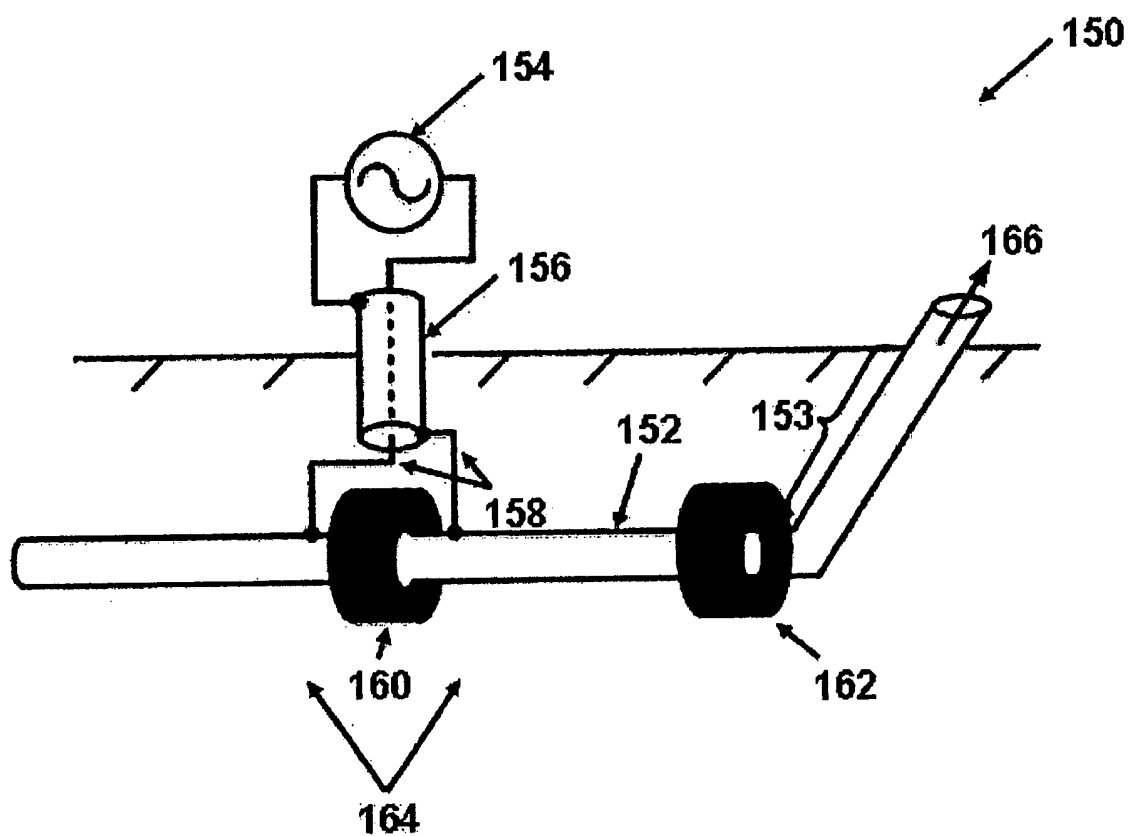


圖4

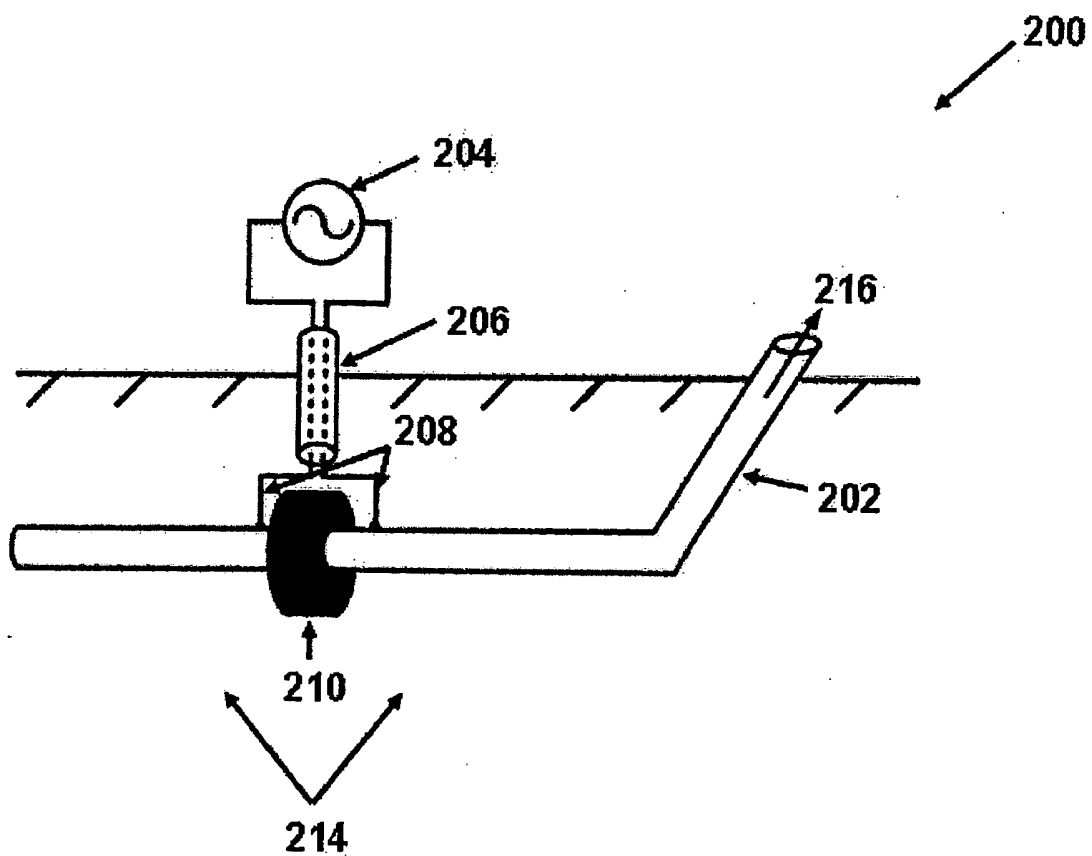


圖5

