



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0043509

(51)⁸ H01Q 7/06

(13) B

(21) 1-2018-01144

(22) 18/08/2016

(86) PCT/US2016/047455 18/08/2016

(87) WO2017/044275 16/03/2017

(30) 14/849,643 10/09/2015 US

(45) 25/02/2025 443

(43) 25/05/2018 362A

(73) Quantum Wave LLC (US)

414 Church Street, Suite 308 Sandpoint, ID 83864, United States of America

(72) CORUM, James, F. (US); CORUM, Kenneth, L. (US); LILLY, James, D. (US).

(74) Công ty Luật TNHH T&G (TGVN)

(54) HỆ THỐNG VÀ PHƯƠNG PHÁP TẠO VÀ NHẬN SÓNG BỀ MẶT ĐƯỢC DẪN HƯỚNG BẰNG CÁCH SỬ DỤNG CUỘN DÂY TỪ TÍNH CÓ LỖI VỚI ĐỘ TỪ THÂM CAO

(21) 1-2018-01144

(57) Sáng chế đề cập đến hệ thống và phương pháp tạo và nhận sóng bề mặt được dẫn hướng. Các khía cạnh của các cuộn dây từ tính có các lõi với độ thấm từ tương đối cao được mô tả. Theo một số phương án, hệ thống bao gồm kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng được tạo kết cấu để thu được điện năng từ sóng bề mặt được dẫn hướng di chuyển suốt môi trường mặt đất. Kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng bao gồm cuộn dây từ tính và lõi được bố trí trong cuộn dây từ tính. Lõi theo một số phương án có độ thấm từ tương đối lớn hơn khoảng 10 và nhỏ hơn khoảng 1.000.000. Tải điện được ghép với kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng, với tải điện được hiểu là tải ở nguồn kích thích được ghép với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng tạo ra sóng bề mặt được dẫn hướng.

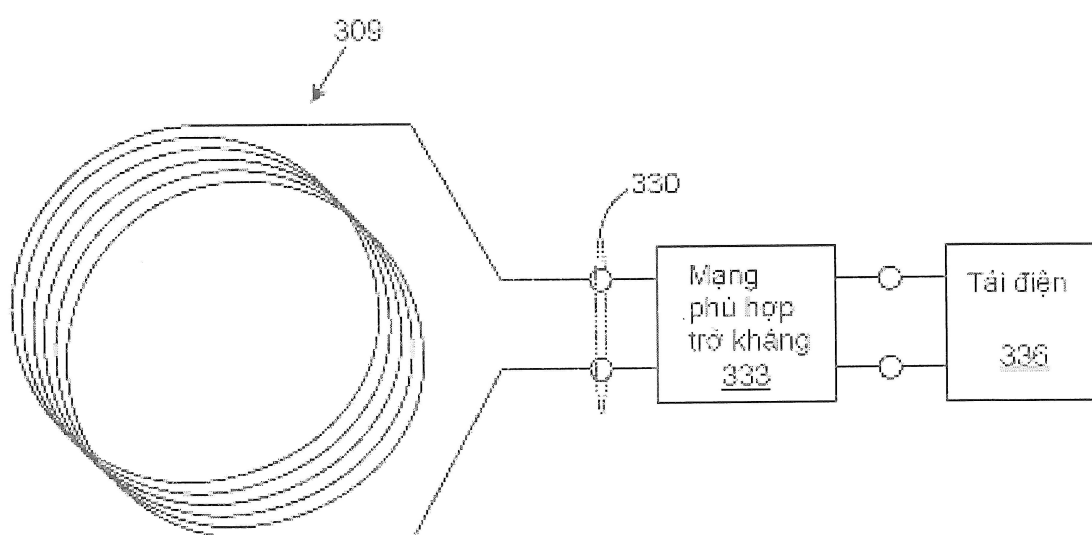


FIG. 19

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế nói chung là đề cập đến hệ thống và phương pháp tạo và nhận sóng bề mặt được dẫn hướng.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Khoảng hơn một thế kỷ, các tín hiệu được truyền bởi các sóng vô tuyến bao gồm các trường bức xạ được phóng bằng cách sử dụng các kết cấu ăng ten thông thường. Ngược với khoa học vô tuyến, các hệ thống phân phối điện năng ở thế kỷ gần đây bao gồm việc truyền năng lượng được dẫn hướng dọc theo các dây dẫn điện. Việc hiểu này về sự phân biệt giữa tần số sóng vô tuyến (radio frequency - RF) và việc truyền năng lượng đã tồn tại từ đầu thế kỷ 1900.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Theo một phương án, hệ thống bao gồm đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng mà được tạo kết cấu để tạo ra sóng bề mặt được dẫn hướng mà di chuyển ngang qua môi trường trên mặt đất. Hệ thống bao gồm kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng được tạo kết cấu mà thu được điện năng từ sóng bề mặt được dẫn hướng. Kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng bao gồm cuộn dây từ tính và lõi được bố trí trong cuộn dây từ tính. Lõi có độ từ thẩm tương đối lớn hơn khoảng 10 và nhỏ hơn khoảng 1.000.000. Hệ thống bao gồm tải điện được ghép với kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng. Tải điện được hiểu là tải ở nguồn kích thích được ghép với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng.

Theo phương án khác, điện năng được nhận dưới dạng sóng bề mặt được dẫn hướng bằng cách sử dụng kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng. Kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng bao gồm cuộn dây từ tính và lõi được bố trí trong cuộn dây từ tính. Lõi có độ từ thẩm tương đối lớn hơn khoảng 10 và nhỏ hơn khoảng

1.000.000. Điện năng được cấp đến tải điện được ghép với kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng.

Theo phương án khác, kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng được tạo kết cấu để thu được điện năng từ sóng bề mặt được dẫn hướng di chuyển ngang qua môi trường trên mặt đất. Kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng bao gồm cuộn dây từ tính và lõi được bố trí trong cuộn dây từ tính. Lõi có độ từ thẩm tương đối lớn hơn khoảng 10 và nhỏ hơn khoảng 1.000.000. Tải điện được ghép với kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng. Tải điện này được hiểu là tải ở nguồn kích thích được ghép với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng tạo ra sóng bề mặt được dẫn hướng.

các hệ thống, các phương pháp, các dấu hiệu, và các ưu điểm khác của sáng chế này sẽ hoặc trở nên rõ ràng với người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật tương ứng dựa vào việc xem xét các hình vẽ và phần mô tả chi tiết sáng chế sau. Được dự định là toàn bộ các hệ thống, các phương pháp, các dấu hiệu, và các ưu điểm bổ sung như vậy được bao gồm trong phần mô tả này, đều nằm trong phạm vi của sáng chế, và được yêu cầu bảo hộ bởi các điểm yêu cầu bảo hộ kèm theo.

Ngoài ra, toàn bộ các dấu hiệu và các cải biến tùy ý và ưu tiên của các phương án được mô tả hữu dụng theo toàn bộ các khía cạnh của toàn bộ sáng chế được đề cập trong bản mô tả này. Hơn nữa, các dấu hiệu độc lập của các điểm yêu cầu bảo hộ phụ thuộc, cũng như toàn bộ các dấu hiệu và các cải biến tùy ý và ưu tiên của các phương án được mô tả có thể kết hợp và có thể hoán đổi được với nhau.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Nhiều khía cạnh của sáng chế có thể tốt hơn là được hiểu dựa vào các hình vẽ sau. Các thành phần trên các hình vẽ không nhất thiết phải theo đúng tỷ lệ, thay vào đó nhấn mạnh là được tạo ra để thể hiện một cách rõ ràng các nguyên lý của sáng chế. Hơn nữa, trên các hình vẽ, các số chỉ dẫn giống nhau thể hiện các phần tương ứng suốt một số hình vẽ.

Fig.1 là đồ thị mà thể hiện cường độ trường dưới dạng hàm của khoảng cách đối với trường điện từ được dẫn hướng và trường điện từ được bức xạ.

Fig.2 là hình vẽ mà minh họa mặt phân giới lan truyền với hai vùng được sử dụng cho việc truyền của sóng bề mặt được dẫn hướng theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Fig.3 là hình vẽ mà minh họa đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng được bố trí liên quan đến mặt phân giới lan truyền trên Fig.2 theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Fig.4 là đồ thị về một ví dụ của các độ lớn của các đường tiệm cận gần vào và xa ra của các hàm Hankel bậc một theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Fig.5A và Fig.5B là các hình vẽ mà thể hiện góc tới phức của điện trường được tổng hợp bởi đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Fig.6 là hình vẽ biểu diễn về mặt đồ họa thể hiện hiệu quả của sự nâng của cực nạp ở vị trí ở đó điện trường trên Fig.5A giao với môi trường dẫn điện hao tổn ở góc Brewster theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Fig.7 là hình vẽ biểu diễn về mặt đồ họa về một ví dụ của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Các hình vẽ từ Fig.8A đến Fig.8C là các hình vẽ biểu diễn về mặt đồ họa thể hiện các ví dụ về các kiểu mặt phẳng hình ảnh tương đương của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng trên Fig.3 và Fig.7 theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Fig.9A và Fig.9B là các hình vẽ biểu diễn về mặt đồ họa thể hiện các ví dụ về các kiểu đường truyền dây đơn và các kiểu đường truyền cổ điển của các kiểu mặt phẳng hình ảnh tương đương trên Fig.8B và Fig.8C theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Fig.10 là lưu đồ thể hiện một ví dụ về việc điều chỉnh đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng trên Fig.3 và Fig.7 để phóng sóng bề mặt được dẫn hướng dọc theo bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Fig.11 là đồ thị thể hiện một ví dụ về mối liên hệ giữa góc nghiêng sóng và độ trễ pha của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng trên Fig.3 và Fig.7 theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Fig.12 là hình vẽ mà thể hiện một ví dụ của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Fig.13 là hình vẽ biểu diễn về mặt đồ họa thể hiện sự tới của điện trường được tổng hợp ở góc Brewster phức để phù hợp với phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng ở khoảng cách giao nhau Hankel theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Fig.14 là hình vẽ biểu diễn về mặt đồ họa về một ví dụ của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng trên Fig.12 theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Fig.15A bao gồm các đồ thị về một ví dụ của các phần ảo và thực của độ trễ pha (Φ_U) của cực nạp T_1 của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Fig.15B là sơ đồ dưới dạng giản đồ về đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng trên Fig.14 theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Fig.16 là hình vẽ mà thể hiện một ví dụ của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Fig.17 là hình vẽ biểu diễn về mặt đồ họa về một ví dụ của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng trên Fig.16 theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Các hình vẽ từ Fig.18A đến Fig.18C mô tả các ví dụ về các kết cấu nhận mà có thể được sử dụng để nhận năng lượng được truyền dưới dạng sóng bề mặt được dẫn hướng được phóng bởi đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Fig.18D là lưu đồ thể hiện một ví dụ về việc điều chỉnh kết cấu nhận theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Fig.19 và Fig.20 mô tả một ví dụ về kết cấu nhận bổ sung mà có thể được sử dụng để nhận năng lượng được truyền dưới dạng sóng bề mặt được dẫn hướng được phóng bởi đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Fig.21 thể hiện một ví dụ về kết cấu nhận trên Fig.19 và Fig.20 được gắn với giá theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Fig.22 thể hiện một ví dụ về thiết bị tính toán mà điều khiển hướng của kết cấu nhận trên Fig.19 và Fig.20 theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Fig.23 là lưu đồ thể hiện một ví dụ về chức năng được thực hiện bởi thiết bị tính toán trên Fig.22 theo các phương án khác nhau của sáng chế.

Mô tả chi tiết sáng chế

Để bắt đầu, một số thuật ngữ sẽ được thiết lập để tạo ra sự rõ ràng trong việc đề cập đến các nội dung như sau. Thứ nhất, như được dự tính trong bản mô tả này, sự khác biệt về hình thức được thể hiện giữa các trường điện từ được bức xạ và các trường điện từ được dẫn hướng.

Như được dự tính trong bản mô tả này, trường điện từ được bức xạ bao gồm năng lượng điện trường mà được phát ra từ kết cấu nguồn dưới dạng các sóng mà không chỉ giới hạn ở phương thức dẫn hướng sóng. Ví dụ, trường điện từ được bức xạ nói chung là trường mà cho phép kết cấu điện chẳng hạn như ăng ten và lan truyền qua khí quyển hoặc môi trường khác và không bị giới hạn ở kết cấu dẫn hướng sóng bất kỳ. Một khi các sóng điện trường được bức xạ cho phép kết cấu điện chẳng hạn như ăng ten, chúng tiếp tục lan truyền trong môi trường lan truyền (chẳng hạn như không khí) độc lập với nguồn của chúng cho đến khi chúng tiêu tan bất kể nguồn có tiếp tục vận hành hay không. Một khi các sóng điện trường được bức xạ, chúng không khôi phục được trừ khi bị chặn, và, nếu không bị chặn, năng lượng cổ hữu trong các sóng điện trường được bức xạ bị mất mãi mãi. Các kết cấu điện chẳng hạn như các ăng ten được tạo kết cấu để phát ra các trường điện từ bằng cách tối đa hóa tỷ lệ của điện trở bức xạ so với điện trở hao tổn kết cấu. Năng lượng được bức xạ trải rộng ra ngoài khoảng không và bị mất bất kể bộ nhận có hay không. Mật độ năng lượng của các trường được bức xạ là hàm của khoảng cách do sự trải rộng về mặt hình học. Do đó, thuật ngữ “bức xạ” dưới toàn bộ các dạng của nó như được sử dụng trong bản mô tả này đề cập đến dạng lan truyền điện trường này.

Trường điện từ được dẫn hướng là sóng điện trường lan truyền năng lượng của nó được tập trung trong hoặc gần các đường biên giữa các môi trường có các đặc tính điện trường khác nhau. Theo hướng này, trường điện từ được dẫn hướng là trường mà được giới hạn ở phương thức dẫn hướng sóng và có thể khác biệt ở chỗ được vận chuyển bởi dòng điện chạy trong phương thức dẫn hướng sóng. Nếu không có tải nhận và/hoặc tiêu tan năng lượng được vận chuyển trong sóng điện trường được dẫn

hướng, sau đó năng lượng không bị mất ngoại trừ năng lượng mà tiêu tan về độ dẫn điện của môi trường dẫn hướng. Cách khác được nêu là, nếu không có tải đối với sóng điện trường được dẫn hướng, thì năng lượng không được sử dụng. Do đó, máy phát điện hoặc nguồn khác tạo ra trường điện từ được dẫn hướng không phân phối năng lượng thực trừ khi có trở kháng tải. Với mục đích này, máy phát điện hoặc nguồn khác như vậy cơ bản là chạy không tải cho đến khi có tải. Việc này hơi giống việc chạy máy phát điện để tạo ra 60 Hz sóng điện trường mà được truyền khắp các đường năng lượng ở đó không có tải điện. Cần phải lưu ý rằng trường điện từ được dẫn hướng hoặc sóng tương đương với cái được gọi là “phương thức đường truyền.” Điều này đối lập với các sóng điện trường được bức xạ trong đó năng lượng thực được cấp ở toàn bộ thời điểm để tạo ra các sóng được bức xạ. Không giống các sóng điện trường được bức xạ, năng lượng điện trường được dẫn hướng không tiếp tục lan truyền theo phương thức sóng dẫn hướng độ dài hữu hạn sau khi nguồn năng lượng bị tắt. Do đó, thuật ngữ “dẫn hướng” dưới toàn bộ dạng của nó như được sử dụng trong bản mô tả này đề cập đến phương thức truyền này của việc lan truyền điện trường.

Bây giờ đề cập đến Fig.1, hình vẽ này thể hiện đồ thị 100 có cường độ trường đêxiben (dB) ở trên, việc tham chiếu tùy ý V/m dưới dạng hàm của khoảng cách km trên đồ thị log-dB để còn thể hiện sự phân biệt giữa trường điện từ được bức xạ và trường điện từ được dẫn hướng. Đồ thị 100 trên Fig.1 thể hiện đường cong cường độ trường được dẫn hướng 103 mà thể hiện cường độ trường của trường điện từ được dẫn hướng dưới dạng hàm của khoảng cách. Đường cong cường độ trường được dẫn hướng 103 này cơ bản là giống như phương thức đường truyền. Ngoài ra, đồ thị 100 trên Fig.1 thể hiện đường cong cường độ trường được bức xạ 106 mà thể hiện cường độ trường của trường điện từ được bức xạ dưới dạng hàm của khoảng cách.

Thứ vị là các hình dạng của các đường cong 103 và 106 đối với sóng được dẫn hướng và đối với việc lan truyền sự bức xạ, một cách lần lượt. Đường cong cường độ trường được bức xạ 106 rơi ngoài về mặt hình học ($1/d$, trong đó d là khoảng cách), mà được mô tả dưới dạng đường thẳng trên tỷ lệ log-log. Đường cong cường độ trường được dẫn hướng 103, mặt khác, có sự sụt giảm theo hàm mũ đặc tính của $e^{-\alpha d}/\sqrt{d}$ và thể hiện chỗ uốn phân biệt 109 trên tỷ lệ log-log. Đường cong cường độ trường được dẫn hướng 103 và đường cong cường độ trường được bức xạ 106 giao ở

điểm 112, mà xảy ra ở khoảng cách bất chéo. Ở các khoảng nhỏ hơn khoảng cách bất chéo ở điểm giao 112, cường độ trường của trường điện từ được dẫn hướng ở hầu hết các vị trí lớn hơn một cách đáng kể cường độ trường của trường điện từ được bức xạ. Ở các khoảng lớn hơn khoảng cách bất chéo, việc ngược lại là đúng. Do đó, đường cong cường độ trường được dẫn hướng và đường cong cường độ trường được bức xạ 103 và 106 cũng thể hiện độ lệch truyền cơ bản giữa trường điện từ được dẫn hướng và trường điện từ được bức xạ. Với việc đề cập không chính thức về độ lệch giữa trường điện từ được dẫn hướng và trường điện từ được bức xạ, tham chiếu đến tài liệu Milligan, T., Modern Antenna Design, McGraw-Hill, phiên bản thứ nhất, 1985, các trang từ 8 đến 9.

Sự phân biệt giữa sóng điện trường được bức xạ và sóng điện trường được dẫn hướng, được trình bày ở trên, sẵn sàng được thể hiện một cách hình thức và được đặt trên cơ sở chặt chẽ. Hai nghiệm đảo ngược như vậy có thể nổi lên từ một và phương trình vi phân riêng tuyến tính tương tự, phương trình sóng, theo sau về mặt giải tích từ các điều kiện biên được áp đặt trên vấn đề. Hàm Green đối với phương trình sóng, chính nó, chứa sự phân biệt giữa bản chất của sự bức xạ và các sóng được dẫn hướng.

Trong khoảng trống, phương trình sóng là toán tử vi phân mà hàm riêng của nó có phổ liên tục gồm các trị số riêng trên mặt phẳng sóng-số phức. Trường điện từ đảo ngược (Transverse Electro-Magnetic - TEM) này gọi là trường bức xạ, và các trường lan truyền đó gọi là “Các sóng Hz”. Tuy nhiên, với sự có mặt của biên dẫn, phương trình sóng cộng các điều kiện biên về mặt toán học dẫn đến sự biểu diễn phổ của các sóng số gồm có phổ liên tục cộng tổng các phổ rời rạc. Với mục đích này, tham chiếu đến tài liệu Sommerfeld, A., “Über die Ausbreitung der Wellen in der DrahtlosenTelegraphie,” *Annalen der Physik*, Tập 28, 1909, các trang 665-736. Ngoài ra xem tài liệu Sommerfeld, A., “Problems of Radio,” công bố dưới dạng Chương 6 trong tài liệu *Partial Differential Equations in Physics – Lectures on Theoretical Physics: Volume VI*, Academic Press, 1949, các trang 236-289, 295-296; Collin, R. E., “Hertzian Dipole Radiating Over a Lossy Earth or Sea: Some Early and Late 20th Century Controversies,” *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, tập 46, số 2, tháng 4 năm 2004, các trang 64-79; và tài liệu Reich, H. J., Ordnung, P.F, Krauss,

H.L., và Skalnik, J.G., *Microwave Theory and Techniques*, Van Nostrand, 1953, các trang 291-293.

Các thuật ngữ "sóng mặt đất" và "sóng bề mặt" nhận dạng hai hiện tượng lan truyền vật lý khác nhau phân biệt được. Sóng bề mặt phát sinh theo phép giải tích từ cực phân biệt tạo thành phần rời rạc trong phổ sóng phẳng. Xem, ví dụ, "The Excitation of Plane Surface Waves" bởi tác giả Cullen, A.L., (*Proceedings of the IEE (British)*, Tập 101, Phần IV, tháng 8 năm 1954, các trang 225-235). Trong ngữ cảnh này, sóng bề mặt được xem là sóng bề mặt được dẫn hướng. Sóng bề mặt (theo nghĩa sóng được dẫn hướng Zenneck-Sommerfeld) là, về mặt vật lý và về mặt toán học, không giống như sóng mặt đất (theo nghĩa Weyl-Norton-FCC) mà bây giờ rất quen thuộc từ việc truyền thông vô tuyến. Hai kết cấu lan truyền này phát sinh từ sự kích thích các loại phổ trị số riêng khác nhau (liên tục hoặc rời rạc) trên mặt phẳng phức. Cường độ trường của sóng bề mặt được dẫn hướng suy sụt theo hàm mũ với khoảng cách như được thể hiện bởi đường cong 103 trên Fig.1 (rất giống sự lan truyền trong phương thức dẫn hướng sóng hao tổn) và tương tự việc lan truyền trong đường truyền theo hướng kính, trái với sự bức xạ Hz cổ điển của sóng mặt đất, mà lan truyền dạng cầu, có sự liên tục của các trị số riêng, rời ngoài về mặt hình học như được thể hiện bởi đường cong 106 trên Fig.1, và do các phép tích phân rẽ nhánh. Như được chứng minh bằng thí nghiệm bởi C.R. Burrows trong tài liệu "The Surface Wave in Radio Propagation over Plane Earth" (*Proceedings of the IRE*, tập 25, số 2, tháng 2 năm 1937, các trang từ 219-229) và "The Surface Wave in Radio Transmission" (*Bell Laboratories Record*, tập 15, tháng 6 năm 1937, các trang 321-324), các ăng ten theo phương thẳng đứng phát ra các sóng mặt đất nhưng không phóng các sóng bề mặt được dẫn hướng.

Để tổng hợp phần trên, thứ nhất, phần liên tục của phổ trị số riêng sóng-số, tương ứng với các phép tích phân rẽ nhánh, tạo ra trường bức xạ, và thứ hai, các phổ rời rạc, và tổng dư tương ứng phát sinh từ các cực được bao quanh bởi đường bao tích hợp, dẫn đến các sóng bề mặt di chuyển không TEM mà suy giảm theo hàm mũ theo hướng ngược với hướng lan truyền. Các sóng bề mặt như vậy là các phương thức đường truyền được dẫn hướng. Để tiếp tục giải thích, tham chiếu đến tài liệu

Friedman, B., Principles and Techniques of Applied Mathematics, Wiley, 1956, các trang 214, 283-286, 290, 298-300.

Trong khoảng không tự do, các ăng ten kích thích các trị số riêng liên tục của phương trình sóng, mà là trường bức xạ, trong đó năng lượng RF lan truyền ra phía ngoài với E_z và H_ϕ trong pha bị mất mãi mãi. Mặt khác, các đầu dò dẫn hướng sóng kích thích các trị số riêng rời rạc, mà dẫn đến việc lan truyền đường truyền. Xem tài liệu Collin, R. E., Field Theory of Guided Waves, McGraw-Hill, 1960, các trang 453, 474-477. Trong khi các sự phân tích về mặt lý thuyết như vậy duy trì khả năng giả thuyết của việc phóng các sóng được dẫn hướng bề mặt mở qua bề mặt phẳng hoặc bề mặt cầu của các môi trường đồng nhất hao tổn, trong khoảng nhiều hơn một thế kỷ không biết các kết cấu trong theo giải pháp kỹ thuật đã tồn tại để thực hiện việc này với hiệu quả thực tế bất kỳ. Không may mắn, vì nó nổi lên ở những thập niên đầu thế kỷ 1900, sự phân tích về mặt lý thuyết được trình bày ở trên chủ yếu là duy trì học thuyết và không có các kết cấu đã biết để thực hiện trên thực tế việc phóng các sóng được dẫn hướng bề mặt mở khắp bề mặt phẳng hoặc bề mặt cầu của các môi trường đồng nhất hao tổn.

Theo các phương án khác nhau của sáng chế, các đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng khác nhau được mô tả mà được tạo kết cấu để kích thích các điện trường mà ghép vào phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng dọc theo bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn. Các trường điện từ được dẫn hướng như vậy gần như được làm phù hợp về mặt phương thức về độ lớn và pha với phương thức sóng bề mặt được dẫn hướng trên bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn. Phương thức sóng bề mặt được dẫn hướng như vậy còn có thể được gọi là phương thức dẫn hướng sóng Zenneck. Do thực tế là các trường tổng hợp được kích thích bởi các đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng được mô tả trong bản mô tả này gần như được làm phù hợp về mặt phương thức với phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng trên bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn, trường điện từ được dẫn hướng dưới dạng sóng bề mặt được dẫn hướng được phóng dọc theo bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn. Theo một phương án, môi trường dẫn điện hao tổn bao gồm môi trường trên mặt đất chẳng hạn như trái đất.

Đề cập đến Fig.2, hình vẽ này thể hiện mặt phân giới lan truyền mà tạo ra để xem xét các nghiệm trị số biên với các phương trình Maxwell được bắt nguồn vào năm 1907 bởi Jonathan Zenneck như được trình bày trong tài liệu của ông ta Zenneck, J., “On the Propagation of Plane Electromagnetic Waves Along a Flat Conducting Surface and their Relation to Wireless Telegraphy,” *Annalen der Physik*, chuỗi 4, tập 23, ngày 20 tháng 9 năm 1907, các trang 846-866. Fig.2 mô tả hệ tọa độ hình trụ để lan truyền theo hướng kính các sóng dọc theo mặt phân giới giữa môi trường dẫn điện hao tổn được xác định như vùng 1 và chất cách điện được xác định như vùng 2. Vùng 1 có thể bao gồm, ví dụ, môi trường dẫn điện hao tổn bất kỳ. Theo một ví dụ, môi trường dẫn điện hao tổn như vậy có thể bao gồm môi trường trên mặt đất chẳng hạn như trái đất hoặc môi trường khác. Vùng 2 là môi trường thứ hai mà chia sẻ mặt phân giới biên với vùng 1 và có các thông số cấu thành khác nhau so với vùng 1. Vùng 2 có thể bao gồm, ví dụ, chất cách điện bất kỳ chẳng hạn như môi trường khí quyển hoặc môi trường khác. Hệ số phản xạ đối với mặt phân giới biên như vậy đi đến không chỉ cho sự tới ở góc Brewster phức. Xem tài liệu Stratton, J.A., *Electromagnetic Theory*, McGraw-Hill, 1941, trang 516.

Theo các phương án khác nhau, sáng chế trình bày các đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng khác nhau mà tạo ra các trường điện từ mà gần như được làm phù hợp về mặt phương thức với phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng trên bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn bao gồm vùng 1. Theo các phương án khác nhau, các trường điện từ như vậy gần như tổng hợp sóng tới phía trước ở góc Brewster phức của môi trường dẫn điện hao tổn mà có thể dẫn đến sự phản xạ bằng không.

Để giải thích tiếp, trong vùng 2, trong đó $e^{j\omega t}$ sự thay đổi trường được giả sử và trong đó $\rho \neq 0$ và $z \geq 0$ (với z là tọa độ theo phương thẳng đứng trực giao với bề mặt của vùng 1, và ρ là kích thước theo hướng kính trong hệ tọa độ hình trụ), nghiệm chính xác dạng kín Zenneck của các phương trình Maxwell đáp ứng các điều kiện biên dọc theo mặt phân giới được biểu diễn bởi các thành phần điện trường và từ trường sau:

$$H_{2\phi} = Ae^{-u_2 z} H_1^{(2)}(-j\gamma\rho), \quad (1)$$

$$E_{2\phi} = A \left(\frac{u_2}{j\omega\epsilon_0} \right) e^{-u_2 z} H_1^{(2)}(-j\gamma\rho), \text{ và} \quad (2)$$

$$E_{2z} = A \left(\frac{-\gamma}{\omega\epsilon_0} \right) e^{-u_2 z} H_0^{(2)}(-j\gamma\rho). \quad (3)$$

Trong vùng 1, trong đó $e^{j\omega t}$ sự thay đổi trường được giả sử và trong đó $\rho \neq 0$ và $z \leq 0$, nghiệm chính xác dạng kín Zenneck của các phương trình Maxwell đáp ứng các điều kiện biên dọc theo mặt phân giới được thể hiện bởi các thành phần điện trường và từ trường sau:

$$H_{1\phi} = A e^{u_1 z} H_1^{(2)}(-j\gamma\rho), \quad (4)$$

$$E_{1\rho} = A \left(\frac{-u_1}{\sigma_1 + j\omega\epsilon_1} \right) e^{u_1 z} H_1^{(2)}(-j\gamma\rho), \text{ và} \quad (5)$$

$$E_{1z} = A \left(\frac{-j\gamma}{\sigma_1 + j\omega\epsilon_1} \right) e^{u_1 z} H_0^{(2)}(-j\gamma\rho). \quad (6)$$

Trong các biểu thức này, z là tọa độ theo phương thẳng đứng trục giao với bề mặt của vùng 1 và ρ là tọa độ theo hướng kính, $H_n^{(2)}(-j\gamma\rho)$ là hàm Hankel agumen phức thuộc loại thứ hai và bậc n , u_1 là hằng số lan truyền theo hướng thẳng đứng dương (z) trong vùng 1, u_2 là hằng số lan truyền theo hướng thẳng đứng (z) trong vùng 2, σ_1 là độ dẫn điện của vùng 1, ω bằng với $2\pi f$, trong đó f là tần số kích thích, ϵ_0 là hằng số điện môi của khoảng không tự do, ϵ_1 là hằng số điện môi của vùng 1, A là hằng số nguồn được áp đặt bởi nguồn, và γ là hằng số lan truyền theo hướng kính sóng bề mặt.

Các hằng số lan truyền theo $\pm z$ các hướng được xác định bằng cách phân tách phương trình sóng ở trên và bên dưới mặt phân giới giữa các vùng 1 và 2, và áp đặt các điều kiện biên. Thao tác này khiến, trong vùng 2,

$$u_2 = \frac{-jk_o}{\sqrt{1+(\epsilon_r - jx)}} \quad (7)$$

và tạo ra, trong vùng 1,

$$u_1 = -u_2(\epsilon_r - jx). \quad (8)$$

Hằng số lan truyền theo hướng kính γ được xác định bởi

$$\gamma = j\sqrt{k_o^2 + u_2^2} = j\frac{k_o n}{\sqrt{1+n^2}}, \quad (9)$$

mà là biểu thức phức trong đó n là chỉ số khúc xạ phức xác định bởi

$$n = \sqrt{\epsilon_r - jx}. \quad (10)$$

Trong toàn bộ các phương trình nêu trên,

$$x = \frac{\sigma_1}{\omega \varepsilon_o}, \text{ và} \quad (11)$$

$$k_o = \omega \sqrt{\mu_o \varepsilon_o} = \frac{\lambda_o}{2\pi}, \quad (12)$$

trong đó ε_r bao gồm hằng số điện môi tương đối của vùng 1, σ_1 là độ dẫn điện của vùng 1, ε_o là hằng số điện môi của khoảng không tự do, và μ_o bao gồm độ thẩm thấu của khoảng không tự do. Do đó, sóng bề mặt được tạo ra lan truyền song song với mặt phân giới và suy sụt theo hàm mũ theo phương thẳng đứng với nó. Việc này đã biết như sự biến dần.

Do đó, các phương trình (1)-(3) có thể được xem là phương thức dẫn hướng sóng cân đối hình trụ, lan truyền theo hướng kính. Xem tài liệu Barlow, H. M., và Brown, J., Radio Surface Waves, Oxford University Press, 1962, các trang 10-12, 29-33. Sáng chế bộc lộ các kết cấu chi tiết mà kích thích phương thức dẫn hướng sóng “biên mở” này. Cụ thể, theo các phương án khác nhau, đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng được bố trí cực nạp có kích thước thích hợp mà được cấp điện áp và/hoặc dòng điện và được định vị so với mặt phân giới biên giữa vùng 2 và vùng 1. Việc này có thể tốt hơn là được hiểu với việc tham chiếu đến Fig.3, mà thể hiện một ví dụ của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200a mà bao gồm cực nạp T_1 được nâng lên trên môi trường dẫn điện hao tổn 203 (ví dụ, trái đất) dọc theo trục tung z mà trục giao với mặt phẳng tồn tại bởi môi trường dẫn điện hao tổn 203. Môi trường dẫn điện hao tổn 203 tạo nên vùng 1, và môi trường thứ hai 206 tạo nên vùng 2 và chia sẻ mặt phân giới biên với môi trường dẫn điện hao tổn 203.

Theo một phương án, môi trường dẫn điện hao tổn 203 có thể bao gồm môi trường trên mặt đất chẳng hạn như hành tinh trái đất. Với mục đích này, môi trường trên mặt đất như vậy bao gồm toàn bộ các kết cấu hoặc các hình dạng bao gồm trên đó dù cho là tự nhiên hoặc nhân tạo. Ví dụ, môi trường trên mặt đất như vậy có thể bao gồm các thành phần tự nhiên chẳng hạn như đá, đất, cát, nước khoáng, nước biển, các cây, rau, và toàn bộ các thành phần tự nhiên khác mà tạo nên hành tinh của chúng ta. Ngoài ra, môi trường trên mặt đất như vậy có thể bao gồm các thành phần nhân tạo chẳng hạn như bê tông, nhựa đường, các vật liệu xây dựng, và các vật liệu nhân tạo khác. Theo các phương án khác, môi trường dẫn điện hao tổn 203 có thể bao gồm một số môi trường khác trái đất, cho dù xuất hiện một cách tự nhiên hoặc nhân tạo. Theo

các phương án khác, môi trường dẫn điện hao tổn 203 có thể bao gồm các môi trường khác chẳng hạn như các bề mặt và các kết cấu nhân tạo chẳng hạn như các ô tô, máy bay, các vật liệu nhân tạo (chẳng hạn như gỗ dán, tấm nhựa, hoặc các vật liệu khác) hoặc các môi trường khác.

