

五、發明說明 (1)

本發明依空軍部門頒發之第 F33615-99-2-1473 號合約在政府支持下完成。政府於本發明具有一定之權利。

本發明技術領域

本發明與在射頻 (RF) 應用中引進相移之技術有關，更明確說，與使用微動機電開關 (MEMS) 之相移技術有關。

本發明背景

本發明之示例性應用包括空中雷達系統，位置警戒雷達與氣象雷達。空中雷達系統將使用包括有上千百個發射元件之電子掃描天線 (ESA)。對於每一發射元件有一相移器，譬如 3 至 5 位元，聚集在一陣列內，控制天線波束方向及其側波瓣性質。由於 ESA 使用上千百個相移器，此等電路須為低成本，極輕重量 (包括包封及安裝)，幾乎不消耗直流電，並具有低 RF 損耗 (比如少於 1 分貝)。對於空間感測器應用 (雷達與通訊)，此等需求超過已知技藝現況元件所能提供者。

RF 相移器應用使用之目前技藝現況元件包括陶鐵磁體、PIN 二極體與 FET 開關元件。此等元件與依據本發明製造之元件比較為相當重、消耗更多直流電力且更昂貴。PIN 二極體與 FET 開關之施行於 RF 相移器內由於沿 RF 路徑需要額外之直流偏壓電路而更進一步複雜化。PIN 二極體與 FET 開關所需之直流偏壓電路限制相移器之頻率性能並增加 RF 損耗。由於成本和電力消耗使整個 ESA 佈設目前可獲得之 T/R 模組受到限制。簡言之，目前可用元件之重量成本及性能達不到對於要求在電氣上為大孔徑及 / 或大數量發射

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

五、發明說明 (2)

元件 (譬如大於 5000 個元件) 之 ESA 之需求。

本發明之其他應用包括可切換之衰減器、可切換之濾波器組、可切換之時延線路、開關矩陣及傳輸 / 接收 RF 開關。

本發明綜述

依據本發明之一情況，所說明者為一電子掃描陣列。該陣列包括一線性之發射元件陣列，與一耦合至各發射元件之相移器陣列。一包括多個相移器埠之 RF 歧管分別耦合至一對應之相移器 RF 埠及一 RF 埠。一波束操縱控制器將相移控制信號提供至相移器，以控制相移器陣列之相移設定。相移器各自包括多個回應控制信號之微動機電 (MEM) 開關，以選出分立相移設定數中之一個用於各別之相移器。

依據本發明另一情況，一 RF 相移器電路包括第一與第二 RF 埠，及一包含多個回應控制信號之微動機電 (MEM) 開關之開關電路，所述開關電路係配置以選出藉相移器電路引介至通過第一與第二 RF 埠間之 RF 信號之多個分立相移值中之一個，各電路予連接以提供單極多擲 (SPMT) 或多極多擲 (MPMT) 開關功能。

簡要圖說

本發明之此等與其他優點將因以下其等如附圖中所例示之實例具體形式之詳述而成為明顯，圖中：

圖 1 為依據本發明一情況之一使用 MEMS 相移器之 ESA 天線架構之簡化示意圖。

圖 2 為一 RF MEM 開關之一簡化電路。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

五、發明說明 (3)

圖 3B-3C 為 RF MEM 之一實例形式分別於開關開斷 (隔離) 及開關閉合 (信號傳輸) 狀態之側視圖 ; 圖 3A 為俯視圖。

圖 4A 例示一使用 MEM 開關之 1 位元拼合式切換線路相移區段之示意圖。圖 4B-4D 例示開關構造之進一步細節。

圖 5 為四個圖 4 中單位元相移區段所形成之 4 位元相移器之示意圖。

圖 6A 及 6B 分別為依據本發明之一情況之 "3.5" 位元及 "4.5" 位元相移器電路之示意圖。

圖 7 為一例示性 180 度相移器之等效電路圖。

圖 8A-8C 為實現多擲開關電路之 SP2T MEM 之三種連接之示意圖。圖 8D-8I 為例示圖 8A-8C 中開關配置之操作之簡化示意圖。

圖 9 為依據本發明另一情況之替代性 4 位元 RF MEMS 切換線路相移器之簡化示意圖，其中各區段之參考路徑由單一開關所取代。

圖 10 例示三區段之相移器電路，其 SP3T 介面於各相移器區段產生一額外之傳輸線路徑。

圖 11 為一反射相移電路之示意圖，藉由在端接一 3 分貝正交拼合耦合器之同相與正交埠之不同電抗中切換而產生相移。

圖 12 例示使用 SP3T MEM 開關電路實現 "多位元" 反射相移器區段之示意圖。

圖 13 為一顯示 RF MEMS 之示意圖，以實施一對於圖 12

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

五、發明說明（ 4）

中反射相移器之端接提供一相移器端接區段之 SP3T 介面。

圖 14 例示一採用如圖 13 所示 SP3T MEM 開關電路之單一區段 2 位元反射相移器。

圖 15 顯示一替代之 2 位元反射相移器電路，係採用具有整合式電抗端接之 SPST MEM 開關。

圖 16 為一實現 0° 、 22.5° 、 45° 及 67.5° 相位狀態之相移器區段之簡化示意圖。

圖 17 例示一採用圖 16 所例示類型之 2 位元反射相移端接電路之反射相移器。

圖 18 為一具有 16 個相位狀態之 4 位元相移器之示意圖，係使用圖 14 及 17 之二個相移器區段。

圖 19 顯示一例示性 MEM 開關電抗性端接電路。

圖 20 為一反射類型之 3 位元相移器之示意圖。

圖 21 例示一單一區段 3 位元相移器，係藉由具有 16 個串聯在一起之個別開關元件之單一相位區段予以實現。

圖 22 為 5 位元相移器之示意圖，係由使用圖 10 及 16 中電路之二個區段予以實現。

較佳具體形式詳述

空中雷達系統在合成隙孔雷達映射、地面移動標靶指示及空中移動標靶指示上對 ESA 性能有需求。同時，伴隨被傳輸／接收 (T/R) 模組完全佔據之大型 ESA 而至之成本及重量均非不合宜。圖 1 為一依據本發明一情況之 ESA 20 之簡化示意圖，其使用 ESA 天線架構結合 MEMS 相移器而致力於 ESA 成本、重量與功率消耗問題。在此具體形式中之

五、發明說明（ 5）

ESA 為發射元件之一維線性陣列 20，各自連接至構成一相移器線性陣列之對應 MEMS 相移器 30。相移器線性陣列之使用減少 ESA 之傳輸／接收（T/R）模組數目。RF 歧管 40 將相移器 RF 埠結合成一 ESA RF 埠。一波束操縱控制器 44 提供控制信號至相移器 30，其控制相移器 30 之各別相位設定，以獲致所要之 ESA 波束方向。

陣列 20 可包括連接於 ESA RF 埠 42 之單一 T/R 模組，或連接於 RF 歧管接面之多 T/R 模組。此具體形式中之陣列 20 能交互（傳輸或接收）操作。此外，多個線性陣列 20 可組裝在一起以提供二維陣列。

MEMS ESA 於譬如空中雷達與通訊系統及 X 頻帶商用飛機位置警戒雷達之應用上提供新的能力。商用汽車雷達應用包括適應性巡航控制、碰撞防止／警告與自動煞車應用亦將從 MEMS ESA 獲益，因為此一技術可按比例調整至較高操作頻率。

在以下例示性具體形式中，MEMS 相移器 30 採用 MEM 金屬—金屬觸點開關。美國專利第 6,046,659 號說明適合該目的之 MEM 開關，其整個內容係以指述方式納入本文中。圖 2 為 RF MEM 開關 50 之一簡化電路。該開關具有 RF 埠 52、54，及一電樞 56，可藉由於線路 58 與接地 60 間施加一直流控制電壓而閉合以完成 RF 埠間之電路。該開關 50 可製成具有 0.0025 平方吋等級之面積，且於 20 V 至 40 V 之電壓範圍需要少於一微瓦之直流控制電力。

不同於 PIN 二極體，金屬—金屬觸點 RF MEM 開關在 RF

五、發明說明 (6)

路徑上無需偏壓電路。圖 3B-3C 爲一例示形式之 RF MEM 開關之側視圖，分別爲開關開斷（隔離）與開關閉合（信號傳輸）狀態；圖 3A 爲俯視圖。各圖式並未按照比例。開關 50 係製於一底質 62 譬如砷化鎵上，其上形成導電觸點層 52、54、錨定觸點 64 與偏壓電極 60、導電觸墊 58、60、偏壓電極 60A、及線跡 58A 與 60B。

一製成氮化矽／金／氮化矽三合層之懸臂梁 62 具有一附著於觸點 58A 之錨定端；相對之 RF 觸點端懸伸於 RF 觸點 52、54 上方，並具有一電樞 56 置放成橫過梁 62 之範圍。該電樞 56 製成在該梁內之金層且被露出，以便在該開關成閉合狀態（圖 3B）時，該電樞於 RF 觸點 52、54 之間形成橋接觸點。梁 62 包括一導電金層 62A，從觸條 58A 伸出並伸到偏壓電極 60A 上方。電樞 56 與偏壓電極間之區域 62B 爲不導電，且僅以氮化矽製成。一直流電壓因此可設立於觸點 58、60 之間，以於電極 60A 與梁內之層 62A 間提供一電壓，且與電樞 56 隔離。

當該開關爲開斷時，電樞以一分隔距離 h 在 RF 觸點 52、54 上方，其在此例示性具體形式中爲 2 微米。當跨過偏壓電極建立一直流電壓時，梁 62 受靜電力向下偏轉，使電樞於 RF 觸點之間形成橋接觸點而將該開關閉合。

該開關之一非常重要方面爲直流偏壓電極與 RF 觸點之間藉由絕緣層譬如氮化矽層之實體分離／隔離。此等絕緣層使直流起動電壓與 RF 線路隔離，且亦增強該開關所使用懸臂梁 62 之構造整體性與可靠性。此一特色簡化控制電路

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝

訂

線

五、發明說明 (7)

，且使該開關於開斷狀態時保持高 RF 隔離作用。

金屬－金屬觸點之 RF MEM 開關具有作為頻率之函數之低插入損耗與高隔離性。金屬－金屬觸點開關於開斷狀態為一具有與頻率成反比之低電容之串聯開關。金屬－金屬觸點開關於 X 頻帶之隔離為於 -35 至 -40 分貝範圍內。又，金屬－金屬觸點開關之隔離性能隨頻率減少而增加，使其適合點對點之 RF 應用。

依據本發明之一情況，提供一使用 RF MEM 開關之新類型之切換線路相移器構造。圖 4A 例示 1 位元拼合式切換線路相移區段 100 或“單格”之示意圖。如同習用 PIN 二極體與 FET 之切換相移器，該相移器藉由切換不同長度之傳輸線路（圖 4）而實現。不同於 PIN 二極體與 FET 開關，用以起動金屬－金屬 RF MEMS 之直流偏壓未耦合至 RF 傳輸線路。此一具體形式之單格係製造於一低損耗底質 102 上，譬如礬土。一導體圖案被製於該底質之頂表面上以界定 RF 埠 102、104、以及參考傳輸線路路徑 108 與相移傳輸線路路徑 110。MEM 開關 50A 以搭接線 112、114 連接於埠 102 及參考路徑 108 之一端之間。開關 50A 之各元件圖示於圖 4，包括以作成搭接線連接之 50A-1 及 50A-2 指示之 RF 埠。懸臂梁以元件 50A-3 顯示。在 50A-4 及 50A-5 處作成直流偏壓連接。參考路徑 108 之另一端係經開關 50B 連接至 RF 埠 104。