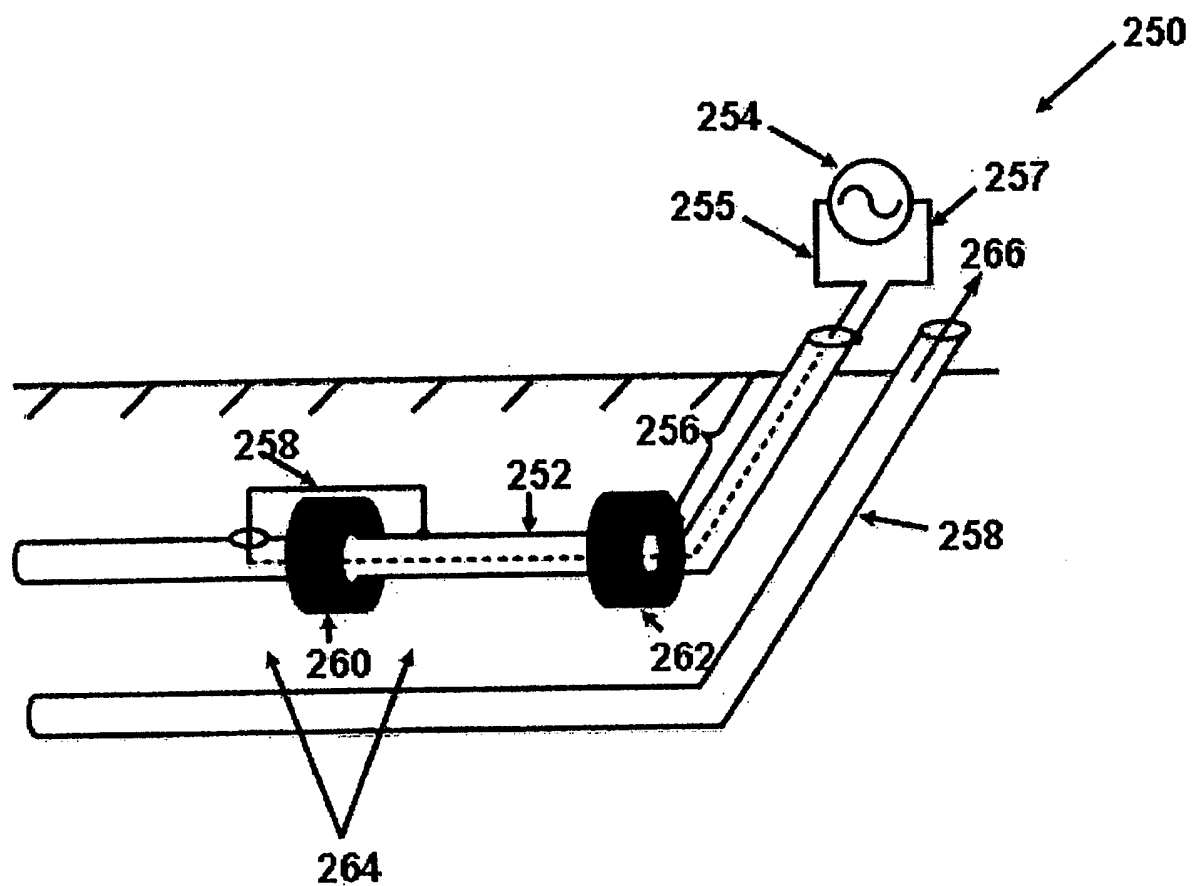


圖6

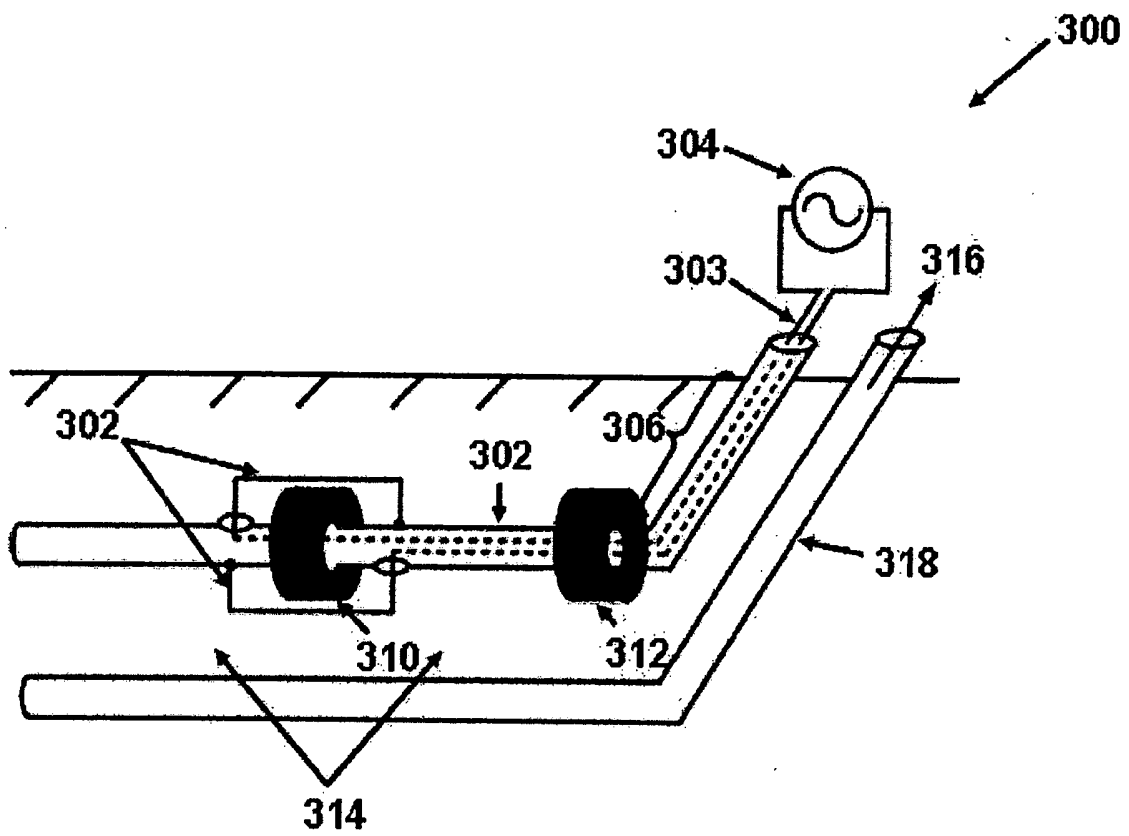


圖7

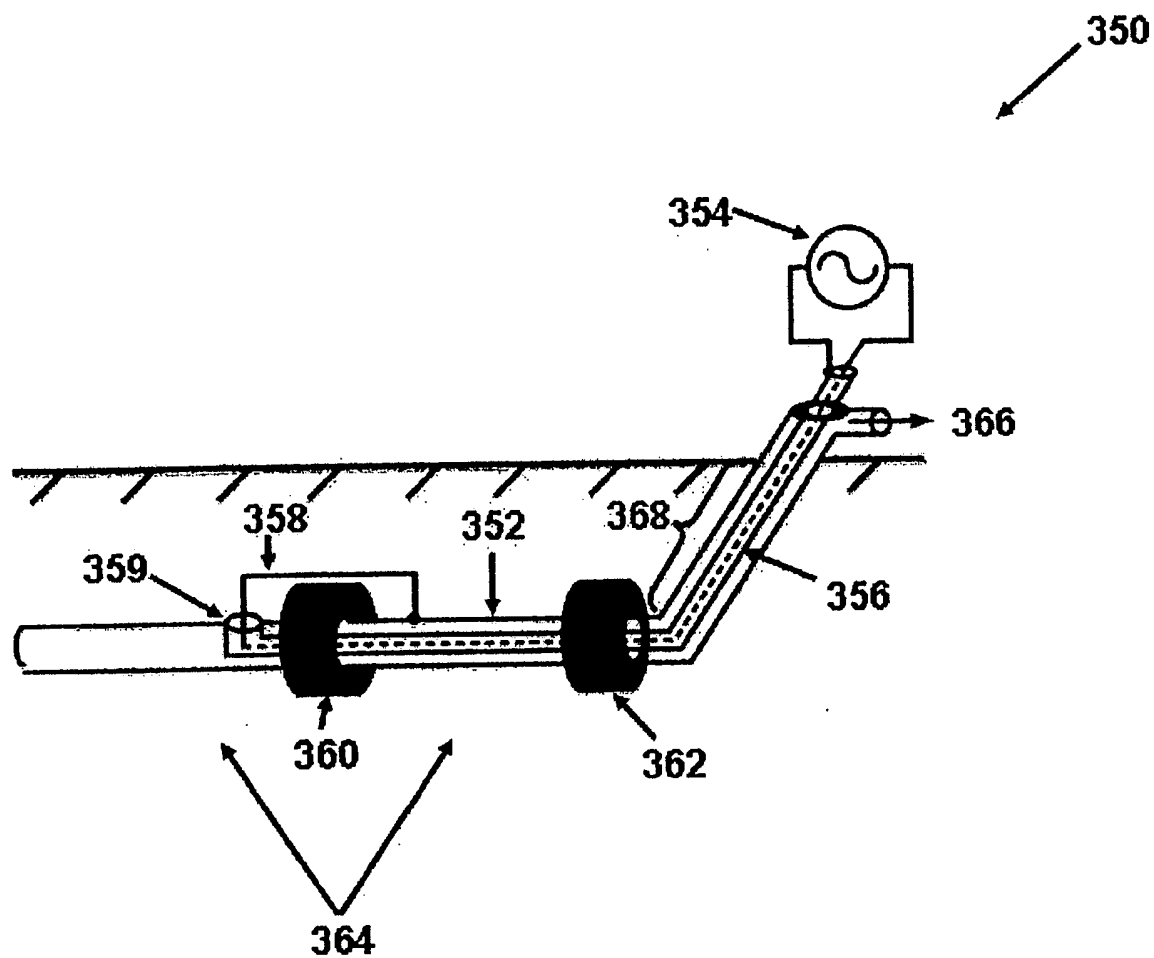