Trong trường hợp trong đó môi trường dẫn điện hao tổn 203 bao gồm môi trường trên mặt đất hoặc trái đất, môi trường thứ hai 206 có thể bao gồm môi trường ở trên mặt đất. Như vậy, khí quyển có thể được gọi là “môi trường khí quyển” mà bao gồm không khí và các thành phần khác mà tạo nên khí quyển trái đất. Ngoài ra, có khả năng là môi trường thứ hai 206 có thể bao gồm các môi trường khác liên quan với môi trường dẫn điện hao tổn 203.

Đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200a bao gồm mạng cáp 209 mà ghép nguồn kích thích 212 với cực nạp T_1 qua, ví dụ, dây dẫn đường cáp theo phương thẳng đứng. Theo các phương án khác nhau, điện tích Q_1 được áp trên cực nạp T_1 để tổng hợp điện trường dựa trên điện áp được áp dụng vào cực nạp T_1 ở thời điểm xác định bất kỳ. Phụ thuộc vào góc tới (θ_i) của điện trường (E), có thể gần như là làm phù hợp về mặt phương thức điện trường với phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng trên bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn 203 bao gồm vùng 1.

Bằng cách xem xét các nghiệm dạng kín Zenneck của các phương trình (1)-(6), điều kiện biên trở kháng Leontovich giữa vùng 1 và vùng 2 có thể được nêu dưới dạng

$$\hat{z} \times \vec{H}_2(\rho, \varphi, 0) = \vec{J}_s, \quad (13)$$

trong đó $\hat{z}$ là bộ phận trục giao theo hướng thẳng đứng dương (+z) và $\vec{H}_2$ là cường độ từ trường trong vùng 2 được biểu diễn bởi phương trình (1) ở trên. Phương trình (13) ngụ ý là điện và từ trường được xác định trong các phương trình (1)-(3) có thể dẫn đến mật độ dòng điện bề mặt theo hướng kính dọc theo mặt phân giới biên, trong đó mật độ dòng điện bề mặt theo hướng kính có thể được xác định bởi

$$J_\rho(\rho') = -A H_1^{(2)}(-j\gamma\rho') \quad (14)$$

trong đó A là hằng số. Ngoài ra, cần phải lưu ý rằng việc gắn vào đến đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 (đối với $\rho \ll \lambda$), phương trình (14) ở trên có dạng thức

$$J_{g\grave{a}n}(\rho') = \frac{-A(j2)}{\pi(-j\gamma\rho')} = -H_\phi = -\frac{I_o}{2\pi\rho'}. \quad (15)$$

Dấu âm có nghĩa là khi nguồn dòng (I_o) chạy theo phương thẳng đứng lên trên như được thể hiện trên Fig.3, dòng điện mặt đất “gắn vào” chạy theo hướng kính vào phía trong. Bằng cách làm phù hợp trường trên H_ϕ “gắn vào,” nó có thể được xác định là

$$A = -\frac{I_o\gamma}{4} = -\frac{\omega q_1\gamma}{4} \quad (16)$$

trong đó $q_1 = C_1 V_1$, trong các phương trình (1)-(6) và (14). Do đó, mật độ dòng điện bề mặt theo hướng kính của phương trình (14) có thể được viết lại dưới dạng

$$J_\rho(\rho') = \frac{I_o\gamma}{4} H_1^{(2)}(-j\gamma\rho'). \quad (17)$$

Các trường được biểu diễn bởi các phương trình (1)-(6) và (17) có bản chất phương thức đường truyền được giới hạn ở mặt phân giới hao tổn, không phải là các trường bức xạ mà được kết hợp với việc lan truyền sóng mặt đất. Xem tài liệu Barlow, H. M. và Brown, J., Radio Surface Waves, Oxford University Press, 1962, các trang 1-5.

Ở điểm này, việc xem lại bản chất của các hàm Hankel được sử dụng trong các phương trình (1)-(6) và (17) được bố trí cho các nghiệm này của phương trình sóng. Một có thể quan sát là các hàm Hankel thuộc loại thứ nhất và thứ hai và bậc n được xác định dưới dạng các tổ hợp phức của các hàm Bessel tiêu chuẩn thuộc các loại thứ nhất và thứ hai

$$H_n^{(1)}(x) = J_n(x) + jN_n(x), \text{ và } (18)$$

$$H_n^{(2)}(x) = J_n(x) - jN_n(x), \quad (19)$$

Các hàm này biểu thị các sóng hình trụ lần lượt lan truyền theo hướng kính vào phía trong ($H_n^{(1)}$) và ra phía ngoài ($H_n^{(2)}$). Định nghĩa này tương tự với mối liên hệ $e^{\pm jx} = \cos x \pm j \sin x$. Xem, ví dụ, tài liệu Harrington, R.F., Time-Harmonic Fields, McGraw-Hill, 1961, các trang 460-463.

$H_n^{(2)}(k_\rho\rho)$ đó là sóng đi ra có thể nhận dạng từ dạng thức tiếp tuyến argumen lớn của nó mà thu được một cách trực tiếp từ các định nghĩa nối tiếp của $J_n(x)$ và $N_n(x)$. Việc xa ra từ đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng:

$$H_n^{(2)}(x) \xrightarrow{x \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{2j}{\pi x}} j^n e^{-jx} = \sqrt{\frac{2}{\pi x}} j^n e^{-j(x - \frac{\pi}{4})}, \quad (20a)$$

mà, khi được nhân bởi $e^{j\omega t}$, là sóng hình trụ lan truyền ra phía ngoài có dạng $e^{j(\omega t - k\rho)}$ với sự thay đổi không gian $1/\sqrt{\rho}$. Nghiệm bậc một ($n = 1$) có thể được xác định từ phương trình (20a) là

$$H_1^{(2)}(x) \xrightarrow{x \rightarrow \infty} j \sqrt{\frac{2j}{\pi x}} e^{-jx} = \sqrt{\frac{2}{\pi x}} e^{-j(x - \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4})}. \quad (20b)$$

Việc gắn vào đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng (đối với $\rho \ll \lambda$), hàm Hankel có bậc một và loại thứ hai có dạng như

$$H_1^{(2)}(x) \xrightarrow{x \rightarrow 0} \frac{2j}{\pi x}. \quad (21)$$

Lưu ý rằng các biểu thức tiệm cận này là các số phức. Khi x là số lượng thực, các phương trình (20b) và (21) khác nhau về pha khoảng $\sqrt{j}$, mà tương ứng với sự tiến pha thêm hoặc “sự nâng pha” 45° hoặc, một cách tương đương, $\lambda/8$. Các đường tiệm cận gần vào và xa ra của hàm Hankel bậc một thuộc loại thứ hai có điểm “bắt chéo” hoặc chuyển tiếp Hankel trong đó chúng có độ lớn bằng nhau ở khoảng cách $\rho = R_x$.

Do đó, vượt quá điểm giao nhau Hankel, sự biểu diễn “xa ra” trội hơn so với sự biểu diễn “gần vào” của hàm Hankel. Khoảng cách đến điểm giao nhau Hankel (hoặc khoảng cách giao nhau Hankel) có thể được nhận ra bằng cách lập các phương trình (20b) và (21) đối với $-j\gamma\rho$, và giải quyết cho R_x . Với $x = \sigma/\omega\epsilon_o$, có thể xem là các đường tiệm cận hàm Hankel xa ra và gần vào là phụ thuộc vào tần số, với điểm giao nhau Hankel di chuyển ra ngoài khi tần số bị giảm xuống. Cũng cần lưu ý là các đường tiệm cận hàm Hankel có thể cũng biến đổi như độ dẫn điện (σ) của các thay đổi môi trường dẫn điện hao tổn. Ví dụ, độ dẫn điện của đất có thể biến đổi với các thay đổi về các điều kiện thời tiết.

Đề cập đến Fig.4, hình vẽ này thể hiện một ví dụ của đồ thị về các độ lớn của các hàm Hankel bậc một của các phương trình (20b) và (21) cho độ dẫn điện vùng 1 $\sigma = 0,010$ mhos/m và hằng số điện môi tương đối $\epsilon_r = 15$, ở tần số vận hành 1850 kHz. Đường cong 115 là độ lớn của đường tiệm cận xa ra của phương trình (20b) và đường cong 118 là độ lớn của đường tiệm cận gần vào của phương trình (21), với điểm giao nhau Hankel 121 xảy ra ở khoảng cách $R_x = 54$ feet (16,45 m). Trong khi các độ lớn bằng nhau, sự bù pha tồn tại giữa hai đường tiệm cận ở điểm giao nhau

Hankel 121. Cũng có thể xem là khoảng cách giao nhau Hankel nhỏ hơn nhiều so với bước sóng của tần số vận hành.

Xem xét các thành phần điện trường xác định bởi các phương trình (2) và (3) của nghiệm dạng kín Zenneck trong vùng 2, có thể xem là tỷ lệ của E_z và E_ρ qua tiệm cận với

$$\frac{E_z}{E_\rho} = \left(\frac{-j\gamma}{u_2} \right) \frac{H_0^{(2)}(-j\gamma\rho)}{H_1^{(2)}(-j\gamma\rho)} \xrightarrow{\rho \rightarrow \infty} \sqrt{\epsilon_r - j \frac{\sigma}{\omega\epsilon_0}} = n = \tan \theta_i, \quad (22)$$

trong đó n là chỉ số khúc xạ phức của phương trình (10) và θ_i là góc tới của điện trường. Ngoài ra, thành phần theo phương thẳng đứng của điện trường được làm phù hợp về mặt phương thức của phương trình (3) qua tiệm cận với

$$E_{2z} \xrightarrow{\rho \rightarrow \infty} \left(\frac{q_{tự do}}{\epsilon_0} \right) \sqrt{\frac{\gamma^3}{8\pi}} e^{-u_2 z} \frac{e^{-j(\gamma\rho - \pi/4)}}{\sqrt{\rho}}, \quad (23)$$

mà tỷ lệ tuyến tính với điện tích tự do trên bộ phận cấu thành được cách điện của điện dung của cực nạp được nâng ở điện áp cực, $q_{tự do} = C_{tự do} \times V_T$.

Ví dụ, độ cao H_1 của cực nạp T_1 được nâng trên Fig.3 ảnh hưởng đến lượng điện tích tự do trên cực nạp T_1 . Khi cực nạp T_1 gần mặt đất phẳng của vùng 1, hầu hết điện tích Q_1 trên cực này “được giới hạn.” Vì cực nạp T_1 được nâng, điện tích được giới hạn được làm giảm cho đến khi cực nạp T_1 đạt đến độ cao ở đó gần như toàn bộ điện tích được cách ly là tự do.

Ưu điểm của việc nâng điện dung được làm tăng đối với cực nạp T_1 là điện tích trên cực nạp T_1 được nâng tiếp tục được loại bỏ khỏi mặt đất phẳng, dẫn đến lượng điện tích tự do được tăng lên $q_{tự do}$ để ghép năng lượng vào phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng. Vì cực nạp T_1 được di chuyển xa so với mặt đất phẳng, sự phân bố điện tích trở nên được phân bố một cách đồng đều hơn quanh bề mặt của cực. Lượng điện tích tự do liên quan đến điện dung tự cảm của cực nạp T_1 .

Ví dụ, điện dung của cực hình cầu có thể được biểu diễn dưới dạng hàm của độ cao vật lý ở trên mặt đất phẳng. Điện dung của khối cầu ở độ cao vật lý h ở trên mặt đất hoàn hảo được xác định bởi

$$C_{\text{cầu được nâng}} = 4\pi\epsilon_0 a(1 + M + M^2 + M^3 + 2M^4 + 3M^5 + \dots), \quad (24)$$

trong đó đường kính của cầu là $2a$, và trong đó $M = a/2h$ với h là độ cao của cực hình cầu. Như có thể thấy, sự tăng lên về độ cao cực h làm giảm điện dung C của

cực nạp. Có thể được thể hiện rằng đối với các sự nâng của cực nạp T_1 mà ở độ cao khoảng bốn lần đường kính ($4D = 8a$) hoặc lớn hơn, sự phân bố điện tích gần như đồng đều quanh cực hình cầu, mà có thể cải thiện việc ghép vào phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng.

Trong trường hợp cực được cách điện đủ, điện dung tự cảm của cầu dẫn điện có thể được xấp xỉ bởi $C = 4\pi\epsilon_0 a$, trong đó a là bán kính cầu đơn vị là m, và điện dung tự cảm của đĩa có thể xấp xỉ bởi $C = 8\epsilon_0 a$, trong đó a là bán kính của đĩa có đơn vị m. Cực nạp T_1 có thể bao gồm hình dạng bất kỳ chẳng hạn như cầu, đĩa, hình trụ, hình nón, hình xuyên, hình chụp, một hoặc nhiều vòng, hoặc hình dạng ngẫu nhiên khác bất kỳ hoặc sự kết hợp của các hình dạng. Đường kính cầu tương đương có thể được xác định và được sử dụng cho việc định vị của cực nạp T_1 .

Việc này có thể còn được hiểu có dựa vào ví dụ trên Fig.3, trong đó cực nạp T_1 được nâng ở độ cao vật lý $h_p = H_1$ ở trên môi trường dẫn điện hao tổn 203. Để làm giảm các hiệu quả của điện tích “được giới hạn”, cực nạp T_1 có thể được định vị ở độ cao vật lý mà ít nhất bằng bốn lần đường kính cầu (hoặc đường kính cầu tương đương) của cực nạp T_1 để làm giảm các hiệu quả điện tích được giới hạn.

Tiếp theo, liên quan đến Fig.5A, hình vẽ này thể hiện sự giải thích tia quang học của điện trường được tạo ra bởi điện tích được nâng Q_1 trên cực nạp T_1 trên Fig.3. Như trong quang học, việc giảm thiểu sự phản xạ của điện trường tới có thể cải thiện và/hoặc tối đa hóa năng lượng được ghép vào phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng của môi trường dẫn điện hao tổn 203. Đối với điện trường ($E_{\parallel}$) mà được phân cực song song với mặt phẳng tới (không có mặt phân giới biên), lượng phản xạ của điện trường tới có thể được xác định bằng cách sử dụng hệ số phản xạ Fresnel, mà có thể được biểu diễn dưới dạng

$$\Gamma_{\parallel}(\theta_i) = \frac{E_{\parallel,R}}{E_{\parallel,i}} = \frac{\sqrt{(\epsilon_r - jx) - \sin^2 \theta_i} - (\epsilon_r - jx) \cos \theta_i}{\sqrt{(\epsilon_r - jx) - \sin^2 \theta_i} + (\epsilon_r - jx) \cos \theta_i}, \quad (25)$$

trong đó θ_i là góc tới thông thường được xác định liên quan đến pháp tuyến bề mặt.

Trong ví dụ trên Fig.5A, sự giải thích tia quang học thể hiện trường tới được phân cực song song với mặt phẳng tới có góc tới θ_i , mà được xác định dựa vào pháp tuyến bề mặt ($\hat{z}$). Sẽ không có sự phản xạ của điện trường tới khi $\Gamma_{\parallel}(\theta_i) = 0$ và do đó

điện trường tới sẽ được ghép một cách hoàn toàn vào phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng dọc theo bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn 203. Có thể xem là phân tử của phương trình (25) trở thành không khi góc tới là

$$\theta_i = \text{actang}(\sqrt{\varepsilon_r - jx}) = \theta_{i,B}, \quad (26)$$

trong đó $x = \sigma/\omega\varepsilon_0$. Góc tới phức ($\theta_{i,B}$) này được gọi là góc Brewster. Đề cập trở lại phương trình (22), có thể xem là kiểu góc Brewster phức ($\theta_{i,B}$) giống nhau có mặt ở cả hai phương trình (22) và (26).

Như được thể hiện trên Fig.5A, vector điện trường $\vec{E}$ có thể được mô tả dưới dạng sóng mặt phẳng không đồng đều tới, được phân cực song song với mặt phẳng tới. Vector điện trường $\vec{E}$ có thể được tạo ra từ các thành phần theo phương ngang và theo phương thẳng đứng độc lập như

$$\vec{E}(\theta_i) = E_\rho \hat{\rho} + E_z \hat{z}. \quad (27)$$

Về mặt hình học, việc thể hiện trên Fig.5A đề xuất là vector điện trường $\vec{E}$ có thể xác định bởi

$$E_\rho(\rho, z) = E(\rho, z) \cos \theta_i, \text{ và } (28a)$$

$$E_z(\rho, z) = E(\rho, z) \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta_i\right) = E(\rho, z) \sin \theta_i, \quad (28b)$$

mà có nghĩa là tỷ lệ trường là

$$\frac{E_\rho}{E_z} = \frac{1}{\tan \theta_i} = \tan \psi_i. \quad (29)$$

Thông số tổng quát hóa W , gọi là “độ nghiêng sóng,” được lưu ý trong bản mô tả này dưới dạng tỷ lệ của thành phần điện trường nằm ngang so với thành phần điện trường theo phương thẳng đứng được xác định bởi

$$W = \frac{E_\rho}{E_z} = |W|e^{j\Psi}, \text{ hoặc } (30a)$$

$$\frac{1}{W} = \frac{E_z}{E_\rho} = \tan \theta_i = \frac{1}{|W|}e^{-j\Psi}, (30b)$$

mà là phức và có cả độ lớn và pha. Đối với sóng điện trường trong vùng 2, góc nghiêng sóng (Ψ) bằng với góc giữa pháp tuyến của sóng phía trước ở mặt phân giới biên với vùng 1 và tiếp tuyến với mặt phân giới biên. Việc này có thể dễ dàng hơn thấy trên Fig.5B, mà thể hiện các bề mặt đẳng pha của sóng điện trường và các pháp tuyến của chúng đối với sóng bề mặt được dẫn hướng hình trụ theo hướng kính. Ở

mặt phân giới biên ($z = 0$) với dây dẫn rất tốt, pháp tuyến sóng phía trước song song với tiếp tuyến của mặt phân giới biên, dẫn đến $W = 0$. Tuy nhiên, trong trường hợp chất điện môi hao tổn, độ nghiêng sóng W tồn tại bởi vì pháp tuyến sóng phía trước không song song với tiếp tuyến của mặt phân giới biên ở $z = 0$.

Áp dụng phương trình (30b) vào sóng bề mặt được dẫn hướng khiến

$$\tan \theta_{i,B} = \frac{E_z}{E_\rho} = \frac{u_z}{\gamma} = \sqrt{\epsilon_r - jx} = n = \frac{1}{W} = \frac{1}{|W|} e^{-j\Psi}. \quad (31)$$

Với góc tới bằng góc Brewster phức ($\theta_{i,B}$), hệ số phản xạ Fresnel của phương trình (25) bằng không, như được thể hiện bởi

$$\Gamma_{\parallel}(\theta_{i,B}) = \frac{\sqrt{(\epsilon_r - jx) - \sin^2 \theta_i} - (\epsilon_r - jx) \cos \theta_i}{\sqrt{(\epsilon_r - jx) - \sin^2 \theta_i} + (\epsilon_r - jx) \cos \theta_i} \Big|_{\theta_i = \theta_{i,B}} = 0. \quad (32)$$

Bằng cách điều chỉnh tỷ lệ trường phức của phương trình (22), trường tới có thể được tổng hợp để tới ở góc phức ở đó sự phản xạ được làm giảm hoặc được triệt tiêu. Việc thiết lập tỷ lệ này dưới dạng $n = \sqrt{\epsilon_r - jx}$ dẫn đến điện trường được tổng hợp tới ở góc Brewster phức, khiến cho các sự phản xạ bằng không.

Nội dung của độ cao hiệu quả về điện có thể tạo ra sự hiểu rõ hơn trong việc tổng hợp điện trường với góc tới phức với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200. Độ cao hiệu quả về điện (h_{eff}) được xác định dưới dạng

$$h_{eff} = \frac{1}{I_0} \int_0^{h_p} I(z) dz \quad (33)$$

đối với cực đơn với độ cao vật lý (hoặc độ dài) h_p . Vì biểu thức phụ thuộc vào độ lớn và pha của sự phân bố nguồn dọc theo kết cấu, độ cao hiệu quả (hoặc độ dài) nói chung là phức tạp. Sự tích hợp của dòng điện được phân bố $I(z)$ của kết cấu được thực hiện khắp độ cao vật lý của kết cấu (h_p), và được chuẩn hóa với dòng điện mặt đất (I_0) chạy lên trên qua đáy (hoặc đầu vào) của kết cấu. Dòng điện được phân bố dọc theo kết cấu có thể được biểu diễn bởi

$$I(z) = I_C \cos(\beta_0 z), \quad (34)$$

trong đó β_0 là hệ số lan truyền để lan truyền dòng điện trên kết cấu. Trong ví dụ trên Fig.3, I_C là dòng điện mà được phân bố dọc theo kết cấu theo phương thẳng đứng của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200a.

Ví dụ, xem xét mạng cấp 209 mà bao gồm cuộn dây hao tổn thấp (ví dụ, cuộn dây xoắn ốc) ở đáy của kết cấu và dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng được

nối giữa cuộn dây và cực nạp T_1 . Độ trễ pha do cuộn dây (hoặc đường trễ xoắn ốc) là $\theta_c = \beta_p l_c$, với độ dài vật lý l_c và hệ số lan truyền

$$\beta_p = \frac{2\pi}{\lambda_p} = \frac{2\pi}{V_f \lambda_0}, \quad (35)$$

trong đó V_f là hệ số vận tốc trên kết cấu, λ_0 là bước sóng ở tần số được cấp, và λ_p là bước sóng lan truyền tạo ra từ hệ số vận tốc V_f . Độ trễ pha được xác định so với dòng điện mặt đất (cọc) I_0 .

Ngoài ra, độ trễ pha không gian dọc theo độ dài l_w của dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng có thể được xác định bởi $\theta_y = \beta_w l_w$ trong đó β_w là hằng số pha lan truyền đối với dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng. Theo một số phương án thực hiện, độ trễ pha không gian có thể được xấp xỉ bởi $\theta_y = \beta_w h_p$, vì độ lệch giữa độ cao vật lý h_p của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200a và độ dài dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng l_w nhỏ hơn nhiều so với bước sóng ở tần số được cấp (λ_0). Kết quả là, tổng độ trễ pha qua cuộn dây và dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng là $\Phi = \theta_c + \theta_y$, và dòng điện được cấp đến đỉnh của cuộn dây từ đáy của kết cấu vật lý là

$$I_c(\theta_c + \theta_y) = I_0 e^{j\Phi}, \quad (36)$$

với tổng độ trễ pha Φ được đo so với dòng điện mặt đất (cọc) I_0 . Do đó, độ cao hiệu quả về điện của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 có thể được xấp xỉ bởi

$$h_{eff} = \frac{1}{I_0} \int_0^{h_p} I_0 e^{j\Phi} \cos(\beta_0 z) dz \cong h_p e^{j\Phi}, \quad (37)$$

đối với trường hợp trong đó độ cao vật lý $h_p \ll \lambda_0$. Độ cao hiệu quả phức của cực đơn, $h_{eff} = h_p$ ở một góc (hoặc độ lệch pha) Φ , có thể được điều chỉnh để khiến cho các trường nguồn phù hợp với phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng và khiến cho sóng bề mặt được dẫn hướng cần phải được phóng trên môi trường dẫn điện hao tổn 203.

Trong ví dụ trên Fig.5A, quang học tia được sử dụng để thể hiện lượng góc phức của điện trường tới (E) có góc tới Brewster phức ($\theta_{i,B}$) ở khoảng cách giao nhau Hankel (R_x) 121. Trở lại phương trình (26) mà, đối với môi trường dẫn điện hao tổn, góc Brewster là phức và được xác định bởi

$$\tan \theta_{i,B} = \sqrt{\epsilon_r - j \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0}} = n. \quad (38)$$

Về mặt điện, các thông số hình học được liên quan bởi độ cao hiệu quả về điện (h_{eff}) của cực nạp T_1 bởi

$$R_x \tan \psi_{i,B} = R_x \times W = h_{eff} = h_p e^{j\Phi}, \quad (39)$$

trong đó $\psi_{i,B} = (\pi/2) - \theta_{i,B}$ là góc Brewster được xác định từ bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn. Để ghép vào phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng, độ nghiêng sóng của điện trường ở khoảng cách giao nhau Hankel có thể được biểu diễn dưới dạng tỷ lệ của độ cao hiệu quả về điện và khoảng cách giao nhau Hankel

$$\frac{h_{eff}}{R_x} = \tan \psi_{i,B} = W_{Rx}. \quad (40)$$

Vì cả độ cao vật lý (h_p) và khoảng cách giao nhau Hankel (R_x) là các số lượng thực, góc (Ψ) của độ nghiêng sóng bề mặt được dẫn hướng mong muốn ở khoảng cách giao nhau Hankel (R_x) bằng pha (Φ) của độ cao hiệu quả phức (h_{eff}). Điều này ngụ ý là bằng cách thay đổi pha ở điểm cấp của cuộn dây, và do đó độ lệch pha trong phương trình (37), pha, Φ , có độ cao hiệu quả phức có thể được xử lý để phù hợp với góc của độ nghiêng sóng, Ψ , của phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng ở điểm giao nhau Hankel 121: $\Phi = \Psi$.

Trên Fig.5A, hình tam giác bên phải được mô tả có phía liền kề có độ dài R_x dọc theo bề mặt môi trường dẫn điện hao tổn và góc Brewster phức $\psi_{i,B}$ được xác định giữa tia 124 kéo dài giữa điểm giao nhau Hankel 121 ở R_x và tâm của cực nạp T_1 , và bề mặt môi trường dẫn điện hao tổn 127 giữa điểm giao nhau Hankel 121 và cực nạp T_1 . Với cực nạp T_1 được định vị ở độ cao vật lý h_p và được kích thích với điện tích có độ trễ pha thích hợp Φ , điện trường tạo ra tới với mặt phân giới biên môi trường dẫn điện hao tổn ở khoảng cách giao nhau Hankel R_x , và ở góc Brewster. Dưới các điều kiện này, phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng có thể được kích thích mà không có sự phản xạ hoặc sự phản xạ gần như không đáng kể.

Nếu độ cao vật lý của cực nạp T_1 được làm giảm mà không thay đổi độ lệch pha Φ của độ cao hiệu quả (h_{eff}), điện trường tạo ra giao môi trường dẫn điện hao tổn 203 ở góc Brewster ở khoảng cách được làm giảm từ đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được

dẫn hướng 200. Fig.6 thể hiện về mặt đồ họa hiệu quả của việc làm giảm độ cao vật lý của cực nạp T_1 trên khoảng cách trong đó điện trường tới ở góc Brewster. Vì độ cao được làm giảm từ h_3 qua h_2 xuống h_1 , điểm ở đó điện trường giao với môi trường dẫn điện hao tổn (ví dụ, trái đất) ở góc Brewster di chuyển gần hơn đến vị trí cực nạp. Tuy nhiên, như phương trình (39) chỉ ra, độ cao H_1 (Fig.3) của cực nạp T_1 nên ở hoặc cao hơn độ cao vật lý (h_p) để kích thích thành phần xa ra của hàm Hankel. Với cực nạp T_1 được định vị ở hoặc ở trên độ cao hiệu quả (h_{eff}), môi trường dẫn điện hao tổn 203 có thể được chiếu sáng ở góc tới Brewster ($\psi_{i,B} = (\pi/2) - \theta_{i,B}$) ở hoặc vượt quá khoảng cách giao nhau Hankel (R_x) 121 như được thể hiện trên Fig.5A. Để làm giảm hoặc giảm thiểu điện tích được giới hạn trên cực nạp T_1 , độ cao nên ít nhất là bằng bốn lần đường kính cầu (hoặc đường kính cầu tương đương) của cực nạp T_1 như được đề cập ở trên.

Đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 có thể được tạo kết cấu để thiết lập điện trường có độ nghiêng sóng mà tương ứng với sóng chiếu sáng bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn 203 ở góc Brewster phức, do đó kích thích các dòng điện bề mặt theo hướng kính bằng cách gần như làm phù hợp phương thức với phương thức sóng bề mặt được dẫn hướng ở (hoặc vượt quá) điểm giao nhau Hankel 121 ở R_x .

Đề cập đến Fig.7, hình vẽ này là hình vẽ biểu diễn về mặt đồ họa của một ví dụ của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200b mà bao gồm cực nạp T_1 . Nguồn AC 212 hoạt động dưới dạng nguồn kích thích đối với cực nạp T_1 , mà được ghép với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200b qua mạng cấp 209 (Fig.3) bao gồm cuộn dây 215 chẳng hạn như, ví dụ, cuộn dây xoắn ốc. Theo các phương án thực hiện khác, nguồn AC 212 có thể được ghép về mặt cảm ứng với cuộn dây 215 qua cuộn dây ban đầu. Theo một số phương án, mạng phù hợp trở kháng có thể được bao gồm để cải thiện và/hoặc tối đa hóa việc ghép nguồn AC 212 với cuộn dây 215.

Như được thể hiện trên Fig.7, đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200b có thể bao gồm cực nạp T_1 bên trên (ví dụ, cầu ở độ cao h_p) mà được định vị dọc theo trục tung z mà gần như là trục giao với mặt phẳng có bởi môi trường dẫn điện hao tổn 203. Môi trường thứ hai 206 được định vị ở trên môi trường dẫn điện hao tổn 203. Cực nạp T_1 có điện dung tự cảm C_T . Trong suốt quá trình vận hành, điện tích Q_1

được áp đặt trên cực T_1 phụ thuộc vào điện áp được áp dụng vào cực T_1 ở thời điểm xác định bất kỳ.

Theo ví dụ trên Fig.7, cuộn dây 215 được ghép với cọc tiếp đất 218 ở đầu thứ nhất và với cực nạp T_1 qua dây dẫn đường cáp theo phương thẳng đứng 221. Theo một số phương án thực hiện, việc nối cuộn dây với cực nạp T_1 có thể được điều chỉnh bằng cách sử dụng điểm nối dây 224 của cuộn dây 215 như được thể hiện trên Fig.7. Cuộn dây 215 có thể được nạp năng lượng ở tần số vận hành bởi nguồn AC 212 qua điểm nối dây 227 ở phần bên dưới của cuộn dây 215. Theo các phương án thực hiện khác, nguồn AC 212 có thể được ghép về mặt cảm ứng với cuộn dây 215 qua cuộn dây ban đầu.

Việc tạo nên và việc điều chỉnh của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 dựa trên các điều kiện vận hành khác nhau, chẳng hạn như tần số truyền, các điều kiện của môi trường dẫn điện hao tổn (ví dụ, độ dẫn điện đất σ và hằng số điện môi tương đối ϵ_r), và kích thước của cực nạp T_1 . Chỉ số khúc xạ có thể được tính từ các phương trình (10) và (11) dưới dạng

$$n = \sqrt{\epsilon_r - jx}, \quad (41)$$

trong đó $x = \sigma/\omega\epsilon_0$ với $\omega = 2\pi f$. Độ dẫn điện σ và hằng số điện môi tương đối ϵ_r có thể được xác định qua các việc xác định thử nghiệm của môi trường dẫn điện hao tổn 203. Góc Brewster phức ($\theta_{i,B}$) được xác định từ pháp tuyến bề mặt cũng có thể được xác định từ phương trình (26) dưới dạng

$$\theta_{i,B} = \text{actang}(\sqrt{\epsilon_r - jx}), \quad (42)$$

hoặc được xác định từ bề mặt như được thể hiện trên Fig.5A dưới dạng

$$\psi_{i,B} = \frac{\pi}{2} - \theta_{i,B}. \quad (43)$$

Độ nghiêng sóng ở khoảng cách giao nhau Hankel (W_{Rx}) có thể cũng được tìm ra bằng cách sử dụng phương trình (40).

Khoảng cách giao nhau Hankel có thể cũng được tìm ra bằng cách lập phương trình các độ lớn của các phương trình (20b) và (21) đối với $-j\gamma\rho$, và giải quyết cho R_x như được thể hiện bởi Fig.4. Độ cao hiệu quả về điện sau đó có thể được xác định từ phương trình (39) bằng cách sử dụng khoảng cách giao nhau Hankel và góc Brewster phức dưới dạng

$$h_{eff} = h_p e^{j\Phi} = R_x \tan \psi_{i,B}. (44)$$

Như có thể xem từ phương trình (44), độ cao hiệu quả phức (h_{eff}) bao gồm độ lớn mà được kết hợp với độ cao vật lý (h_p) của cực nạp T_1 và độ trễ pha (Φ) mà cần phải được kết hợp với góc (Ψ) có độ nghiêng sóng ở khoảng cách giao nhau Hankel (R_x). Với các biến số này và kết cấu cực nạp được lựa chọn T_1 , có thể dễ xác định kết cấu của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200.

Với cực nạp T_1 được định vị ở hoặc ở trên độ cao vật lý (h_p), mạng cấp 209 (Fig.3) và/hoặc đường cấp theo phương thẳng đứng nối mạng cấp với cực nạp T_1 có thể được điều chỉnh để làm phù hợp pha (Φ) của điện tích Q_1 trên cực nạp T_1 với góc (Ψ) có độ nghiêng sóng (W). Kích thước của cực nạp T_1 có thể được chọn để tạo ra bề mặt đủ lớn đối với điện tích Q_1 được áp đặt trên các cực. Nói chung là, mong muốn làm cho cực nạp T_1 lớn như thực tế. Kích thước của cực nạp T_1 cần phải đủ lớn để tránh sự ion hóa của không khí bao quanh, mà có thể dẫn đến sự phóng điện hoặc sự phát ra tia lửa điện quanh cực nạp.