MEM 開關 50C 經由搭接線連接於埠 104 與相移路徑 110 之一端之間。開關 50D 連接於相移路徑另一端與埠 106 之

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝

訂

線

五、發明說明 (8)

間。可見，藉由MEM開關之適當控制，各路徑108、110（或二者）可連接於埠104、106之間。

圖4B例示圖4之切換線路相移器所用MEMS元件之配置，MEMS元件A代表MEM開關50A，而MEMS元件B代表圖4A中之MEM開關50C。此配置之等效電路由單擲單極（SPST）開關A、B提供（圖4C）。MEMS A與B之配置提供二個狀態，第一狀態為開關A開斷及開關B閉合，而第二狀態為開關A閉合及開關B開斷。圖4D顯示提供此二狀態之等效單極二擲（SP2T）開關。

圖4A所示基本單一位元RF MEMS 切換線路相移器100使用一SP2T接面。四個此等單一位元單格可結合形成如圖5所示之4位元相移器120。如此，單一位元單格100A、100B、100C及100D（各具有不同相移傳輸路徑長度）予串聯形成四位元相移器。對於此一具體形式，單格予安裝於譬如礬土之底質124上成緊密串聯以使搭接線122A、122B及122C可用以在單格之相鄰RF埠間作成RF連接。單格100A於操作波長使相移路徑100A-1之長度選出以提供180°相移。將各別之相移路徑100B-1、100C-1及100D-1選出以分別提供90°、45°與22.5°之相移。

單一位元之RF MEMS 切換線路相移器之更進步性之達成係藉由使用單極三擲（SP3T）接面以實現額外之傳輸線路路徑，同時保持基本單一位元電路之相同線跡。雖然基本單一位元切換線路相移器電路或單格100（圖4A）只有一

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝

訂

線

五、發明說明（ 9）

個相移狀態，但使用 SP3T 接面之 MEMS 電路則具有二個相移狀態。此一 RF MEM 切換線路相移器區段予結合以實現圖 6A 及 6B 中所示之等效 "3.5" 位元及 "4.5" 位元相移器電路。"3.5" 位元相移器電路 140 具有九個相位狀態，即約 3.5 位元，而經過電路之損耗大部份為由 MEM 開關 142A、142B、144A、144B 之累積損耗所決定。每一此等開關均為 SP3T 開關。電路 140 包括二個區段或格子 142、144。格子 142 包括 MEM 開關 142A、142B、參考信號路徑 142C、及二個不等長之相移路徑 142D、142E。區段 144 包括 MEM 開關 144A、144B、參考信號路徑 144C、及二不等長之相移路徑 144D、144E。電路 RF 埠 146、148 予連接至各別開關 142A、144B 之一側。開關 142A、142B 提供選擇參考路徑 142C、相移路徑 142D 或相移路徑 142E 之能力。開關 144A、144B 提供選擇參考路徑 144C、相移路徑 144D 或相移路徑 144E 之能力。一連接路徑 145 將開關 142B 及 144A 連接。

圖 6B 顯示使用 SP3T 開關電路之 "4.5" 位元相移器 150。此電路具有三個區段 152、154、156，而非如電路 140 中之二個區段。各區段具有二個 SP3T MEM 開關，以選出一參考路徑、一第一相移路徑或一第二相移路徑。各區段藉路徑 155、157 予以串聯。

如表 1 所示，"4.5" 位元相移器 150 具有 27 個相移狀態，而基本 4 位元相移器（圖 5）具有 16 個相移狀態。此外者，"4.5" 位元相移器 150 僅使用三個區段，而基本 4

五、發明說明(10)

位元相移器使用四個區段。因此，"4.5"位元相移器150(圖6B)將具有較基本4位元相移器(圖5)少之RF損耗且將較基本4位元相移器提供更多之相移狀態。當"4.5"位元相移器安裝於MEMS ESA架構(圖1)內時，該ESA將具有更多之固定波束位置而不犧牲增益。

表 1

相位狀態	"3.5"位元	4位元	"4.5"位元
1	0	0	0
2	40	22.5	13.33333333
3	80	45	26.66666667
4	120	67.5	40
5	160	90	53.33333333
6	200	112.5	66.66666667
7	240	135	80
8	280	157.5	93.33333333
9	320	180	106.66666667
10		202.5	120
11		225	133.33333333
12		247.5	146.66666667
13		270	160
14		292.5	173.33333333
15		315	186.66666667
16		337.5	200
17			213.33333333

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

五、發明說明 (11)

18	226.666667
19	240
20	253.333333
21	266.666667
22	280
23	293.333333
24	306.666667
25	320
26	333.333333
27	346.666667

RF MEMS 開關所提供之高隔離作用容許切換線路相移器之傳輸線路更爲緊湊，而無 RF 性能降低之不利後果。圖 4A 所示基本切換相移器區段之參考路徑包括二個 SPST 開關與一長度之傳輸線路。藉由使各相移器區段之線跡緊湊，各區段之參考路徑可減成圖 7 中例示性 180 度相移器 170 之等效電路圖所示之單一 RF MEMS。進一步緊湊化將分立之 MEMS 開關組合減縮成圖 8A-8C 所示之整合 MMIC。

圖 7 例示之相移器 170 包括三個 SPST MEM 開關 176A-176C。RF 埠 172、174 藉由如圖 7 之電感所例示之搭接線連接到開關 176A。開關 176A 形成相移器 170 之參考路徑。一 180° 相移路徑 178 藉由 MEM 開關 176B、176C 選擇性耦合至 RF 埠 172、174。在一例示性具體形式中，該電路係製作

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

編

五、發明說明 (12)

於礬土底質上，而路徑 178 係由底質上之微觸條線路形成。以電感表示之搭接線將開關 176B、176C 連接至節點 180A、180B。電容及電感（搭線長度）之值係以業界周知方式設計成與共同接面阻抗匹配。

金屬－金屬觸點開關於開斷狀態之低電容造成開關接面之低寄生性及高隔離作用。低寄生性使多個金屬－金屬觸點開關平行共用一共同接面成爲可能，亦即低寄生性能實現 MEM 單極多擲開關接面。此等“接面”可藉拼合電路或予整合成單一 MMIC 晶片加以實現。

圖 8A-8I 例示 MEM RF 開關之各種新配置，譬如金屬－金屬觸點 RF MEMS 之串聯開關。由於基本 MEMS 開關爲 SPST 元件，此等開關配置提供本發明之各種情況，不僅可用於相移器內，亦可用於其他應用，包括可切換之衰減器、可切換之濾波器組、可切換之時延線路、開關矩陣及傳輸／接收 RF 開關。此等配置可以拼合微波積體電路 (MIC) 之分立 MEMS 元件，或單一之單體微波積體電路 (MMIC) 元件加以實現。

圖 8A-8C 例示之“單極二擲”(SP2T)接面及“單極三擲”(SP3T)接面乃 MMIC 晶片。該開關接面之直流控制線路通過各通路。圖 8A 顯示 MEMS 元件 A、B 及 C 之配置，如同用於以下對圖 9 所述之切換線路相移器。圖 8B 顯示 MEMS 元件 A、B 及 C 之配置，如同用於以下對圖 13 及 19 所述之多位元反射相移器。圖 8C 顯示微動機電開關元件 (1-5) 之配置，如同用於以下對圖 10 更完整說明之多位元切換線路相移器

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

五、發明說明 (13)

○

圖 8D 顯示圖 8A 中開關配置之等效電路，包括能有八個開關位置之三個 SPST 開關 A、B 及 C。表 2 顯示用以產生圖 9 切換線路相移器中二相位狀態之開關位置。圖 8E 顯示一替代性等效電路，提供與 SP2T 開關 A-B 及 SPST 開關 C 之組合相同之開關位置。

表 2

狀態	開關 A	開關 B	開關 C
1	開斷	閉合	開斷
2	閉合	開斷	閉合

圖 8F 顯示圖 8B 中開關配置之等效電路，包括三個 SPST 開關 A、B、C，能併同有如表 3 所示之八個開關位置。表 3 顯示用以在圖 19 之多位元反射相移器電路 400 中產生八個相位狀態之開關位置（與三個 SPST 開關之組合聯合）。

表 3

狀態	開關 A	開關 B	開關 C
1	開斷	開斷	開斷
2	開斷	開斷	閉合
3	開斷	閉合	開斷
4	開斷	閉合	閉合
5	閉合	開斷	開斷
6	閉合	開斷	閉合
7	閉合	閉合	開斷

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝

訂

線

五、發明說明 (14)

8 閉合 閉合 閉合

表 3 中開關位置之一子集合示於表 4 。表 4 中開關位置可用以在圖 13 之多位元反射相移器電路 250 中產生四個相位狀態。雖然使用相同於圖 8B 中之 MEMS 配置及表 4 中之開關位置，圖 8D 之等效電路減縮成如同圖 8G 例示之 "SP3T"。(注意，表 4 所述之 "SP3T" 開關實際上為 SP4T，具有一端接於一開斷電路之輸出埠)。

表 4

狀態	開關 A	開關 B	開關 C
1'	開斷	開斷	開斷
2'	開斷	開斷	閉合
3'	開斷	閉合	開斷
4'	閉合	開斷	開斷

圖 8H 顯示圖 8C 之開關配置之等效電路，包括五個 SPST 開關 (1-5)，其一起可具有 120 個開關位置。表 5 顯示用以產生圖 10 之切換線路相移器之三個相位狀態之開關位置。注意各開關位置與圖 8I 所示 SP3T 與 SPST 開關之組合相同。

表 5

狀態	開關 1	開關 2	開關 3	開關 4	開關 5
1	開斷	開斷	開斷	開斷	開斷
2	開斷	開斷	閉合	閉合	開斷
3	閉合	閉合	開斷	開斷	開斷

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

五、發明說明 (15)

表 6 顯示包括電路 250 (圖 13) 與 400 (圖 19) 之 5 位元相移器網路 (圖 22) 之 MEMS 開關位置及其等各別之相移。此表中, MEMS 開關係由其等關連之相移予以確認。開斷之開關位置被指定為 "0", 而閉合之開關被指定為 "1"。注意, 某些相位狀態有多個開關為閉合, 指示其等關連之端接係並聯加入。與電路 250 關連之開關位置指示一 SP3T 開關, 而與電路 400 關連之開關位置指示一 3P3T 開關。

表 6

MEMS 開關位置						相移	相位
270	180	90	45	22.5	11.3	位元	狀態
0	0	0	0	0	0	00000	0 1
0	0	0	0	0	1	00001	11.25 2
0	0	0	0	1	0	00010	22.5 3
0	0	0	0	1	1	00011	33.75 4
0	0	0	1	0	0	00100	45 5
0	0	0	1	0	1	00101	56.25 6
0	0	0	1	1	0	00110	67.5 7
0	0	0	1	1	1	00111	78.75 8
0	0	1	0	0	0	01000	90 9
0	0	1	0	0	1	01001	101.25 10
0	0	1	0	1	0	01010	112.5 11
0	0	1	0	1	1	01011	123.75 12
0	0	1	1	0	0	01100	135 13
0	0	1	1	0	1	01101	146.25 14

五、發明說明 (16)