圖8

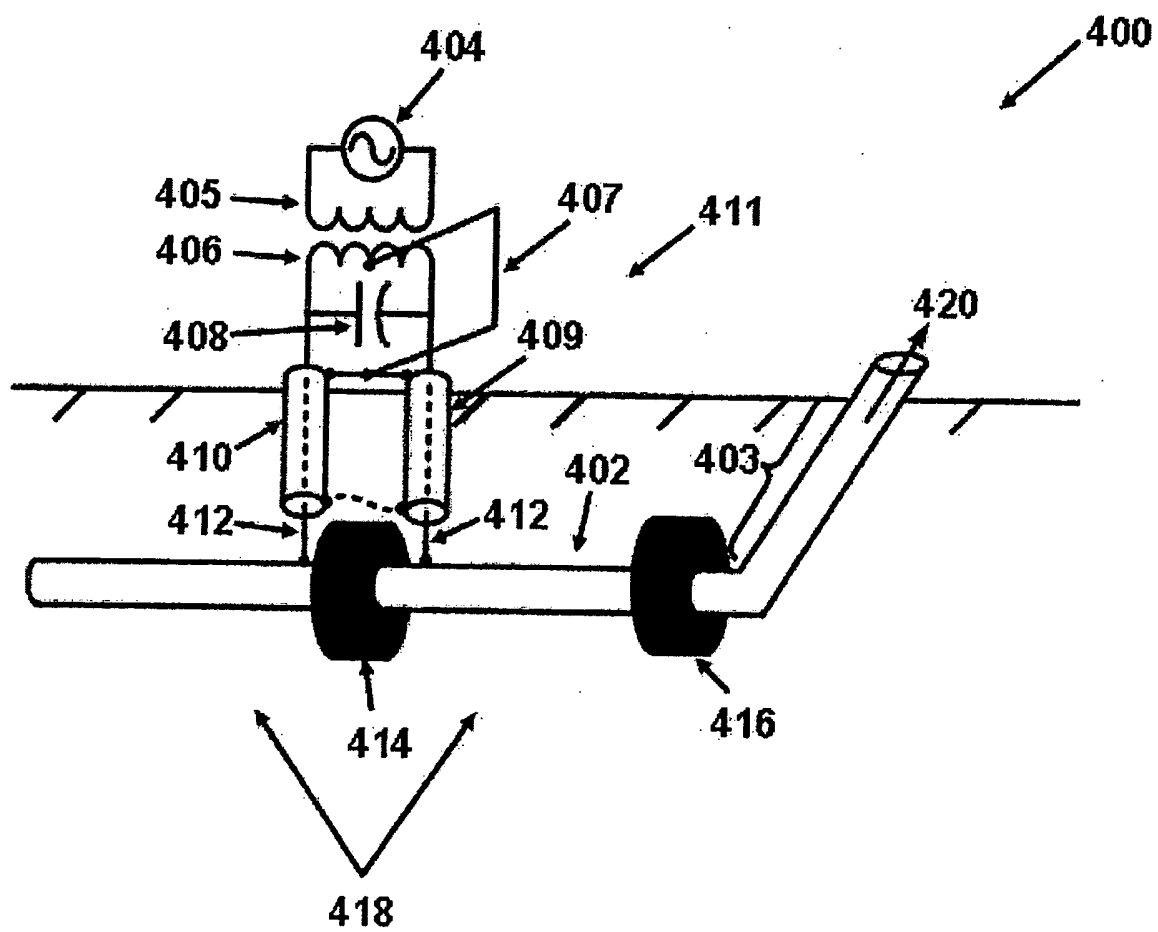


圖9

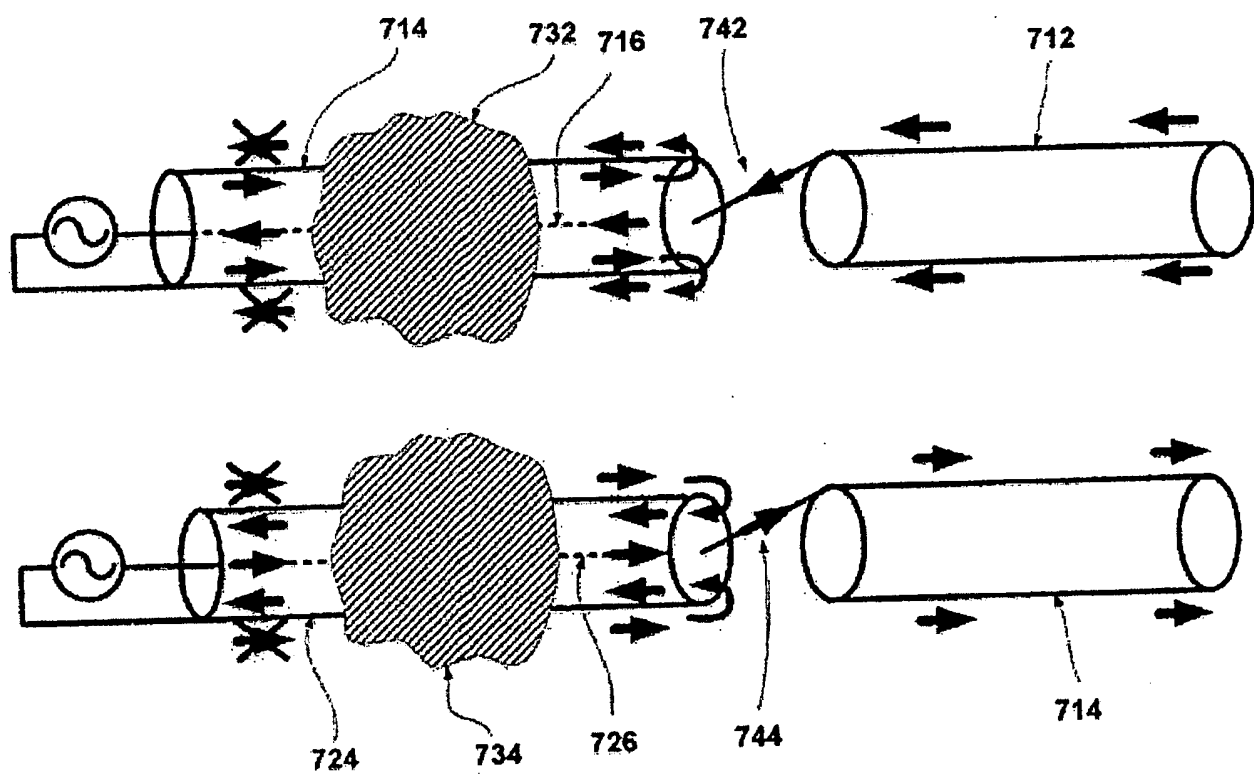