Độ trễ pha θ_c của cuộn dây được cuốn xoắn ốc có thể được xác định từ các phương trình Maxwell như được đề cập bởi Corum, K.L. và J.F. Corum, “RF Coils, Helical Resonators and Voltage Magnification by Coherent Spatial Modes,” Microwave Review, tập 7, số 2, tháng 9 năm 2001, các trang 36-45, mà được kết hợp trong bản mô tả này nhằm tham chiếu về tổng thể. Đối với cuộn dây xoắn ốc với $H/D > 1$, tỷ lệ của vận tốc lan truyền (v) của sóng dọc theo trục dọc của cuộn dây trên tốc độ ánh sáng (c), hoặc “hệ số vận tốc,” được xác định bởi

$$V_f = \frac{v}{c} = \frac{1}{\sqrt{1+20\left(\frac{D}{s}\right)^{2.5}\left(\frac{D}{\lambda_o}\right)^{0.5}}}, \quad (45)$$

trong đó H là độ dài theo phương trục dọc của đường xoắn ốc sôlônôit, D là đường kính cuộn dây, N là số lượng các vòng quấn của cuộn dây, $s = H/N$ là khoảng trống vòng quấn-với-vòng quấn (hoặc bước xoắn ốc) của cuộn dây, và λ_o là bước sóng khoảng không tự do. Dựa trên mối liên hệ này, độ dài điện, hoặc độ trễ pha, của cuộn dây xoắn ốc được xác định bởi

$$\theta_c = \beta_p H = \frac{2\pi}{\lambda_p} H = \frac{2\pi}{V_f \lambda_o} H. \quad (46)$$

Nguyên lý là giống nhau nếu đường xoắn ốc được cuốn xoắn ốc hoặc ngắn và to, nhưng V_f và θ_c thu được dễ dàng hơn bởi việc xác định thí nghiệm. Biểu thức đối với trở kháng (sóng) đặc tính của đường truyền xoắn ốc cũng nhận được dưới dạng

$$Z_c = \frac{60}{V_f} \left[\ln \left(\frac{V_f \lambda_0}{D} \right) - 1,027 \right]. \quad (47)$$

Độ trễ pha không gian θ_y của kết cấu có thể được xác định bằng cách sử dụng độ trễ pha sóng di chuyển của dây dẫn đường cáp theo phương thẳng đứng 221 (Fig.7) Điện dung của dây dẫn theo phương thẳng đứng hình trụ ở trên mặt đất phẳng hoàn hảo có thể được biểu diễn dưới dạng

$$C_A = \frac{2\pi\epsilon_0 h_w}{\ln\left(\frac{h}{a}\right)-1} \text{ Fara}, \quad (48)$$

trong đó h_w là độ dài (hoặc độ cao) theo phương thẳng đứng của dây dẫn và a là bán kính (theo đơn vị mks). Như với cuộn dây xoắn ốc, độ trễ pha sóng di chuyển của dây dẫn đường cáp theo phương thẳng đứng có thể được xác định bởi

$$\theta_y = \beta_w h_w = \frac{2\pi}{\lambda_w} h_w = \frac{2\pi}{V_w \lambda_0} h_w, \quad (49)$$

trong đó β_w là hằng số pha lan truyền đối với dây dẫn đường cáp theo phương thẳng đứng, h_w là độ dài (hoặc độ cao) theo phương thẳng đứng của dây dẫn đường cáp theo phương thẳng đứng, V_w là hệ số vận tốc trên dây, λ_0 là bước sóng ở tần số được cấp, và λ_w là bước sóng lan truyền tạo ra từ hệ số vận tốc V_w . Đối với dây dẫn hình trụ đồng đều, hệ số vận tốc là không đổi với $V_w \approx 0,94$, hoặc trong phạm vi từ khoảng 0,93 đến 0,98. Nếu cột được xem là đường truyền đồng đều, trở kháng đặc tính trung bình của nó có thể xấp xỉ bởi

$$Z_w = \frac{60}{V_w} \left[\ln \left(\frac{h_w}{a} \right) - 1 \right], \quad (50)$$

trong đó $V_w \approx 0,94$ đối với dây dẫn hình trụ đồng đều và a là bán kính của dây dẫn. Biểu thức khác mà được sử dụng trong tài liệu vô tuyến nghiệp dư đối với trở kháng đặc tính của đường cáp dây đơn có thể được xác định bởi

$$Z_w = 138 \log \left(\frac{1,123 V_w \lambda_0}{2\pi a} \right). \quad (51)$$

Phương trình (51) ngụ ý là Z_w đối với bộ cáp dây đơn thay đổi tần số. Độ trễ pha có thể được xác định dựa trên điện dung và trở kháng đặc tính.

Với cực nạp T_1 được định vị khắp môi trường dẫn điện hao tổn 203 như được thể hiện trên Fig.3, mạng cáp 209 có thể được điều chỉnh để kích thích cực nạp T_1 với độ lệch pha (Φ) của độ cao hiệu quả phức (h_{eff}) bằng với góc (Ψ) của độ nghiêng sóng ở khoảng cách giao nhau Hankel, hoặc $\Phi = \Psi$. Khi điều kiện này được đáp ứng, điện trường được tạo ra bởi sự dao động điện tích Q_1 trên cực nạp T_1 được ghép vào phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng di chuyển dọc theo bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn 203. Ví dụ, nếu góc Brewster ($\theta_{i,B}$), độ trễ pha (θ_y) được kết hợp với dây dẫn đường cáp theo phương thẳng đứng 221 (Fig.7), và kết cấu của cuộn dây 215 (Fig.7) đã biết, sau đó vị trí của điểm nối dây 224 (Fig.7) có thể được xác định và được điều chỉnh để áp đặt điện tích Q_1 dao động trên cực nạp T_1 với pha $\Phi = \Psi$. Vị trí của điểm nối dây 224 có thể được điều chỉnh để tối đa hóa việc ghép các sóng bề mặt di chuyển vào phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng. Độ dài cuộn dây thừa vượt quá vị trí của điểm nối dây 224 có thể được loại bỏ để làm giảm các hiệu quả điện dung. Độ cao dây theo phương thẳng đứng và/hoặc các thông số hình học của cuộn dây xoắn ốc có thể còn được thay đổi.

Việc ghép vào phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng trên bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn 203 có thể được cải thiện và/hoặc được tối ưu hóa bằng cách xoay đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 để dựng đứng việc cộng hưởng sóng liên quan đến mặt phẳng hình ảnh phức kết hợp với điện tích Q_1 trên cực nạp T_1 . Bằng cách làm điều này, hiệu suất của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 có thể được điều chỉnh đối với điện áp tăng lên và/hoặc tối đa (và do đó điện tích Q_1) trên cực nạp T_1 . Đề cập trở lại Fig.3, hiệu quả của môi trường dẫn điện hao tổn 203 trong vùng 1 có thể được xem xét bằng cách áp dụng việc phân tích thuyết hình ảnh.

Về mặt vật lý, điện tích Q_1 được nâng được đặt khắp mặt phẳng dẫn điện hoàn hảo thu hút điện tích tự do trên mặt phẳng dẫn điện hoàn hảo, mà sau đó “dựng đứng” trong vùng dưới điều kiện điện tích Q_1 được nâng. Sự phân bố kết quả của điện năng “được giới hạn” trên mặt phẳng dẫn điện hoàn hảo tương tự với đường cong được tạo dạng chuông. Việc chồng điện thế của điện tích Q_1 được nâng, cộng điện thế của điện tích “được dựng đứng” được cảm ứng bên dưới nó, thúc đẩy bề mặt đẳng thế bằng không đối với mặt phẳng dẫn điện hoàn hảo. Giải pháp vấn đề trị số biên mà mô tả

các trường trong vùng ở trên mặt phẳng dẫn điện hoàn hảo có thể thu được bằng cách sử dụng khái niệm cổ điển về các điện tích hình ảnh, trong đó trường từ điện tích được nâng được chồng lên trường từ điện tích "hình ảnh" tương ứng bên dưới mặt phẳng dẫn điện hoàn hảo.

Việc phân tích này có thể còn được sử dụng liên quan đến môi trường dẫn điện hao tổn 203 bằng cách giả sử sự tồn tại của điện tích hình ảnh hiệu quả Q_1' bên dưới đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200. Điện tích hình ảnh hiệu quả Q_1' trùng với điện tích Q_1 trên cực nạp T_1 quanh mặt đất phẳng hình ảnh dẫn điện 130, như được thể hiện trên Fig.3. Tuy nhiên, điện tích hình ảnh Q_1' không chỉ được định vị ở một vài độ sâu thực và 180° ngoài pha với điện tích nguồn ban đầu Q_1 trên cực nạp T_1 , khi chúng sẽ trong trường hợp dây dẫn rất tốt. Hơn nữa, môi trường dẫn điện hao tổn 203 (ví dụ, môi trường trên mặt đất) thể hiện hình ảnh lệch pha. Nghĩa là, điện tích hình ảnh Q_1' ở độ sâu phức bên dưới bề mặt (hoặc biên vật lý) của môi trường dẫn điện hao tổn 203. Đối với việc đề cập đến độ sâu hình ảnh phức, tham chiếu đến tài liệu Wait, J. R., "Complex Image Theory—Revisited," IEEE Antennas and Propagation Magazine, tập 33, số 4, tháng 8 năm 1991, các trang 27-29, mà được kết hợp trong bản mô tả này nhằm tham chiếu về tổng thể.

Thay vì điện tích hình ảnh Q_1' ở độ sâu là bằng độ cao vật lý (H_1) của điện tích Q_1 , mặt đất phẳng hình ảnh dẫn điện 130 (thể hiện dây dẫn rất tốt) được định vị ở độ sâu phức $z = -d/2$ và điện tích hình ảnh Q_1' xuất hiện ở độ sâu phức (nghĩa là, "độ sâu" có cả độ lớn và pha), được xác định bởi $-D_1 = -(d/2 + d/2 + H_1) \neq H_1$. Đối với các nguồn phân cực theo phương thẳng đứng khắp trái đất,

$$d = \frac{2\sqrt{\gamma_e^2 + k_0^2}}{\gamma_e} \approx \frac{2}{\gamma_e} = d_r + jd_i = |d|\angle\zeta, \quad (52)$$

trong đó

$$\gamma_e^2 = j\omega\mu_1\sigma_1 - \omega^2\mu_1\varepsilon_1, \text{ và } (53)$$

$$k_o = \omega\sqrt{\mu_o\varepsilon_o}, \quad (54)$$

như được thể hiện trong phương trình (12). Khoảng cách phức của điện tích hình ảnh, đến lượt, ngụ ý là trường bên ngoài sẽ trải qua các độ lệch pha phụ mà không gặp phải khi mặt phân giới là chất điện môi hoặc dây dẫn rất tốt. Trong môi trường dẫn điện hao tổn, pháp tuyến sóng phía trước song song với tiếp tuyến của mặt đất

phẳng hình ảnh dẫn điện 130 ở $z = -d/2$, và không ở mặt phân giới biên giữa các vùng 1 và 2.

Xem xét trường hợp được thể hiện trên Fig.8A trong đó môi trường dẫn điện hao tổn 203 là trái đất dẫn điện hữu hạn 133 với biên vật lý 136. Trái đất dẫn điện hữu hạn 133 có thể được thay thế bởi mặt đất phẳng hình ảnh dẫn điện 139 hoàn hảo như được thể hiện trên Fig.8B, mà được định vị ở độ sâu phức z_1 bên dưới biên vật lý 136. Hình ảnh biểu diễn tương đương này thể hiện trở kháng giống thế khi nhìn xuống vào mặt phân giới ở biên vật lý 136. Hình ảnh biểu diễn tương đương trên Fig.8B có thể được tạo kiểu dưới dạng đường truyền tương đương, như được thể hiện trên Fig. 8C. Mặt cắt của kết cấu tương đương được thể hiện dưới dạng đường truyền nạp đầu (theo hướng z), với trở kháng của mặt phẳng hình ảnh dẫn điện hoàn hảo là mạch ngắn ($z_s = 0$). Độ sâu z_1 có thể được xác định bằng cách lập phương trình trở kháng sóng TEM nhìn xuống ở trái đất đến trở kháng mặt đất phẳng hình ảnh z_{in} thấy nhìn vào đường truyền trên Fig.8C.

Trong trường hợp Fig.8A, hằng số lan truyền và trở kháng bên trong sóng ở vùng bên trên (không khí) 142 là

$$\gamma_o = j\omega\sqrt{\mu_o\epsilon_o} = 0 + j\beta_o, \text{ và (55)}$$

$$z_o = \frac{j\omega\mu_o}{\gamma_o} = \sqrt{\frac{\mu_o}{\epsilon_o}}. \quad (56)$$

Ở trái đất hao tổn 133, hằng số lan truyền và trở kháng bên trong sóng là

$$\gamma_e = \sqrt{j\omega\mu_1(\sigma_1 + j\omega\epsilon_1)}, \text{ và (57)}$$

$$Z_e = \frac{j\omega\mu_1}{\gamma_e}. \quad (58)$$

Đối với sự tới trực giao, hình ảnh biểu diễn tương đương trên Fig.8B tương đương với đường truyền TEM trở kháng đặc tính của nó là trở kháng của không khí (z_o), với hằng số lan truyền γ_o , và độ dài của nó là z_1 . Như vậy, trở kháng mặt đất phẳng hình ảnh Z_{in} xem ở mặt phân giới đối với đường truyền được làm ngắn mạch trên Fig.8 được xác định bởi

$$Z_{in} = Z_o \tan(\gamma_o z_1). \quad (59)$$

Lập phương trình trở kháng mặt đất phẳng hình ảnh Z_{in} kết hợp với kiểu tương đương trên Fig.8C với trở kháng sóng tới trực giao trên Fig.8A và giải quyết cho z_1 khiến khoảng cách đến mạch ngắn (mặt đất phẳng hình ảnh dẫn điện 139) là

$$z_1 = \frac{1}{\gamma_o} \tan^{-1} \left(\frac{Z_e}{Z_o} \right) = \frac{1}{\gamma_o} \tan^{-1} \left(\frac{\gamma_o}{\gamma_e} \right) \approx \frac{1}{\gamma_e}, \quad (60)$$

trong đó chỉ thuật ngữ thứ nhất của sự giãn nở liên tiếp đối với tiếp tuyến hypebon đảo ngược được xem xét đối với việc xấp xỉ này. Lưu ý rằng trong vùng không khí 142, hằng số lan truyền là $\gamma_o = j\beta_o$, vì vậy $Z_{in} = jZ_o \tan \beta_o z_1$ (mà là số lượng ảo thuần túy đối với z_1 thực), nhưng z_e là trị số phức nếu $\sigma \neq 0$. Do đó, $Z_{in} = Z_e$ chỉ khi z_1 là khoảng cách phức.

Vì hình ảnh biểu diễn tương đương trên Fig.8B bao gồm mặt đất phẳng hình ảnh dẫn điện 139 hoàn hảo, độ sâu hình ảnh đối với điện tích hoặc dòng điện nằm ở bề mặt trái đất (biên vật lý 136) bằng khoảng cách z_1 ở phía khác của mặt đất phẳng hình ảnh 139, hoặc $d = 2 \times z_1$ ở dưới bề mặt trái đất (mà được định vị ở $z = 0$). Do đó, khoảng cách đến mặt đất phẳng hình ảnh dẫn điện 139 hoàn hảo có thể được xấp xỉ bởi

$$d = 2z_1 \approx \frac{2}{\gamma_e}. \quad (61)$$

Ngoài ra, “điện tích hình ảnh” sẽ “bằng và ngược với” điện tích thực, vì vậy điện thế của mặt đất phẳng hình ảnh dẫn điện 139 hoàn hảo ở độ sâu $z_1 = -d/2$ sẽ bằng không.

Nếu điện tích Q_1 được nâng lên khoảng cách H_1 ở trên bề mặt trái đất như được thể hiện trên Fig.3, sau đó điện tích hình ảnh Q_1' có ở khoảng cách phức $D_1 = d + H_1$ bên dưới bề mặt, hoặc khoảng cách phức $d/2 + H_1$ bên dưới mặt đất phẳng hình ảnh 139. Đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200b trên Fig.7 có thể được tạo mẫu dưới dạng kiểu hình ảnh mặt phẳng đường truyền dây đơn tương đương mà có thể dựa trên mặt đất phẳng hình ảnh dẫn điện 139 hoàn hảo trên Fig.8B. Fig.9A thể hiện một ví dụ về kiểu mặt phẳng hình ảnh đường truyền dây đơn tương đương, và Fig.9B thể hiện một ví dụ về kiểu đường truyền cổ điển tương đương, bao gồm đường truyền được làm ngắn mạch trên Fig.8C.

Theo các kiểu mặt phẳng hình ảnh tương đương trên Fig.9A và Fig.9B, $\Phi = \theta_y + \theta_c$ là độ trễ pha sóng di chuyển của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 ám chỉ trái đất 133 (hoặc môi trường dẫn điện hao tổn 203), $\theta_c = \beta_p H$ là

độ dài điện của cuộn dây 215 (Fig.7), có độ dài vật lý H , được biểu diễn dưới đơn vị độ, $\theta_y = \beta_w h_w$ là độ dài điện của dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng 221 (Fig.7), có độ dài vật lý h_w , được biểu diễn dưới đơn vị độ, và $\theta_d = \beta_o d/2$ là độ lệch pha giữa mặt đất phẳng hình ảnh 139 và biên vật lý 136 của trái đất 133 (hoặc môi trường dẫn điện hao tổn 203). Trong ví dụ trên Fig.9A và Fig.9B, Z_w là trở kháng đặc tính của dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng 221 được nâng dưới đơn vị ôm, Z_c là trở kháng đặc tính của cuộn dây 215 dưới đơn vị ôm, và Z_o là trở kháng đặc tính của khoảng không tự do.

Ở đáy của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200, trở kháng được xem “nhìn lên” vào trong kết cấu là $Z_{\uparrow} = Z_{c\text{or s\ddot{o}}}$. Với trở kháng tải của:

$$Z_L = \frac{1}{j\omega C_T}, \quad (62)$$

trong đó C_T là điện dung tự cảm của cực nạp T_1 , trở kháng được xem “nhìn lên” vào trong dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng 221 (Fig.7) được xác định bởi:

$$Z_2 = Z_w \frac{Z_L + Z_w \tan(j\beta_w h_w)}{Z_w + Z_L \tan(j\beta_w h_w)} = Z_w \frac{Z_L + Z_w \tan(j\theta_y)}{Z_w + Z_L \tan(j\theta_y)}, \quad (63)$$

và trở kháng được xem “nhìn lên” vào trong cuộn dây 215 (Fig.7) được xác định bởi:

$$Z_{c\text{or s\ddot{o}}} = Z_c \frac{Z_2 + Z_c \tan(j\beta_p H)}{Z_c + Z_2 \tan(j\beta_p H)} = Z_c \frac{Z_2 + Z_c \tan(j\theta_c)}{Z_c + Z_2 \tan(j\theta_c)}. \quad (64)$$

Ở đáy của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200, trở kháng được xem “nhìn xuống” vào môi trường dẫn điện hao tổn 203 là $Z_{\downarrow} = Z_{in}$, mà được xác định bởi:

$$Z_{in} = Z_o \frac{Z_s + Z_o \tan[j\beta_o (d/2)]}{Z_o + Z_s \tan[j\beta_o (d/2)]} = Z_o \tan(j\theta_d), \quad (65)$$

trong đó $Z_s = 0$.

Bỏ qua các tổn thất, kiểu mặt phẳng hình ảnh tương đương có thể được xoay để cộng hưởng khi $Z_{\downarrow} + Z_{\uparrow} = 0$ ở biên vật lý 136. Hoặc, trong trường hợp hao tổn thấp, $X_{\downarrow} + X_{\uparrow} = 0$ ở biên vật lý 136, trong đó X là thành phần phản ứng tương ứng. Do đó, trở kháng ở biên vật lý 136 “nhìn lên” vào đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 là số liên hợp của trở kháng ở biên vật lý 136 “nhìn xuống” vào môi trường dẫn điện hao tổn 203. Bằng cách điều chỉnh trở kháng nạp Z_L của cực nạp T_1 trong khi duy trì độ trễ pha sóng di chuyển Φ bằng với góc độ nghiêng sóng của các môi trường

Ψ , sao cho $\Phi = \Psi$, mà cải thiện và/hoặc tối đa hóa việc ghép của điện trường của đầu dò với phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng dọc theo bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn 203 (ví dụ, trái đất), các kiểu mặt phẳng hình ảnh tương đương trên Fig.9A và Fig.9B có thể được xoay để cộng hưởng liên quan đến mặt đất phẳng hình ảnh 139. Theo cách này, trở kháng của kiểu mặt phẳng hình ảnh phức tương đương một cách thuần túy là trở kháng, mà duy trì sóng đứng được chồng trên kết cấu đầu dò mà tối đa hóa điện áp và điện tích được nâng trên cực T_1 , và bởi các phương trình (1)-(3) và (16) tối đa hóa sóng bề mặt lan truyền.

Nó theo sau các nghiệm Hankel, mà sóng bề mặt được dẫn hướng được kích thích bởi đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 là sóng di chuyển lan truyền ra phía ngoài. Sự phân bố nguồn dọc theo mạng cấp 209 giữa bức xạ T_1 và cọc tiếp đất 218 của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 (Fig.3 và Fig.7) thực tế là gồm có sự chồng sóng di chuyển cộng sóng đứng trên kết cấu. Với bức xạ T_1 được định vị ở hoặc ở trên độ cao vật lý h_p , độ trễ pha của sóng di chuyển dịch chuyển qua mạng cấp 209 được làm phù hợp với góc có độ nghiêng sóng kết hợp với môi trường dẫn điện hao tổn 203. Việc làm phù hợp về mặt phương thức này cho phép sóng di chuyển cần phải được phóng dọc theo môi trường dẫn điện hao tổn 203. Một khi độ trễ pha được thiết lập cho sóng di chuyển, trở kháng nạp Z_L của cực nạp T_1 được điều chỉnh để mang đầu dò kết cấu vào việc cộng hưởng sóng đứng so với mặt đất phẳng hình ảnh (130 trên Fig.3 hoặc 139 trên Fig.8), mà ở độ sâu phức $-d/2$. Trong trường hợp đó, trở kháng xem từ mặt đất phẳng hình ảnh có điện kháng bằng không và điện tích trên cực nạp T_1 được tối đa hóa.

Sự khác biệt giữa hiện tượng sóng di chuyển và các hiện tượng sóng đứng là (1) độ trễ pha của các sóng di chuyển ($\theta = \beta d$) trên phần đường truyền có độ dài d (đôi khi gọi là “đường trễ”) là do các độ trễ thời gian lan truyền; ngược lại (2) pha phụ thuộc vị trí của các sóng đứng (mà bao gồm các sóng lan truyền về phía trước và về phía sau) phụ thuộc vào cả độ trễ thời gian lan truyền độ dài đường thẳng và các sự chuyển tiếp trở kháng ở các mặt phân giới giữa các phần đường thẳng của các trở kháng đặc tính khác nhau. Ngoài độ trễ pha mà phát sinh do độ dài vật lý của phần đường truyền vận hành ở trạng thái ổn định hình sin, có pha hệ số phản xạ thêm ở các điểm gián đoạn trở kháng mà do tỷ lệ Z_{oa}/Z_{ob} , trong đó Z_{oa} và Z_{ob} là các trở kháng

đặc tính của hai phần đường truyền chẳng hạn như, ví dụ, phần cuộn dây xoắn ốc của trở kháng đặc tính $Z_{oa} = Z_c$ (Fig.9B) và phần thẳng của dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng của trở kháng đặc tính $Z_{ob} = Z_w$ (Fig.9B).

Kết quả của hiện tượng này, hai phần đường truyền tương đối ngắn của trở kháng đặc tính khác nhau lớn có thể được sử dụng để tạo ra độ lệch pha rất lớn. Ví dụ, kết cấu đầu dò gồm có hai phần đường truyền, một của trở kháng thấp và một của trở kháng cao, cùng nhau tổng hợp độ dài vật lý là, nêu, $0,05 \lambda$, có thể được tạo để tạo ra độ lệch pha 90° mà tương đương với việc cộng hưởng $0,25 \lambda$. Việc này là do bước nhảy lớn về các đặc tính trở kháng. Theo cách này, kết cấu đầu dò ngắn về mặt vật lý có thể dài hơn về mặt điện hai độ dài vật lý kết hợp. Điều này được thể hiện trên Fig.9A và Fig.9B, trong đó các điểm gián đoạn ở các tỷ lệ trở kháng tạo ra các bước nhảy lớn về pha. Sự không liên tục về mặt trở kháng tạo ra độ lệch pha đáng kể trong đó các phần được nối với nhau.

Đề cập đến Fig.10, hình vẽ này thể hiện lưu đồ 150 minh họa một ví dụ về việc điều chỉnh đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 (Fig.3 và Fig.7) để gần như làm phù hợp về mặt phương thức với phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng trên bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn, mà phóng sóng di chuyển bề mặt được dẫn hướng dọc theo bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn 203 (Fig.3). Bắt đầu với 153, cực nạp T_1 của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 được định vị ở độ cao xác định ở trên môi trường dẫn điện hao tổn 203. Việc sử dụng các đặc tính của môi trường dẫn điện hao tổn 203 và tần số vận hành của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200, khoảng cách giao nhau Hankel cũng có thể được nhận thấy bằng cách lập phương trình các độ lớn của các phương trình (20b) và (21) đối với $-j\gamma\rho$, và giải quyết cho R_x như được thể hiện bởi Fig.4. Chỉ số khúc xạ phức (n) có thể được xác định bằng cách sử dụng phương trình (41) và góc Brewster phức ($\theta_{i,B}$) có thể sau đó được xác định từ phương trình (42). Độ cao vật lý (h_p) của cực nạp T_1 có thể sau đó được xác định từ phương trình (44). Cực nạp T_1 nên ở hoặc cao hơn độ cao vật lý (h_p) để kích thích thành phần xa ra của hàm Hankel. Mối liên hệ về độ cao này ban đầu được xem xét khi phóng các sóng bề mặt. Để làm giảm hoặc giảm thiểu điện tích được giới hạn trên cực nạp T_1 , độ cao nên ít nhất bằng bốn lần đường kính cầu (hoặc đường kính cầu tương đương) của cực nạp T_1 .

Ở 156, độ trễ pha điện Φ của điện tích Q_1 được nâng trên bức xạ T_1 được làm phù hợp với góc nghiêng sóng phức Ψ . Độ trễ pha (θ_c) của cuộn dây xoắn ốc và/hoặc độ trễ pha (θ_y) của dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng có thể được điều chỉnh để làm Φ bằng với góc (Ψ) có độ nghiêng sóng (W). Dựa trên phương trình (31), góc (Ψ) có độ nghiêng sóng có thể được xác định từ:

$$W = \frac{E_\rho}{E_z} = \frac{1}{\tan \theta_{i,B}} = \frac{1}{n} = |W|e^{j\Psi}. \quad (66)$$

Pha điện Φ có thể sau đó được làm phù hợp với góc của độ nghiêng sóng. Mọi liên hệ về góc (hoặc pha) này tiếp theo được xem xét khi phóng các sóng bề mặt. Ví dụ, độ trễ pha về điện $\Phi = \theta_c + \theta_y$ có thể được điều chỉnh bằng cách thay đổi các thông số hình học của cuộn dây 215 (Fig.7) và/hoặc độ dài (hoặc độ cao) của dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng 221 (Fig.7). Bằng cách làm phù hợp $\Phi = \Psi$, điện trường có thể được thiết lập ở hoặc vượt quá khoảng cách giao nhau Hankel (R_x) với góc Brewster phức ở mặt phân giới biên để kích thích phương thức dẫn hướng sóng bề mặt và phóng sóng di chuyển dọc theo môi trường dẫn điện hao tổn 203.

Tiếp theo ở 159, trở kháng tải của cực nạp T_1 được xoay để cộng hưởng kiểu mặt phẳng hình ảnh tương đương của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200. Độ sâu ($d/2$) của mặt đất phẳng hình ảnh dẫn điện 139 trên Fig.9A và Fig.9B (hoặc 130 trên Fig.3) có thể được xác định bằng cách sử dụng các phương trình (52), (53) và (54) và các trị số của môi trường dẫn điện hao tổn 203 (ví dụ, trái đất), mà có thể được xác định. Bằng cách sử dụng độ sâu đó, độ lệch pha (θ_d) giữa mặt đất phẳng hình ảnh 139 và biên vật lý 136 của môi trường dẫn điện hao tổn 203 có thể được xác định bằng cách sử dụng $\theta_d = \beta_o d/2$. Trở kháng (Z_{in}) như xem “nhìn xuống” vào trong môi trường dẫn điện hao tổn 203 sau đó có thể được xác định bằng cách sử dụng phương trình (65). Mọi liên hệ cộng hưởng này có thể được xem xét để tối đa hóa các sóng bề mặt được phóng.

Dựa vào các thông số được điều chỉnh của cuộn dây 215 và độ dài của dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng 221, hệ số vận tốc, độ trễ pha, và trở kháng của cuộn dây 215 và dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng 221 có thể được xác định bằng cách sử dụng các phương trình từ (45) đến (51). Ngoài ra, điện dung tự cảm (C_T) của cực nạp T_1 có thể được xác định bằng cách sử dụng, ví dụ, phương trình (24). Hệ

số lan truyền (β_p) của cuộn dây 215 có thể được xác định bằng cách sử dụng phương trình (35) và hằng số pha lan truyền (β_w) đối với dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng 221 có thể được xác định bằng cách sử dụng phương trình (49). Bằng cách sử dụng điện dung tự cảm và các trị số được xác định của cuộn dây 215 và dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng 221, trở kháng ($Z_{cơ sở}$) của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 như xem “nhìn lên” vào cuộn dây 215 có thể được xác định bằng cách sử dụng các phương trình (62), (63) và (64).

Kiểu mặt phẳng hình ảnh tương đương của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 có thể được xoay đến cộng hưởng bằng cách điều chỉnh trở kháng nạp Z_L sao cho thành phần điện kháng $X_{cơ sở}$ của $Z_{cơ sở}$ hủy bỏ thành phần điện kháng X_{in} của Z_{in} , hoặc $X_{cơ sở} + X_{in} = 0$. Do đó, trở kháng ở biên vật lý 136 “nhìn lên” vào đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 là số liên hợp của trở kháng ở biên vật lý 136 “nhìn xuống” vào môi trường dẫn điện hao tổn 203. Trở kháng nạp Z_L có thể được điều chỉnh bằng cách thay đổi điện dung (C_T) của cực nạp T_1 mà không thay đổi độ trễ pha điện $\Phi = \theta_c + \theta_y$ của cực nạp T_1 . Phương án lập có thể được thực hiện để xoay trở kháng nạp Z_L cho việc cộng hưởng phương thức mặt phẳng hình ảnh tương đương liên quan đến mặt đất phẳng hình ảnh dẫn điện 139 (hoặc 130). Theo cách này, việc ghép điện trường với phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng dọc theo bề mặt môi trường dẫn điện hao tổn 203 (ví dụ, trái đất) có thể được cải thiện và/hoặc được tối đa hóa.

Việc này có thể được hiểu tốt hơn bằng cách thể hiện tình huống với ví dụ số học. Xem xét đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 bao gồm góc theo phương thẳng đứng được nạp đỉnh có độ cao vật lý h_p với cực nạp T_1 ở đỉnh, trong đó cực nạp T_1 được kích thích qua cuộn dây xoắn ốc và dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng ở tần số vận hành (f_o) 1,85 MHz. Với độ cao (H_1) là 16 feet (4,87 m) và môi trường dẫn điện hao tổn 203 (ví dụ, trái đất) có hằng số điện môi tương đối $\epsilon_r = 15$ và độ dẫn điện $\sigma_1 = 0,010$ mhos/m, một số thông số lan truyền sóng bề mặt có thể được tính toán đối với $f_o = 1,850$ MHz. Dưới các điều kiện này, khoảng cách giao nhau Hankel có thể được tìm thấy là $R_x = 54,5$ feet (16,61 m) với độ cao vật lý $h_p = 5,5$ feet (1,67 m), mà bên dưới độ cao thực tế của cực nạp T_1 . Trong khi độ cao cực

nạp $H_1 = 5,5$ feet (1,67 m) có thể được sử dụng, kết cấu đầu dò cao hơn được làm giảm điện dung biên, cho phép phần trăm điện tích tự do lớn hơn trên cực nạp T_1 tạo ra cường độ trường lớn hơn và sự kích thích sóng di chuyển.

Độ dài sóng có thể được xác định là:

$$\lambda_o = \frac{c}{f_o} = 162,162 \text{ m}, \quad (67)$$

trong đó c là tốc độ ánh sáng. Chỉ số khúc xạ phức là:

$$n = \sqrt{\varepsilon_r - jx} = 7,529 - j 6,546, \quad (68)$$

từ phương trình (41), trong đó $x = \sigma_1/\omega\varepsilon_o$ với $\omega = 2\pi f_o$, và góc Brewster phức là:

$$\theta_{i,B} = \text{actang}(\sqrt{\varepsilon_r - jx}) = 85,6 - j 3,744^\circ. \quad (69)$$

từ phương trình (42). Bằng cách sử dụng phương trình (66), các trị số độ nghiêng sóng có thể được xác định là:

$$W = \frac{1}{\tan \theta_{i,B}} = \frac{1}{n} = |W|e^{j\Psi} = 0,101e^{j40,614^\circ}. \quad (70)$$

Do đó, cuộn dây xoắn ốc có thể được điều chỉnh để phù hợp $\Phi = \Psi = 40,614^\circ$

Hệ số vận tốc của dây dẫn đường cáp theo phương thẳng đứng (gần như dưới dạng dây dẫn hình trụ đồng đều với đường kính bằng 0,27 inch (0,68 cm) có thể được xác định dưới dạng $V_w \approx 0,93$. Vì $h_p \ll \lambda_o$, hằng số pha lan truyền đối với dây dẫn đường cáp theo phương thẳng đứng có thể xấp xỉ là:

$$\beta_w = \frac{2\pi}{\lambda_w} = \frac{2\pi}{V_w \lambda_o} = 0,042 \text{ m}^{-1}. \quad (71)$$

Từ phương trình (49), độ trễ pha của dây dẫn đường cáp theo phương thẳng đứng là:

$$\theta_y = \beta_w h_w \approx \beta_w h_p = 11,640^\circ. \quad (72)$$

Bằng cách điều chỉnh độ trễ pha của cuộn dây xoắn ốc sao cho $\theta_c = 28,974^\circ = 40,614^\circ - 11,640^\circ$, Φ sẽ bằng Ψ để phù hợp với phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng. Để minh họa mối liên hệ giữa Φ và Ψ , Fig.11 thể hiện đồ thị của cả hai khắp phạm vi của các tần số. Vì cả Φ và Ψ là tần số phụ thuộc, có thể xem là các đường cong tương ứng của chúng bắt chéo nhau ở xấp xỉ 1,85 MHz.