0	0	1	1	1	0	01110	157.5	15
0	0	1	1	1	1	01111	168.75	16
0	1	0	0	0	0	10000	180	17
0	1	0	0	0	1	10001	191.25	18
0	1	0	0	1	0	10010	202.5	19
0	1	0	0	1	1	10011	213.75	20
0	1	0	1	0	0	10100	225	21
0	1	0	1	0	1	10101	236.25	22
0	1	0	1	1	0	10110	247.5	23
0	1	0	1	1	1	10111	258.75	24
1	0	0	0	0	0	11000	270	25
1	0	0	0	0	1	11001	281.25	26
1	0	0	0	1	0	11010	292.5	27
1	0	0	0	1	1	11011	303.75	28
1	0	0	1	0	0	11100	315	29
1	0	0	1	0	1	11101	326.25	30
1	0	0	1	1	0	11110	337.5	31
1	0	0	1	1	1	11111	348.75	32

一重要特色為二或多個MEMS可結合於單一接面以形成單極多擲(SPMT)或多極多擲(MPMT)開關電路，如圖8A-8I所示。此之特色係藉由直流控制信號與經由MEMS之RF信號路徑隔離之事實所促成。

將此創新應用於圖5中之基本4位元RF MEMS 切換線路相移器即導致圖9 替代具體形式之實現，其中各區段之

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

五、發明說明 (17)

參考路徑均以單一開關取代。圖9之4位元電路200具有較少之RF損耗，並較圖5之4位元相移電路使用較少之開關。

相移器200具有RF埠202、204，及四個區段206、208、210、212。除各別相移路徑之電長度外，各區段均相同。因此，區段206包括連接於區段RF端206B、206C之間之SPST MEM開關206A，以提供參考路徑。相移路徑206D由一傳輸線段所提供，譬如微觸條，係由SPST MEM開關206E、206F所選出。SPST開關206A及206E形成SP2T開關電路。不同區段之相移路徑具有不同之電長度，以提供特定區段所需之相移。對於微觸條相移路徑之情況，微觸條線路可不製作於晶片上，而各區段之MEMS則製作於單一晶片或底質上，或另法於分離之晶片或底質上。該四個區段予串聯，以提供具有16個相位狀態之4位元相移器。

當圖9之電路中所用SP2T接面開關以SP3T接面取代以於各相移器區段產生一額外之傳輸線路路徑時獲致更大之進步。圖10顯示之所得相移器電路230具有在三個區段內使用13個開關之18個相位狀態，而圖9之4位元電路具有使用12個SPST開關之16個相位狀態。圖5之基本4位元RF MEMS切換線路相移器具有使用16個SPST開關之16個相位狀態。因此，金屬-金屬觸點串聯開關能有單極多擲接面，此依次能實現具有較少開關之相移器，進而較低之插入損耗與較小之成本。

相移器230包括RF埠232及234，係由三個相移區段

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

五、發明說明 (18)

236、238及240予以連接。區段236包括第一SPST MEM開關236A，此係連接於區段RF端236B、236C之間以提供參考路徑。此一區段具有二個相移路徑236F、236I，由電長度各別為 120° 及 240° 之各別傳輸線路所提供。 240° 路徑236F由SPST MEM開關236D、236E選出。 120° 路徑236I由SPST MEM開關236G、236H選出。三個SPST MEMS 236A、236D、236G形成一SP3T開關電路。

區段238亦具有三個狀態， 0° 、 40° 及 80° 。參考路徑(0°)由連接區段RF端238B、238C之SPST MEM開關提供。此一區段具有二個相移路徑238F、238I，由電長度各別為 40° 及 80° 之各別傳輸線路所提供。 40° 路徑236F由SPST MEM開關238D、238E選出。 80° 路徑238I由SPST MEM開關238G、238H選出。

區段240具有二個狀態， 0° 及 20° 。參考(0°)路徑由連接區段RF端240B、240C之SPST MEM開關提供。 20° 相移路徑240D由以SPST開關240E、240F選擇切換之傳輸線路提供。

本發明之另一情況為一使用金屬-金屬RF MEMS開關之新式類型之反射相移器構造。圖11為一反射相移器電路200之示意圖。如同習用PIN二極體及FET反射相移器，該電路藉由在端接一3分貝正交拼合耦合器202之同相與正交埠202C、202D之不同電抗中切換而產生相移。各電抗端接208、210產生大小接近一但具有不同相角之複合反射係數。各電抗可用電感、電容、電感加電容，或以傳輸線

五、發明說明 (19)

段製造。此一具體形式中，電抗 208、210 為等效電抗，而開關 204 及 206 為縱排操作，二者皆開斷或二者皆閉合，以提供對稱操作。RF 輸入係在埠 202A 處；相移器 RF 輸出係在埠 202B 處。開關 204、206 為 RF MEM 開關，如圖 2 及 3 中所示。相移下式求出：

$$\Delta \phi_n = -2 [\tan^{-1}(B) \delta_{fn}]$$

其中 $n = 0、1$ ， $\delta = \text{Kronecker 三角函數} = 1$ （開關開斷）、 0 （開關閉合）。

不同於 PIN 二極體及 FET 開關，用以起動金屬—金屬 RF MEMS 開關之直流偏壓未耦合至 RF 傳輸線路。此一反射相移器具體形式每單格或區段僅有二個相位狀態（1 位元）；此亦為使用 PIN 二極體或 FET 開關之習用反射相移器之情形。

在反射相移器構形中，MEM 開關能將各端接電抗平行結合。因此，3 位元相移器（包括三個區段）之功能可結合於單一區段內。此等新式電路佔據與習用單一位元相移器電路相同之線跡，但具有增加之能力，產生兩倍或更多數目之相移位元，且於一寬頻帶之寬度上具有較少之 RF 損耗。

因此，於反射相移器內使用一新式之單極多擲之接面提供另一新式之反射相移器構形。此因金屬—金屬觸點 RF MEMS 開關所顯現之 RF 特性而具可實現性。使用單一相移器“區段”或單格時，多相位狀態可藉由在端接該耦合器之不同電抗內切換予以實現。使用二極體（PIN 或變容二極

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝

訂

線

五、發明說明 (20)

體) 及 FET 開關對此一構造不適當，原因為與此等元件關連之較高 RF 損耗，及因沿 RF 路徑所需偏壓電路所致之性能限制。

圖 12 為例示使用 SP3T MEM 開關電路實現“多位元”反射相移器區段之示意圖。此一具體形式中，圖 11 之 SPST 開關具體形式以 SP3T MEM 開關電路 224、226 取代，後者各藉由使用三個如圖 8B 所例示之 SPST 開關予以製成。SP3T 電路可藉由將三個 SPST MEM 開關晶片黏合至一共同接面，或在單一底質或晶片上將三個 SPST MEM 開關與一共同接面結合而製成。各別之埠 224A、224B、224C 予耦合至對應之標準化電抗 228A、228B、228C，以提供選擇端接電抗之裝置。電路 220 所提供之相移 $\Delta \phi_{xyz}$ 如下所示：

$$\Delta \phi_{xyz} = -2[\tan^{-1}(A)*x + \tan^{-1}(B)*y + \tan^{-1}(C)*z]$$

其中 x 在埠 224A 為開斷時 = 1，而在閉合時 = 0；y 在埠 224B 為開斷時 = 1，而在閉合時 = 0；z 在埠 224C 為開斷時 = 1，而在閉合時 = 0。開關 224 及 226 為縱排操作，以使電抗 228A 及 230A 一起被選出，或使電抗 228A、230C 一起被選出，或使電抗 228C、230C 一起被選出，或使二者開關開斷。

應用使用 RF MEMS 實施 SP3T 接面之手法以提供圖 13 中例示之相移器端接區段 250，而對圖 12 之反射相移器 220 之端接提供 0°、90°、180° 及 270° 之相位狀態。電路 250 可製成單石或拼合元件，且包含 SPST MEM 開關 254、256、258 所連接之 RF 埠 252。MEM 開關 254 將節點 252 耦合至電容器 260 及地面。MEM 開關 256 將節點 252 耦合至

五、發明說明 (21)

電容器 262 及地面。MEM 開關 258 將節點 252 耦合至電容器 264 及地面。

操作時，所有 MEM 開關 254、256、258 均開斷，以提供參考相位 (0°)。於 90° ，MEMS 254 為閉合而 MEMS 256、258 均開斷。於 180° ，MEMS 256 為閉合，而 MEMS 254 及 258 均開斷。於 270° ，MEMS 258 為閉合，而 MEMS 254 與 256 均閉合。電容器 260 及電感器 262 與 264 之電抗值予選出以提供各別之所需相移。

在一例示性具體形式中，相移器區段 250 可製成跨過 8 GHz 至 12GHz 之寬頻帶操作。

圖 14 例示使用如圖 13 所示 SP3T MEM 開關電路之單一區段 2 位元反射相移器 270。該相移器於 3 分貝拼合耦合器 276 之 RF 埠具有 RF 埠 272、274。SP3T MEM 開關電路 250-1 及 250-2 係於耦合器 256 之同相與正交埠處連接。此一具體形式中，電抗端接予整合入 MEM 開關電路內。該四個相位狀態係藉由縱排操作 MEMS 250-1、250-2 予以提供，以於各別之 MEMS 中選成對稱電抗。因此，該參考相位狀態係在所有 MEMS 均開斷時提供，而該三個相移狀態係藉由將合併組成各別 SP3T 開關電路 250-1、250-2 之對應 SPST MEM 開關閉合予以提供。

圖 15 顯示一採用具有整合電抗端接之 SPST MEM 開關之替代之 2 位元反射相移器電路 300。此一構形採用二個串聯之單一位元區段 200-1 及 200-2。區段 200-1 及 200-2 屬圖 11 中例示之類型。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

五、發明說明(22)

一設計以實現 0° 、 22.5° 、 45° 及 67.5° 相位狀態之相移器區段 320 示於圖 16。此相移器區段可製成跨過 8 GHz 至 12 GHz 寬頻帶操作。電路 320 可製成包含 SPST MEM 開關 330、332、334 所連接 RF 埠 322 之單石或拼合元件。MEM 開關 324 將節點 322 耦合至電容器 330 及地面。MEM 開關 326 將節點 322 耦合至電感器 332 及地面。MEM 開關 328 將節點 322 耦合至電感器 334 及地面。此一相移器區段以類似對圖 13 之電路 250 所述方式操作；然而，電抗值將予選出以提供 22.5° 、 45° 及 67.5° 之相位狀態。

圖 17 例示一反射相移器 350，採用圖 16 之電路 320 所例示類型之 2 位元反射相移端接電路。相移器 350 具有 RF 埠 352、354 及一正交耦合器 356。2 位元反射元件 320-1 及 320-2 係連接至耦合器 356 之同相與正交側臂埠。SP3T 開關電路 320-1 及 320-2 係成縱排操作，使用對應之端接電抗值以提供平衡操作。

圖 14 及 17 之二個相移器區段結合以形成具有 16 個相位狀態（圖 18）之 4 位元相移器之等似物。因此，相移器電路 380 具有 RF 埠 382 及 384。二正交拼合耦合器 386、388 係串聯，而耦合器 386 之 RF 輸出埠 386B 耦合至耦合器 388 之 RF 輸入埠 388A。具有整合電抗端接（如圖 13 中所示）之 SP3T MEM 開關電路 250-1 及 250-2 係連接至同相與正交耦合器 386 之側臂埠。由於第一區段（包括耦合器 386）提供 0° 、 90° 、 180° 及 270° 之相移狀態，且由於第二區段（包括耦合器 388）提供 0° 、 22.5° 、 45° 及 67.5°

裝訂線

五、發明說明 (23)