圖9a

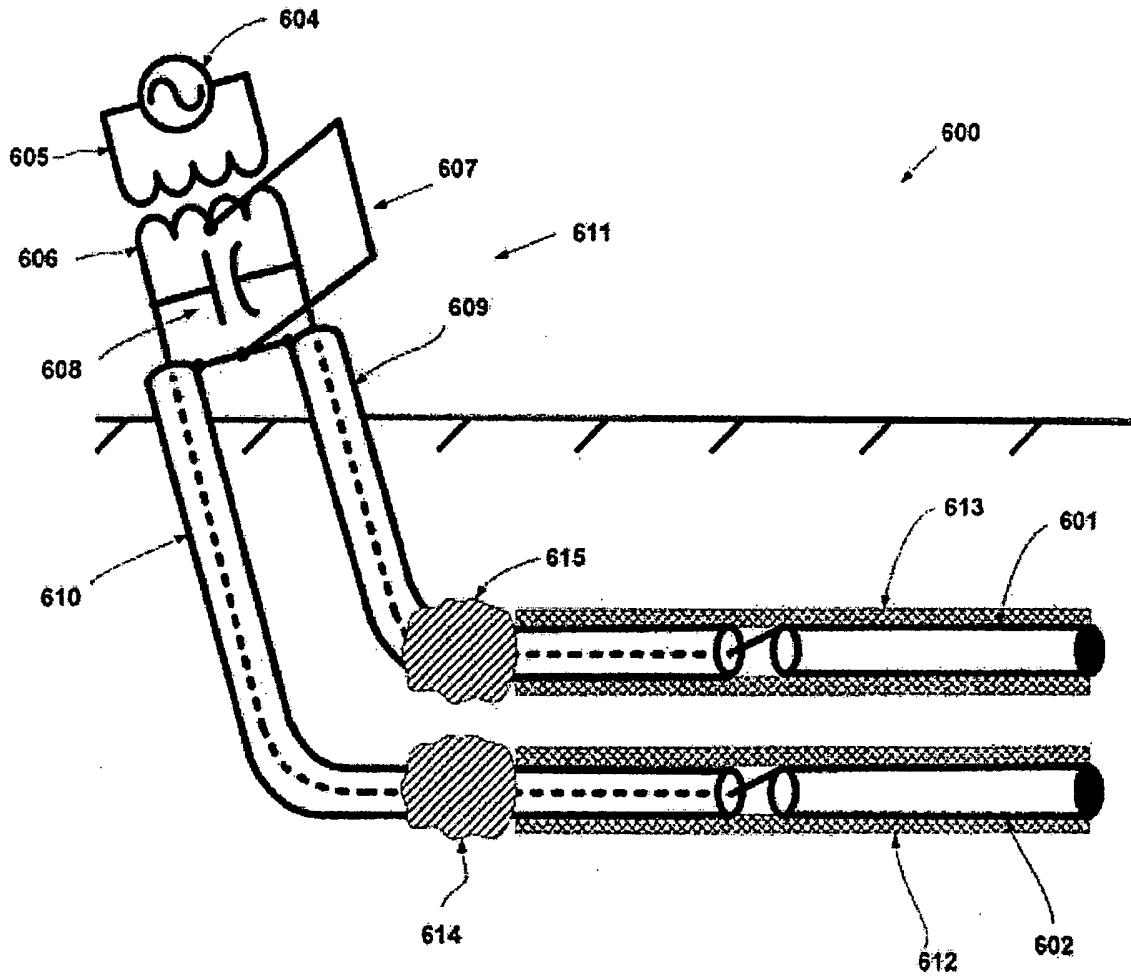


圖9b

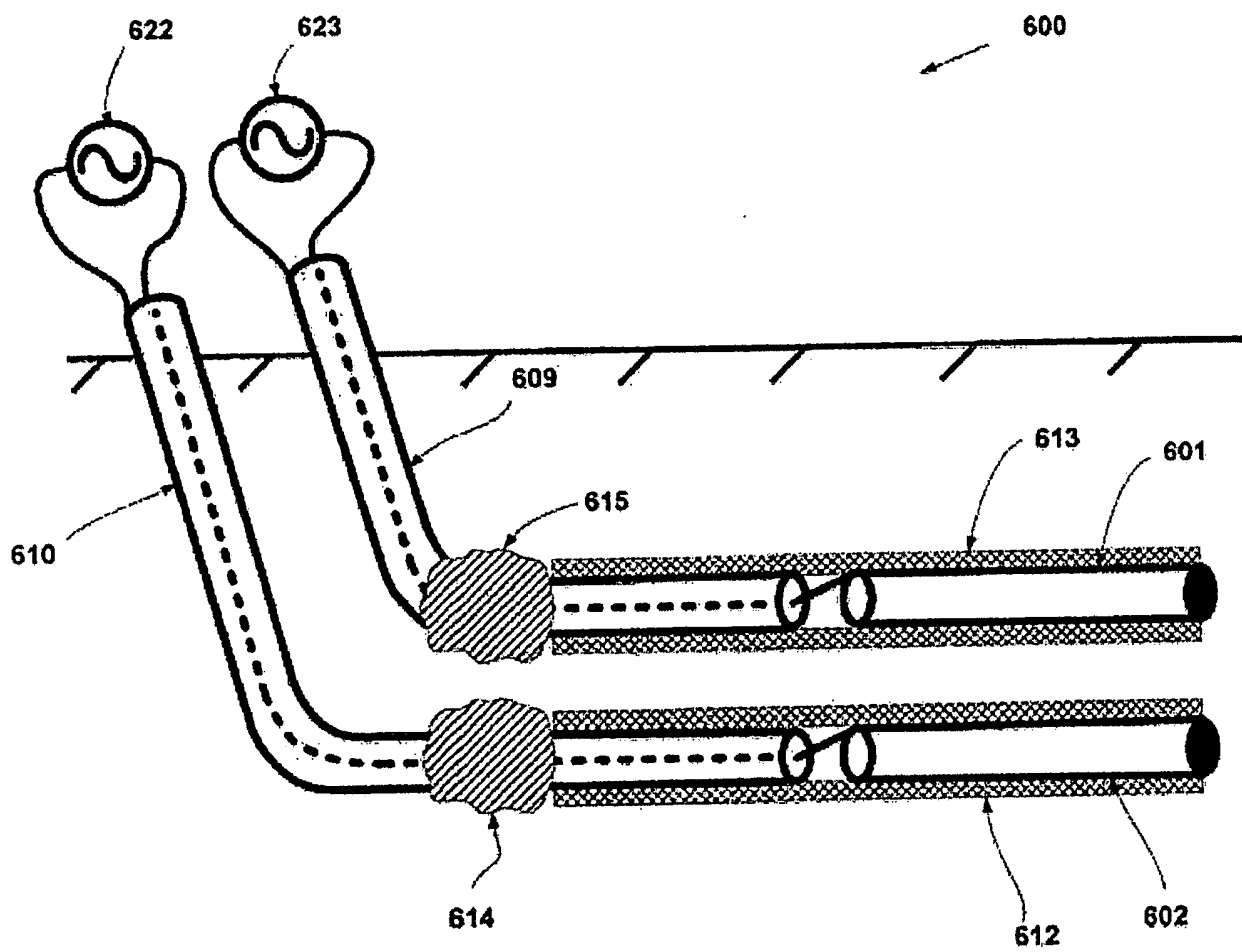


圖9c