Đối với cuộn dây xoắn ốc có đường kính dây dẫn bằng 0,0881 inch (0,22 cm, đường kính cuộn dây (D) bằng 30 inch (76,2 cm) và khoảng cách vòng quấn đến vòng

quần (s) bằng 4 inch (10,16 cm), hệ số vận tốc đối với cuộn dây có thể được xác định bằng cách sử dụng phương trình (45) dưới dạng:

$$V_f = \frac{1}{\sqrt{1+20\left(\frac{D}{s}\right)^{2,5}\left(\frac{D}{\lambda_0}\right)^{0,5}}} = 0,069, \quad (73)$$

và hệ số lan truyền từ phương trình (35) là:

$$\beta_p = \frac{2\pi}{V_f \lambda_0} = 0,564 \text{ m}^{-1}. \quad (74)$$

Với $\theta_c = 28,974^\circ$, độ dài theo phương trục dọc của đường xoắn ốc sôlênôit (H) có thể được xác định bằng cách sử dụng phương trình (46) sao cho:

$$H = \frac{\theta_c}{\beta_p} = 35,2732 \text{ inch (89,59 cm)}. \quad (75)$$

Độ cao này xác định vị trí trên cuộn dây xoắn ốc trong đó dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng được nối, dẫn đến cuộn dây với 8,818 vòng quần ($N = H/s$).

Với độ trễ pha sóng di chuyển của cuộn dây và dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng được điều chỉnh để làm phù hợp góc nghiêng sóng ($\Phi = \theta_c + \theta_y = \Psi$), trở kháng tải (Z_L) của cực nạp T_1 có thể được điều chỉnh đối với việc cộng hưởng sóng đứng của kiểu mặt phẳng hình ảnh tương đương của đầu dò sóng bề mặt được dẫn hướng 200. Từ hằng số điện môi được đo, độ dẫn điện và độ thấm thấu của trái đất, hằng số lan truyền theo hướng kính có thể được xác định bằng cách sử dụng phương trình (57)

$$\gamma_e = \sqrt{j\omega u_1(\sigma_1 + j\omega\epsilon_1)} = 0,25 + j 0,292 \text{ m}^{-1}, \quad (76)$$

Và độ sâu phức của mặt đất mặt phẳng hình ảnh dẫn điện có thể được xấp xỉ từ phương trình (52) dưới dạng:

$$d \approx \frac{2}{\gamma_e} = 3,364 + j 3,963 \text{ m}, \quad (77)$$

với độ lệch pha tương ứng giữa mặt đất phẳng hình ảnh dẫn điện và biên vật lý của trái đất được xác định bởi:

$$\theta_d = \beta_o(d/2) = 4,015 - j 4,73^\circ. \quad (78)$$

Bằng cách sử dụng phương trình (65), trở kháng được xem “nhìn xuống” vào môi trường dẫn điện hao tổn 203 (nghĩa là, trái đất) có thể được xác định dưới dạng:

$$Z_{in} = Z_o \tan(j\theta_d) = R_{in} + jX_{in} = 31,191 + j 26,27 \text{ ôm}. \quad (79)$$

Bằng cách làm phù hợp thành phần phản ứng (X_{in}) được xem “nhìn xuống” vào môi trường dẫn điện hao tổn 203 với thành phần phản ứng ($X_{cơ sở}$) được xem “nhìn lên” vào đầu dò sóng bề mặt được dẫn hướng 200, việc ghép vào phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng có thể được tối đa hóa. Việc này có thể được thực hiện bằng cách điều chỉnh điện dung của cực nạp T_1 mà không thay đổi các độ trễ pha sóng di chuyển của cuộn dây và dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng. Ví dụ, bằng cách điều chỉnh điện dung cực nạp (C_T) thành 61,8126 pF, trở kháng nạp từ phương trình (62) là:

$$Z_L = \frac{1}{j\omega C_T} = -j 1392 \text{ ôm}, \quad (80)$$

và các thành phần phản ứng ở biên được làm phù hợp.

Bằng cách sử dụng phương trình (51), trở kháng của dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng (có đường kính ($2a$) bằng 0,27 inch (0,68 cm) được xác định dưới dạng

$$Z_w = 138 \log \left(\frac{1,123 V_w \lambda_0}{2\pi a} \right) = 537,534 \text{ ôm}, \quad (81)$$

và trở kháng xem “nhìn lên” vào dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng được xác định bởi phương trình (63) dưới dạng:

$$Z_2 = Z_w \frac{Z_L + Z_w \tan(j\theta_y)}{Z_w + Z_L \tan(j\theta_y)} = -j 835,438 \text{ ôm}. \quad (82)$$

Bằng cách sử dụng phương trình (47), trở kháng đặc tính của cuộn dây xoắn ốc được xác định là

$$Z_c = \frac{60}{V_f} \left[\ell n \left(\frac{V_f \lambda_0}{D} \right) - 1,027 \right] = 1446 \text{ ôm}, \quad (83)$$

và trở kháng xem “nhìn lên” vào cuộn dây ở đáy được xác định bởi phương trình (64) dưới dạng:

$$Z_{cơ sở} = Z_c \frac{Z_2 + Z_c \tan(j\theta_c)}{Z_c + Z_2 \tan(j\theta_c)} = -j 26,271 \text{ ôm}. \quad (84)$$

Khi so với dung dịch của phương trình (79), có thể thấy được là các thành phần phản ứng ngược và xấp xỉ bằng, và do đó là các liên hợp của nhau. Do đó, trở kháng (Z_{ip}) xem “nhìn lên” vào kiểu mặt phẳng hình ảnh tương đương trên Fig.9A và Fig.9B từ mặt đất phẳng hình ảnh dẫn điện hoàn hảo là chỉ trở kháng hoặc $Z_{ip} = R + j0$.

Khi các điện trường được tạo ra bởi đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 (Fig.3) được thiết lập bằng cách làm phù hợp độ trễ pha sóng di chuyển của mạng cấp với góc nghiêng sóng và kết cấu đầu dò được cộng hưởng so với mặt đất phẳng hình ảnh dẫn điện hoàn hảo ở độ sâu phức $z = -d/2$, các trường gần như được làm phù hợp về mặt phương thức với phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng trên bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn, sóng di chuyển bề mặt được dẫn hướng được phóng dọc theo bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn. Như được thể hiện trên Fig.1, đường cong cường độ trường được dẫn hướng 103 của trường điện từ được dẫn hướng có sự sụt giảm theo hàm mũ đặc tính của $e^{-\alpha d}/\sqrt{d}$ và thể hiện chỗ uốn phân biệt 109 trên phạm vi log-log.

Tóm lại, cả theo cách giải tích và bằng thí nghiệm, thành phần sóng di chuyển trên kết cấu của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 có độ trễ pha (Φ) ở cực bên trên của nó mà làm phù hợp góc (Ψ) có độ nghiêng sóng của sóng di chuyển bề mặt ($\Phi = \Psi$). Dưới điều kiện này, việc dẫn hướng sóng bề mặt có thể được xem cần phải “được làm phù hợp về mặt phương thức”. Hơn nữa, thành phần sóng đứng cộng hưởng trên kết cấu của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 có V_{MAX} ở cực nạp T_1 và V_{MIN} xuống ở mặt phẳng hình ảnh 139 (Fig.8B) trong đó $Z_{ip} = R_{ip} + j 0$ ở độ sâu phức $z = -d/2$, không ở chỗ nối ở biên vật lý 136 của môi trường dẫn điện hao tổn 203 (Fig.8B). Cuối cùng, cực nạp T_1 có độ cao H_1 đủ trên Fig.3 ($h \geq R_x \tan \psi_{i,B}$) sao cho các sóng điện trường tới trên môi trường dẫn điện hao tổn 203 ở góc Brewster phức vì vậy ra ngoài ở khoảng cách ($\geq R_x$) trong đó thuật ngữ $1/\sqrt{r}$ là nổi trội. Các mạch nhận có thể được sử dụng với một hoặc nhiều đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng để tạo điều kiện thuận tiện cho các hệ thống truyền không dây và/hoặc phân phối năng lượng.

Đề cập ngược lại Fig.3, việc vận hành của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 có thể được điều khiển để điều chỉnh đối với các thay đổi về các điều kiện vận hành kết hợp với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200. Ví dụ, hệ thống điều khiển đầu dò tương thích 230 có thể được sử dụng để kiểm soát mạng cấp 209 và/hoặc cực nạp T_1 để kiểm soát việc vận hành đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200. Các điều kiện vận hành có thể bao gồm, nhưng không bị hạn chế ở, các thay đổi về các đặc tính của môi trường dẫn điện hao tổn 203 (ví dụ, độ dẫn điện

σ và hằng số điện môi tương đối ϵ_r), các thay đổi về cường độ trường và/hoặc các thay đổi về tải của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200. Như có thể thấy được từ các phương trình (31), (41) và (42), chỉ số khúc xạ (n), góc Brewster phức ($\theta_{i,B}$), và độ nghiêng sóng ($|W|e^{j\Psi}$) có thể bị ảnh hưởng bởi các thay đổi về độ dẫn điện đất và hằng số điện môi tạo ra từ, ví dụ, các điều kiện thời tiết.

Thiết bị chẳng hạn như, ví dụ, các đầu dò xác định độ dẫn điện, các cảm biến điện môi, các thiết bị đo thông số mặt đất, các thiết bị đo trường, các bộ kiểm soát dòng điện và/hoặc các bộ nhận tải có thể được sử dụng để kiểm soát các thay đổi về các điều kiện vận hành và tạo ra thông tin về các điều kiện vận hành dòng điện đến hệ thống điều khiển đầu dò tương thích 230. Hệ thống điều khiển đầu dò 230 sau đó có thể tạo ra một hoặc nhiều việc điều chỉnh cho đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 để duy trì các điều kiện vận hành được xác định cho đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200. Ví dụ, khi độ ẩm và nhiệt độ thay đổi, độ dẫn điện của đất sẽ cũng thay đổi. Các đầu dò xác định độ dẫn điện và/hoặc các cảm biến điện môi có thể được định vị ở nhiều vị trí quanh đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200. Nói chung là, sẽ mong muốn kiểm soát độ dẫn điện và/hoặc hằng số điện môi ở hoặc quanh khoảng cách giao nhau Hankel R_x đối với tần số vận hành. Các đầu dò xác định độ dẫn điện và/hoặc các cảm biến điện môi có thể được định vị ở nhiều vị trí (ví dụ, trong mỗi góc phần tư) quanh đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200.

Các đầu dò xác định độ dẫn điện và/hoặc các cảm biến điện môi có thể được tạo kết cấu để đánh giá độ dẫn điện và/hoặc hằng số điện môi trên cơ sở định kỳ và truyền thông tin với hệ thống điều khiển đầu dò 230. Thông tin có thể được truyền đến hệ thống điều khiển đầu dò 230 qua mạng chẳng hạn như, nhưng không bị hạn chế ở, LAN, WLAN, mạng tế bào, mạng truyền thông không dây hoặc được nối dây thích hợp khác. Dựa trên độ dẫn điện và/hoặc hằng số điện môi được kiểm soát, hệ thống điều khiển đầu dò 230 có thể đánh giá sự thay đổi trong chỉ số khúc xạ (n), góc Brewster phức ($\theta_{i,B}$), và/hoặc độ nghiêng sóng ($|W|e^{j\Psi}$) và điều chỉnh đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 để duy trì độ trễ pha (Φ) của mạng cấp 209 bằng góc nghiêng sóng (Ψ) và/hoặc duy trì việc cộng hưởng của kiểu mặt phẳng hình ảnh tương đương của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200. Việc này có

thể được thực hiện bằng cách điều chỉnh, ví dụ, θ_y , θ_c và/hoặc C_T . Ví dụ, hệ thống điều khiển đầu dò 230 có thể điều chỉnh điện dung tự cảm của cực nạp T_1 hoặc độ trễ pha (θ_y , θ_c) được áp dụng cho cực nạp T_1 để duy trì hiệu quả phóng điện của sóng bề mặt được dẫn hướng ở hoặc gần mức cực đại của nó. Ví dụ, điện dung tự cảm của cực nạp T_1 có thể được thay đổi bằng cách thay đổi kích thước của cực. Sự phân bố điện tích cũng có thể được cải thiện bằng cách làm tăng kích thước của cực nạp T_1 , mà có thể làm giảm cơ hội phóng điện từ cực nạp T_1 . Theo các phương án khác, cực nạp T_1 có thể bao gồm độ tự cảm thay đổi được mà có thể được điều chỉnh để thay đổi trở kháng nạp Z_L . Pha được áp dụng cho cực nạp T_1 có thể được điều chỉnh bằng cách thay đổi vị trí điểm nối dây trên cuộn dây 215 (Fig.7), và/hoặc bằng cách bao gồm nhiều điểm nối dây định trước dọc theo cuộn dây 215 và chuyển mạch giữa các vị trí điểm nối dây định trước khác nhau để tối đa hóa hiệu quả phóng.

Các thiết bị đo trường hoặc cường độ trường (FS) cũng có thể được phân bố quanh đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 để đo cường độ trường của các trường kết hợp với sóng bề mặt được dẫn hướng. Các thiết bị đo trường hoặc FS có thể được tạo kết cấu để phát hiện cường độ trường và/hoặc các thay đổi về cường độ trường (ví dụ, cường độ điện trường) và truyền thông tin đó đến hệ thống điều khiển đầu dò 230. Thông tin có thể được truyền đến hệ thống điều khiển đầu dò 230 qua mạng chẳng hạn như, nhưng không bị hạn chế ở, LAN, WLAN, mạng tế bào, hoặc mạng truyền thông thích hợp khác. Khi các điều kiện tải và/hoặc môi trường thay đổi hoặc biến đổi trong suốt quá trình vận hành, đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 có thể được điều chỉnh để duy trì (các) cường độ trường được chỉ ra ở các vị trí thiết bị đo FS để đảm bảo việc truyền năng lượng thích hợp đến các bộ nhận và các tải trọng chúng cấp.

Ví dụ, độ trễ pha ($\Phi = \theta_y + \theta_c$) được áp dụng vào cực nạp T_1 có thể được điều chỉnh để phù hợp với góc nghiêng sóng (Ψ). Bằng cách điều chỉnh một hoặc cả hai độ trễ pha, đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 có thể được điều chỉnh để đảm bảo độ nghiêng sóng tương ứng với góc Brewster phức. Việc này có thể được thực hiện bằng cách điều chỉnh vị trí điểm nối dây trên cuộn dây 215 (Fig.7) để thay đổi độ trễ pha được cấp đến cực nạp T_1 . Mức điện áp được cấp đến cực nạp T_1 có thể cũng được làm tăng hoặc được làm giảm để điều chỉnh cường độ điện trường. Việc

này có thể được thực hiện bằng cách điều chỉnh điện áp đầu ra của nguồn kích thích 212 hoặc bằng cách điều chỉnh hoặc cấu hình lại mạng cấp 209. Ví dụ, vị trí của điểm nối dây 227 (Fig.7) đối với nguồn AC 212 có thể được điều chỉnh để làm tăng điện áp thấy được bởi cực nạp T_1 . Việc duy trì các mức cường độ trường trong các phạm vi định trước có thể cải thiện việc ghép bởi các bộ nhận, làm giảm các tổn thất dòng điện mặt đất, và tránh sự ảnh hưởng tới các việc truyền từ các đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 khác.

Hệ thống điều khiển đầu dò 230 có thể được thực hiện với phần cứng, phần sụn, phần mềm được thực hiện bởi phần cứng, hoặc sự kết hợp của chúng. Ví dụ, hệ thống điều khiển đầu dò 230 có thể bao gồm mạch xử lý bao gồm bộ vi xử lý và bộ nhớ, cả hai bộ phận này có thể được ghép với mặt phân giới cục bộ chẳng hạn như, ví dụ, bus dữ liệu với bus điều khiển/chỉ báo kèm theo như có thể hiểu được bởi người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật tương ứng. Ứng dụng kiểm soát đầu dò có thể được điều hành bởi bộ vi xử lý để điều chỉnh sự vận hành của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 dựa trên các điều kiện được kiểm soát. Hệ thống điều khiển đầu dò 230 có thể còn bao gồm một hoặc nhiều giao diện mạng để truyền thông với các thiết bị kiểm soát khác nhau. Các việc truyền thông có thể qua mạng chẳng hạn như, nhưng không bị hạn chế ở, LAN, WLAN, mạng tế bào, hoặc mạng truyền thông thích hợp khác. Hệ thống điều khiển đầu dò 230 có thể bao gồm, ví dụ, hệ thống máy tính chẳng hạn như máy chủ, máy tính để bàn, máy tính xách tay, hoặc hệ thống khác với khả năng tương tự.

Đề cập ngược lại ví dụ trên Fig.5A, lượng giác góc phức được thể hiện đối với sự giải thích tia quang học của điện trường tới (E) của cực nạp T_1 với góc Brewster phức ($\theta_{i,B}$) ở khoảng cách giao nhau Hankel (R_x). Trở lại, đối với môi trường dẫn điện hao tổn, góc Brewster là phức và được xác định bởi phương trình (38). Về mặt điện, các thông số hình học được liên quan bởi độ cao hiệu quả về điện (h_{eff}) của cực nạp T_1 bởi phương trình (39). Vì cả độ cao vật lý (h_p) và khoảng cách giao nhau Hankel (R_x) là các số lượng thực, góc của độ nghiêng sóng bề mặt được dẫn hướng mong muốn ở khoảng cách giao nhau Hankel (W_{Rx}) bằng với pha (Φ) của độ cao hiệu quả phức (h_{eff}). Với cực nạp T_1 được định vị ở độ cao vật lý h_p và được kích thích với điện tích có pha thích hợp Φ , điện trường tạo ra tới với mặt phân giới biên môi trường

dẫn điện hao tổn ở khoảng cách giao nhau Hankel R_x , và ở góc Brewster. Dưới các điều kiện này, phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng có thể được kích thích không có sự phản xạ hoặc gần như sự phản xạ không đáng kể.

Tuy nhiên, phương trình (39) có nghĩa là độ cao vật lý của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 có thể tương đối nhỏ. Trong khi việc này sẽ kích thích phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng, việc này có thể dẫn đến điện tích được giới hạn lớn quá mức với điện tích tự do nhỏ. Để bù, cực nạp T_1 có thể được nâng lên đến độ nâng thích hợp để làm tăng lượng điện tích tự do. Như một quy luật ví dụ của ngón tay cái, cực nạp T_1 có thể được định vị ở độ nâng khoảng 4-5 lần (hoặc hơn) đường kính hiệu quả của cực nạp T_1 . Fig.6 thể hiện hiệu quả việc nâng cực nạp T_1 ở trên độ cao vật lý (h_p) được thể hiện trên Fig.5A. Độ nâng được làm tăng khiến cho khoảng cách ở đó độ nghiêng sóng tới với môi trường dẫn điện hao tổn để di chuyển vượt quá điểm giao nhau Hankel 121 (Fig.5A). Để cải thiện việc ghép vào phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng, và do đó tạo ra hiệu quả phóng lớn hơn của sóng bề mặt được dẫn hướng, cực bù T_2 bên dưới có thể được sử dụng để điều chỉnh tổng độ cao hiệu quả (h_{TE}) của cực nạp T_1 sao cho độ nghiêng sóng ở khoảng cách giao nhau Hankel ở góc Brewster.

Đề cập đến Fig.12, hình vẽ này thể hiện một ví dụ của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200c mà bao gồm cực nạp T_1 được nâng và cực bù T_2 bên dưới mà được bố trí dọc theo trục tung z mà trục giao với mặt phẳng có bởi môi trường dẫn điện hao tổn 203. Theo khía cạnh này, cực nạp T_1 được đặt một cách trực tiếp ở trên cực bù T_2 mặc dù có thể là một số cách bố trí khác của hai hoặc hơn hai cực nạp và/hoặc bù T_N có thể được áp dụng. Đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200c được bố trí ở trên môi trường dẫn điện hao tổn 203 theo một phương án của sáng chế này. Môi trường dẫn điện hao tổn 203 tạo nên vùng 1 với môi trường thứ hai 206 mà tạo nên vùng 2 chia sẻ mặt phân giới biên với môi trường dẫn điện hao tổn 203.

Đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200c bao gồm mạng cấp 209 mà ghép nguồn kích thích 212 với cực nạp T_1 và cực bù T_2 . Theo các phương án khác nhau, các điện tích Q_1 và Q_2 có thể được áp đặt trên cực nạp và cực bù T_1 và T_2 tương ứng, phụ thuộc vào các điện thế được áp dụng vào các cực T_1 và T_2 ở thời điểm xác

định bất kỳ. I_1 là dòng điện dẫn cấp điện tích Q_1 trên cực nạp T_1 qua đầu cực, và I_2 là dòng điện dẫn cấp điện tích Q_2 trên cực bù T_2 qua đầu cực.

Theo phương án trên Fig.12, cực nạp T_1 được định vị khắp môi trường dẫn điện hao tổn 203 ở độ cao vật lý H_1 , và cực bù T_2 được định vị một cách trực tiếp bên dưới T_1 dọc theo trục tung z ở độ cao vật lý H_2 , trong đó H_2 nhỏ hơn H_1 . Độ cao h của kết cấu truyền có thể được tính toán dưới dạng $h = H_1 - H_2$. Cực nạp T_1 có điện dung được cách điện (hoặc tự cảm) C_1 , và cực bù T_2 có điện dung được cách điện (hoặc tự cảm) C_2 . Điện dung tương hỗ C_M có thể còn tồn tại giữa các cực T_1 và T_2 phụ thuộc vào khoảng cách ở giữa. Trong suốt quá trình vận hành, điện tích Q_1 và Q_2 được áp đặt trên cực nạp T_1 và cực bù T_2 , một cách lần lượt, phụ thuộc vào các điện áp được áp dụng vào cực nạp T_1 và cực bù T_2 ở thời điểm xác định bất kỳ.

Tiếp theo, đề cập đến Fig.13, hình vẽ này thể hiện sự giải thích tia quang học của các hiệu quả được tạo ra bởi điện tích Q_1 được nâng trên cực nạp T_1 và cực bù T_2 trên Fig.12. Với cực nạp T_1 được nâng đến độ cao trong đó tại giao với môi trường dẫn điện hao tổn ở góc Brewster ở khoảng cách lớn hơn điểm giao nhau Hankel 121 như được minh họa bởi đường 163, cực bù T_2 có thể được sử dụng để điều chỉnh h_{TE} bằng cách bù cho độ cao tăng lên. Hiệu quả của cực bù T_2 để làm giảm độ cao hiệu quả về điện của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng (hoặc làm tăng một cách hiệu quả mặt phân giới môi trường hao tổn) sao cho độ nghiêng sóng ở khoảng cách giao nhau Hankel ở góc Brewster như được thể hiện bởi đường 166.

Tổng độ cao hiệu quả có thể được viết dưới dạng sự chồng của độ cao hiệu quả bên trên (h_{UE}) kết hợp với cực nạp T_1 và độ cao hiệu quả bên dưới (h_{LE}) kết hợp với cực bù T_2 sao cho

$$h_{TE} = h_{UE} + h_{LE} = h_p e^{j(\beta h_p + \Phi_U)} + h_d e^{j(\beta h_d + \Phi_L)} = R_x \times W, \quad (85)$$

trong đó Φ_U là độ trễ pha được áp dụng vào cực nạp T_1 bên trên, Φ_L là độ trễ pha được áp dụng vào cực bù T_2 bên dưới, $\beta = 2\pi/\lambda_p$ là hệ số lan truyền từ phương trình (35), h_p là độ cao vật lý của cực nạp T_1 và h_d là độ cao vật lý của cực bù T_2 . Nếu các độ dài đầu cực thêm được xem xét, chúng có thể được tính cho bằng cách cộng độ dài đầu cực nạp z với độ cao vật lý h_p của cực nạp T_1 và độ dài đầu cực bù y với độ cao vật lý h_d của cực bù T_2 như được thể hiện ở

$$h_{TE} = (h_p + z)e^{j(\beta(h_p+z)+\Phi_U)} + (h_d + y)e^{j(\beta(h_d+y)+\Phi_L)} = R_x \times W. \quad (86)$$

Độ cao hiệu quả bên dưới có thể được sử dụng để điều chỉnh tổng độ cao hiệu quả (h_{TE}) để bằng độ cao hiệu quả phức (h_{eff}) trên Fig.5A.

Các phương trình (85) hoặc (86) có thể được sử dụng để xác định độ cao vật lý của đĩa bên dưới của cực bù T_2 và các góc pha để cấp các cực để thu được độ nghiêng sóng mong muốn ở khoảng cách giao nhau Hankel. Ví dụ, phương trình (86) có thể được viết lại dưới dạng độ lệch pha được áp dụng cho cực nạp T_1 dưới dạng hàm của độ cao cực bù (h_d) để xác định

$$\Phi_U(h_d) = -\beta(h_p + z) - j \ln \left(\frac{R_x \times W - (h_d + y)e^{j(\beta h_d + \beta y + \Phi_L)}}{(h_p + z)} \right). \quad (87)$$

Để xác định việc định vị của cực bù T_2 , các kiểu được đề cập ở trên có thể được sử dụng. Thứ nhất, tổng độ cao hiệu quả (h_{TE}) là sự chồng của độ cao hiệu quả phức (h_{UE}) của cực nạp T_1 bên trên và độ cao hiệu quả phức (h_{LE}) của cực bù T_2 bên dưới như được thể hiện trong phương trình (86). Tiếp theo, tiếp tuyến của góc tới có thể được biểu diễn về mặt hình học dưới dạng

$$\tan \psi_E = \frac{h_{TE}}{R_x}, \quad (88)$$

mà bằng với sự xác định của độ nghiêng sóng, W . Cuối cùng là, khoảng cách giao nhau Hankel mong muốn R_x được xác định, h_{TE} có thể được điều chỉnh để khiến độ nghiêng sóng của tia với phù hợp với góc Brewster phức ở điểm giao nhau Hankel 121. Việc này có thể được thực hiện bằng cách điều chỉnh h_p , Φ_U , và/hoặc h_d .

Nội dung này có thể tốt hơn được hiểu khi được đề cập trong ngữ cảnh ví dụ của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng. Đề cập đến Fig.14, hình vẽ này thể hiện sự biểu diễn về mặt đồ họa về một ví dụ của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200d bao gồm cực nạp T_1 bên trên (ví dụ, cầu ở độ cao h_T) và cực bù T_2 bên dưới (ví dụ, đĩa ở độ cao h_d) mà được định vị dọc theo trục tung z mà gần như là trục giao với mặt phẳng có bởi môi trường dẫn điện hao tổn 203. Trong suốt quá trình vận hành, các điện tích Q_1 và Q_2 được áp đặt trên cực nạp và cực bù T_1 và T_2 , một cách lần lượt, phụ thuộc vào các điện áp được áp dụng vào các cực T_1 và T_2 ở thời điểm xác định bất kỳ.

Nguồn AC 212 hoạt động dưới dạng nguồn kích thích dùng cho cực nạp T_1 , mà được ghép với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200d qua mạng cấp 209 bao gồm cuộn dây 215 chẳng hạn như, ví dụ, cuộn dây xoắn ốc. Nguồn AC 212 có thể được nối suốt phần bên dưới của cuộn dây 215 qua điểm nối dây 227, như được thể hiện trên Fig.14, hoặc có thể được ghép cảm ứng với cuộn dây 215 bằng cuộn dây ban đầu. Cuộn dây 215 có thể được ghép với cọc mặt đất 218 ở đầu thứ nhất và cực nạp T_1 ở đầu thứ hai. Theo một số phương án thực hiện, việc nối với cực nạp T_1 có thể được điều chỉnh bằng cách sử dụng điểm nối dây 224 ở đầu thứ hai của cuộn dây 215. Cực bù T_2 được định vị ở trên và gần như song song với môi trường dẫn điện hao tổn 203 (ví dụ, mặt đất hoặc trái đất), và được nạp năng lượng qua điểm nối dây 233 được ghép với cuộn dây 215. Ămpe kế 236 được định vị giữa cuộn dây 215 và cọc mặt đất 218 có thể được sử dụng để tạo ra dấu hiệu về độ lớn của dòng điện (I_0) ở đáy của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng. Mặt khác, đầu đo dòng điện dạng kim có thể được sử dụng quanh dây dẫn được ghép với cọc mặt đất 218 để thu được dấu hiệu về độ lớn của dòng điện (I_0).

Trong ví dụ trên Fig.14, cuộn dây 215 được ghép với cọc mặt đất 218 ở đầu thứ nhất và cực nạp T_1 ở đầu thứ hai qua dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng 221. Theo một số phương án thực hiện, việc nối với cực nạp T_1 có thể được điều chỉnh bằng cách sử dụng điểm nối dây 224 ở đầu thứ hai của cuộn dây 215 như được thể hiện trên Fig.14. Cuộn dây 215 có thể được nạp năng lượng ở tần số vận hành bởi nguồn AC 212 qua điểm nối dây 227 ở phần bên dưới của cuộn dây 215. Theo các phương án thực hiện khác, nguồn AC 212 có thể được ghép về mặt cảm ứng với cuộn dây 215 qua cuộn dây ban đầu. Cực bù T_2 được nạp năng lượng qua điểm nối dây 233 được ghép với cuộn dây 215. Ămpe kế 236 được định vị giữa cuộn dây 215 và cọc mặt đất 218 có thể được sử dụng để tạo ra dấu hiệu về độ lớn của dòng điện ở đáy của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200d. Mặt khác, đầu đo dòng điện dạng kim có thể được sử dụng quanh dây dẫn được ghép với cọc mặt đất 218 để thu được dấu hiệu về độ lớn của dòng điện. Cực bù T_2 được định vị ở trên và gần như song song với môi trường dẫn điện hao tổn 203 (ví dụ, mặt đất).

Trong ví dụ trên Fig.14, việc nối với cực nạp T_1 được định vị trên cuộn dây 215 ở trên điểm nối của điểm nối dây 233 đối với cực bù T_2 . Việc điều chỉnh như vậy cho

phép điện áp tăng lên (và do đó điện tích cao hơn Q_1) cần phải được áp dụng vào cực nạp T_1 bên trên. Theo các phương án khác, các điểm nối đối với cực nạp T_1 và cực bù T_2 có thể được đảo ngược. Có thể điều chỉnh tổng độ cao hiệu quả (h_{TE}) của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200d để kích thích điện trường có độ nghiêng sóng bề mặt được dẫn hướng ở khoảng cách giao nhau Hankel R_x . Khoảng cách giao nhau Hankel có thể còn được tìm thấy bằng cách lập phương trình các độ lớn của các phương trình (20b) và (21) đối với $-j\gamma\rho$, và giải quyết cho R_x như được minh họa bởi Fig.4. Chỉ số khúc xạ (n), góc Brewster phức ($\theta_{i,B}$ và $\psi_{i,B}$), độ nghiêng sóng ($|W|e^{j\Psi}$) và độ cao hiệu quả phức ($h_{eff} = h_p e^{j\Phi}$) có thể được xác định như được mô tả trong các phương trình (41) – (44) ở trên.

Với kết cấu cực nạp T_1 được lựa chọn, đường kính cầu (hoặc đường kính cầu hiệu quả) có thể được xác định. Ví dụ, nếu cực nạp T_1 không được tạo kết cấu dưới dạng cầu, sau đó kết cấu cực nạp có thể được tạo kiểu dưới dạng điện dung cầu có đường kính hình cầu hiệu quả. Kích thước của cực nạp T_1 có thể được chọn để tạo ra bề mặt đủ lớn đối với điện tích Q_1 được áp đặt trên các cực. Nói chung là, mong muốn để làm cực nạp T_1 lớn như thực tế. Kích thước của cực nạp T_1 cần phải đủ lớn để tránh sự ion hóa của không khí bao quanh, mà có thể dẫn đến việc phóng điện hoặc sự phát ra tia lửa điện quanh cực nạp. Để làm giảm lượng điện tích biên trên cực nạp T_1 , sự nâng mong muốn để tạo ra điện tích tự do trên cực nạp T_1 để phóng sóng bề mặt được dẫn hướng cần phải ít nhất bằng 4-5 lần đường kính hình cầu hiệu quả ở trên môi trường dẫn điện hao tổn (ví dụ, trái đất). Cực bù T_2 có thể được sử dụng để điều chỉnh tổng độ cao hiệu quả (h_{TE}) của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200d để kích thích điện trường có độ nghiêng sóng bề mặt được dẫn hướng ở R_x . Cực bù T_2 có thể được định vị bên dưới cực nạp T_1 ở $h_d = h_T - h_p$, trong đó h_T là tổng độ cao vật lý của cực nạp T_1 . Với vị trí của cực bù T_2 được lắp cố định và độ trễ pha Φ_U được áp dụng vào cực nạp T_1 bên trên, độ trễ pha Φ_L được áp dụng vào cực bù T_2 bên dưới có thể được xác định bằng cách sử dụng các kiểu của phương trình (86), sao cho:

$$\Phi_U(h_d) = -\beta(h_d + y) - j \ln \left(\frac{R_x \times W - (h_p + z) e^{j(\beta h_p + \beta z + \Phi_L)}}{(h_d + y)} \right). \quad (89)$$

Theo các phương án khác, cực bù T_2 có thể được định vị ở độ cao h_d trong đó $\text{Im}\{\Phi_L\} = 0$. Việc này được thể hiện về mặt đồ họa trên Fig.15A, mà thể hiện các đồ

thị 172 và 175 của các phần ảo và thực của Φ_U , một cách lần lượt. Cực bù T_2 được định vị ở độ cao h_d trong đó $\text{Im}\{\Phi_U\} = 0$, như được thể hiện về mặt đồ họa trên đồ thị 172. Ở độ cao được lắp cố định này, pha cuộn dây Φ_U có thể được xác định từ $\text{Re}\{\Phi_U\}$, như được thể hiện về mặt đồ họa trên đồ thị 175.