之相移狀態，相移器 380 可提供 16 個相移狀態。

以上對於圖 14 與 17 所述之相移器區段將各 SP3T 介面內之 SPST MEM 開關一次起動一個。當多個開關同時起動且其等對應之電抗端接平行加在一起時可獲致更大之進步。由此等電抗之平行組合獲得之新阻抗實現額外之相位狀態。由於金屬-金屬觸點 RF MEMS 開關所產生之高隔離作用及低 RF 損耗，故此再次成爲可能。

圖 19 與 20 例示一設計成在同時起動多個開關時使用基線路端接之平行組合產生相位狀態之電路。圖 20 爲一具有 RF 埠 422 及 424 之反射型 3 位元相移器 420 及一具有同相與正交埠 426A、426B 之拼合式 3 分貝耦合器 426 之示意圖。具有一 SP3T 介面之各別 MEM 開關電抗端接電路 400-1 及 400-2 予用以端接耦合器埠 426A、426B。

圖 19 顯示一如圖 20 之電路中所用例示性 MEM 開關電抗端接電路 400。由一具有三個分別連接至電抗 410、412、414 之 SPST MEM 開關 404、406、408 之介面 402 有可能實現多達八個之相位狀態，以實現 3 位元相移器。此單一區段 3 位元相移器電路等於三個使用 6 個個別 PIN 二極體開關元件之習用單一位元相移器區段之相移性能。電路 420 以一平衡之構形採用相同之電路 400-1 及 400-2。

單一區段 3 位元相移器亦可藉由具有 16 個個別開關元件置串聯摺合之單一相位區段 (圖 21) 加以實現。此示於圖 21，其中相移器 440 包括 RF 埠 442、444、及 3 分貝拼合耦合器 446。同相與正交埠 446A、446B 係以分別串聯之電

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

五、發明說明 (24)

路 450、452 予以端接。各串聯電路包括交互串聯之傳輸線段例如區段 450B，及 MEM SPST 開關例如開關 450A。於是，相移在傳輸線段以串聯方式一起切換時變成傳輸線段之累積來回時延。該累積時延係藉由 MEM 開關之適當控制以延長／縮短來回路徑長度予以選出。

圖 22 為 5 位元相移器 460 之示意圖，係用圖 10 及 16 電路之二個區段 462、464 加以實現。因此，區段 462 包括一具有連接至同相與正交埠之 SP3T MEM 開關電抗端接 250-1 及 250-2 之拼合式 3 分貝耦合器。區段 464 予串聯至區段 462，且包括具有 3P3T MEM 開關電抗端接 400-1 及 400-2 之耦合器 464A。此一新式相移器使用四個 SP3T 界面且僅用二個區段產生 32 個相位狀態。因此，金屬－金屬觸點串聯開關能有單極多擲接面，此依次能實現具有較少開關之相移器，進而較低之插入損耗與較小之成本。

依據本發明之相移器電路具有許多優點，包括由 MEM 開關產生之優點。MEM RF 開關無需任何沿該 RF 路徑之直流偏壓電路。單一 MEM RF 開關較諸一使用多個 PIN 二極體及 FET 元件之可匹擬但更複雜設計具有較佳之寬頻帶 RF 性能。於是，使用 MEM RF 開關之相移器電路可跨過一較寬頻帶操作，具有較以技藝現況元件所獲致者為較低之 RF 損耗、較高之三階截點及較高之隔離作用。此不需犧牲重量、成本或功率消耗即予完成。MEMS 之低成本製造係使用標準薄膜製程及商用積體電路工業中所用材料予以達成。不同於習用之積體電路元件，MEMS RF 開關亦可直接製作於陶瓷

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

五、發明說明（25）

拼合電路及傳統印刷電路板總成上，以獲致更低之成本。

MEMS RF 開關之使用導致實現各種跨過較寬頻帶操作之具有較目前所用技藝現況元件（或電路）中可利用者為較低之 RF 損耗、較高之三階截點及較少之直流功率消耗之相移器電路。金屬－金屬觸點 MEMS RF 開關之獨特構造容許其如同一串聯開關操作。由於金屬－金屬觸點 MEMS RF 開關之直流起動為與 RF 路徑去耦合，故此等開關無需任何沿該 RF 路徑之直流偏壓電路。因此，此等串聯開關可結合成多極多擲開關（圖 8A-8C），並可用以實現多相位切換線路之相移器電路。此等電路佔據與習用單一位元相移器電路相同之線跡，但具有增加之能力，較習用設計產生兩倍數目之相移位元，且在一寬頻帶之寬度上具有較少之 RF 損耗。

一般均了解上述具體形式僅例示可代表本發明原理之各種可能之特定具體形式。業界熟練人士可迅即依據此等原理思及其他配置而不背離本發明之範疇及精神。

四、中文發明摘要(發明之名稱:)

使用微動機電射頻開關之多位元相移器

一種射頻(RF)相移器電路，包括第一與第二RF埠(104、106)，及一包含多個回應控制信號之微動機電(MEM)開關(50A-50D)之開關電路。該開關電路係配置以選擇由相移器電路引介至通過第一與第二RF埠間之RF信號之多個分立相移值中之一個。各電路可連接以提供單極多擲(SPMT)或多極多擲(MPMT)開關功能。SPMT與MPMT開關電路可用於其他應用上，包括可切換之衰減器、可切換之濾波器組、可切換之時延線路、開關矩陣及傳輸/接收RF開關。

英文發明摘要(發明之名稱:)

MULTI-BIT PHASE SHIFTERS USING MEM RF SWITCHES

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

An RF phase shifter circuit includes first and second RF ports (104, 106), and a switch circuit comprising a plurality of micro-electro-mechanical ("MEM") switches (50A-50D) responsive to control signals. The switch circuit is arranged to select one of a plurality of discrete phase shift values introduced by the phase shifter circuit to RF signals passed between the first and second RF ports. The circuits can be connected to provide a single-pole-multiple-throw (SPMT) or multiple-pole-multiple-throw (MPMT) switch function. The SPMT and MPMT switch circuits can be employed in other applications, including switchable attenuators, switchable filter banks, switchable time delay lines, switch matrices and transmit/receive RF switches.

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁各欄)

裝

訂

線

六、申請專利範圍

選擇之電抗值。

7.如申請專利範圍第6項之電路，其中所述第一與第二電抗開關電路(400-1、400-2)係配置以選擇一個以上之所述多個之所述可選擇電抗值，供藉所述一個以上之所述多個可選擇電抗值同時端接所述同相與正交埠。

8.如申請專利範圍第7項之電路，其中所述第一與第二MEM開關電路提供MPMT開關功能。

9.如申請專利範圍第1至8項中任一項之電路，其進一步特徵為多個所述RF相移器電路予串聯以將一組分立之可選擇相移提供至通過該串聯相移器電路之RF信號。

10.如申請專利範圍第1至8項中任一項之電路，其進一步特徵為所述SPST開關中至少第一與第二個具有連接於一共同介面之所述第一埠。

11.如申請專利範圍第10項之電路，其中所述功能為一SPMT開關功能，開關投擲之數目為N，且具有於一共同介面連接之所述第一埠之所述至少第一與第二個所述SPST開關包括N個具有各別在所述共同介面處之第一埠之SPST開關。

12.如申請專利範圍第1至8項中任一項之電路，其中所述MEM開關為金屬-金屬觸點RF MEMS串聯開關。

13.如申請專利範圍第1至8項中任一項之電路，其進一步特徵為所述電路係安裝於一電子掃描陣列內，包含：

一線性之發射元件陣列(20)；

一相移器陣列(30)，耦合至發射元件；

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

六、申請專利範圍

一 RF 歧管 (40)，包括多個相移器埠，分別耦合至對應之相移器 RF 埠與一 RF 埠；及

一波束操縱控制器 (44)，將相移控制信號提供至各相移器，以控制該相移器陣列之相移設定；

且其中所述相移器各包括多個回應所述控制信號之微動機電 (MEM) 開關 (50)，以選出分立相移設定數中之一個用於各別之相移器。

14. 一種 RF 開關電路 (224)，其構形為對 RF 信號提供單極多擲 (SPMT) 或多極多擲 (MPMT) 開關功能，包含多個單極多擲 (SPST) 微動機電 (MEM) RF 開關，各自回應直流控制信號以控制該開關之開斷閉合狀態，所述 SPST MEM 開關各自包括一第一 RF 埠與一第二 RF 埠，且其中所述 SPST 開關之至少第一與第二個具有於一共同接面連接之所述第一埠。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

9.11.6100

圖 1.

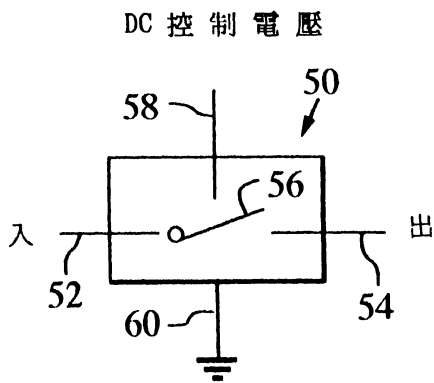
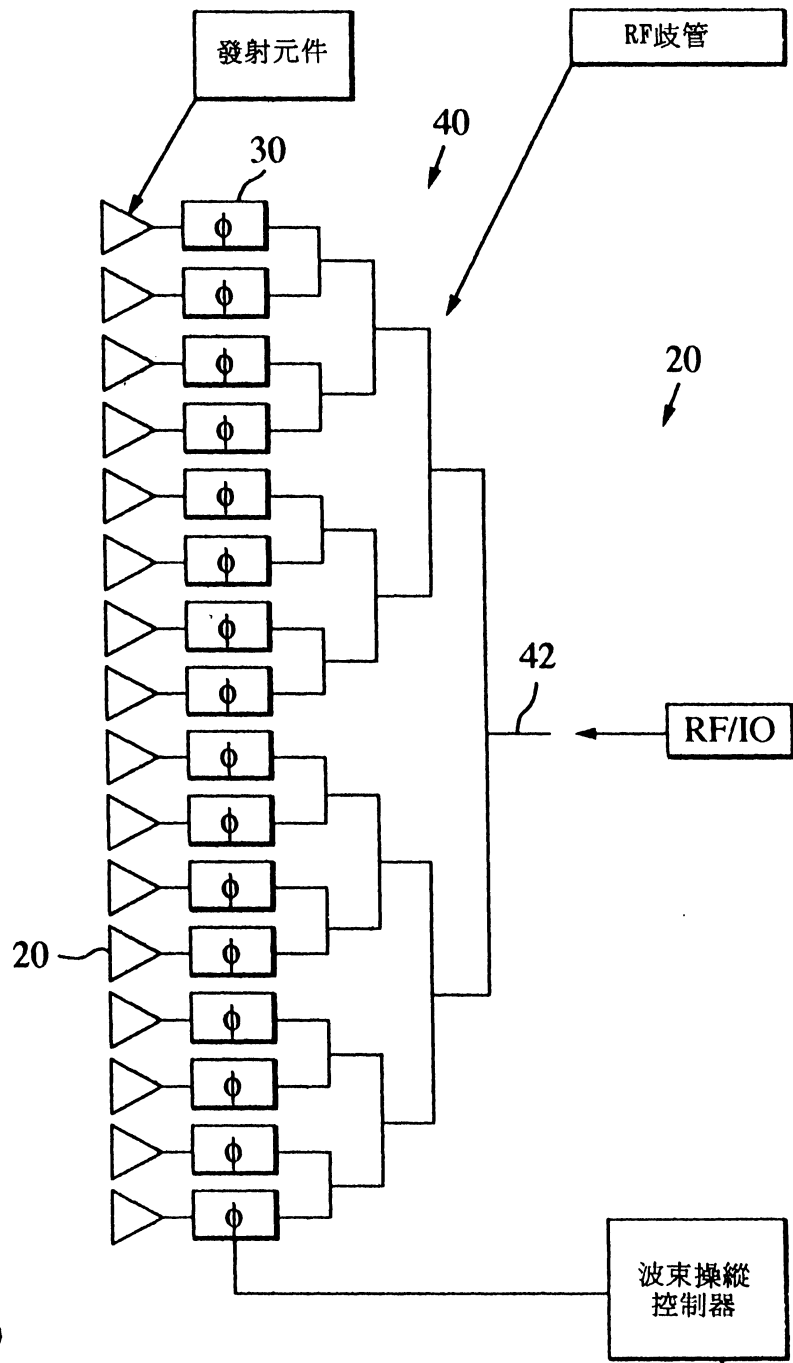


圖 2.