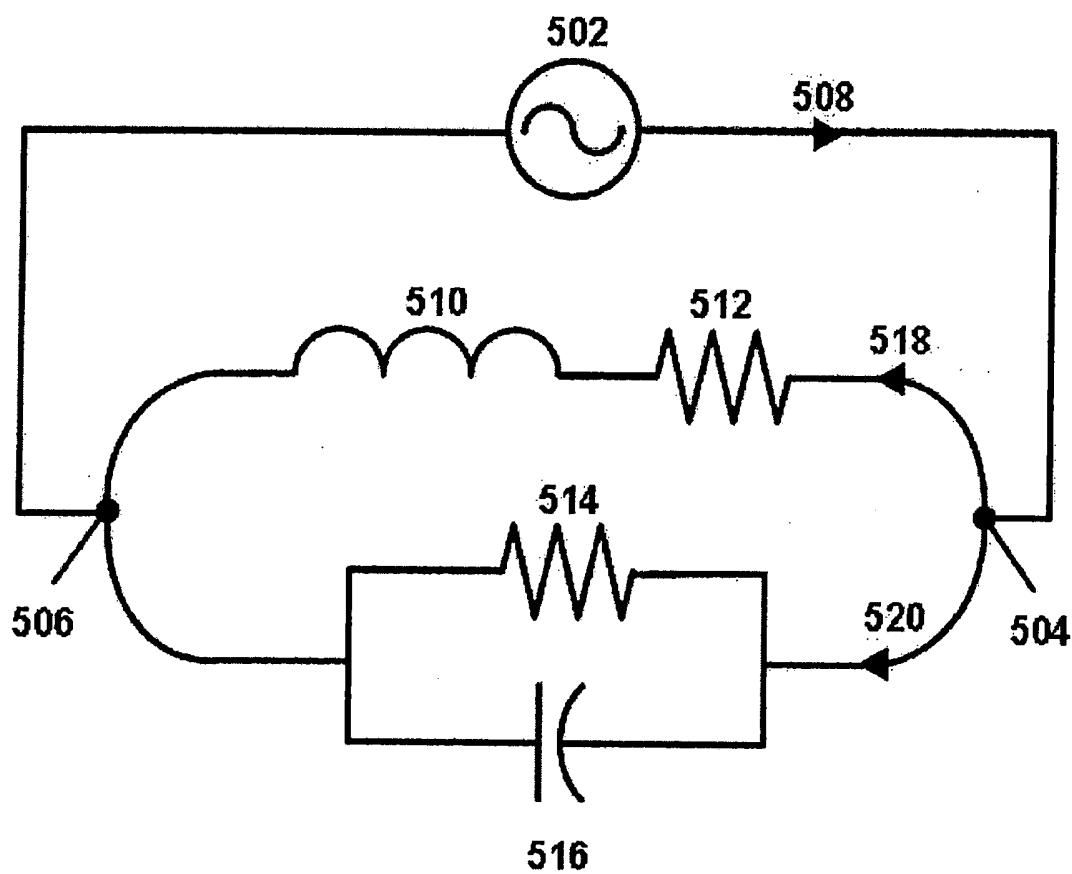


圖10

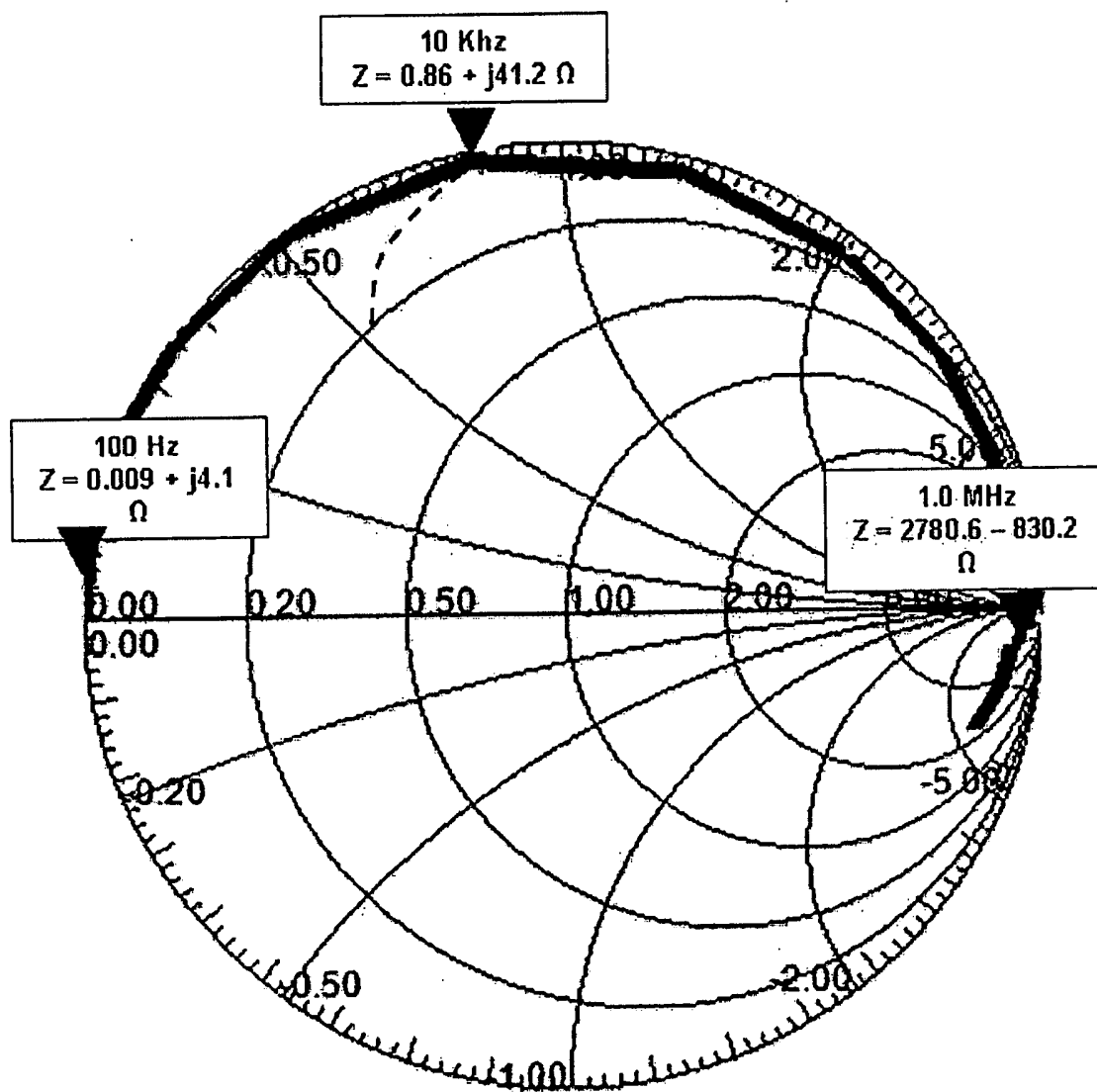


圖11