Với nguồn AC 212 được ghép với cuộn dây 215 (ví dụ, ở điểm $50\ \Omega$ để tối đa hóa việc ghép), vị trí của điểm nối dây 233 có thể được điều chỉnh đối với việc cộng hưởng song song của cực bù T_2 với ít nhất một phần của cuộn dây ở tần số vận hành. Fig.15B thể hiện sơ đồ dưới dạng giản đồ của sự liên kết điện chung trên Fig.14 trong đó V_1 là điện áp được áp dụng vào phần bên dưới của cuộn dây 215 từ nguồn AC 212 qua điểm nối dây 227, V_2 là điện áp ở điểm nối dây 224 mà được cấp đến cực nạp T_1 bên trên, và V_3 là điện áp được áp dụng vào cực bù T_2 bên dưới qua điểm nối dây 233. Các điện trở R_p và R_d là các điện trở trở lại mặt đất của cực nạp T_1 và cực bù T_2 , một cách lần lượt. Cực nạp và cực bù T_1 và T_2 có thể được tạo kết cấu dưới dạng các hình cầu, các hình trụ, các hình xuyên, các vòng, các hình chụp, hoặc sự kết hợp khác bất kỳ của các kết cấu điện dung. Kích thước của cực nạp và cực bù T_1 và T_2 có thể được chọn để tạo ra bề mặt đủ lớn đối với các điện tích Q_1 và Q_2 được áp đặt trên các cực. Nói chung là, mong muốn làm cực nạp T_1 lớn như thực tế. Kích thước của cực nạp T_1 cần phải đủ lớn để tránh sự ion hóa của không khí bao quanh, mà có thể dẫn đến sự phóng điện hoặc sự phát ra tia lửa điện quanh cực nạp. Điện dung tự cảm C_p và C_d của cực nạp và cực bù T_1 và T_2 một cách lần lượt, có thể được xác định bằng cách sử dụng, ví dụ, phương trình (24).

Như có thể thấy được trên Fig.15B, mạch cộng hưởng được tạo ra bởi ít nhất một phần tự cảm của cuộn dây 215, điện dung tự cảm C_d của cực bù T_2 , và điện trở quay trở lại mặt đất R_d kết hợp với cực bù T_2 . Việc cộng hưởng song song có thể được thiết lập bằng cách điều chỉnh điện áp V_3 được áp dụng vào cực bù T_2 (ví dụ, bằng cách điều chỉnh vị trí điểm nối dây 233 trên cuộn dây 215) hoặc bằng cách điều chỉnh độ cao và/hoặc kích thước của cực bù T_2 để điều chỉnh C_d . Vị trí của điểm nối dây 233 cuộn dây có thể được điều chỉnh đối với việc cộng hưởng song song, mà sẽ dẫn đến mặt đất dòng điện qua cọc mặt đất 218 và qua ămpe kế 236 tới điểm tối đa. Sau khi việc cộng hưởng song song của cực bù T_2 đã được thiết lập, vị trí của điểm nối dây 227 đối với nguồn AC 212 có thể được điều chỉnh đến điểm $50\ \Omega$ trên cuộn dây 215.

Điện áp V_2 từ cuộn dây 215 có thể được áp dụng vào cực nạp T_1 , và vị trí của điểm nối dây 224 có thể được điều chỉnh sao cho pha (Φ) của tổng độ cao hiệu quả (h_{TE}) gần như bằng góc của độ nghiêng sóng bề mặt được dẫn hướng (W_{Rx}) ở khoảng cách giao nhau Hankel (R_x). Vị trí của điểm nối dây 224 cuộn dây có thể được điều chỉnh cho đến khi điểm vận hành này đạt được, mà tạo ra dòng điện mặt đất qua ămpe kế 236 tăng lên đến mức tối đa. Ở điểm này, các trường tổng hợp được kích thích bởi đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200d gần như được làm phù hợp về mặt phương thức với phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng trên bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn 203, dẫn đến việc phóng điện của sóng bề mặt được dẫn hướng dọc theo bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn 203. Việc này có thể được xác thực bằng cách xác định cường độ trường dọc theo hướng kính kéo dài từ đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200.

Việc cộng hưởng của mạch bao gồm cực bù T_2 có thể thay đổi với việc gắn cực nạp T_1 và/hoặc với việc điều chỉnh điện áp được áp dụng vào cực nạp T_1 qua điểm nối dây 224. Trong khi điều chỉnh mạch cực bù cho việc cộng hưởng hỗ trợ việc điều chỉnh tiếp theo việc nối cực nạp, không cần thiết phải thiết lập độ nghiêng sóng bề mặt được dẫn hướng (W_{Rx}) ở khoảng cách giao nhau Hankel (R_x). Hệ thống có thể còn được điều chỉnh để cải thiện việc ghép bằng cách điều chỉnh lặp lại vị trí của điểm nối dây 227 đối với nguồn AC 212 cần phải ở điểm 50 Ω trên cuộn dây 215 và điều chỉnh vị trí của điểm nối dây 233 để tối đa hóa dòng điện mặt đất qua ămpe kế 236. Việc cộng hưởng của mạch bao gồm cực bù T_2 có thể thay đổi khi các vị trí của điểm nối dây 227 và 233 được điều chỉnh, hoặc khi các bộ phận khác được gắn vào cuộn dây 215.

Theo các phương án thực hiện khác, điện áp V_2 từ cuộn dây 215 có thể được áp dụng vào cực nạp T_1 , và vị trí của điểm nối dây 233 có thể được điều chỉnh sao cho pha (Φ) của tổng độ cao hiệu quả (h_{TE}) gần như bằng góc (Ψ) của độ nghiêng sóng bề mặt được dẫn hướng ở R_x . Vị trí của điểm nối dây 224 cuộn dây có thể được điều chỉnh cho đến khi điểm vận hành đạt được, dẫn đến dòng điện mặt đất qua ămpe kế 236 gần như đạt tới mức tối đa. Các trường tổng hợp gần như được làm phù hợp về mặt phương thức với phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng trên bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn 203, và sóng bề mặt được dẫn hướng được phóng dọc

theo bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn 203. Việc này có thể được xác nhận bằng cách xác định cường độ trường dọc theo hướng kính kéo dài từ đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200. Hệ thống có thể còn được điều chỉnh để cải thiện việc ghép bằng cách điều chỉnh lặp lại vị trí của điểm nối dây 227 đối với nguồn AC 212 cần phải ở điểm 50Ω trên cuộn dây 215 và điều chỉnh vị trí của điểm nối dây 224 và/hoặc 233 để tối đa hóa dòng điện mặt đất qua ămpe kế 236.

Đề cập trở lại Fig.12, việc vận hành đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 có thể được điều khiển để điều chỉnh các thay đổi ở các điều kiện vận hành kết hợp với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200. Ví dụ, hệ thống điều khiển đầu dò 230 có thể được sử dụng để điều khiển mạng cấp 209 và/hoặc việc định vị cực nạp T_1 và/hoặc cực bù T_2 để điều khiển việc vận hành đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200. Các điều kiện vận hành có thể bao gồm, nhưng không bị hạn chế ở, các thay đổi về các đặc tính của môi trường dẫn điện hao tổn 203 (ví dụ, độ dẫn điện σ và hằng số điện môi tương đối ϵ_r), các thay đổi về cường độ trường và/hoặc các thay đổi về tải của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200. Như có thể thấy được từ các phương trình (41) – (44), chỉ số khúc xạ (n), góc Brewster phức ($\theta_{i,B}$ và $\psi_{i,B}$), độ nghiêng sóng ($|W|e^{j\Psi}$) và độ cao hiệu quả phức ($h_{eff} = h_p e^{j\Phi}$) có thể bị ảnh hưởng bởi các thay đổi về độ dẫn điện đất và hằng số điện môi tạo ra từ, ví dụ, các điều kiện thời tiết.

Thiết bị chẳng hạn như, ví dụ, các đầu dò xác định độ dẫn điện, các cảm biến điện môi, các thiết bị đo thông số mặt đất, các thiết bị đo trường, các bộ kiểm soát dòng điện và/hoặc các bộ nhận tải có thể được sử dụng để kiểm soát các thay đổi về các điều kiện vận hành và cung cấp thông tin về các điều kiện vận hành dòng điện đến hệ thống điều khiển đầu dò 230. Hệ thống điều khiển đầu dò 230 có thể sau đó tạo ra một hoặc nhiều sự điều chỉnh đến đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 để duy trì các điều kiện vận hành được xác định đối với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200. Ví dụ, khi hơi ẩm và nhiệt độ thay đổi, độ dẫn điện của đất sẽ cũng thay đổi. Các đầu dò đo độ dẫn điện và/hoặc các cảm biến điện môi có thể được định vị ở nhiều vị trí quanh đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200. Nói chung là, sẽ mong muốn kiểm soát độ dẫn điện và/hoặc hằng số điện môi ở hoặc quanh khoảng cách giao nhau Hankel R_x đối với tần số vận hành. Các đầu dò đo độ

dẫn điện và/hoặc các cảm biến điện môi có thể được định vị ở nhiều vị trí (ví dụ, trong mỗi góc phần tư) quanh đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200.

Sau đó đề cập đến Fig.16, hình vẽ thể hiện một ví dụ về đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200e mà bao gồm cực nạp T_1 và cực nạp T_2 mà được bố trí dọc theo trục tung z. Đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200e được bố trí ở trên môi trường dẫn điện hao tổn 203, mà tạo nên vùng 1. Ngoài ra, môi trường thứ hai 206 chia sẻ mặt phân giới biên với môi trường dẫn điện hao tổn 203 và tạo nên vùng 2. Các cực nạp T_1 và T_2 được định vị khắp môi trường dẫn điện hao tổn 203. Cực nạp T_1 được định vị ở độ cao H_1 , và cực nạp T_2 được định vị một cách trực tiếp bên dưới T_1 dọc theo trục tung z ở độ cao H_2 , trong đó H_2 nhỏ hơn H_1 . Độ cao h của kết cấu truyền có bởi đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200e là $h = H_1 - H_2$. Đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200e bao gồm mạng cáp đầu dò 209 mà ghép nguồn kích thích 212 với cực nạp T_1 và T_2 .

Các cực nạp T_1 và/hoặc T_2 bao gồm khối lượng dẫn điện mà có thể nắm điện tích, mà có thể được định cỡ để giữ càng nhiều điện tích như thực tế càng tốt. Cực nạp T_1 có điện dung tự cảm C_1 , và cực nạp T_2 có điện dung tự cảm C_2 , mà có thể được xác định bằng cách sử dụng, ví dụ, phương trình (24). Do việc sắp đặt cực nạp T_1 một cách trực tiếp ở trên cực nạp T_2 , điện dung tương hỗ C_M được tạo ra giữa các cực nạp T_1 và T_2 . Lưu ý rằng các cực nạp T_1 và T_2 cần không giống nhau, nhưng mỗi cực có thể có kích thước và hình dạng tách biệt, và có thể bao gồm các vật liệu dẫn điện khác nhau. Tóm lại, cường độ trường của sóng bề mặt được dẫn hướng được phóng bởi đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200e tỷ lệ thuận với số lượng điện tích trên cực T_1 . Đến lượt, điện tích Q_1 tỷ lệ với điện dung tự cảm C_1 kết hợp với cực nạp T_1 vì $Q_1 = C_1 V$, trong đó V là điện áp được áp đặt trên cực nạp T_1 .

Khi được điều chỉnh chính xác để vận hành ở tần số vận hành định trước, đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200e tạo ra sóng bề mặt được dẫn hướng dọc theo bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn 203. Nguồn kích thích 212 có thể tạo ra điện năng ở tần số định trước mà được áp dụng vào đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200e để kích thích kết cấu. Khi các trường điện từ được tạo ra bởi đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200e gần như được làm phù hợp về mặt phương thức với môi trường dẫn điện hao tổn 203, trường điện từ gần như tổng hợp

sóng phía trước tới ở góc Brewster phức mà dẫn đến sự phản xạ nhỏ hoặc bằng không. Do đó, đầu dò sóng bề mặt 200e không tạo ra sóng được bức xạ, nhưng phóng sóng di chuyển bề mặt được dẫn hướng dọc theo bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn 203. Năng lượng từ nguồn kích thích 212 có thể được truyền dưới dạng các dòng điện bề mặt Zenneck đến một hoặc nhiều bộ nhận mà được định vị ở phạm vi truyền hiệu quả của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200e.

Có thể xác định các đường tiệm cận của dòng điện bề mặt Zenneck theo hướng kính $J_\rho(\rho)$ trên bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn 203 cần phải $J_1(\rho)$ gần vào và $J_2(\rho)$ xa ra, trong đó

$$\text{Gần vào } (\rho < \lambda/8): J_\rho(\rho) \sim J_1 = \frac{I_1 + I_2}{2\pi\rho} + \frac{E_\rho^{QS}(Q_1) + E_\rho^{QS}(Q_2)}{Z_\rho}, \text{ và} \quad (90)$$

$$\text{Xa ra } (\rho \gg \lambda/8): J_\rho(\rho) \sim J_2 = \frac{j\gamma\omega Q_1}{4} \times \sqrt{\frac{2\gamma}{\pi}} \times \frac{e^{-(\alpha+j\beta)\rho}}{\sqrt{\rho}}. \quad (91)$$

trong đó I_1 là dòng điện dẫn cấp điện tích Q_1 trên cực nạp T_1 thứ nhất, và I_2 là dòng điện dẫn cấp điện tích Q_2 trên cực nạp T_2 thứ hai. Điện tích Q_1 trên cực nạp T_1 bên trên được xác định bởi $Q_1 = C_1 V_1$, trong đó C_1 là điện dung được cách điện của cực nạp T_1 . Lưu ý rằng có thành phần thứ ba đến J_1 được trình bày ở trên được xác định bởi $(E_\rho^{Q_1})/Z_\rho$, mà theo sau từ điều kiện biên Leontovich và sự phân bố dòng điện theo hướng kính trong môi trường dẫn điện hao tổn 203 được bom bởi trường gần như là tĩnh của điện tích dao động được nâng trên cực nạp Q_1 thứ nhất. Số lượng $Z_\rho = j\omega\mu_o/\gamma_e$ là trở kháng theo hướng kính của môi trường dẫn điện hao tổn, trong đó $\gamma_e = (j\omega\mu_1\sigma_1 - \omega^2\mu_1\varepsilon_1)^{1/2}$.

Các đường tiệm cận thể hiện dòng điện theo hướng kính gần vào và xa ra như được trình bày bởi các phương trình (90) và (91) là các số lượng phức. Theo các phương án khác nhau, dòng điện bề mặt vật lý $\mathbf{J}(\rho)$, được tổng hợp để phù hợp kín càng gần càng tốt, các đường tiệm cận dòng điện về độ lớn và pha. Nghĩa là gần vào, $|\mathbf{J}(\rho)|$ cần phải tiếp tuyến với $|J_1|$, và xa ra $|\mathbf{J}(\rho)|$ cần phải tiếp tuyến với $|J_2|$. Ngoài ra, theo các phương án khác nhau, pha của $\mathbf{J}(\rho)$ cần dịch chuyển từ pha J_1 gần vào đến pha J_2 xa ra.

Để phù hợp với phương thức sóng bề mặt được dẫn hướng ở địa điểm truyền để phóng sóng bề mặt được dẫn hướng, pha của dòng điện bề mặt $|J_2|$ xa ra cần khác so

với pha của dòng điện bề mặt $|J_1|$ gần vào bởi pha lan truyền tương ứng với $e^{-j\beta(\rho_2-\rho_1)}$ cộng hằng số xấp xỉ 45 độ hoặc 225 độ. Việc này là bởi vì có hai gốc đối với $\sqrt{\gamma}$, một gần $\pi/4$ và một gần $5\pi/4$. Dòng điện bề mặt theo hướng kính tổng hợp được điều chỉnh một cách chính xác là

$$J_\rho(\rho, \phi, 0) = \frac{I_o\gamma}{4} H_1^{(2)}(-j\gamma\rho). \quad (92)$$

Lưu ý rằng việc này phù hợp với phương trình (17). Bởi các phương trình Maxwell, dòng điện bề mặt $\mathbf{J}(\rho)$ như vậy tạo ra một cách tự động các trường mà phù hợp với

$$H_\phi = \frac{-\gamma I_o}{4} e^{-u_2 z} H_1^{(2)}(-j\gamma\rho), \quad (93)$$

$$E_\rho = \frac{-\gamma I_o}{4} \left(\frac{u_2}{j\omega\epsilon_o} \right) e^{-u_2 z} H_1^{(2)}(-j\gamma\rho), \quad \text{và} \quad (94)$$

$$E_z = \frac{-\gamma I_o}{4} \left(\frac{-\gamma}{\omega\epsilon_o} \right) e^{-u_2 z} H_0^{(2)}(-j\gamma\rho). \quad (95)$$

Do đó, độ lệch về pha giữa dòng điện bề mặt $|J_2|$ xa ra và dòng điện bề mặt $|J_1|$ gần vào đối với phương thức sóng bề mặt được dẫn hướng mà cần phải được làm phù hợp do các đặc tính của các hàm Hankel trong các phương trình (93)-(95), mà phù hợp với các phương trình (1)-(3). Nó có ý nghĩa để nhận ra rằng các trường được biểu diễn bởi các phương trình (1)-(6) và (17) và các phương trình (92)-(95) có bản chất của phương thức đường truyền được giới hạn ở mặt phân giới hao tổn, không các trường bức xạ mà được kết hợp với việc lan truyền sóng mặt đất.

Để thu được các độ lớn điện áp thích hợp và các pha đối với thiết kế xác định của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200e ở vị trí xác định, phương án lập có thể được sử dụng. Cụ thể, việc phân tích có thể được thực hiện với sự kích thích và kết cấu xác định của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200e tính đến các dòng điện cấp đến các cực T_1 và T_2 , các điện tích trên các cực nạp T_1 và T_2 , và các hình ảnh của chúng trong môi trường dẫn điện hao tổn 203 để xác định mật độ dòng điện bề mặt theo hướng kính được tạo ra. Quy trình này có thể được thực hiện lặp lại cho đến khi kết cấu và sự kích thích tối ưu cho đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200e đã cho được xác định dựa trên các thông số mong muốn. Để hỗ trợ trong việc xác định có hay không đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200e xác định đang vận hành ở mức tối ưu, đường cong cường độ trường được dẫn hướng

103 (Fig.1) có thể được tạo ra bằng cách sử dụng các phương trình (1)-(12) dựa trên các trị số dùng cho độ dẫn điện của vùng 1 (σ_1) và hằng số điện môi của vùng 1 (ϵ_1) ở vị trí của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200e. Đường cong cường độ trường được dẫn hướng 103 như vậy có thể tạo ra điểm chuẩn cho sự vận hành sao cho các cường độ trường được xác định có thể được so sánh với các độ lớn được thể hiện bởi đường cong cường độ trường được dẫn hướng 103 để xác định nếu việc truyền tối ưu đã đạt được.

Để tối ở điều kiện được tối ưu hóa, các thông số khác nhau kết hợp với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200e có thể được điều chỉnh. Một thông số mà có thể được thay đổi để điều chỉnh đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200e là độ cao của một hoặc cả hai cực nạp T_1 và/hoặc T_2 so với bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn 203. Ngoài ra, khoảng cách hoặc khoảng không giữa các cực nạp T_1 và T_2 có thể cũng được điều chỉnh. Trong quá trình làm điều này, một thông số có thể giảm thiểu hoặc nếu không thì thay đổi điện dung tương hỗ C_M hoặc điện dung biến bất kỳ giữa cực nạp T_1 và T_2 và môi trường dẫn điện hao tổn 203 như có thể hiểu được. Kích thước của các cực nạp T_1 và/hoặc T_2 tương ứng có thể cũng được điều chỉnh. Bằng cách thay đổi kích thước của cực nạp T_1 và/hoặc T_2 , một cực nạp sẽ thay đổi các điện dung tự cảm C_1 và/hoặc C_2 tương ứng, và điện dung C_M tương hỗ như có thể hiểu được.

Tiếp nữa, thông số khác mà có thể được điều chỉnh là mạng cấp 209 kết hợp với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200e. Việc này có thể được thực hiện bằng cách điều chỉnh kích thước của các điện trở cảm ứng và/hoặc điện dung mà tạo nên mạng cấp 209. Ví dụ, trong đó các điện trở cảm ứng bao gồm các cuộn dây, số lượng của vòng quấn trên các cuộn dây như vậy có thể được điều chỉnh. Tóm lại, các sự điều chỉnh cho mạng cấp 209 có thể được thực hiện để thay đổi độ dài điện của mạng cấp 209, do đó ảnh hưởng đến các độ lớn điện áp và các pha trên cực nạp T_1 và T_2 .

Lưu ý rằng các sự lặp lại của việc truyền được thực hiện bằng cách tạo ra các sự điều chỉnh khác nhau có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các loại máy tính hoặc bằng cách điều chỉnh các cấu trúc vật lý như có thể hiểu được. Bằng cách tạo ra các sự điều chỉnh ở trên, có thể tạo ra dòng điện bề mặt “gắn vào” tương ứng J_1 và dòng điện

bề mặt “xa ra” J_2 mà xấp xỉ các dòng điện giống thế $\mathbf{J}(\rho)$ của phương thức sóng bề mặt được dẫn hướng được chỉ ra trong các phương trình (90) và (91) được trình bày ở trên. Trong quá trình làm điều này, các điện trường tạo ra từ sẽ gần như hoặc xấp xỉ được làm phù hợp về mặt phương thức với phương thức sóng bề mặt được dẫn hướng trên bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn 203.

Trong khi không được thể hiện trong ví dụ trên Fig.16, sự vận hành của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200e có thể được kiểm soát để điều chỉnh cho các thay đổi trong các điều kiện vận hành kết hợp với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200. Ví dụ, hệ thống điều khiển đầu dò 230 được thể hiện trên Fig.12 có thể được sử dụng để kiểm soát mạng cấp 209 và/hoặc việc định vị và/hoặc kích thước của cực nạp T_1 và/hoặc T_2 để điều khiển sự vận hành của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200e. Các điều kiện vận hành có thể bao gồm, nhưng không bị hạn chế ở, các thay đổi về các đặc tính của môi trường dẫn điện hao tổn 203 (ví dụ, độ dẫn điện σ và hằng số điện môi tương đối ϵ_r), các thay đổi về cường độ trường và/hoặc các thay đổi về tải của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200e.

Bây giờ đề cập đến Fig.17, hình vẽ này thể hiện một ví dụ của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200e trên Fig.16, được biểu thị trong bản mô tả này dưới dạng đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200f. Đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200f bao gồm các cực nạp T_1 và T_2 mà được định vị dọc theo trục tung z mà gần như trục giao với mặt phẳng có bởi môi trường dẫn điện hao tổn 203 (ví dụ, trái đất). Môi trường thứ hai 206 ở trên môi trường dẫn điện hao tổn 203. Cực nạp T_1 có điện dung tự cảm C_1 , và cực nạp T_2 có điện dung tự cảm C_2 . Trong suốt quá trình vận hành, các điện tích Q_1 và Q_2 được áp đặt trên cực nạp T_1 và T_2 , một cách lần lượt, phụ thuộc vào các điện áp được áp dụng vào các cực nạp T_1 và T_2 ở thời điểm các định bất kỳ. Điện dung tương hỗ C_M có thể tồn tại giữa các cực nạp T_1 và T_2 phụ thuộc vào khoảng cách ở giữa. Ngoài ra, các điện dung biên có thể tồn tại giữa các cực nạp T_1 và T_2 tương ứng và môi trường dẫn điện hao tổn 203 phụ thuộc vào các độ cao của các cực nạp T_1 và T_2 tương ứng so với môi trường dẫn điện hao tổn 203.

Đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200f bao gồm mạng cấp 209 mà bao gồm trở kháng cảm ứng bao gồm cuộn dây L_{1a} có một cặp đầu mà được ghép với các phía tương ứng của cực nạp T_1 và T_2 . Theo một phương án, cuộn dây L_{1a} được chỉ ra để có độ dài điện mà bằng một nửa ($1/2$) bước sóng ở tần số vận hành của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200f.

Trong khi độ dài điện của cuộn dây L_{1a} được xác định dưới dạng xấp xỉ một nửa ($1/2$) bước sóng ở tần số vận hành, nó được hiểu là cuộn dây L_{1a} có thể được chỉ ra với độ dài điện ở các trị số khác nhau. Theo một phương án, thực tế là cuộn dây L_{1a} có độ dài điện gần như một nửa bước sóng ở tần số vận hành tạo ra tạo ra ưu điểm trong đó độ chênh điện áp tối đa được tạo ra trên cực nạp T_1 và T_2 . Tuy nhiên, độ dài hoặc đường kính của cuộn dây L_{1a} có thể được làm tăng hoặc làm giảm khi điều chỉnh đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200f để thu được sự kích thích tối ưu của phương thức sóng bề mặt được dẫn hướng. Việc điều chỉnh độ dài cuộn dây có thể được tạo ra bởi các điểm nối dây được định vị ở một hoặc cả hai đầu của cuộn dây. Theo các phương án khác, nó có thể là trường hợp mà trở kháng cảm ứng được chỉ ra để có độ dài điện mà nhỏ hơn hoặc lớn hơn một cách đáng kể $1/2$ bước sóng ở tần số vận hành của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200f.

Nguồn kích thích 212 có thể được ghép với mạng cấp 209 bằng việc ghép từ tính. Cụ thể, nguồn kích thích 212 được ghép với cuộn dây L_P mà được ghép cảm ứng với cuộn dây L_{1a} . Việc này có thể được thực hiện bởi việc ghép liên kết, cuộn dây có điểm nối dây, điện kháng thay đổi được, hoặc phương án ghép khác như có thể hiểu được. Với mục đích này, cuộn dây L_P hoạt động dưới dạng cuộn dây ban đầu, và cuộn dây L_{1a} hoạt động dưới dạng cuộn dây thứ cấp như có thể hiểu được.

Để điều chỉnh đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200f đối với việc truyền sóng bề mặt được dẫn hướng mong muốn, các độ cao của cực nạp T_1 và T_2 tương ứng có thể được thay đổi so với môi trường dẫn điện hao tổn 203 và so với nhau. Ngoài ra, các kích thước của các cực nạp T_1 và T_2 có thể được thay đổi. Ngoài ra, kích thước của cuộn dây L_{1a} có thể được thay đổi bằng cách bổ sung hoặc loại bỏ các vòng quấn hoặc bằng cách thay đổi một số kích thước khác của cuộn dây L_{1a} . Cuộn dây L_{1a} có thể còn bao gồm một hoặc nhiều điểm nối dây để điều chỉnh độ dài

điện như được thể hiện trên Fig.17. Vị trí của điểm nối dây được nối với hoặc cực nạp T_1 hoặc T_2 có thể cũng được điều chỉnh.

Tiếp theo đề cập đến Fig.18A, Fig.18B, Fig.18C và Fig.19, các hình vẽ này thể hiện các ví dụ của các mạch nhận tổng quan để sử dụng các sóng được dẫn hướng bề mặt trong các hệ thống phân phối năng lượng không dây. Fig.18A và Fig.18B-Fig.18C bao gồm đầu dò tuyến tính 303 và bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306, một cách lần lượt. Fig.19 là cuộn dây từ tính 309 theo các phương án khác nhau của sáng chế. Theo các phương án khác nhau, mỗi một trong số đầu dò tuyến tính 303, bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306, và cuộn dây từ tính 309 có thể được sử dụng để nhận năng lượng được truyền dưới dạng sóng bề mặt được dẫn hướng trên bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn 203 theo các phương án khác nhau. Như được đề cập ở trên, theo một phương án, môi trường dẫn điện hao tổn 203 bao gồm môi trường trên mặt đất (hoặc trái đất).

Với việc xem xét cụ thể đến Fig.18A, điện áp cực mạch hở ở các cực ra 312 của đầu dò tuyến tính 303 phụ thuộc vào độ cao hiệu quả của đầu dò tuyến tính 303. Với mục đích này, điện áp điểm cực có thể được tính toán dưới dạng

$$V_T = \int_0^{h_e} E_{inc} \cdot dl, \quad (96)$$

trong đó E_{inc} là cường độ của điện trường tới cảm ứng trên đầu dò tuyến tính 303 dưới đơn vị V/m, dl là phần tử tích hợp dọc theo phương đầu dò tuyến tính 303, và h_e là độ cao hiệu quả của đầu dò tuyến tính 303. Tải điện 315 được ghép với các cực ra 312 qua mạng phù hợp trở kháng 318.

Khi đầu dò tuyến tính 303 trải qua sóng bề mặt được dẫn hướng như được mô tả ở trên, điện áp được phát triển suốt các cực ra 312 mà có thể được áp dụng vào tải điện 315 qua mạng phù hợp trở kháng liên hợp 318 khi trường hợp có thể. Để tạo điều kiện thuận tiện cho dòng năng lượng đến tải điện 315, tải điện 315 nên gần như là trở kháng được làm phù hợp với đầu dò tuyến tính 303 như sẽ được mô tả bên dưới.

Đề cập đến Fig.18B, cuộn dây kích thích dòng điện mặt đất 306a có độ lệch pha bằng với độ nghiêng sóng của sóng bề mặt được dẫn hướng bao gồm cực nạp T_R mà được nâng (hoặc lơ lửng) ở trên môi trường dẫn điện hao tổn 203. Cực nạp T_R có điện dung tự cảm C_R . Ngoài ra, cũng có thể là điện dung biến (không được thể hiện trên hình vẽ) giữa cực nạp T_R và môi trường dẫn điện hao tổn 203 phụ thuộc vào độ cao

của cực nạp T_R ở trên môi trường dẫn điện hao tổn 203. Điện dung biên tốt hơn là nên được giảm thiểu càng nhiều càng khả thi, mặc dù việc này có thể không hoàn toàn cần thiết trong mỗi trường hợp.

Bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306a còn gồm có mạng nhận bao gồm cuộn dây L_R có độ lệch pha Φ . Một đầu của cuộn dây L_R được ghép với cực nạp T_R , và đầu khác của cuộn dây L_R được ghép với môi trường dẫn điện hao tổn 203. Mạng nhận có thể bao gồm dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng mà ghép cuộn dây L_R với cực nạp T_R . Với mục đích này, cuộn dây L_R (mà có thể còn được gọi là bộ cộng hưởng được điều chỉnh L_R-C_R) bao gồm bộ cộng hưởng được điều chỉnh nối tiếp dưới dạng cực nạp C_R và cuộn dây L_R được đặt nối tiếp. Độ trễ pha của cuộn dây L_R có thể được điều chỉnh bằng cách thay đổi kích thước và/hoặc độ cao của cực nạp T_R , và/hoặc điều chỉnh kích thước của cuộn dây L_R sao cho pha Φ của kết cấu được thực hiện gần như bằng với góc của độ nghiêng sóng Ψ . Độ trễ pha của đường cấp theo phương thẳng đứng có thể cũng được điều chỉnh bằng cách, ví dụ, thay đổi độ dài của dây dẫn.

Ví dụ, điện kháng có bởi điện dung tự cảm C_R được tính toán dưới dạng $1/j\omega C_R$. Lưu ý rằng tổng điện dung của kết cấu 306a có thể cũng bao gồm điện dung giữa cực nạp T_R và môi trường dẫn điện hao tổn 203, trong đó tổng điện dung của kết cấu 306a có thể được tính toán từ cả điện dung tự cảm C_R và điện dung biên bất kỳ như có thể hiểu được. Theo một phương án, cực nạp T_R có thể được nâng đến độ cao để gần như là làm giảm hoặc triệt tiêu điện dung biên bất kỳ. Sự tồn tại của điện dung biên có thể được xác định từ các sự xác định điện dung giữa cực nạp T_R và môi trường dẫn điện hao tổn 203 như đã được đề cập từ trước.

Điện kháng cảm ứng có bởi cuộn dây thành phần riêng biệt L_R có thể được tính toán dưới dạng $j\omega L$, trong đó L là độ tự cảm thành phần chung của cuộn dây L_R . Nếu cuộn dây L_R là phần tử được phân bổ, điện kháng cảm ứng điểm cực tương đương của nó có thể được xác định bởi các phương án thông thường. Để điều chỉnh kết cấu 306a, một là sẽ tạo ra các sự điều chỉnh sao cho độ trễ pha bằng độ nghiêng sóng nhằm mục đích làm phù hợp về mặt phương thức với phương thức dẫn hướng sóng bề mặt ở tần số vận hành. Dưới điều kiện này, kết cấu nhận có thể được xem là “được làm phù hợp về mặt phương thức” với phương thức dẫn hướng sóng bề mặt. Máy biến áp liên kết quanh kết cấu và/hoặc mạng phù hợp trở kháng 324 có thể được chèn giữa đầu dò và

tải điện 327 để ghép năng lượng với tải. Việc chèn mạng phù hợp trở kháng 324 giữa các cực dò 321 và tải điện 327 có thể ảnh hưởng đến điều kiện phù hợp với sự liên hợp đối với việc truyền năng lượng tối đa đến tải điện 327.