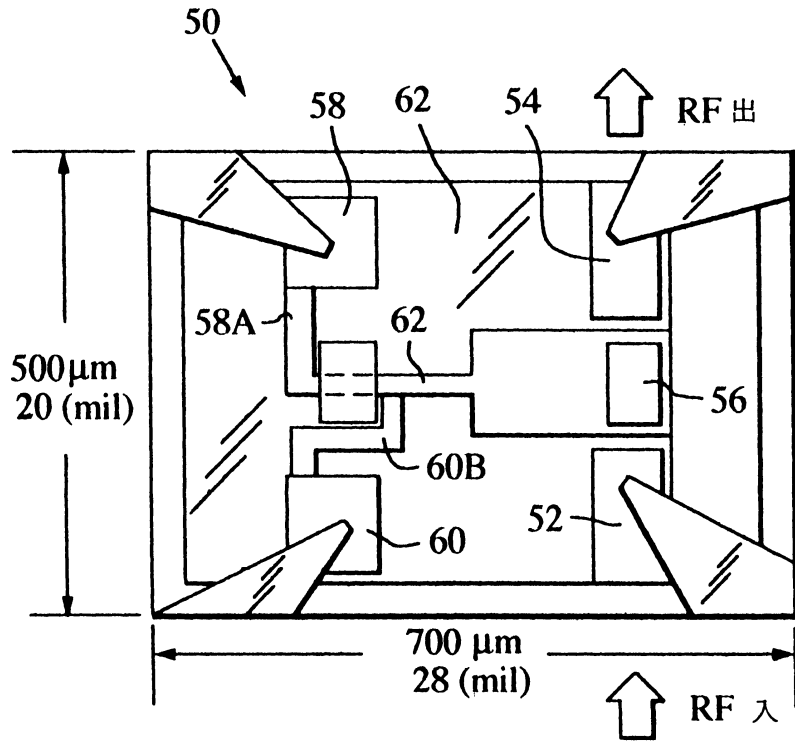


圖 3A.

開關開斷 (信號隔離)

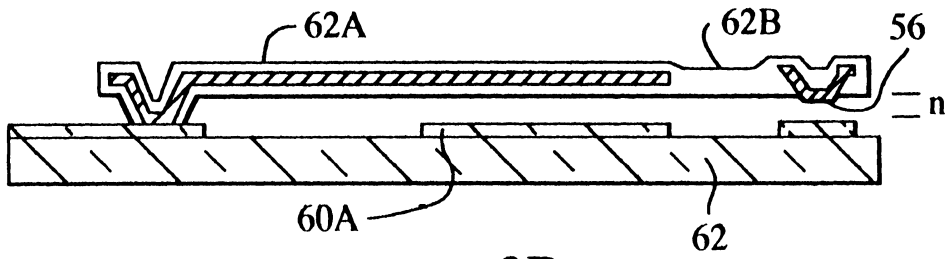


圖 3B.

開關閉合 (信號傳輸)

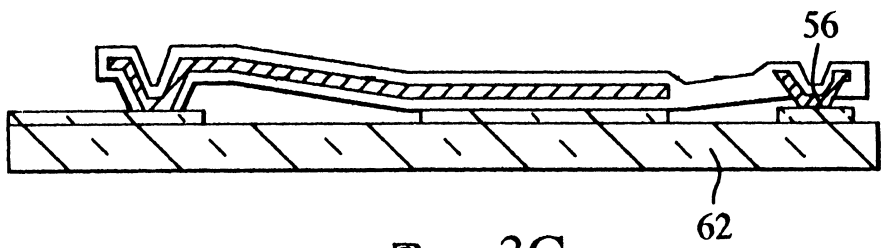


圖 3C.

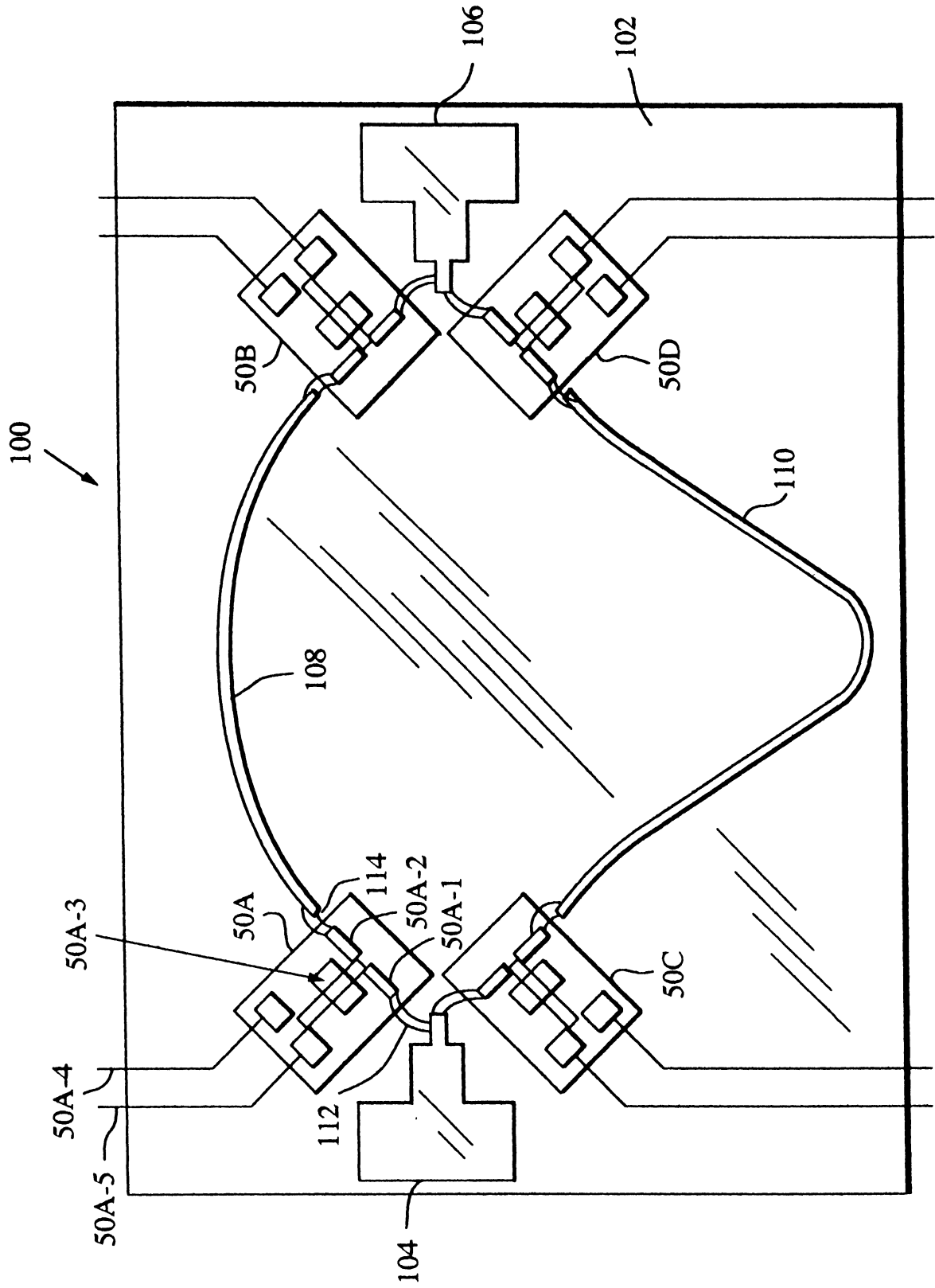


圖 4A.

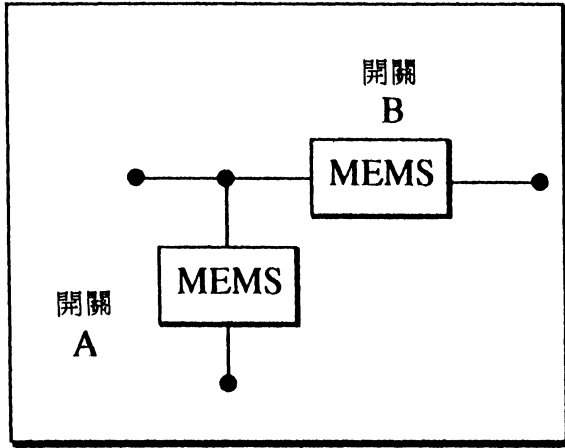


圖 4B.

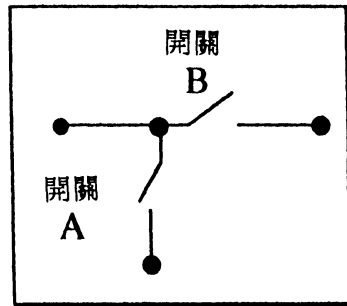


圖 4C.

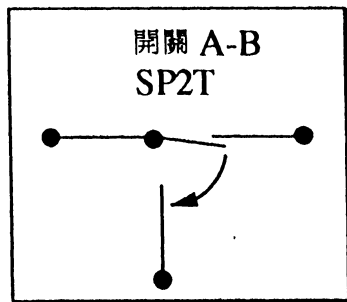


圖 4D.

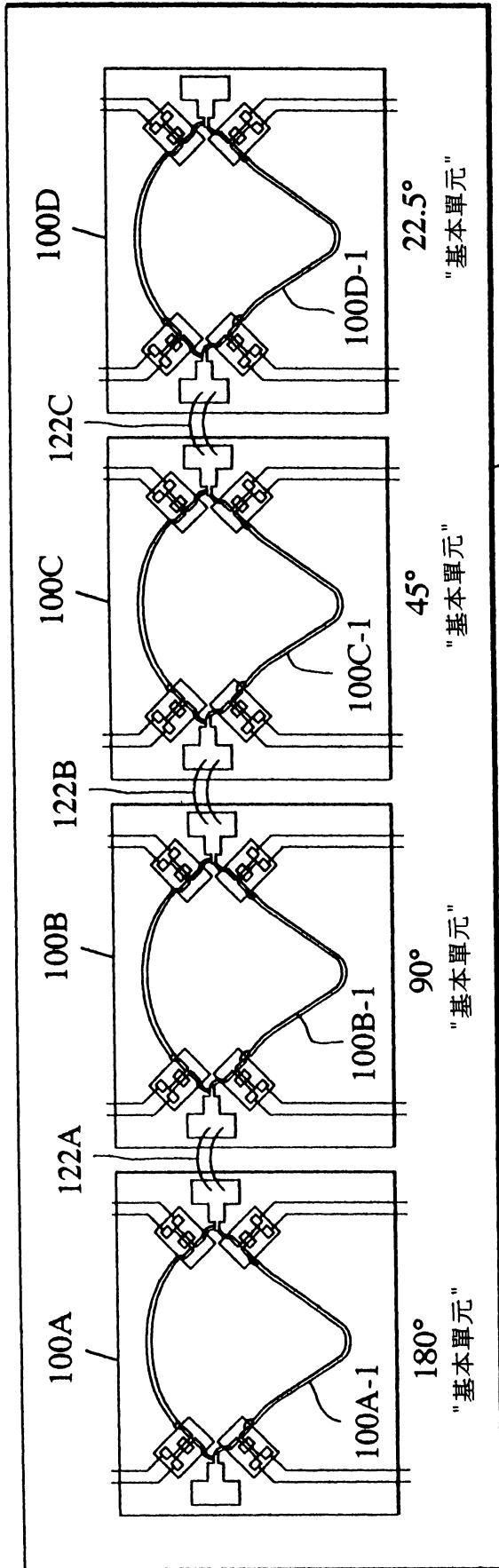


圖 5.