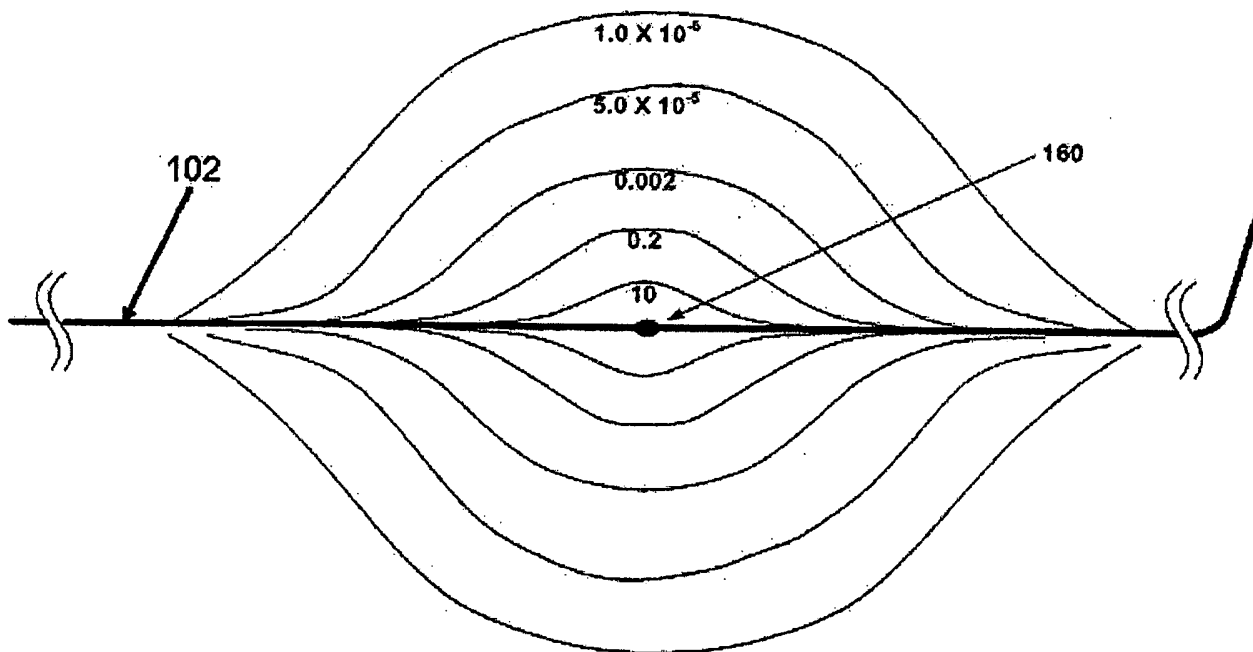


圖12

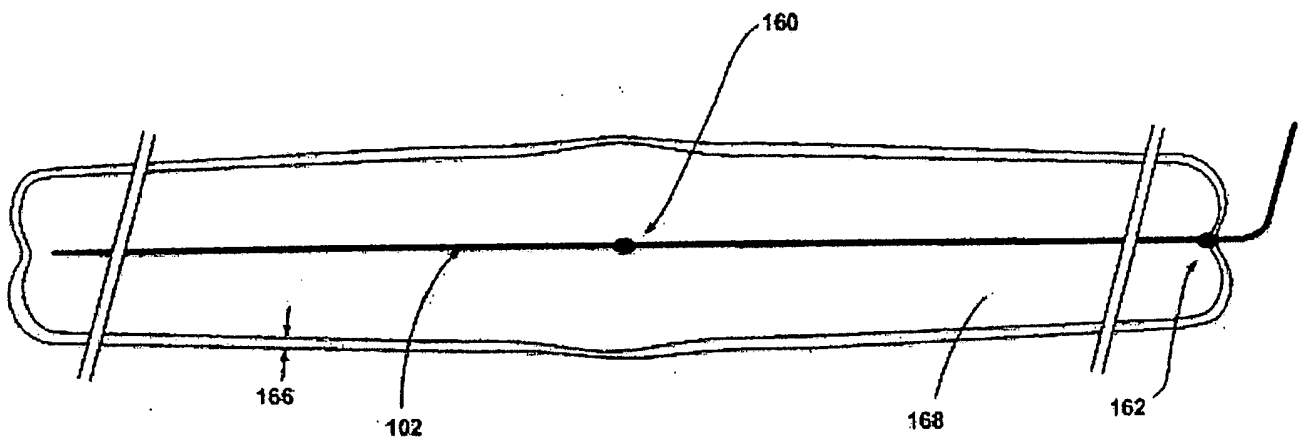


圖13

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(2)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

50	本發明之連續偶極天線
52	同軸饋入
54	內部導體
56	外部導體
58	偶極天線區段
60	不導電磁珠
62	饋線
64	連續導體

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

(無)