Khi được đặt trong sự có mặt của các dòng điện bề mặt ở các tần số vận hành năng lượng sẽ được phân phát từ sóng được dẫn hướng bề mặt đến tải điện 327. Với mục đích này, tải điện 327 có thể được ghép với kết cấu 306a thông qua việc ghép từ tính, việc ghép điện dung, hoặc việc ghép dẫn điện (điểm nối dây trực tiếp). Các thành phần của mạng ghép có thể là các bộ phận được gộp lại hoặc các thành phần được phân bố như có thể hiểu được.

Theo phương án được thể hiện trên Fig.18B, việc ghép từ tính được sử dụng trong đó cuộn dây L_s được định vị dưới dạng thứ cấp so với cuộn dây L_R mà hoạt động dưới dạng máy biến áp ban đầu. Cuộn dây L_s có thể được ghép nối với cuộn dây L_R bằng cách quấn về mặt hình học nó quanh kết cấu lõi tương tự và điều chỉnh luồng từ tính được ghép như có thể hiểu được. Ngoài ra, trong khi kết cấu nhận 306a bao gồm bộ cộng hưởng được điều chỉnh nối tiếp, bộ cộng hưởng được điều chỉnh song song hoặc thậm chí bộ cộng hưởng thành phần được phân bố của độ trễ pha thích hợp có thể cũng được sử dụng.

Trong khi kết cấu nhận nhúng trong trường điện từ có thể ghép năng lượng từ trường đó, có thể hiểu được là các cấu trúc được làm phù hợp về mặt phân cực hoạt động tốt nhất bằng cách tối đa hóa việc ghép, và các quy luật thông thường đối với việc ghép đầu dò với các phương thức dẫn hướng sóng cần phải được quan sát. Ví dụ, đầu dò dẫn hướng sóng TE_{20} (phương thức điện nằm ngang) có thể tối ưu để tách năng lượng khỏi phương thức dẫn hướng sóng thông thường được kích thích trong phương thức TE_{20} . Tương tự, trong các trường hợp này, kết cấu nhận được làm phù hợp về mặt phương thức và được làm phù hợp pha có thể được tối ưu hóa đối với năng lượng ghép từ sóng được dẫn hướng bề mặt. Sóng bề mặt được dẫn hướng được kích thích bởi đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 trên bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn 203 có thể được xem là phương thức dẫn hướng sóng của phương thức dẫn hướng sóng mở. Loại bỏ các tổn thất dẫn hướng sóng, năng lượng nguồn có thể được khôi phục một cách hoàn toàn. Các kết cấu nhận hữu ích có thể được ghép trường E, được ghép trường H, hoặc được kích thích dòng điện bề mặt.

Kết cấu nhận có thể được điều chỉnh để làm tăng hoặc tối đa hóa việc ghép với sóng bề mặt được dẫn hướng dựa trên các đặc tính cục bộ của môi trường dẫn điện hao tổn 203 trong vùng lân cận của kết cấu nhận. Để thực hiện việc này, độ trễ pha (Φ) của kết cấu nhận có thể được điều chỉnh để phù hợp với góc (Ψ) của độ nghiêng sóng của sóng di chuyển bề mặt ở kết cấu nhận. Nếu được tạo kết cấu một cách thích hợp, kết cấu nhận có thể sau đó được điều chỉnh cho việc cộng hưởng so với mặt đất phẳng hình ảnh dẫn điện hoàn hảo ở độ sâu phức $z = -d/2$.

Ví dụ, xem xét kết cấu nhận bao gồm bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306a trên Fig.18B, bao gồm cuộn dây L_R và đường cáp theo phương thẳng đứng được nối giữa cuộn dây L_R và cực nạp T_R . Với cực nạp T_R được định vị ở độ cao xác định ở trên môi trường dẫn điện hao tổn 203, tổng độ lệch pha Φ của cuộn dây L_R và đường cáp theo phương thẳng đứng có thể được làm phù hợp với góc (Ψ) của độ nghiêng sóng ở vị trí của bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306a. Từ phương trình (22), có thể thấy được là độ nghiêng sóng đi tiệm cận với

$$W = |W|e^{j\Psi} = \frac{E_\rho}{E_z} \xrightarrow{\rho \rightarrow \infty} \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r - j\frac{\sigma_1}{\omega\varepsilon_0}}}, \quad (97)$$

trong đó ε_r bao gồm hằng số điện môi tương đối và σ_1 là độ dẫn điện của môi trường dẫn điện hao tổn 203 ở vị trí của kết cấu nhận, ε_0 là hằng số điện môi của khoảng không tự do, và $\omega = 2\pi f$, trong đó f là tần số kích thích. Do đó, góc nghiêng sóng (Ψ) có thể được xác định từ phương trình (97).

Tổng độ lệch pha ($\Phi = \theta_c + \theta_y$) của bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306a bao gồm cả độ trễ pha (θ_c) qua cuộn dây L_R và độ trễ pha của đường cáp theo phương thẳng đứng (θ_y). Độ trễ pha không gian dọc theo độ dài dây dẫn l_w của đường cáp theo phương thẳng đứng có thể được xác định bởi $\theta_y = \beta_w l_w$, trong đó β_w là hằng số pha lan truyền đối với dây dẫn đường cáp theo phương thẳng đứng. Độ trễ pha do cuộn dây (hoặc đường trễ xoắn ốc) là $\theta_c = \beta_p l_c$, với độ dài vật lý l_c và hệ số lan truyền

$$\beta_p = \frac{2\pi}{\lambda_p} = \frac{2\pi}{V_f \lambda_0}, \quad (98)$$

trong đó V_f là hệ số vận tốc trên kết cấu, λ_0 là bước sóng ở tần số được cấp, và λ_p là bước sóng lan truyền tạo ra từ hệ số vận tốc V_f . Một hoặc cả hai độ trễ pha ($\theta_c + \theta_y$) có thể được điều chỉnh để làm phù hợp độ lệch pha Φ với góc (Ψ) của độ nghiêng

sóng. Ví dụ, vị trí điểm nối dây có thể được điều chỉnh trên cuộn dây L_R trên Fig.18B để điều chỉnh độ trễ pha cuộn dây (θ_c) để làm phù hợp tổng độ lệch pha với góc nghiêng sóng ($\Phi = \Psi$). Ví dụ, một phần cuộn dây có thể được đi vòng bởi việc nối điểm nối dây như được thể hiện trên Fig.18B. Dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng có thể còn được nối với cuộn dây L_R qua điểm nối dây, vị trí của nó trên cuộn dây có thể được điều chỉnh để làm phù hợp tổng độ lệch pha với góc của độ nghiêng sóng.

Một khi độ trễ pha (Φ) của bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306a được điều chỉnh, trở kháng của cực nạp T_R có thể sau đó được điều chỉnh để điều chỉnh nhằm cộng hưởng so với mặt đất phẳng hình ảnh dẫn điện hoàn hảo ở độ sâu phức $z = -d/2$. Việc này có thể được thực hiện bằng cách điều chỉnh điện dung của cực nạp T_1 mà không thay đổi các độ trễ pha sóng di chuyển của cuộn dây L_R và đường cấp theo phương thẳng đứng. Các sự điều chỉnh tương tự với các sự điều chỉnh được mô tả liên quan đến Fig.9A và Fig.9B.

Trở kháng xem “nhìn xuống” vào trong môi trường dẫn điện hao tổn 203 đến mặt phẳng hình ảnh phức được xác định bởi:

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} = Z_o \tan(j\beta_o(d/2)), \quad (99)$$

trong đó $\beta_o = \omega\sqrt{\mu_o\varepsilon_o}$. Đối với các nguồn phân cực theo phương thẳng đứng khắp trái đất, độ sâu của mặt phẳng hình ảnh phức có thể được xác định bởi:

$$d/2 \approx 1/\sqrt{j\omega\mu_1\sigma_1 - \omega^2\mu_1\varepsilon_1}, \quad (100)$$

trong đó μ_1 là độ thấm của môi trường dẫn điện hao tổn 203 và $\varepsilon_1 = \varepsilon_r\varepsilon_o$.

Ở đáy của bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306a, trở kháng xem “nhìn lên” vào trong kết cấu nhận $Z_{\uparrow} = Z_{cvs}$ như được thể hiện trên Fig.9A. Với trở kháng cực bằng:

$$Z_R = \frac{1}{j\omega C_R}, \quad (101)$$

trong đó C_R là điện dung tự cảm của cực nạp T_R , trở kháng xem “nhìn lên” vào trong dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng của bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306a được xác định bởi:

$$Z_2 = Z_W \frac{Z_R + Z_W \tan(j\beta_w h_w)}{Z_W + Z_R \tan(j\beta_w h_w)} = Z_W \frac{Z_R + Z_W \tan(j\theta_y)}{Z_W + Z_R \tan(j\theta_y)}, \quad (102)$$

và trở kháng xem “nhìn lên” vào trong cuộn dây L_R của bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306a được xác định bởi:

$$Z_{cơ sở} = R_{cơ sở} + jX_{cơ sở} = Z_R \frac{Z_2 + Z_R \tan(j\beta_p H)}{Z_R + Z_2 \tan(j\beta_p H)} = Z_c \frac{Z_2 + Z_R \tan(j\theta_c)}{Z_R + Z_2 \tan(j\theta_c)}. \quad (103)$$

Bằng cách làm phù hợp thành phần phản ứng (X_{in}) xem “nhìn xuống” vào trong môi trường dẫn điện hao tổn 203 với thành phần phản ứng ($X_{cơ sở}$) xem “nhìn lên” vào trong bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306a, việc ghép vào phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng có thể được tối đa hóa.

Tiếp theo, đề cập đến Fig.18C, hình vẽ này thể hiện một ví dụ của bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306b mà không bao gồm cực nạp T_R ở đỉnh của kết cấu nhận. Theo phương án này, bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306b không bao gồm đường cáp theo phương thẳng đứng được ghép giữa cuộn dây L_R và cực nạp T_R . Do đó, tổng độ lệch pha (Φ) của bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306b bao gồm chỉ độ trễ pha (θ_c) qua cuộn dây L_R . Như với bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306a trên Fig.18B, độ trễ pha cuộn dây θ_c có thể được điều chỉnh để phù hợp với góc (Ψ) của độ nghiêng sóng được xác định từ phương trình (97), mà dẫn đến $\Phi = \Psi$. Trong khi việc tách năng lượng là có thể với kết cấu nhận được ghép vào phương thức dẫn hướng sóng bề mặt, khó để điều chỉnh kết cấu nhận để tối đa hóa việc ghép với sóng bề mặt được dẫn hướng mà không có tải phản ứng thay đổi được tạo ra bởi cực nạp T_R .

Đề cập đến Fig.18D, hình vẽ này thể hiện lưu đồ 180 thể hiện một ví dụ điều chỉnh kết cấu nhận để gần như là phù hợp về mặt phương thức với phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng trên bề mặt của môi trường dẫn điện hao tổn 203. Bắt đầu với 181, nếu kết cấu nhận bao gồm cực nạp T_R (ví dụ, của bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306a trên Fig.18B), sau đó cực nạp T_R được định vị ở độ cao xác định ở trên môi trường dẫn điện hao tổn 203 ở 184. Vì sóng được dẫn hướng bề mặt được thiết lập bởi đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200, độ cao vật lý (h_p) của cực nạp T_R có thể bên dưới độ cao hiệu quả. Độ cao vật lý có thể được lựa chọn để làm giảm hoặc giảm thiểu điện tích được giới hạn trên cực nạp T_R (ví dụ, bốn lần đường kính cầu của cực nạp). Nếu kết cấu nhận không bao gồm cực nạp T_R (ví dụ, của bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306b trên Fig.18C), sau đó dòng tiến đến 187.

Ở 187, độ trễ pha điện Φ của kết cấu nhận được làm phù hợp với góc nghiêng sóng phức Ψ được xác định bởi các đặc tính cục bộ của môi trường dẫn điện hao tổn 203. Độ trễ pha (θ_c) của cuộn dây xoắn ốc và/hoặc độ trễ pha (θ_y) của đường cấp theo phương thẳng đứng có thể được điều chỉnh để khiến Φ bằng với góc (Ψ) của độ nghiêng sóng (W). Góc (Ψ) của độ nghiêng sóng có thể được xác định từ phương trình (86). Pha điện Φ có thể sau đó được làm phù hợp với góc của độ nghiêng sóng. Ví dụ, độ trễ pha điện $\Phi = \theta_c + \theta_y$ có thể được điều chỉnh bằng cách thay đổi các thông số hình học của cuộn dây L_R và/hoặc độ dài (hoặc độ cao) của dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng.

Tiếp theo ở 190, trở kháng nạp của cực nạp điện T_R có thể được điều chỉnh để cộng hưởng kiểu mặt phẳng hình ảnh tương đương của bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306a. Độ sâu ($d/2$) của mặt đất phẳng hình ảnh dẫn điện 139 (Fig.9A) bên dưới kết cấu nhận có thể được xác định bằng cách sử dụng phương trình (100) và các trị số của môi trường dẫn điện hao tổn 203 (ví dụ, trái đất) ở kết cấu nhận, mà có thể được xác định một cách cục bộ. Bằng cách sử dụng độ sâu phức đó, độ lệch pha (θ_d) giữa mặt đất phẳng hình ảnh 139 và biên vật lý 136 (Fig.9A) của môi trường dẫn điện hao tổn 203 có thể được xác định bằng cách sử dụng $\theta_d = \beta_o d/2$. Trở kháng (Z_{in}) như xem “nhìn xuống” vào trong môi trường dẫn điện hao tổn 203 có thể sau đó được xác định bằng cách sử dụng phương trình (99). Mỗi liên hệ cộng hưởng này có thể được xem để tối đa hóa việc ghép với các sóng bề mặt được dẫn hướng.

Dựa trên các thông số được điều chỉnh của cuộn dây L_R và độ dài của dây dẫn đường cấp theo phương thẳng đứng, hệ số vận tốc, độ trễ pha, và trở kháng của cuộn dây L_R và đường cấp theo phương thẳng đứng có thể được xác định. Ngoài ra, điện dung tự cảm (C_R) của cực nạp T_R có thể được xác định bằng cách sử dụng, ví dụ, phương trình (24). Hệ số lan truyền (β_p) của cuộn dây L_R có thể được xác định bằng cách sử dụng phương trình (98), và hằng số pha lan truyền (β_w) đối với đường cấp theo phương thẳng đứng có thể được xác định bằng cách sử dụng phương trình (49). Bằng cách sử dụng điện dung tự cảm và các trị số được xác định của cuộn dây L_R và đường cấp theo phương thẳng đứng, trở kháng ($Z_{cơ sở}$) của bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306a như có thể xem “nhìn lên” vào trong cuộn dây L_R có thể được xác định bằng cách sử dụng các phương trình (101), (102), và (103).

Kiểu mặt phẳng hình ảnh tương đương trên Fig.9A cũng áp dụng cho bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306a trên Fig.18B. Bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306a có thể được điều chỉnh để cộng hưởng so với mặt phẳng hình ảnh phức bằng cách điều chỉnh trở kháng nạp Z_R của cực nạp T_R sao cho thành phần điện kháng $X_{cơ\ sỡ}$ của $Z_{cơ\ sỡ}$ hủy bỏ thành phần điện kháng của X_{in} của Z_{in} , hoặc $X_{cơ\ sỡ} + X_{in} = 0$. Do đó, trở kháng ở biên vật lý 136 (Fig.9A) “nhìn lên” vào trong cuộn dây của bộ cộng hưởng được điều chỉnh 306a là sự liên hợp của trở kháng ở biên vật lý 136 “nhìn xuống” vào trong môi trường dẫn điện hao tổn 203. Trở kháng nạp Z_R có thể được điều chỉnh bằng cách thay đổi điện dung (C_R) của cực nạp T_R mà không thay đổi độ trễ pha điện $\Phi = \theta_c + \theta_y$ thấy được bởi cực nạp T_R . Phương án lắp có thể được thực hiện để điều chỉnh trở kháng nạp Z_R đối với việc cộng hưởng của kiểu mặt phẳng hình ảnh tương đương so với mặt đất phẳng hình ảnh dẫn 139. Theo cách này, việc ghép điện trường với phương thức dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng dọc theo bề mặt môi trường dẫn điện hao tổn 203 (ví dụ, trái đất) có thể được cải thiện và/hoặc được tối đa hóa.

Đề cập đến Fig.19, cuộn dây từ tính 309 bao gồm mạch nhận mà được ghép qua mạng phù hợp trở kháng 333 với tải điện 336. Để tạo điều kiện thuận tiện cho việc nhận và/hoặc việc tách điện năng từ sóng bề mặt được dẫn hướng, cuộn dây từ tính 309 có thể được định vị sao cho từ tính luồng của sóng bề mặt được dẫn hướng, H_ϕ , xuyên qua cuộn dây từ tính 309, do đó bao gồm dòng điện trong cuộn dây từ tính 309 và tạo ra điện áp điểm cực ở các cực đầu ra 330 của nó. Luồng từ tính của sóng bề mặt được dẫn hướng được ghép với cuộn dây một vòng quấn được thể hiện bởi

$$\mathcal{F} = \iint_{A_{CS}} \mu_r \mu_o \vec{H} \cdot \hat{n} dA \quad (104)$$

trong đó $\mathcal{F}$ là luồng từ được ghép, μ_r là độ thấm tương đối hiệu quả của lõi của cuộn dây từ tính 309, μ_o là độ thấm của khoảng không tự do, $\vec{H}$ là vector cường độ từ trường tới, $\hat{n}$ là bộ phận vector trực giao với vùng mặt cắt của các vòng quấn, và A_{CS} là vùng được bao bọc bởi mỗi vòng. Đối với cuộn dây từ tính N vòng quấn 309 được định hướng cho việc ghép tối đa với từ trường tới mà đồng đều khắp vùng mặt cắt của cuộn dây từ tính 309, điện áp cảm ứng mạch hở xuất hiện ở các cực đầu ra 330 của cuộn dây từ tính 309 là

$$V = -N \frac{d\mathcal{F}}{dt} \approx -j\omega\mu_r\mu_0 N H A_{CS}, \quad (105)$$

trong đó các biến số được xác định ở trên. Cuộn dây từ tính 309 có thể được điều chỉnh đến tần số sóng bề mặt được dẫn hướng hoặc dưới dạng bộ cộng hưởng được phân bố hoặc với tụ điện bên ngoài suốt các cực 330 của nó, vì trường hợp có thể là, và sau đó được làm phù hợp về mặt trở kháng với tải điện bên ngoài 336 qua mạng phù hợp trở kháng liên hợp 333.

Giả sử rằng mạch tạo ra có bởi cuộn dây từ tính 309 và tải điện 336 được điều chỉnh một cách chính xác và trở kháng liên hợp được làm phù hợp, qua mạng phù hợp trở kháng 333, sau đó dòng điện cảm ứng trong cuộn dây từ tính 309 có thể được sử dụng để cấp năng lượng một cách tối ưu đến tải điện 336. Mạch nhận có mặt bởi cuộn dây từ tính 309 tạo ra ưu điểm trong đó nó không phải được nối về mặt vật lý với mặt đất.

Với việc tham chiếu đến Fig.18A, Fig.18B, Fig.18C và Fig.19, các mạch nhận có mặt bởi đầu dò tuyến tính 303, kết cấu được làm phù hợp về mặt phương thức 306, và cuộn dây từ tính 309 mỗi bộ phận tạo điều kiện thuận tiện cho việc nhận điện năng được truyền từ một trong số các phương án bất kỳ của các đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 được mô tả ở trên. Với mục đích này, năng lượng được nhận có thể được sử dụng để cấp năng lượng đến tải điện 315/327/336 qua mạng phù hợp liên hợp như có thể hiểu được. Việc này đối lập với các tín hiệu mà có thể được nhận trong bộ nhận mà đã được truyền dưới dạng trường điện từ được bức xạ. Các tín hiệu như vậy có năng lượng khả dụng rất thấp, và các bộ nhận của các tín hiệu như vậy không tải các bộ phát.

Cũng là đặc tính của các sóng bề mặt được dẫn hướng hiện tại được tạo ra bằng cách sử dụng các đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 được mô tả ở trên mà các mạch nhận có bởi đầu dò tuyến tính 303, kết cấu được làm phù hợp về mặt phương thức 306, và cuộn dây từ tính 309 sẽ tải nguồn kích thích 212 (ví dụ, Fig.3, Fig.12 và Fig.16) mà được áp dụng vào đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200, do đó tạo ra sóng bề mặt được dẫn hướng mà các mạch nhận như vậy được trải qua. Việc này phản ánh thực tế là sóng bề mặt được dẫn hướng được tạo ra bởi đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 xác định được mô tả ở trên bao gồm phương thức đường truyền. Ngược lại, nguồn năng lượng mà dẫn động ăng ten bức xạ

mà tạo ra sóng điện trường được bức xạ không được nạp bởi các bộ nhận, bất kể số lượng của các bộ nhận được sử dụng.

Do đó, với nhau một hoặc nhiều đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 và một hoặc nhiều mạch nhận dưới dạng đầu dò tuyến tính 303, kết cấu được làm phù hợp về mặt phương thức điều chỉnh 306, và/hoặc cuộn dây từ tính 309 có thể tạo nên hệ thống phân bổ không dây. Khoảng cách của việc truyền của sóng bề mặt được dẫn hướng bằng cách sử dụng đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200 như được trình bày ở trên phụ thuộc vào tần số được xác định, có khả năng là sự phân bổ năng lượng không dây có thể đạt được suốt các vùng rộng và thậm chí một cách tổng thể.

Các hệ thống truyền/phân bổ năng lượng không dây thông thường được điều tra một cách rộng rãi ngày nay bao gồm “việc thu năng lượng” từ các trường phát xạ và ngoài ra cảm biến ghép với các trường gần cảm ứng hoặc phản ứng. Ngược lại, hệ thống năng lượng không dây hiện tại không lãng phí năng lượng dưới dạng sự phát xạ mà, nếu không bị chặn, thì bị mất mãi mãi. Hệ thống năng lượng không dây được bộc lộ ngày nay không bị hạn chế ở các phạm vi vô cùng ngắn như với các hệ thống trường gần được ghép điện kháng tương hỗ thông thường. Hệ thống năng lượng không dây được bộc lộ trong bản mô tả này ghép đầu dò với phương thức đường truyền được dẫn hướng bề mặt mới, mà tương đương với năng lượng phân phối đến tải bởi phương thức dẫn hướng sóng hoặc tải nổi dây một cách trực tiếp với máy phát điện từ xa. Không tính năng lượng được yêu cầu để duy trì cường độ trường truyền cộng với cường độ trường tiêu tan ở phương thức dẫn hướng sóng bề mặt, mà ở các tần số vô cùng thấp liên quan không đáng kể với các tổn thất truyền trong các đường năng lượng căng cao thông thường ở 60 Hz, toàn bộ năng lượng máy phát điện đi chỉ đến tải điện mong muốn. Khi nhu cầu tải điện chấm dứt, sự tạo ra nguồn năng lượng tương đối không tài.

Với việc tham chiếu đến các hình vẽ từ Fig.20 đến Fig.23, các ví dụ của các cuộn dây từ tính 309 được mô tả. Theo các phương án khác nhau, cuộn dây từ tính có thể được quấn quanh lõi có độ thấm từ tương đối cao. Do độ thấm từ tương đối cao của lõi, mật độ của luồng từ của sóng bề mặt được dẫn hướng mà xuyên qua cuộn dây từ tính 309 lớn hơn luồng từ tính mà nếu không thì sẽ xuyên qua cuộn dây từ tính 309

mà không lỗi. Do đó, lượng điện năng được tách ra từ các sóng bề mặt được dẫn hướng có thể được tăng lên. Ngoài ra, cuộn dây từ tính 309 có thể được gắn với hệ thống mà điều chỉnh hướng của cuộn dây từ tính 309 so với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200a-200f để còn làm tăng lượng điện năng thu được từ các sóng bề mặt dẫn hướng.

Trong thảo luận sau, phần mô tả chung về các ví dụ của các cuộn dây từ tính có các lỗi với độ thấm từ tương đối cao được tạo ra, theo sau bởi sự đề cập về các ví dụ của sự vận hành của các bộ phận tương tự.

Với việc tham chiếu đến Fig.20, hình vẽ này thể hiện một ví dụ về cuộn dây từ tính 309 theo các phương án khác nhau. Cuộn dây từ tính 309 được thể hiện trên Fig.20 được quấn quanh lõi 2003. Mặc dù Fig.20 thể hiện cuộn dây từ tính 309 được quấn quanh lõi 2003, các phương án khác có thể bao gồm nhiều cuộn dây từ tính 309 quấn quanh lõi 2003.

Lõi 2003 theo các phương án khác nhau có thể có các hình dạng khác nhau. Ví dụ, lõi 2003 được thể hiện trên Fig.20 có dạng hình trụ. Theo các ví dụ khác, lõi 2003 có thể là hình tứ giác hoặc có các hình dạng thích hợp khác. Ngoài ra, lõi 2003 có thể có các đầu mà được phóng to so với các phần khác của lõi 2003.

Lõi 2003 có độ thấm từ tương đối cao μ_r . Độ thấm từ tính tương đối μ_r của lõi 2003 có thể được xem là thước đo khả năng của lõi 2003 để thu hút và dẫn luồng từ tính. Độ thấm từ tương đối μ_r của lõi 2003 có thể cũng được xem là thước đo khả năng của lõi 2003 để hỗ trợ việc tạo thành từ trường trong chính nó. Độ thấm từ tương đối μ_r có thể được biểu diễn dưới dạng

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_o}, \quad (106)$$

trong đó μ_r là độ thấm từ tương đối của lõi 2003, μ là độ thấm từ của lõi 2003, và μ_o là độ thấm của khoảng không tự do, có trị số $\mu_o = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$.

Độ thấm từ tương đối cao μ_r của lõi 2003 hấp thụ luồng từ tính do đó làm tăng mật độ của luồng từ tính mà xuyên qua cuộn dây từ tính 309. Việc này dẫn đến cuộn dây từ tính 309 tách điện năng hơn từ các sóng bề mặt được dẫn hướng nhiều hơn cuộn dây từ tính 309 nếu không thì sẽ tách mà không lõi 2003.

Theo các phương án khác nhau, lõi 2003 có thể được tạo nên các vật liệu có các trị số độ thấm từ tương đối khác nhau μ_r . Theo một số ví dụ, độ thấm từ tương đối μ_r

của lõi 2003 có thể từ khoảng 10 đến khoảng 1.000.000. Trong các ví dụ khác, độ thấm từ tương đối μ_r của lõi 2003 có thể từ khoảng 1.000 đến khoảng 1.000.000. Theo các ví dụ khác, độ thấm từ tương đối μ_r của lõi 2003 có thể từ khoảng 10.000 đến khoảng 1.000.000. Theo các ví dụ khác, độ thấm từ tương đối μ_r của lõi 2003 có thể từ khoảng 100.000 đến khoảng 1.000.000. Theo các ví dụ khác, độ thấm từ tương đối μ_r của lõi 2003 có thể từ khoảng 1.000 đến khoảng 10.000. Theo các ví dụ khác, độ thấm từ tương đối μ_r của lõi 2003 có thể từ khoảng 10.000 đến khoảng 100.000.

Với mục đích này, lõi 2003 theo các phương án khác nhau có thể được tạo nên bằng các vật liệu khác nhau có các trị số độ thấm từ tương đối khác nhau μ_r . Ví dụ, lõi 2003 có thể bao gồm hợp kim thủy tinh kim loại (cũng đã biết dưới dạng “metglas”), mà có thể có độ thấm từ tương đối μ_r bằng khoảng 1.000.000. Theo ví dụ khác, lõi 2003 có thể bao gồm 99,95% sắt được tôi trong hydro, mà có thể có độ thấm từ tương đối μ_r bằng khoảng 200.000. Theo ví dụ khác, lõi 2003 có thể bao gồm hợp kim tinh thể nano, chẳng hạn như sóng nano, mà có thể có độ thấm từ tương đối μ_r bằng khoảng 80.000. Theo ví dụ khác, lõi 2003 có thể bao gồm hợp kim từ tính niken-sắt, chẳng hạn như hợp kim mui, mà có thể có độ thấm từ tương đối μ_r bằng khoảng 20.000 đến 50.000. Theo ví dụ khác, lõi 2003 có thể bao gồm vật liệu coban-sắt, mà có thể có độ thấm từ tương đối μ_r bằng khoảng 18.000. Theo ví dụ khác, lõi 2003 có thể bao gồm hợp kim niken-sắt hoặc hợp kim molypden niken-sắt, chẳng hạn như hợp kim vĩnh cửu, mà có thể có độ thấm từ tương đối μ_r bằng khoảng 8.000. Theo ví dụ khác, lõi 2003 có thể bao gồm 99,8% sắt nguyên chất, mà có thể có độ thấm từ tương đối μ_r bằng khoảng 5.000. Theo ví dụ khác, lõi 2003 có thể bao gồm sắt dẫn điện, mà có thể có độ thấm từ tương đối μ_r bằng khoảng 4.000. Theo ví dụ khác, lõi 2003 có thể bao gồm sắt không gỉ ferit được tôi, mà có thể có độ thấm từ tương đối μ_r bằng khoảng 1.000 đến khoảng 1.800. Theo ví dụ khác, lõi 2003 có thể bao gồm thép không gỉ mactensit được tôi, mà có thể có độ thấm từ tương đối μ_r bằng khoảng 750-950. Theo ví dụ khác, lõi 2003 có thể bao gồm ferit, mà có thể có độ thấm từ tương đối μ_r bằng khoảng 16-640. Theo ví dụ khác, lõi 2003 có thể bao gồm thép không gỉ austenit, mà có thể có độ thấm từ tương đối μ_r bằng khoảng 1-100.

Với việc tham chiếu đến Fig.21, hình vẽ này thể hiện một ví dụ của cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 được gắn với kết cấu đỡ 2103. Kết cấu đỡ 2103 có thể định vị

cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 theo các hướng khác nhau so với các đối tượng khác. Ví dụ, kết cấu đỡ 2106 có thể quay cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 sao cho cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 được định hướng sao cho chúng sự xếp thẳng hàng với từ trường sao cho lượng luồng từ tính tối đa của các sóng bề mặt được dẫn hướng xuyên qua cuộn dây từ tính 309. Bằng cách tối đa hóa luồng từ tính đi qua cuộn dây từ tính 309, cuộn dây từ tính 309 có thể tối đa hóa lượng năng lượng thu được từ các sóng bề mặt được dẫn hướng.

Kết cấu đỡ 2103 có thể được kết hợp dưới các dạng khác nhau. Ví dụ, kết cấu đỡ 2103 thể hiện trên Fig.21 được kết hợp dưới dạng bộ mà có thể quay cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 quanh nhiều trục. Theo các ví dụ khác, kết cấu đỡ 2103 có thể được kết hợp dưới dạng khớp các đăng, bàn quay, con quay hồi chuyển, hoặc hệ thống thích hợp khác.

Kết cấu đỡ 2103 được thể hiện trên Fig.21 có thể quay cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 quanh trục 2106 và trục 2009, cả hai bộ phận này trục giao với trục dọc 2113 của lõi 2003. Do đó, kết cấu đỡ 2103 có thể quay cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 theo các hướng được thể hiện bởi các mũi tên 2116 và 2119.

Khi cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 được quay quanh trục 2106, các đầu của lõi 2003 xoay lên hoặc xuống so với mặt đất. Nói cách khác, góc giữa mặt đất và trục dọc 2113 của lõi 2003 thay đổi. Kết cấu đỡ 2103 có thể quay cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 quanh trục 2106 đáp lại độ cao của cuộn dây từ tính và lõi 2003 thay đổi so với độ cao của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200a-200f từ đó cuộn dây từ tính 309 thu được điện năng. Việc này có thể xảy ra, ví dụ, nếu cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 được lắp trong hệ thống di động, chẳng hạn như phương tiện giao thông, mà di chuyển lên hoặc xuống đồi.

Khi cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 được quay quanh trục 2109, các hướng nằm ngang trong đó các đầu của lõi 2003 hướng vào được thay đổi. Khi việc này xảy ra, góc giữa mặt đất và trục dọc 2113 của lõi 2003 không thay đổi. Kết cấu đỡ 2103 có thể quay cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 quanh trục 2109 đáp lại vị trí bên của cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 thay đổi so với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200a-200f từ đó cuộn dây từ tính 309 thu được điện năng. Việc này có thể xảy ra, ví dụ, nếu cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 được lắp trong hệ thống di động, chẳng

hạn như phương tiện giao thông, mà di chuyển theo hướng bên so với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200a-200f.

Với việc tham chiếu đến Fig.22, hình vẽ này thể hiện một ví dụ về thiết bị tính toán 2203 theo các phương án khác nhau của sáng chế. Thiết bị tính toán 2203 có thể kiểm soát và điều khiển kết cấu đỡ 2103 đối với cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003. Với mục đích này, thiết bị tính toán 2203 có thể bao gồm một hoặc nhiều cảm biến 2206, bộ điều khiển hướng 2203, và/hoặc các bộ phận khác.

Theo một số phương án, các cảm biến 2206 có thể bao gồm cảm biến hệ thống điều hướng vệ tinh, chẳng hạn như cảm biến hệ thống định vị toàn cầu (global positioning system - GPS), mà có thể được sử dụng để xác định vị trí và/hoặc hướng của cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 dựa trên các tín hiệu truyền thông từ các vệ tinh. Theo các phương án khác, các cảm biến 2206 có thể bao gồm cảm biến điều hướng quán tính, chẳng hạn như gia tốc kế hoặc con quay hồi chuyển, mà có thể được sử dụng để xác định vị trí và/hoặc hướng của cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003. Các cảm biến 2206 có thể còn là các bộ phận, chẳng hạn như la bàn từ tính mà có thể được sử dụng để xác định vị trí và/hoặc hướng của cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003. Các cảm biến 2206 có thể cũng bao gồm các máy đo độ cao mà xác định độ cao của cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 so với mặt đất, mực nước biển trung bình, và/hoặc các đối tượng khác. Các cảm biến 2206 có thể còn bao gồm các thiết bị đo trường, chẳng hạn như thiết bị đo từ trường. Thiết bị đo từ trường có thể một cách trực tiếp hoặc một cách gián tiếp xác định cường độ luồng từ tính mà đi qua cuộn dây từ tính 309.