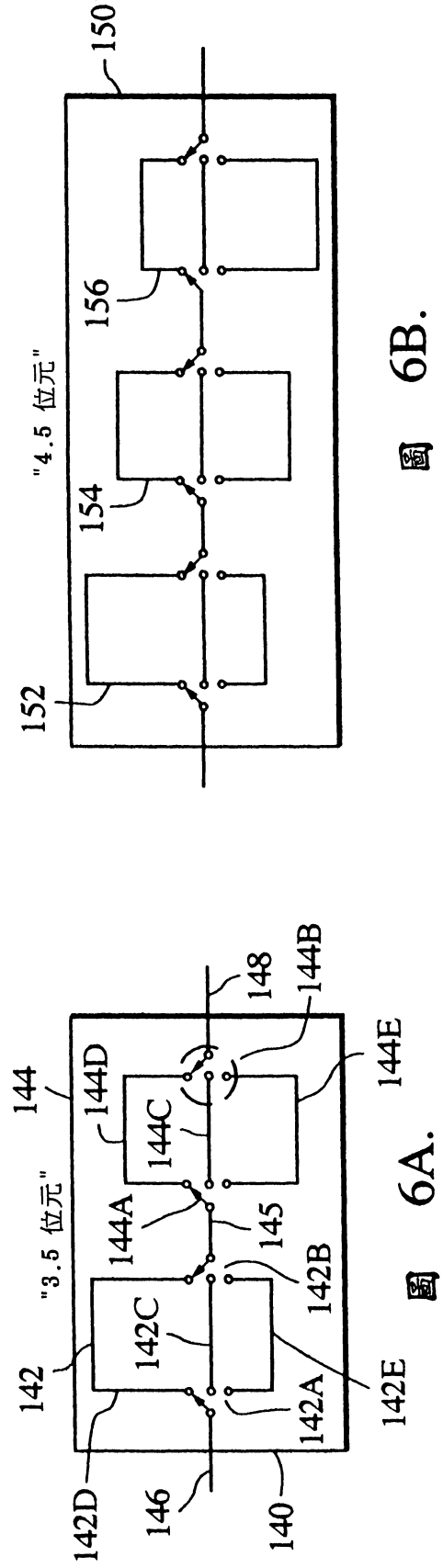
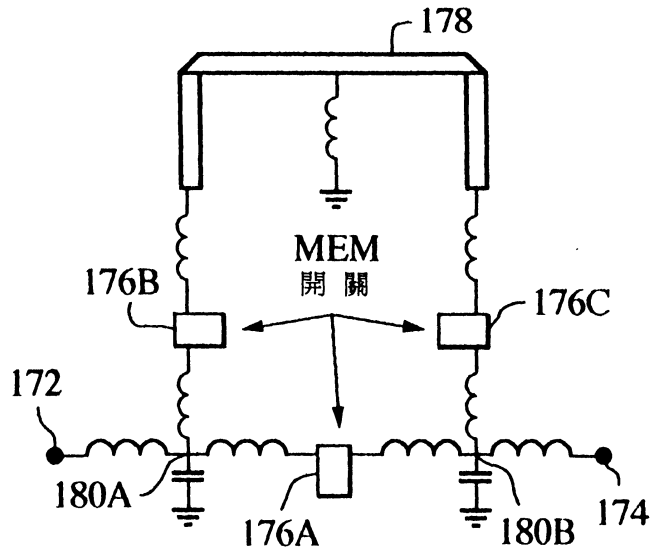


圖 6A.

圖 6B.



170

圖 7.

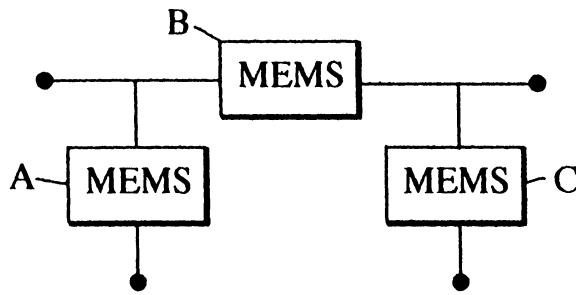


圖 8A.

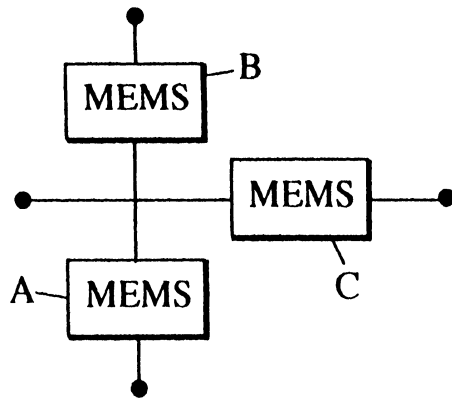


圖 8B.

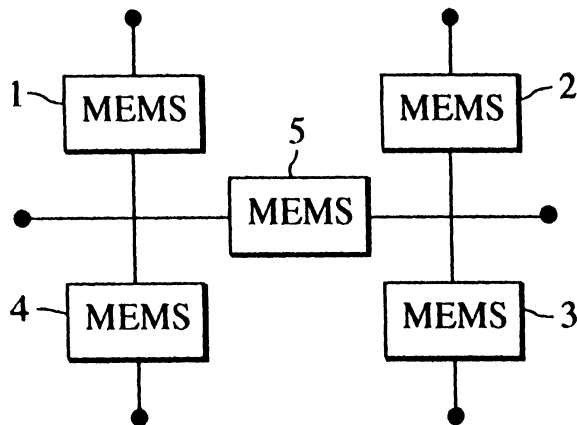


圖 8C.

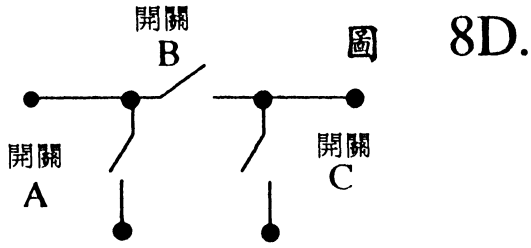


圖 8D.

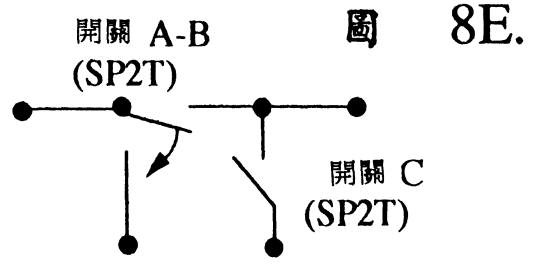


圖 8E.

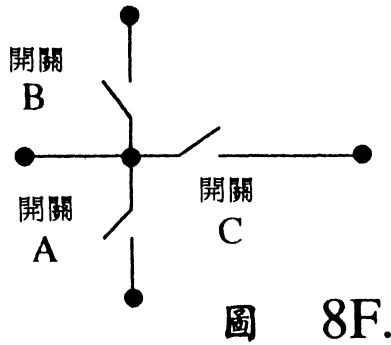


圖 8F.

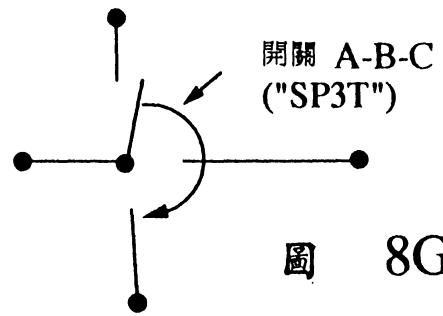


圖 8G.

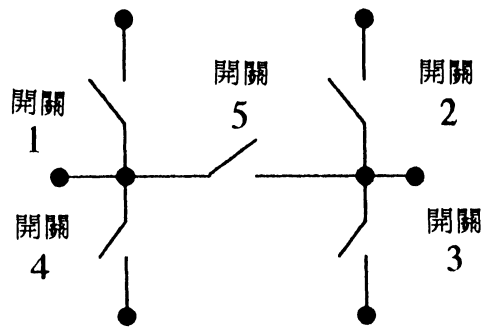


圖 8H.

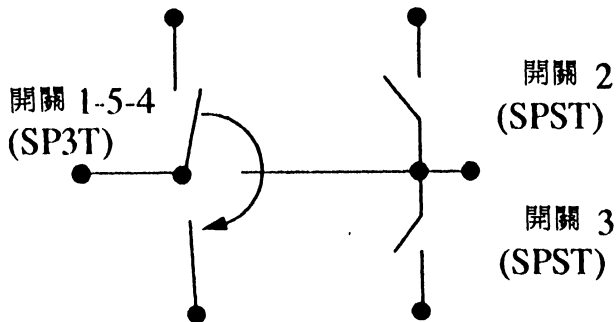


圖 8I.

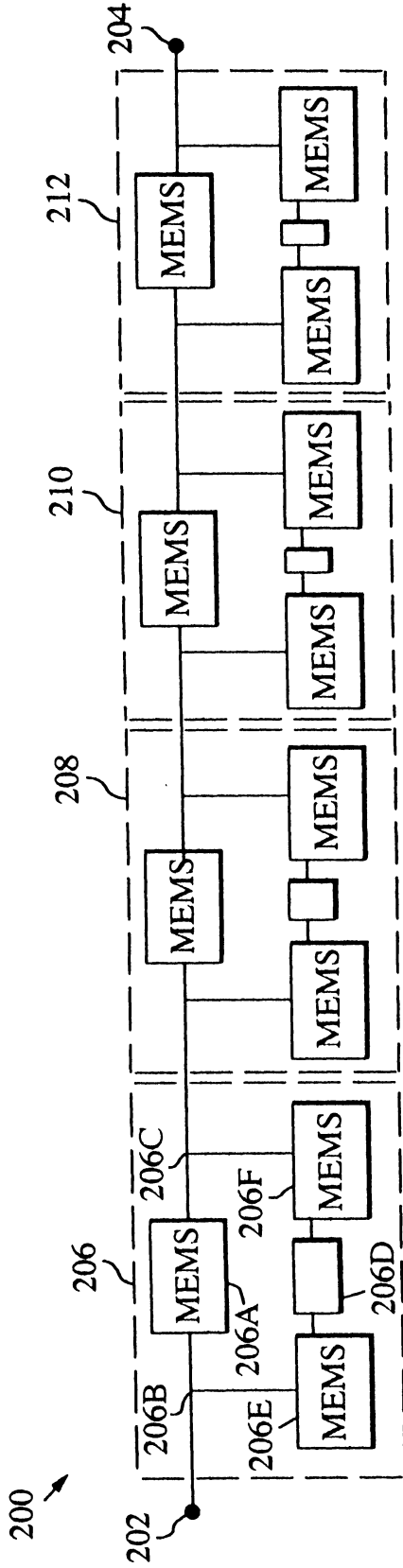


圖 9.