Bộ điều khiển hướng 2209 có thể thu được dữ liệu từ các cảm biến 2206 và điều chỉnh hướng của cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 so với các đối tượng khác dựa trên dữ liệu từ các cảm biến 2206. Để điều chỉnh hướng của cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003, bộ điều khiển hướng 2209 có thể lệnh các động cơ, các bộ kích hoạt, các hệ thống thủy lực, và/hoặc các bộ phận khác để kích hoạt do đó quay cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 đến hướng xác định.

Bộ điều khiển hướng 2209 có thể xác định cách cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 cần phải được định hướng bằng cách sử dụng các kỹ thuật khác nhau. Theo một kỹ thuật, bộ điều khiển hướng 2209 có thể thu được dữ liệu từ các cảm biến 2206 chỉ báo vị trí và hướng của cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 so với đầu dò dẫn hướng sóng

bề mặt được dẫn hướng 200a-200f mà được phóng các sóng bề mặt được dẫn hướng. Bộ điều khiển hướng 2209 sau đó có thể xác định hướng của cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 mà sẽ dẫn đến lượng luồng từ tối đa đi qua cuộn dây từ tính 309. Sau khi xác định hướng này, bộ điều khiển hướng 2209 có thể lệnh kết cấu đỡ 2103 quay cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 quanh trục 2106 và/hoặc trục 2109 đến hướng xác định.

Theo phương án khác, bộ điều khiển hướng 2209 có thể sử dụng các cảm biến 2206 để xác định một cách trực tiếp hoặc một cách gián tiếp độ lớn luồng từ tính chạy qua cuộn dây từ tính 309 và điều chỉnh hướng của cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 đáp lại luồng từ. Ví dụ, nếu luồng từ tính được xác định chạy qua cuộn dây từ tính 309 được làm giảm từ việc xác định nêu trên, bộ điều khiển hướng 2209 có thể điều chỉnh hướng của cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 để cố gắng làm tăng lượng luồng từ chạy qua cuộn dây từ tính 309. Khi luồng từ được xác định tăng lên đến trị số cụ thể, bộ điều khiển hướng 2209 có thể dừng việc điều chỉnh sự định hướng của cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003. Quy trình này có thể được lặp lại khi hướng của cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 so với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200a-200f thay đổi lần nữa.

Với việc tham chiếu đến Fig.23, hình vẽ này thể hiện lưu đồ mà thể hiện một ví dụ về việc vận hành của một phần bộ điều khiển hướng 2209 theo các phương án khác nhau. Lưu đồ trên Fig.23 tạo ra một ví dụ về nhiều loại bố trí về chức năng mà có thể được sử dụng để thực hiện sự vận hành bộ điều khiển hướng 2209 như được mô tả trong bản mô tả này. Theo phương án khác, lưu đồ trên Fig.23.

có thể được xem là mô tả một ví dụ về các phần của phương pháp được thực hiện bởi thiết bị tính toán 2203. Bắt đầu ở hộp 2303, bộ điều khiển hướng 2209 định hướng cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 để thu được lượng điện năng tối đa từ các sóng bề mặt được dẫn hướng. Ví dụ, bộ điều khiển hướng 2209 có thể lệnh kết cấu đỡ 2103 quay cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 quanh trục 2106 và/hoặc trục 2109 đến hướng cụ thể mà dẫn đến lượng luồng từ tối đa đi qua cuộn dây từ tính 309.

Ở hộp 2306, bộ điều khiển hướng 2209 xác định hướng của cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 được thay đổi so với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng 200a-200f hay không. Nếu hướng được thay đổi, bộ điều khiển hướng 2209 trở lại hộp 2303, như được thể hiện, và định hướng cuộn dây từ tính 309 và lõi 2003 để thu được

lượng điện năng tối đa từ sóng bề mặt được dẫn hướng. Nếu không thì, nếu hướng không được thay đổi, quy trình kết thúc. Lưu ý rằng, theo một số phương án, các hộp 2303 và 2306 có thể được lắp lại một cách liên tục.

Lưu đồ trên Fig.23 thể hiện một ví dụ về chức năng của bộ điều khiển hướng 2209. Mặc dù lưu đồ trên Fig.23 thể hiện thứ tự thực hiện cụ thể, thứ tự thực hiện này có thể khác so với thứ tự mà được mô tả theo các phương án khác. Ví dụ, thứ tự của hai hoặc hơn hai hộp có thể được chuyển đổi so với thứ tự được thể hiện. Ngoài ra, hai hoặc hơn hai khối được thể hiện liên tiếp trên Fig.23 có thể được nhảy quãng hoặc được bỏ qua.

Ngoài vấn đề nêu trên, các phương án khác nhau của sáng chế bao gồm, nhưng không chỉ hạn chế ở, các phương án được trình bày trong các điều sau:

Điều 1. Hệ thống, bao gồm: đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng được tạo kết cấu để tạo ra sóng bề mặt được dẫn hướng mà di chuyển ngang qua môi trường trên mặt đất; kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng được tạo kết cấu để thu được điện năng từ sóng bề mặt được dẫn hướng, trong đó kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng bao gồm cuộn dây từ tính và lõi được bố trí ở cuộn dây từ tính, trong đó lõi có độ thấm từ tính tương đối lớn hơn khoảng 10 và nhỏ hơn khoảng 1.000.000; và tải điện được ghép với kết cấu nhận sóng bề mặt dẫn hướng, tải điện được hiểu như tải ở nguồn kích thích được ghép với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng.

Điều 2. Hệ thống theo điều 1, trong đó độ thấm từ tương đối lớn hơn khoảng 1.000 và nhỏ hơn khoảng 10.000.

Điều 3. Hệ thống theo điều 1, trong đó độ thấm từ tính tương đối lớn hơn khoảng 100.000.

Điều 4. Hệ thống theo điều 1, trong đó độ thấm từ tương đối lớn hơn khoảng 10.000.

Điều 5. Hệ thống theo điều bất kỳ trong số các điều từ 1 đến 4, trong đó lõi bao gồm hợp kim từ tính niken-sắt.

Điều 6. Hệ thống theo điều bất kỳ trong số các điều từ 1 đến 4, trong đó lõi bao gồm hợp kim bao gồm niken, sắt, và molybden.

Điều 7. Hệ thống theo điều bất kỳ trong số các điều từ 1 đến 6, trong đó cuộn dây từ tính được gắn với kết cấu đỡ mà được tạo kết cấu để điều chỉnh vị trí của cuộn dây từ tính.

Điều 8. Hệ thống theo điều bất kỳ trong số các điều từ 1 đến 7, trong đó cuộn dây từ tính được gắn với kết cấu đỡ mà được tạo kết cấu để điều chỉnh vị trí của cuộn dây từ tính so với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng.

Điều 9. Phương pháp, bao gồm các bước: nhận điện năng dưới dạng sóng bề mặt được dẫn hướng bằng cách sử dụng kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng, trong đó kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng bao gồm cuộn dây từ tính và lõi được bố trí trong cuộn dây từ tính, trong đó lõi có độ thấm từ tương đối lớn hơn khoảng 10 và nhỏ hơn khoảng 1.000.000; và cung cấp điện năng đến tải điện được ghép với kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng.

Điều 10. Phương pháp theo điều 9, phương pháp này còn bao gồm bước định vị cuộn dây từ tính sao cho luồng từ tính của sóng bề mặt được dẫn hướng xuyên qua cuộn dây từ tính.

Điều 11. Phương pháp theo điều 9 hoặc 10, phương pháp này còn bao gồm bước điều chỉnh vị trí của cuộn dây từ tính đáp lại sự thay đổi về hướng của cuộn dây từ tính so với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng.

Điều 12. Phương pháp theo điều 11, phương pháp này còn bao gồm bước phát hiện sự thay đổi về hướng của cuộn dây từ tính so với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng.

Điều 13. Phương pháp theo điều 11 hoặc 12, trong đó bước điều chỉnh vị trí của cuộn dây từ tính khiến cho góc giữa trục ngang và trục dọc của lõi thay đổi.

Điều 14. Hệ thống, bao gồm: kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng được tạo kết cấu để thu được điện năng từ sóng bề mặt được dẫn hướng di chuyển ngang qua môi trường trên mặt đất, trong đó kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng bao gồm cuộn dây từ tính và lõi được bố trí trong cuộn dây từ tính, trong đó lõi có độ thấm từ tương đối lớn hơn khoảng 10 và nhỏ hơn khoảng 1.000.000; và tải điện được ghép với kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng, tải điện được hiểu là tải ở nguồn kích thích được ghép với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng tạo ra sóng bề mặt được dẫn hướng.

Điều 15. Hệ thống theo điều 14, trong đó độ thấm từ tương đối của lõi lớn hơn khoảng 100.

Điều 16. Hệ thống theo điều 14, trong đó độ thấm từ tương đối của lõi lớn hơn khoảng 1.000.

Điều 17. Hệ thống theo điều 14, trong đó độ thấm từ tương đối của lõi lớn hơn khoảng 10.000.

Điều 18. Hệ thống theo điều 14, trong đó độ thấm từ tương đối của lõi lớn hơn khoảng 5.000 và nhỏ hơn khoảng 60.000.

Điều 19. Hệ thống theo điều bất kỳ trong số các điều từ 14 đến 18, trong đó lõi bao gồm hợp kim từ tính niken-sắt.

Điều 20. Hệ thống theo điều bất kỳ trong số các điều từ 14 đến 18, trong đó lõi bao gồm hợp kim bao gồm niken, sắt, và molypden.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Hệ thống tạo và nhận sóng bề mặt được dẫn hướng, bao gồm:

đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng (200a, 200b) với cực nạp (T_1) đơn được tạo kết cấu để tạo ra trường điện từ khi được kích thích bởi nguồn kích thích (212), trong đó trường điện từ tổng hợp sóng phía trước tới ở góc tới Brewster phức ($\theta_{i,B}$) của môi trường trên mặt đất (203) để tạo ra sóng bề mặt được dẫn hướng mà di chuyển ngang qua môi trường trên mặt đất (203);

mạng cáp (209) được ghép điện giữa cực nạp (T_1) đơn và nguồn kích thích (212), mạng cáp (209) tạo ra độ trễ pha (Φ) mà phù hợp góc nghiêng sóng (Ψ) kết hợp với góc tới Brewster phức ($\theta_{i,B}$);

kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng được tạo kết cấu để thu được điện năng từ sóng bề mặt được dẫn hướng, trong đó kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng bao gồm cuộn dây từ tính (309) và lõi được bố trí trong cuộn dây từ tính (309), trong đó lõi có độ thấm từ tương đối lớn hơn khoảng 10 và nhỏ hơn khoảng 1.000.000; và

tải điện (327) được ghép với kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng.

2. Hệ thống theo điểm 1, trong đó độ thấm từ tương đối lớn hơn khoảng 100 và nhỏ hơn khoảng 1.000.000.

3. Hệ thống theo điểm 2, trong đó độ thấm từ tương đối lớn hơn khoảng 1.000 và nhỏ hơn khoảng 10.000.

4. Hệ thống theo điểm 2, trong đó độ thấm từ tương đối lớn hơn khoảng 10.000 và nhỏ hơn khoảng 1.000.000.

5. Hệ thống theo điểm 4, trong đó độ thấm từ tương đối lớn hơn khoảng 100.000 và nhỏ hơn khoảng 1.000.000.

6. Hệ thống theo điểm 2, trong đó độ thấm từ tương đối của lõi lớn hơn khoảng 5.000 và nhỏ hơn khoảng 60.000.

7. Hệ thống theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 6, trong đó lõi bao gồm hợp kim từ tính niken-sắt.

8. Hệ thống theo điểm 7, trong đó lõi bao gồm hợp kim bao gồm niken, sắt, và molybden.

9. Hệ thống theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 8, trong đó cuộn dây từ tính được gắn với kết cấu đỡ mà được tạo kết cấu để điều chỉnh vị trí của cuộn dây từ tính.

10. Hệ thống theo điểm 9, trong đó cuộn dây từ tính được gắn với kết cấu đỡ mà được tạo kết cấu để điều chỉnh vị trí của cuộn dây từ tính so với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng.

11. Phương pháp tạo và nhận sóng bề mặt được dẫn hướng, bao gồm các bước:

tạo ra, bằng cách kích thích cực nạp (T_1) đơn của đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng (200a, 200b) qua nguồn kích thích (212), trường điện từ mà tổng hợp sóng phía trước tới ở góc tới Brewster phức ($\theta_{i,B}$) của môi trường trên mặt đất (203) để tạo ra sóng bề mặt được dẫn hướng mà di chuyển suốt môi trường trên mặt đất (203), trong đó mạng cấp (209) được ghép điện giữa cực nạp (T_1) đơn và nguồn kích thích (212), mạng cấp (209) tạo ra độ trễ pha (Φ) mà phù hợp với góc nghiêng sóng (Ψ) kết hợp với góc tới Brewster phức ($\theta_{i,B}$);

nhận điện năng dưới dạng sóng bề mặt được dẫn hướng bằng cách sử dụng kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng, trong đó kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng bao gồm cuộn dây từ tính (309) và lõi được bố trí trong cuộn dây từ tính (309), trong đó lõi có độ thấm từ tương đối lớn hơn khoảng 10 và nhỏ hơn khoảng 1.000.000; và

cung cấp điện năng đến tải điện (327) được ghép với kết cấu nhận sóng bề mặt được dẫn hướng.

12. Phương pháp theo điểm 11, phương pháp này còn bao gồm bước định vị cuộn dây từ tính sao cho luồng từ tính của sóng bề mặt được dẫn hướng xuyên qua cuộn dây từ tính.

13. Phương pháp theo điểm 11 hoặc 12, phương pháp này còn bao gồm bước điều chỉnh vị trí của cuộn dây từ tính đáp ứng lại sự thay đổi về hướng của cuộn dây từ tính so với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng.

14. Phương pháp theo điểm 13, phương pháp này còn bao gồm bước phát hiện sự thay đổi về hướng của cuộn dây từ tính so với đầu dò dẫn hướng sóng bề mặt được dẫn hướng.

15. Phương pháp theo điểm 13 hoặc 14, trong đó bước điều chỉnh vị trí của cuộn dây từ tính khiến cho góc giữa trục ngang và trục dọc của lõi thay đổi.

1/19

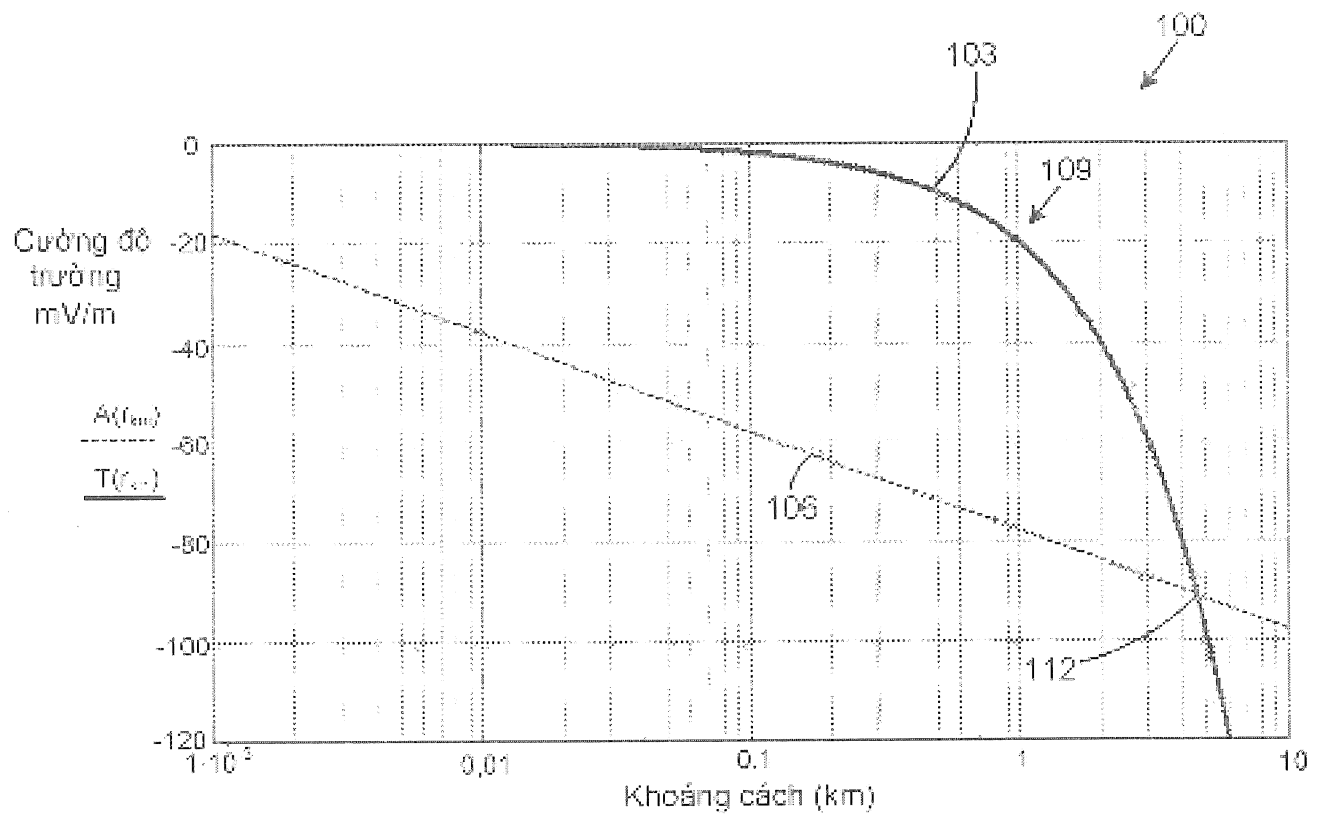


FIG. 1

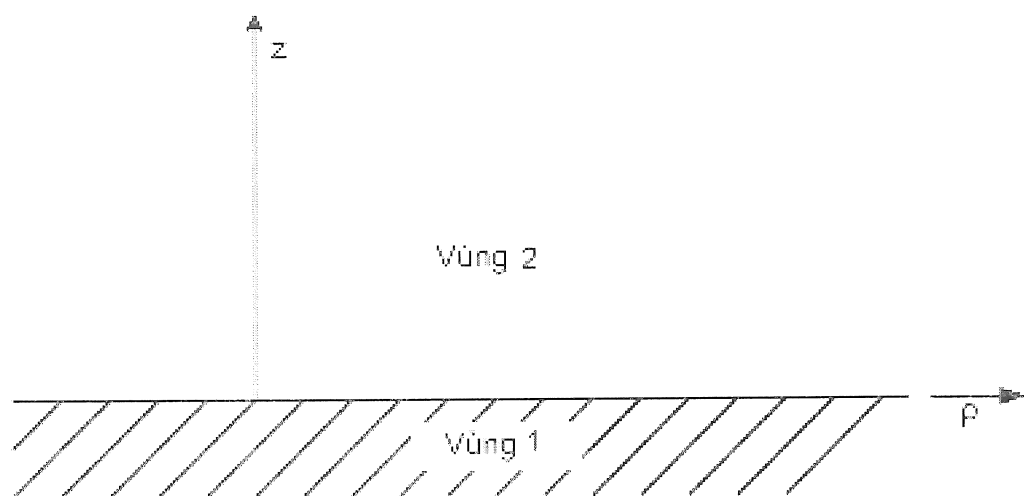


FIG. 2

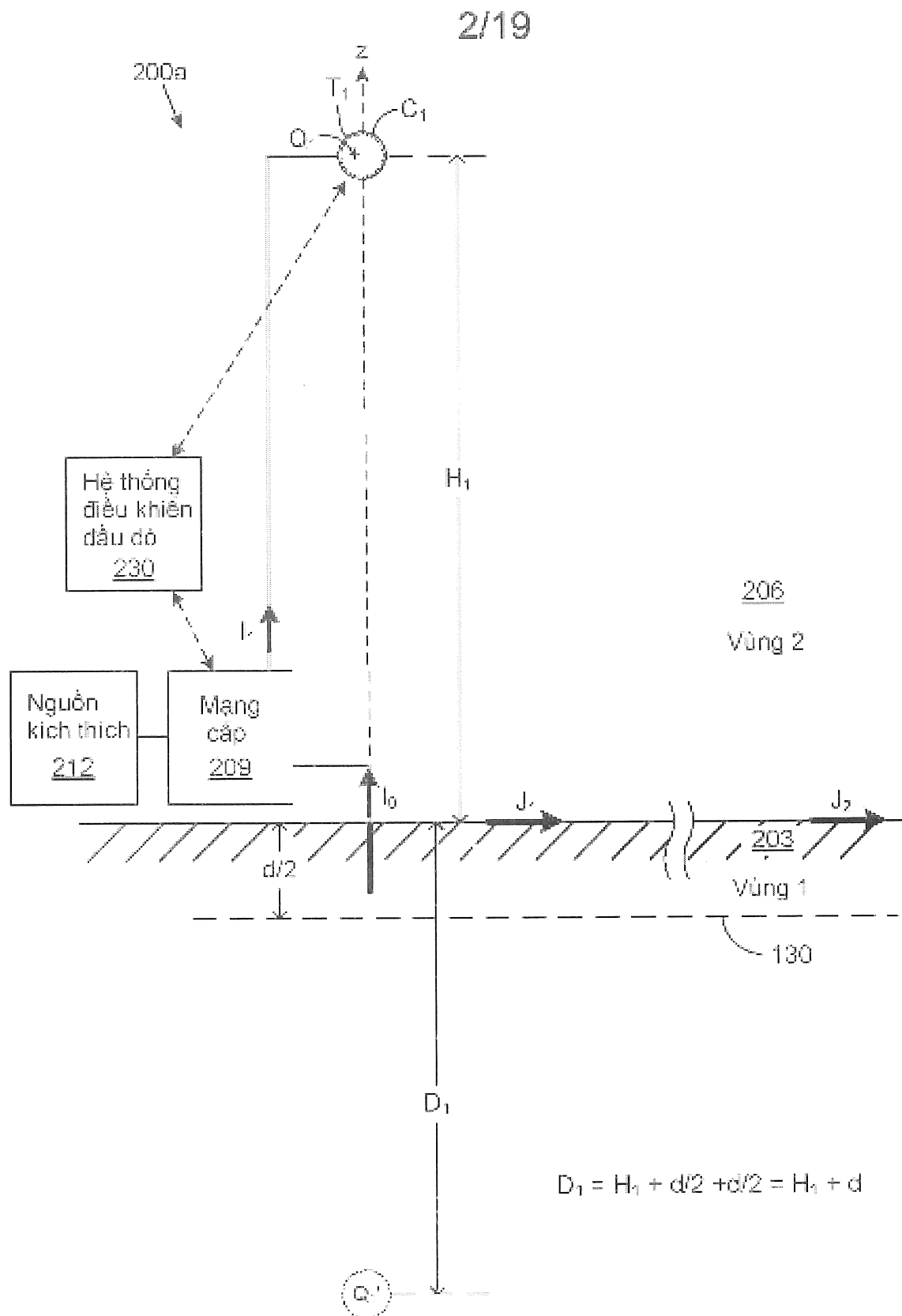
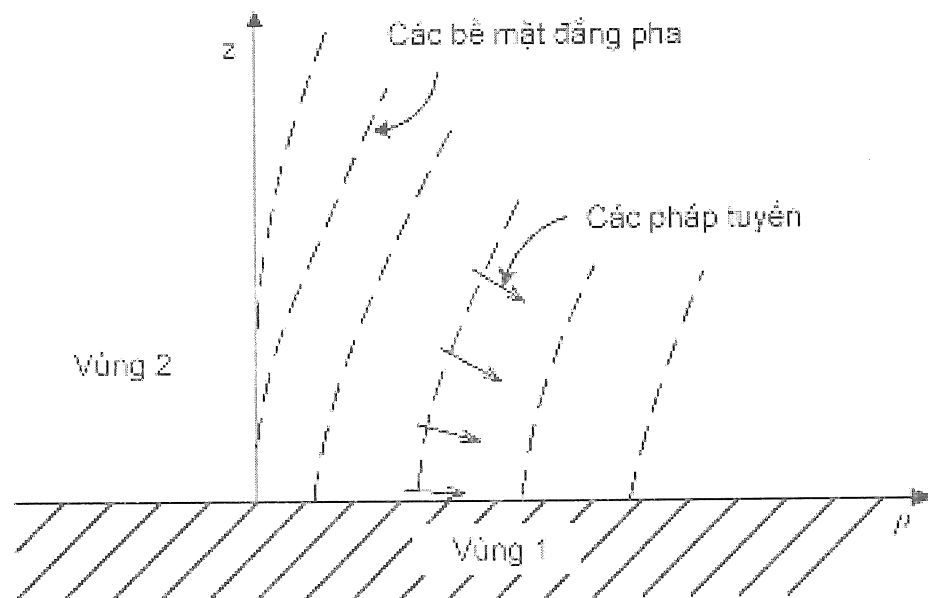
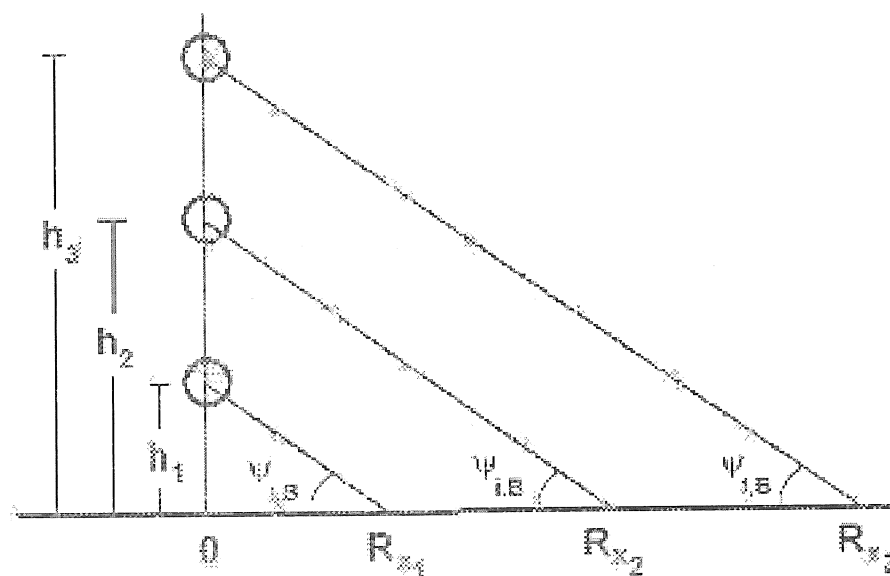
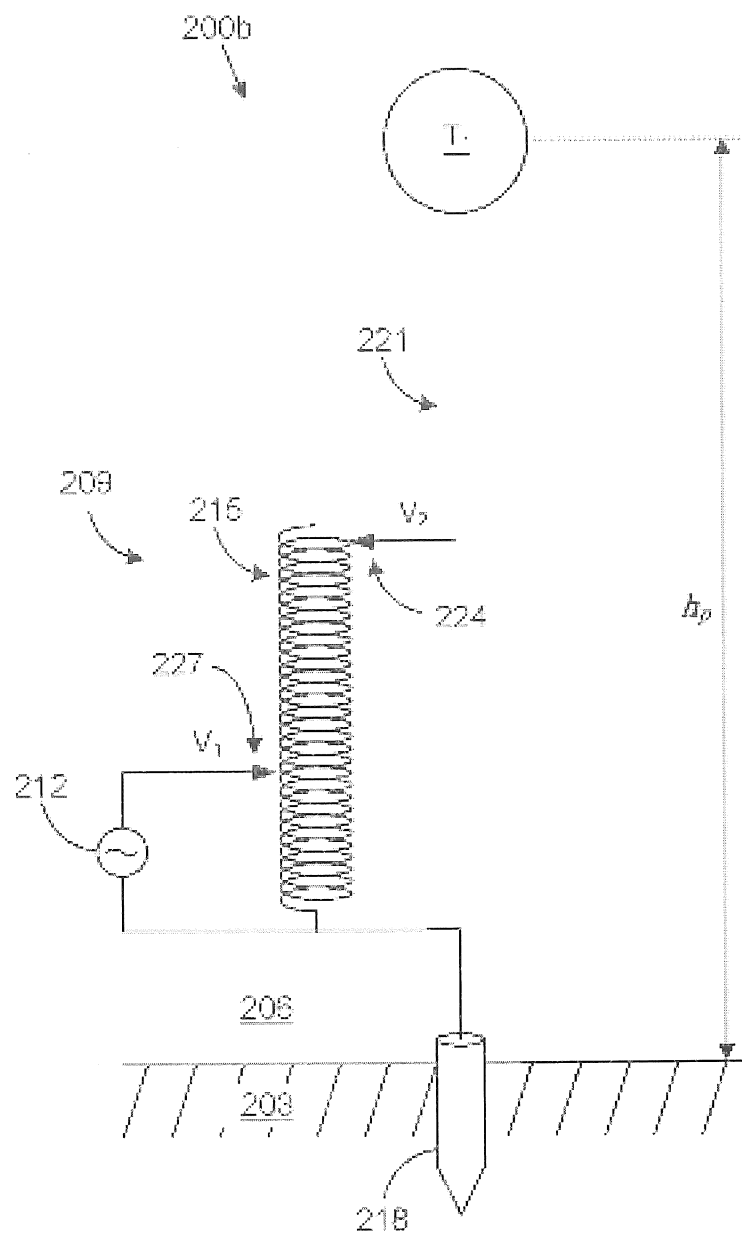


FIG. 3

4/19

**FIG. 5B****FIG. 6**

5/19

**FIG. 7**

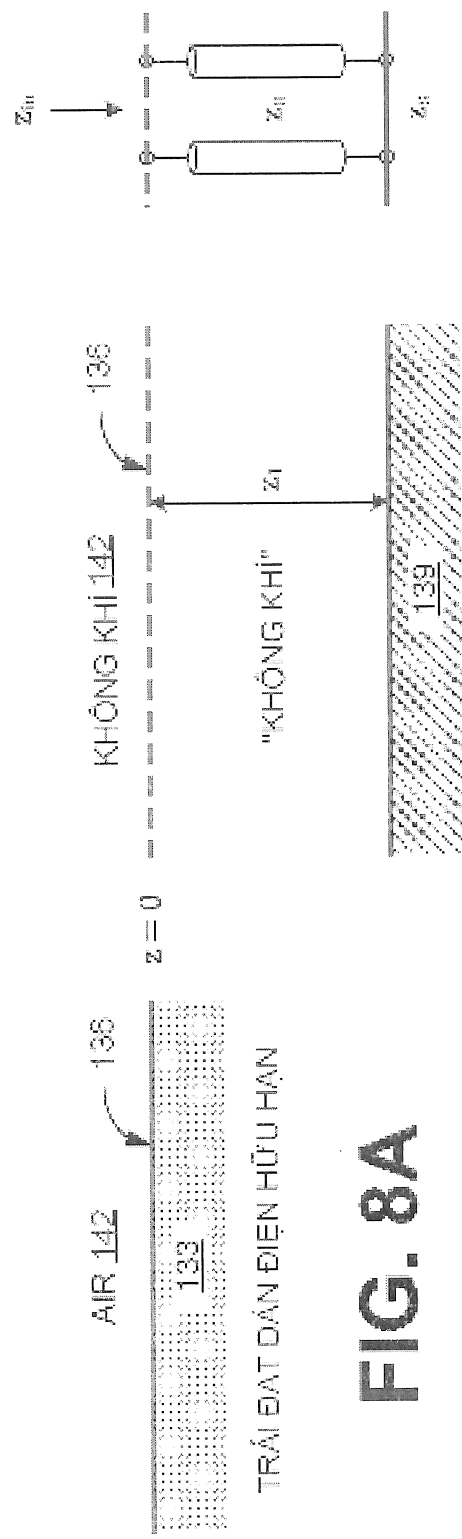


FIG. 8C

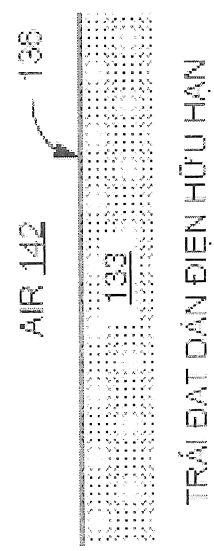
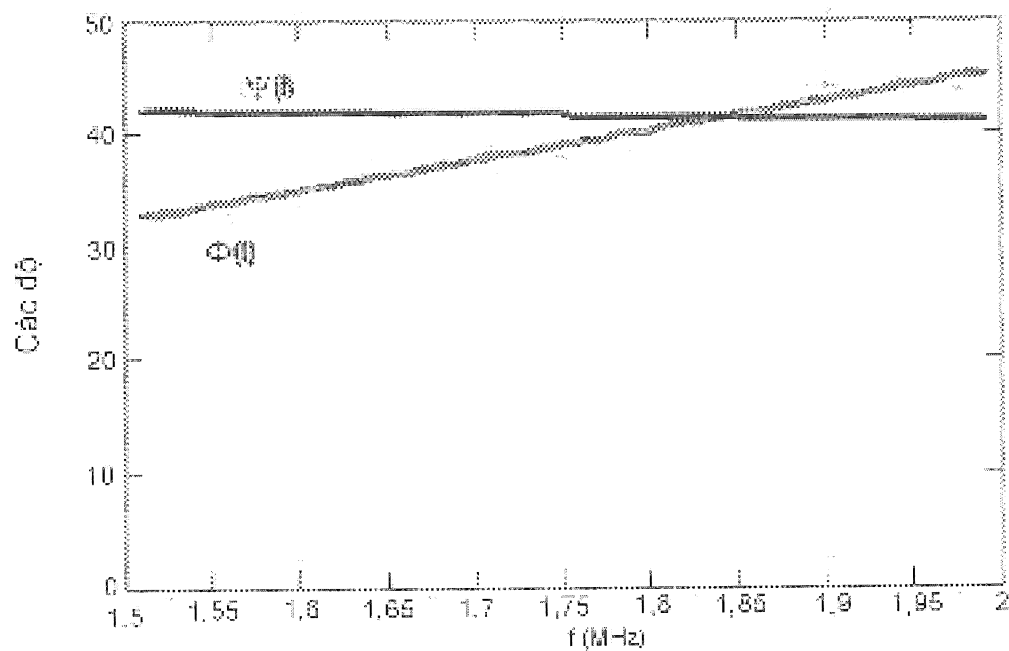
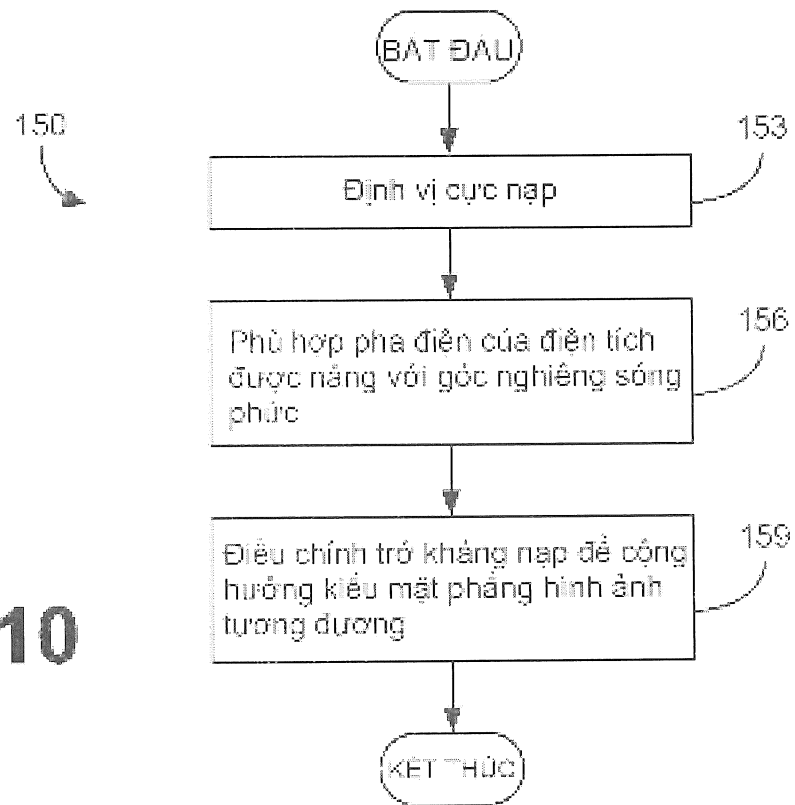