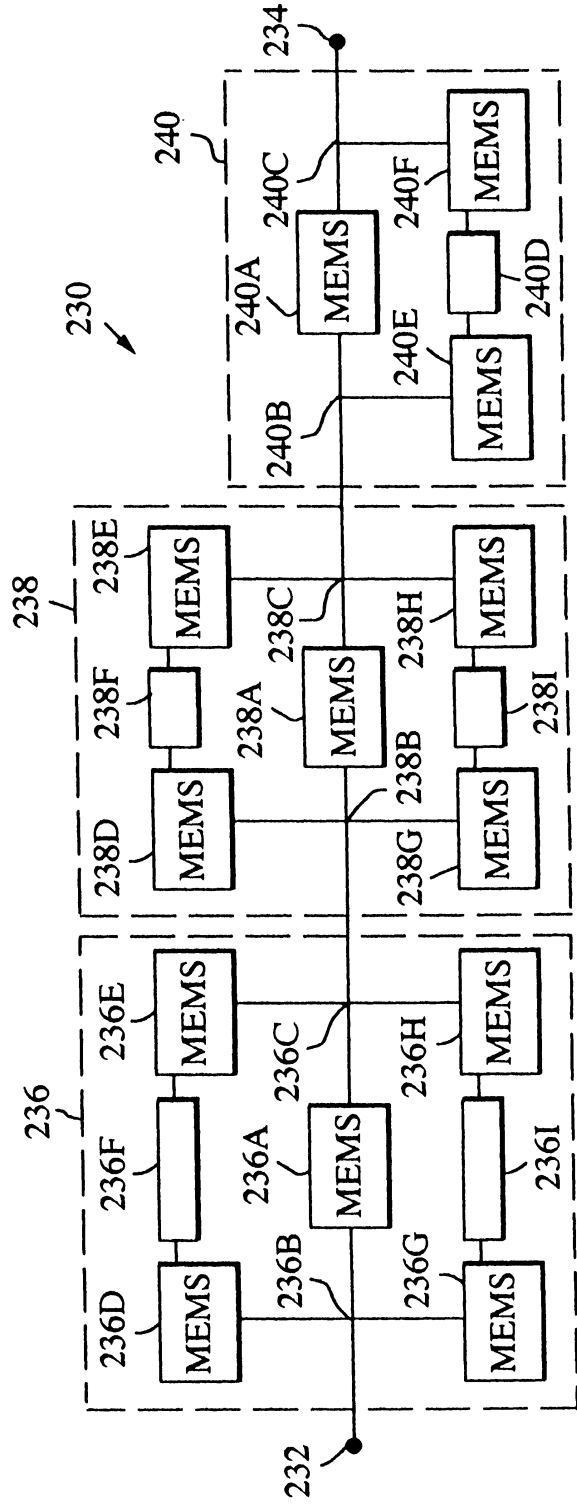


圖 10.

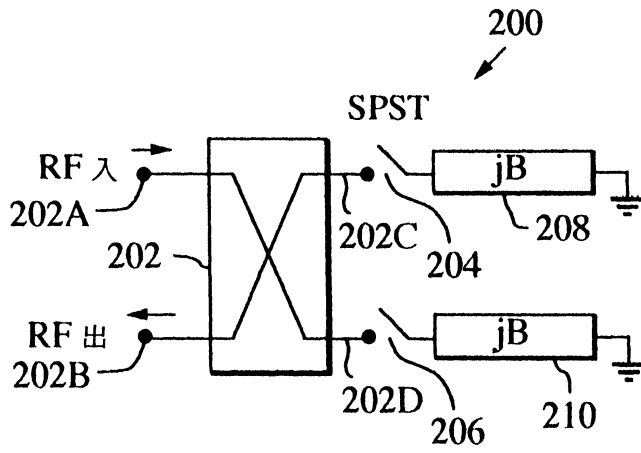
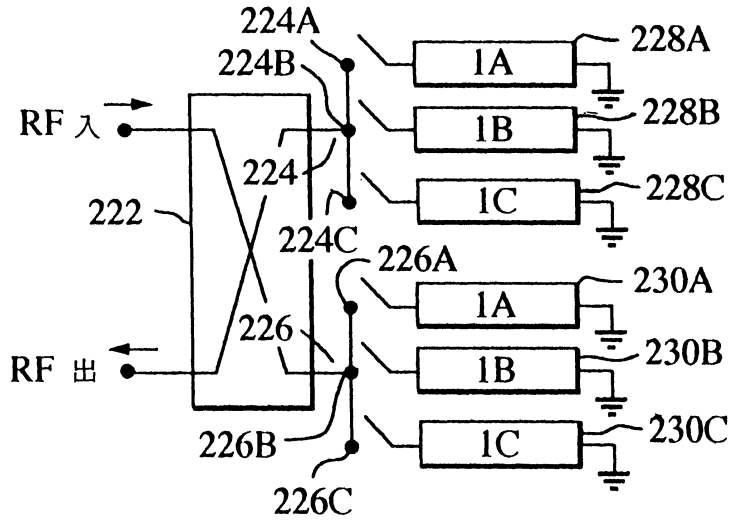


圖 11.



220

圖 12.

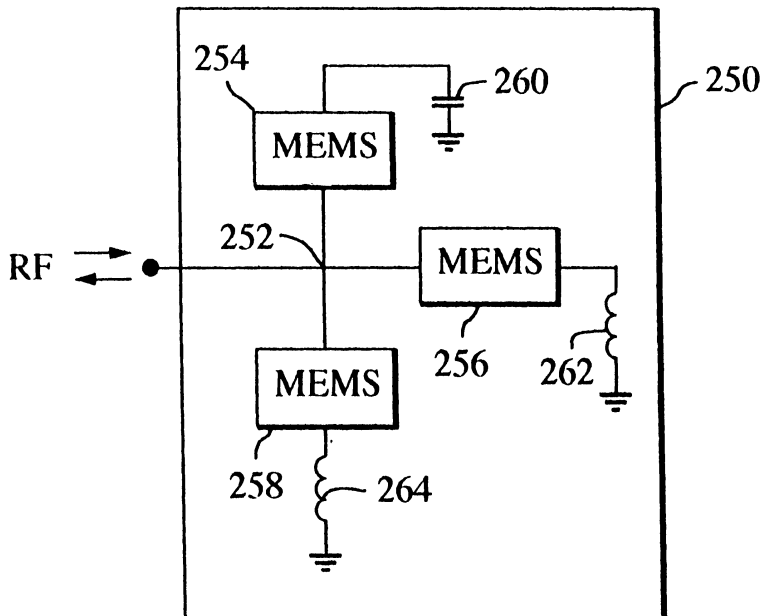


圖 13.

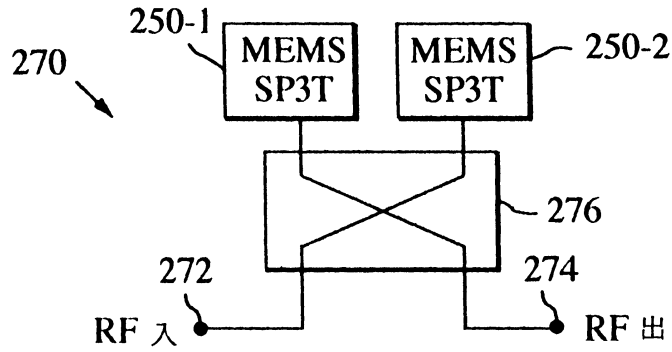


圖 14.

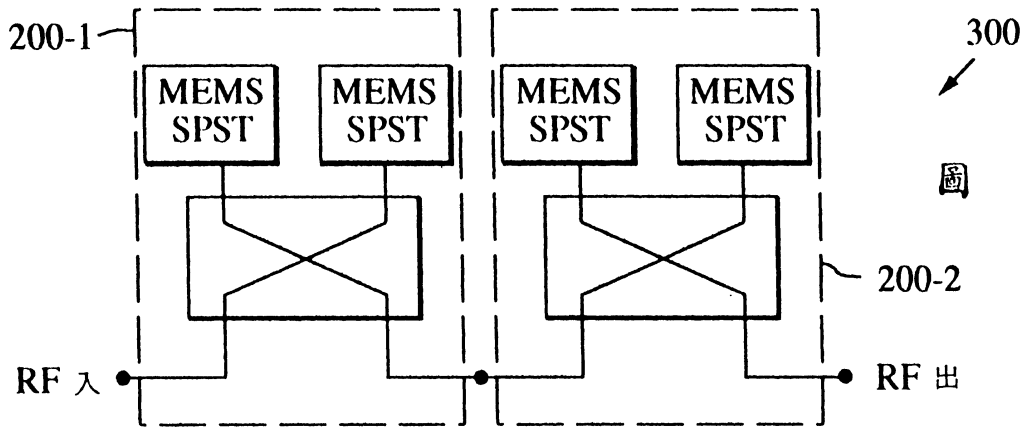


圖 15.

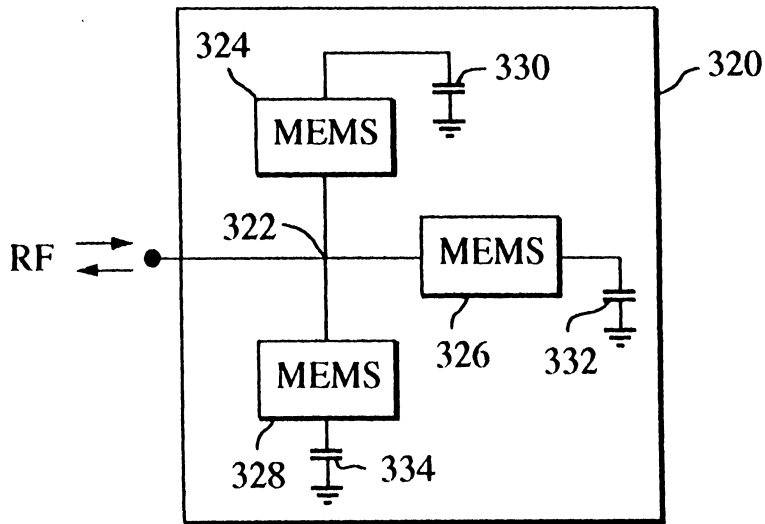


圖 16.

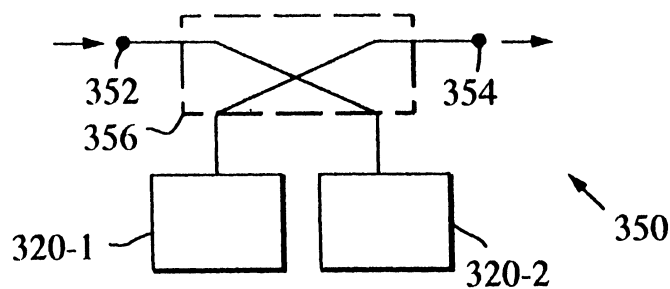


圖 17.

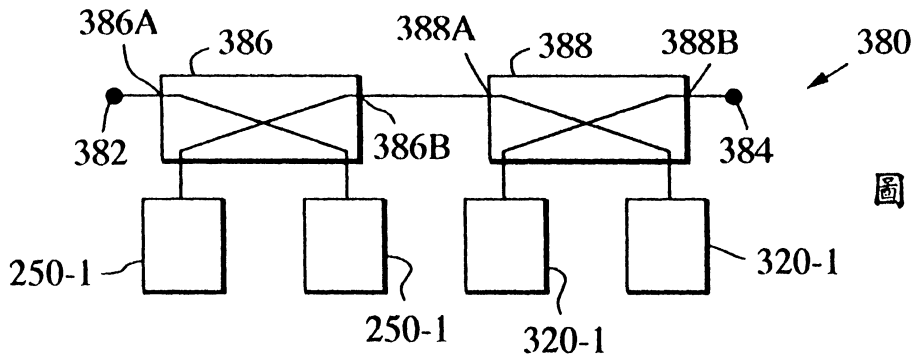


圖 18.

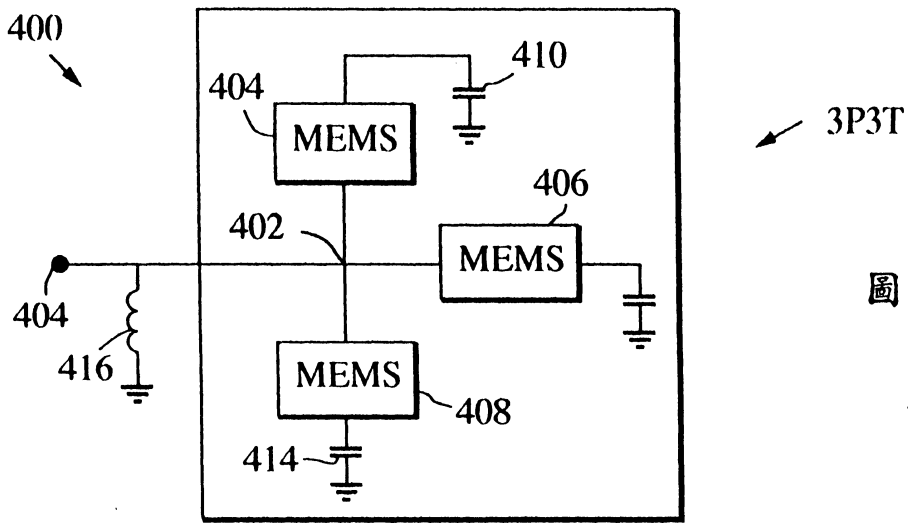


圖 19.

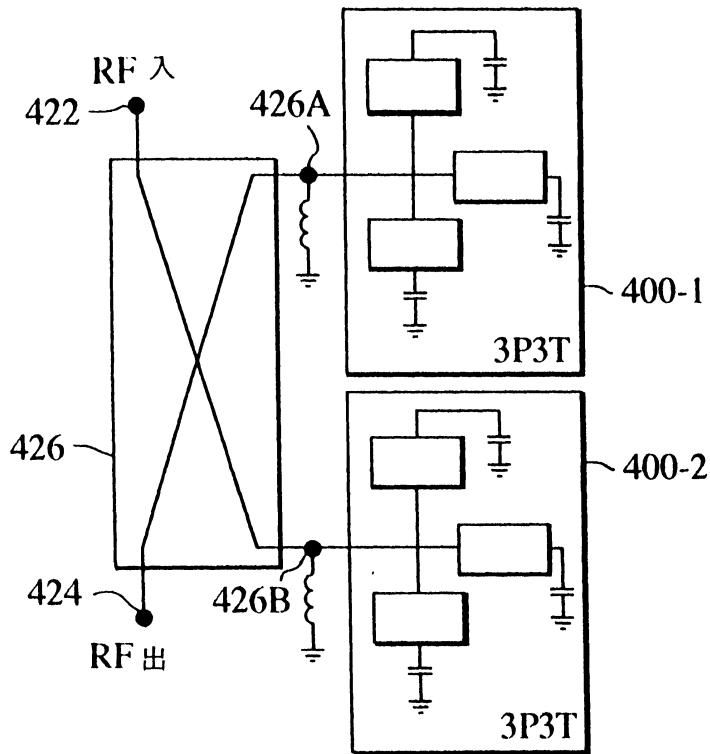


圖 20.

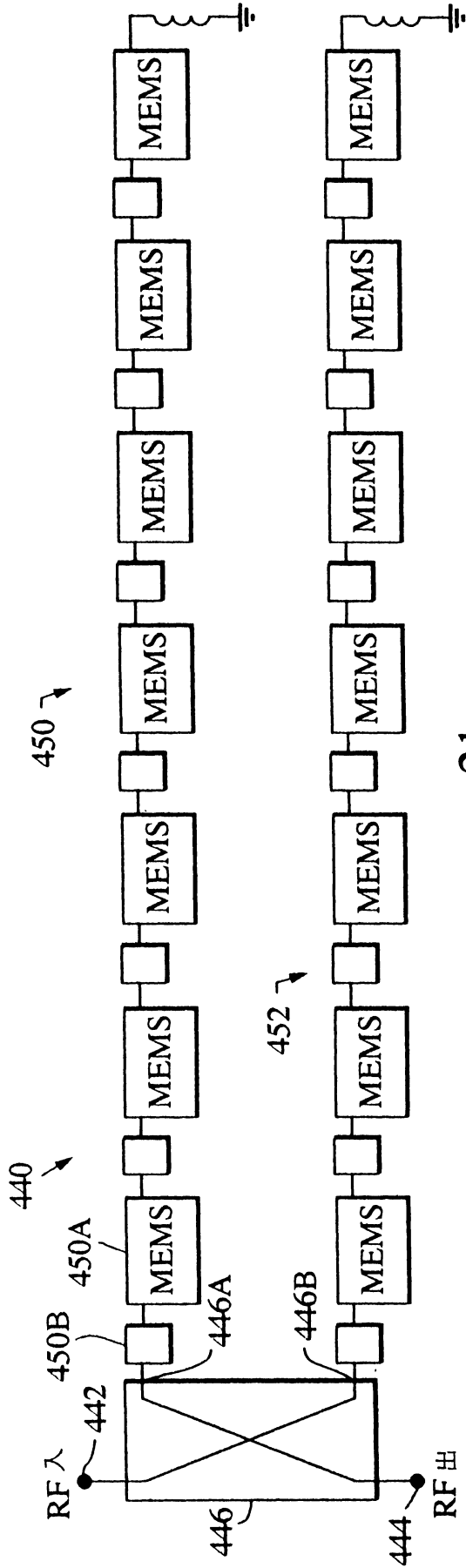


圖 21.

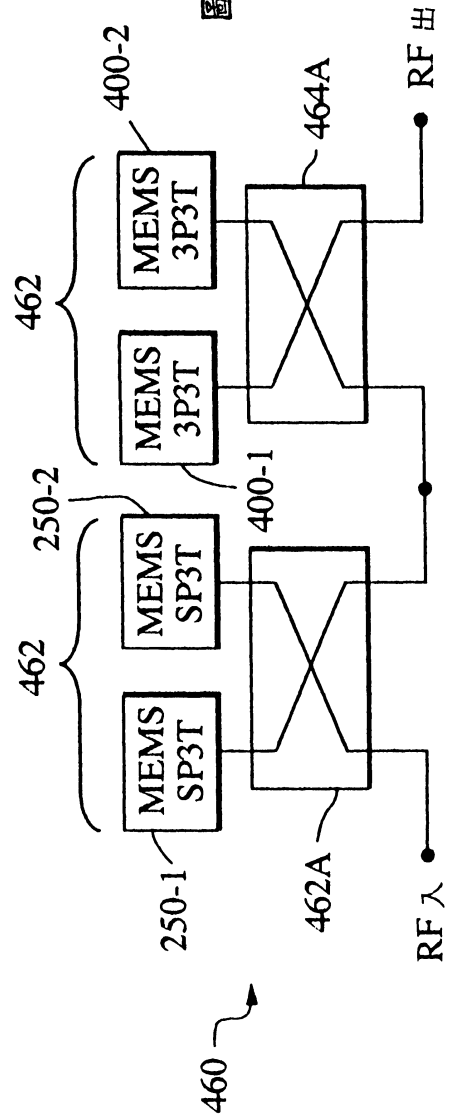


圖 22.

公告本

91.11.27 修正
年 月 日 補充

申請日期	90.06.29
案 號	90116100
類 別	H01P 1/8

A4
C4

554564

(以上各欄由本局填註)

發 明 專 利 說 明 書

一、發明 名稱	中 文	使用微動機電射頻開關之多位元相移器
	英 文	MULTI-BIT PHASE SHIFTERS USING MEM RF SWITCHES
二、發明 創作人	姓 名	1. 羅伯艾利森 2. 布萊恩皮爾 3. 克里登廣
	國 籍	均為美國
	住、居所	1. 美國加州帕羅維農場拉克維道6910號 2. 美國加州萊蘭諾雪菲爾道22501 號 3. 美國加州阿卡迪亞北佛羅里達道5521號
三、申請人	姓 名 (名稱)	美商瑞森公司
	國 籍	美國
	住、居所 (事務所)	美國加州艾爾希岡多市 東艾爾希岡多大道 2000 號
	代 表 人 姓 名	格蘭藍

裝

訂

線

五、發明說明 (25a)

圖式主要元件符號說明

1-5 : 微動機電開關元件

20 : 電子掃描天線

30、150、170、230、270、350、440、460 : 相移器

40 : 射頻歧管

42、52、54、104、106、172、174、202A-D、204、

222、232、234、272、274、352、354、382、384、

422、424、442、444 : 射頻埠

44 : 波束操縱控制器

50 : 射頻微動機電開關

56 : 電樞

60 : 接地

62 : 樑

100A-100C : 單一位元單格

102 : 低損耗底質

122A-C : 搭接線

140、200、300 : 相移器電路

142、144 : 格子

142A-B、144A-B、254、256、258 : 微動機電開關

176A-C、206A、206E-F、236A、236D-E、236G-H、238A、

238D-E、238G-H、240A、240E-F、324、326、328、

404、406、408、450A : 單極單擲微動機電開關

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

五、發明說明 (25b)

202、276、356、386、388、426、446、462A、

464A：耦合器

206B-C、238B-C、240B-C：射頻端

224、226：單極三擲微動機電開關電路

228A-C、410、414：電抗

260、330、332、334：電容器

452：串聯電路

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

六、申請專利範圍

1. 一種射頻 (RF) 相移器電路，包含：

第一與第二 RF 埠 (104、106)；

一開關電路，包含多個回應各控制信號之單極單擲 (SPST) 微動機電 (MEM) 開關 (50A-50D)，所述開關電路係配置以選出藉相移器電路引介至通過第一與第二 RF 埠間之 RF 信號之多個分立相移值中之一個，所述電路予連接以提供單極多擲 (SPMT) 或多極多擲 (MPMT) 開關功能。

2. 如申請專利範圍第 1 項之電路，其中所述相移器電路為一切換線路相移器電路，且進一步包括一參考相位信號路徑 (108) 與至少一相移路徑 (110)，所述開關電路係配置以回應相移控制信號而選出所述參考信號路徑或所述至少一信號路徑中之一個。

3. 如申請專利範圍第 2 項之電路，其中一單一微動機電 (176A) 開關選出所述參考信號路徑。

4. 如申請專利範圍第 3 項之電路，其中所述單一 MEM 開關提供所述參考信號路徑。

5. 如申請專利範圍第 1 項之電路，其中所述相移器為一反射相移器 (200)，其中該 MEM 開關電路係配置以從決定相移值之多個端接電抗值 (208、210) 作選擇。

6. 如申請專利範圍第 5 項之電路，尚包含一耦合器裝置 (202)，具有第一與第二 RF 輸入／輸出埠 (202A、202B) 及同相與正交埠 (202C、202D)，所述 MEM 開關電路包括第一與第二電抗開關電路，分別將第一與第二端接電抗電路選擇性耦合至同相與正交埠，各所述電抗電路包括多個可

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線