FIG. 8A

MẶT ĐẤT PHẢN HÌNH ẢNH
DẪN ĐIỆN HOÀN HẢO

FIG. 8B

8/19

FIG. 10**FIG. 11**

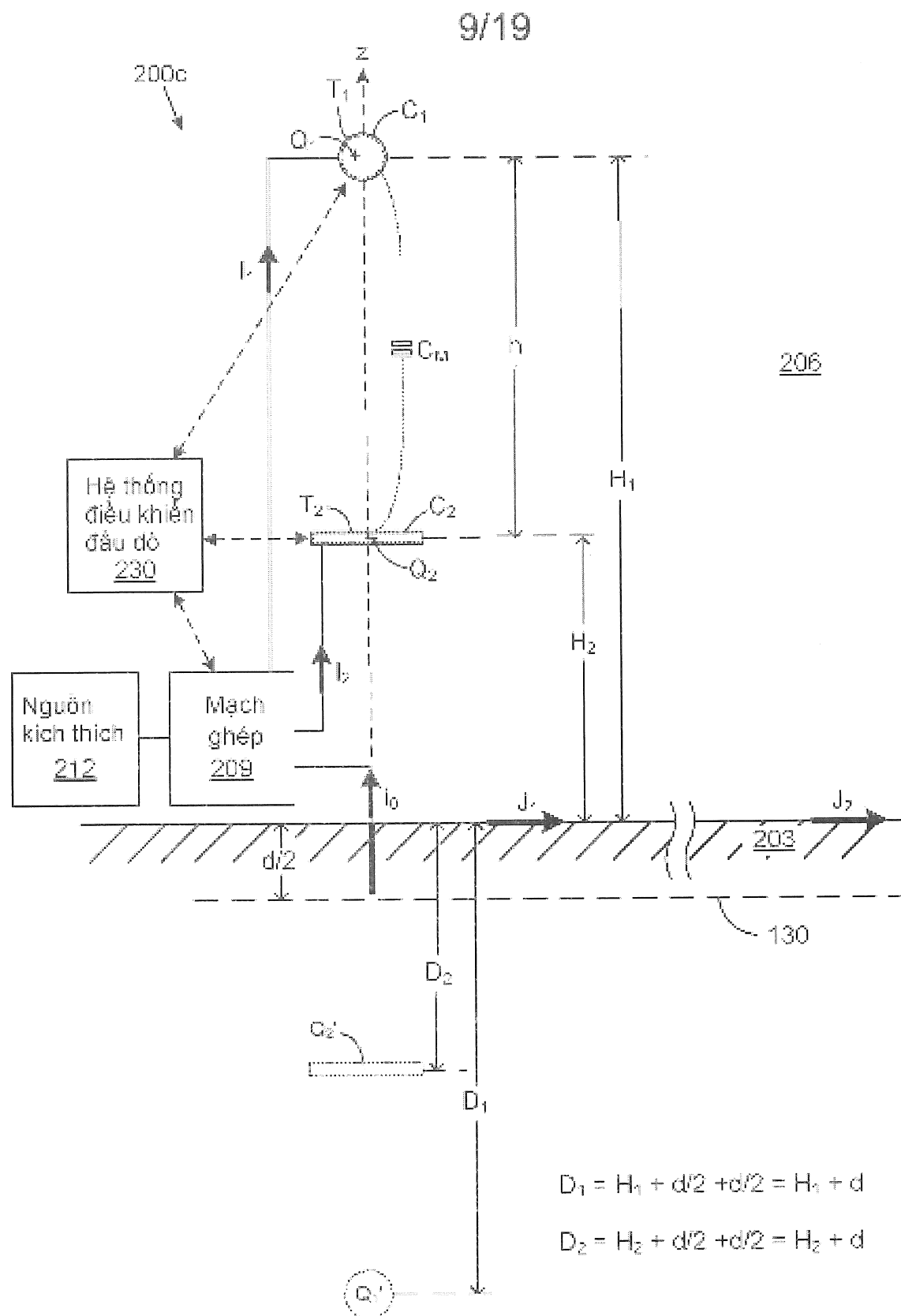
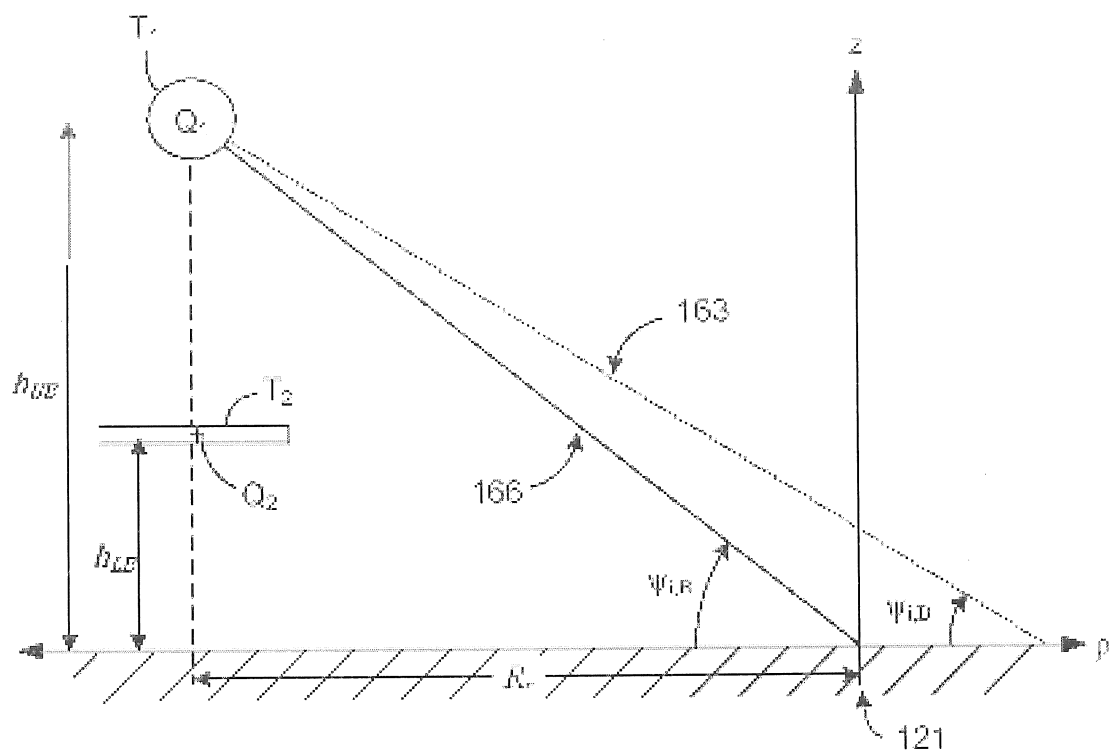
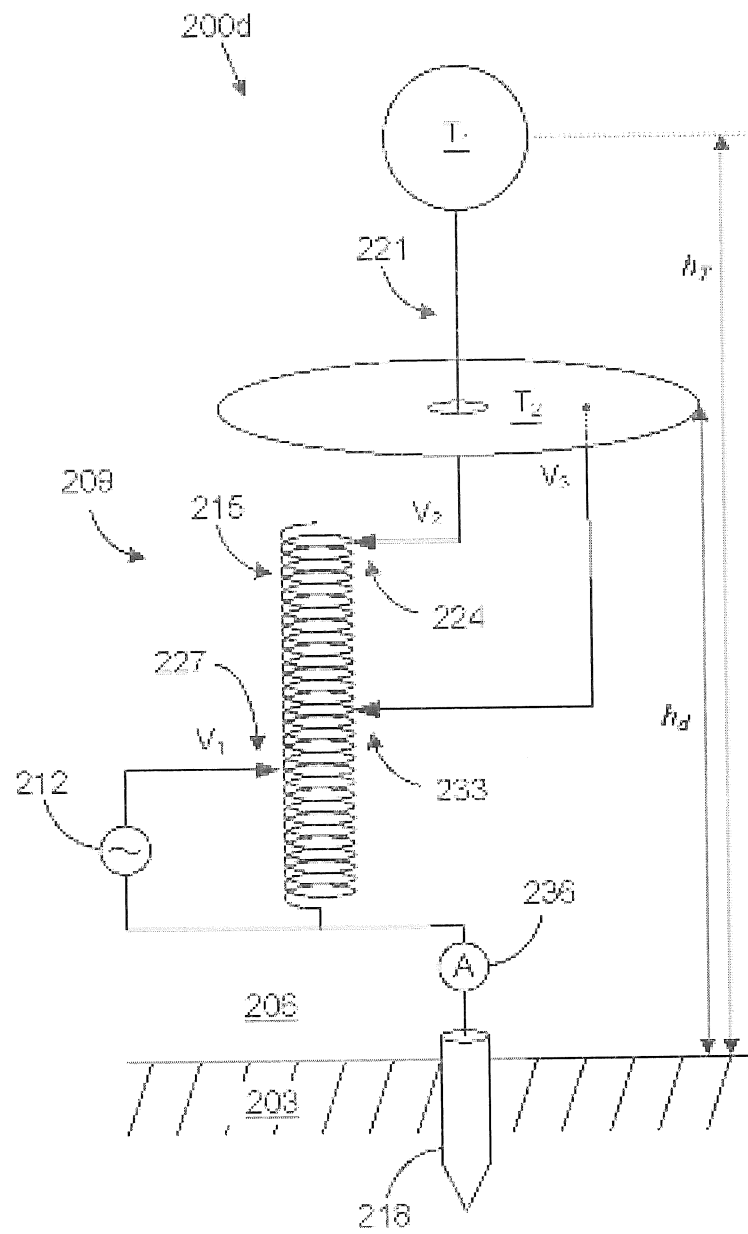


FIG. 12

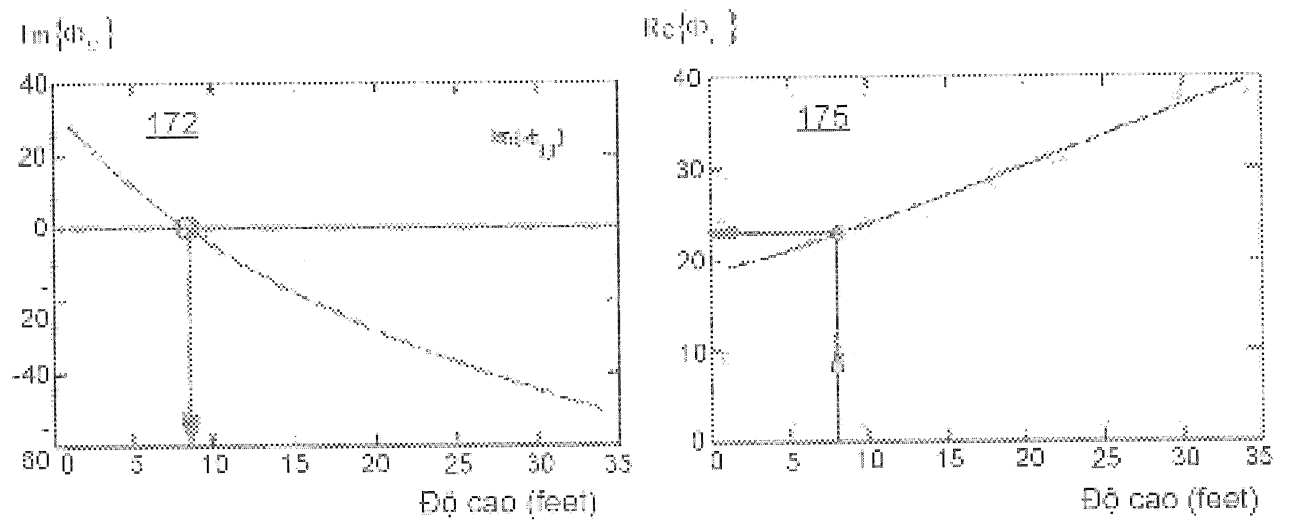
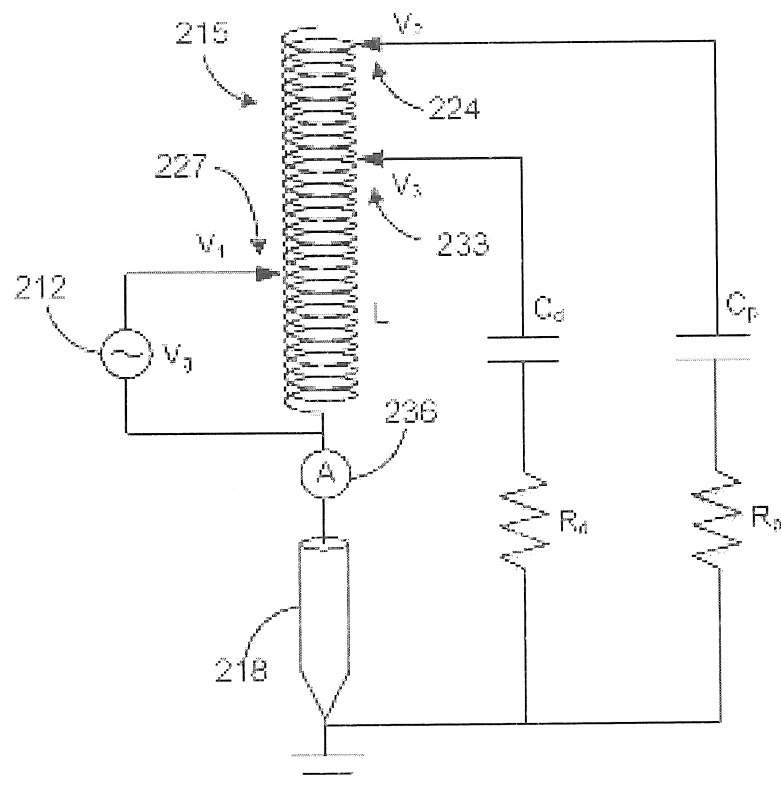
10/19

**FIG. 13**

11/19

**FIG. 14**

12/19

**FIG. 15A****FIG. 15B**

14/19

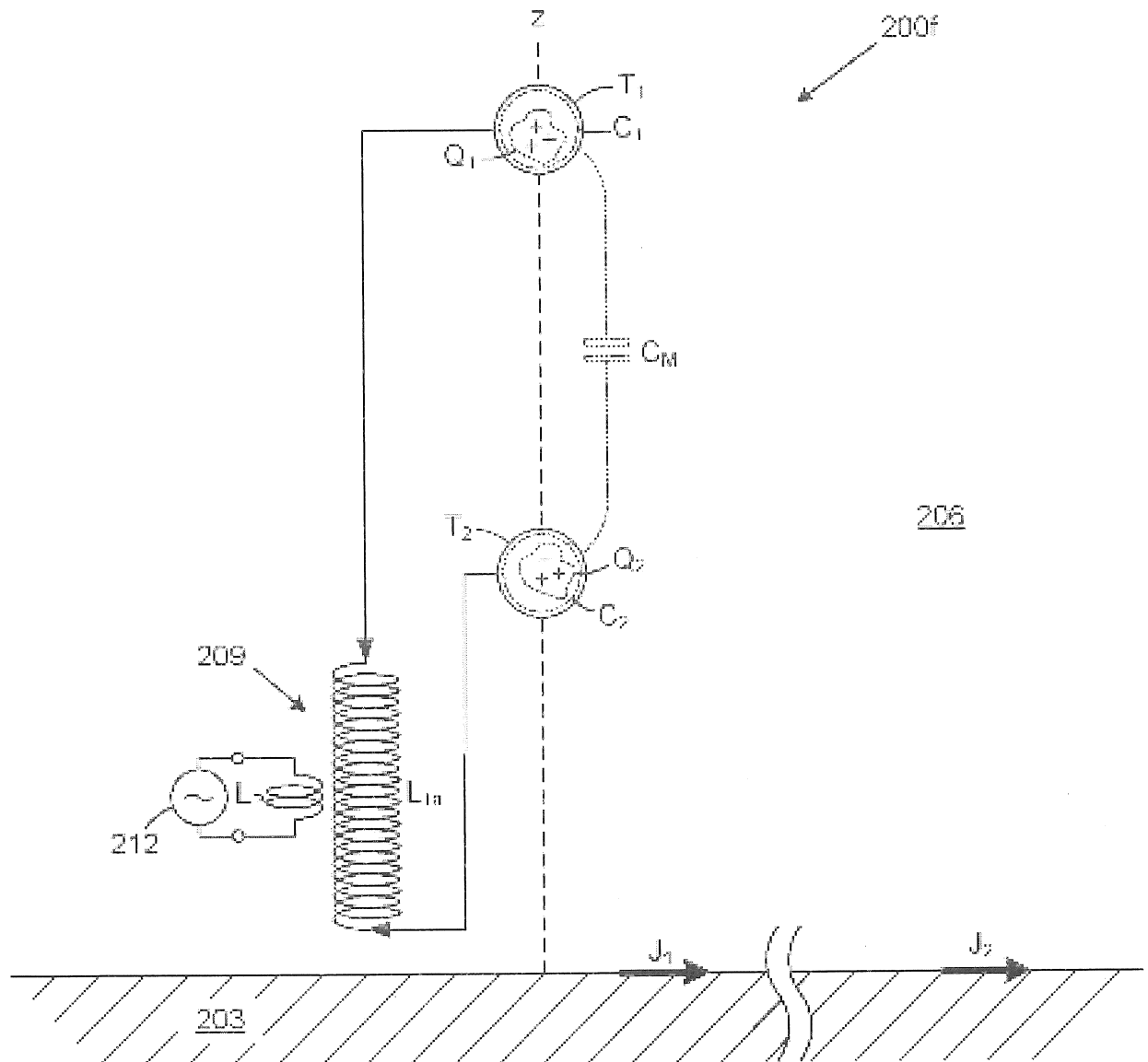
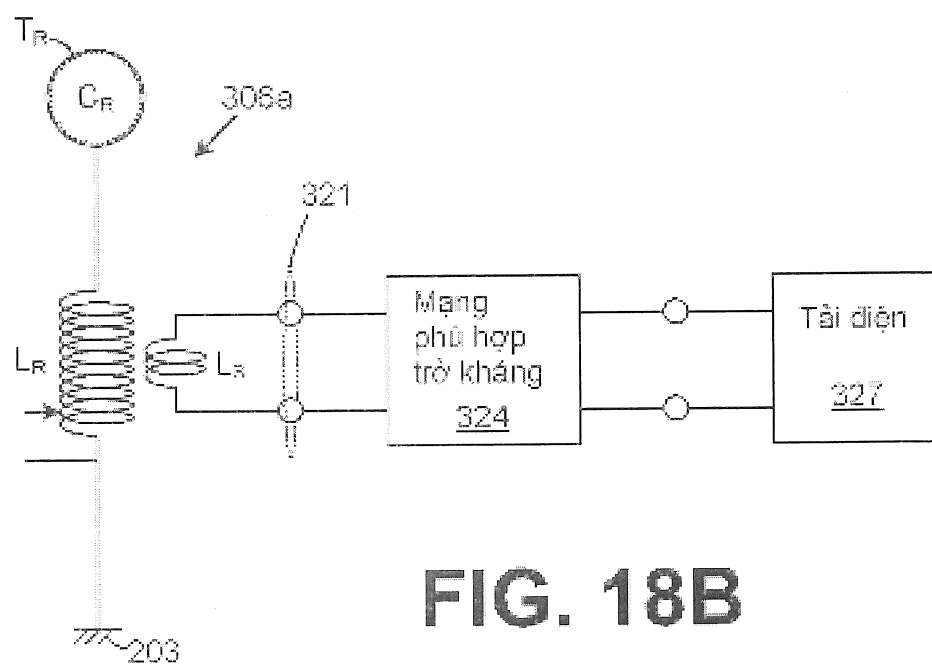
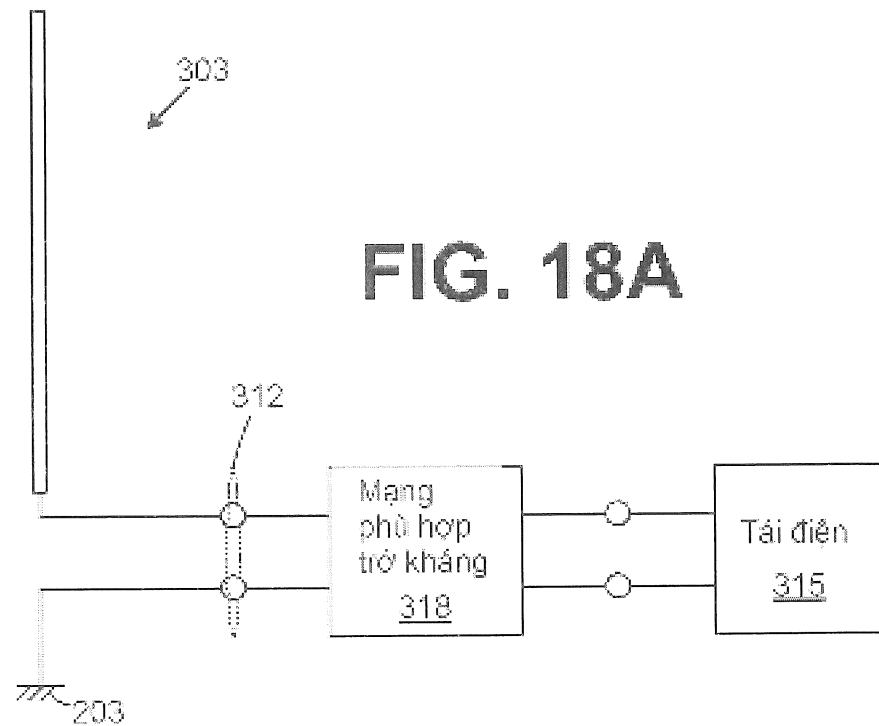


FIG. 17

15/19



16/19

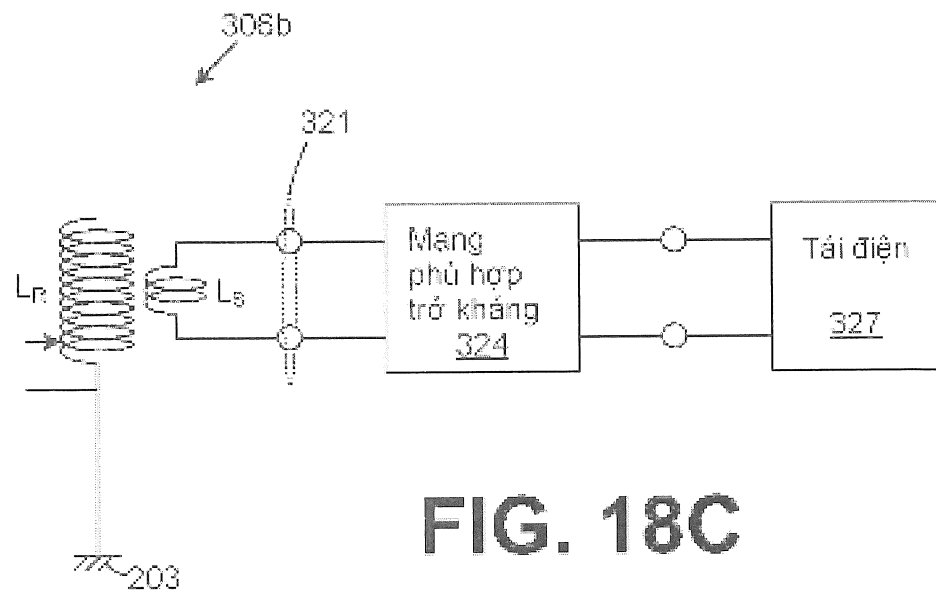


FIG. 18C

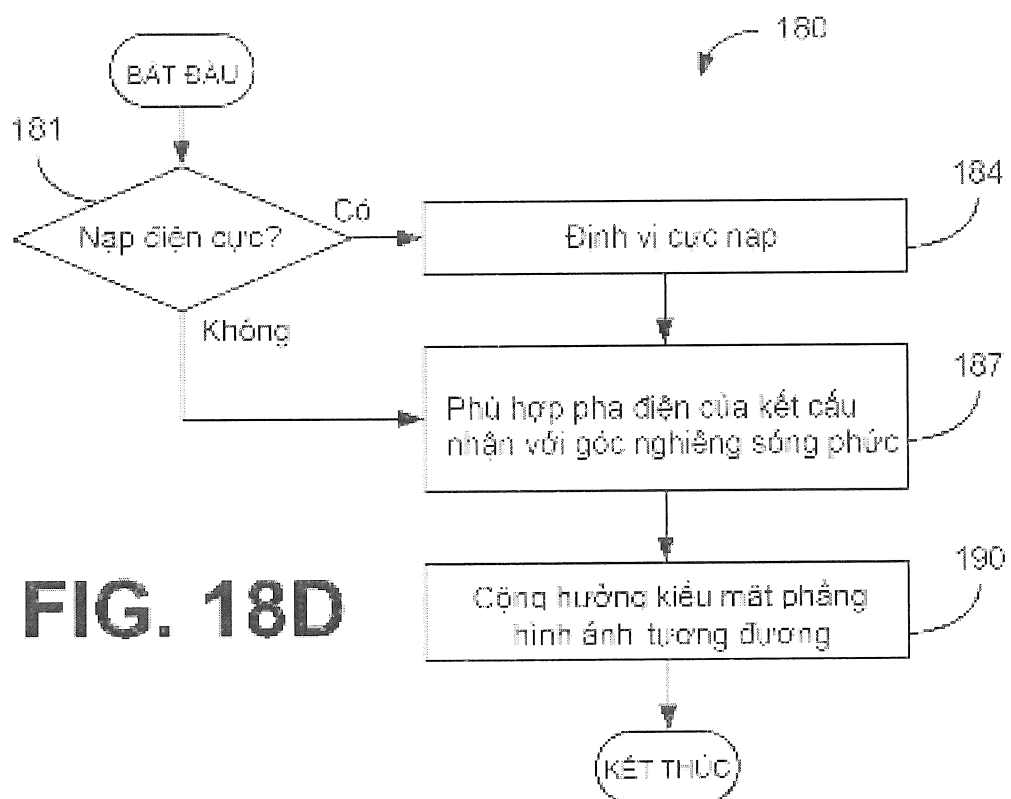
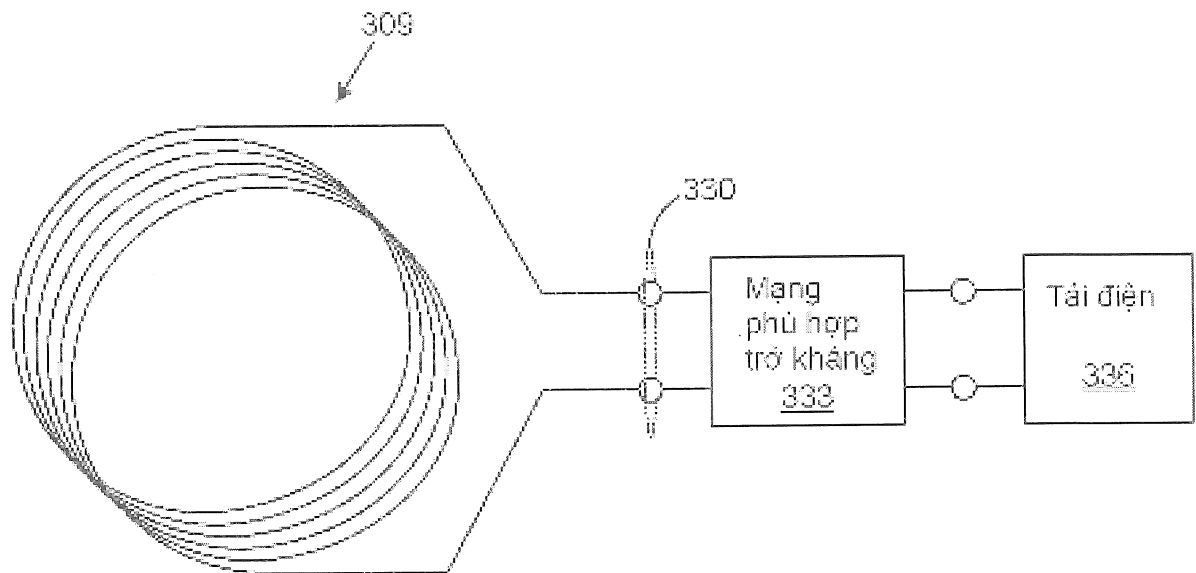
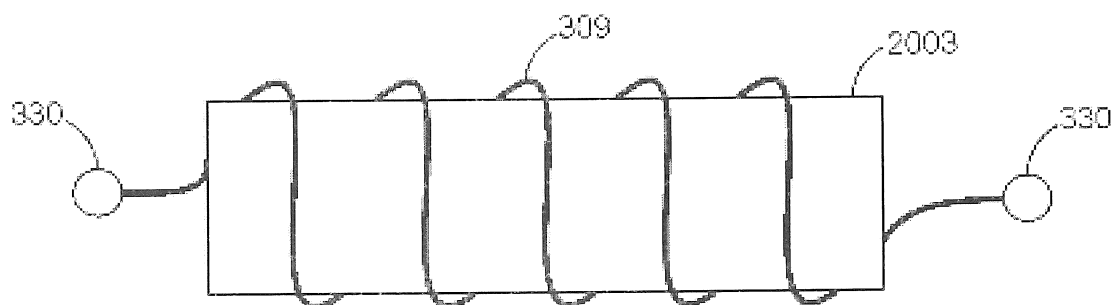
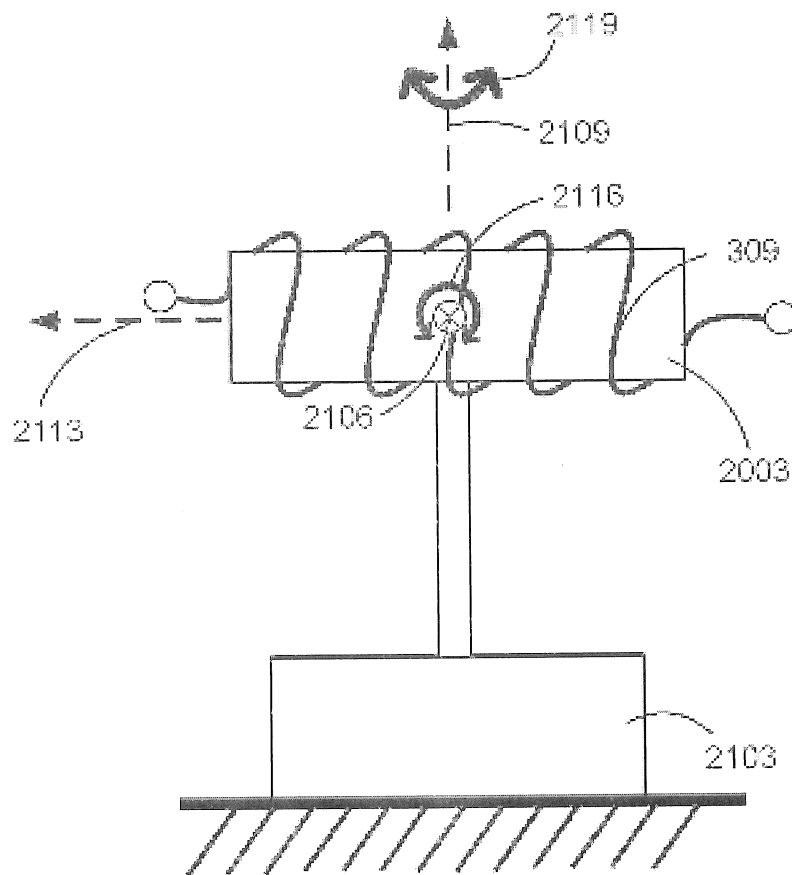
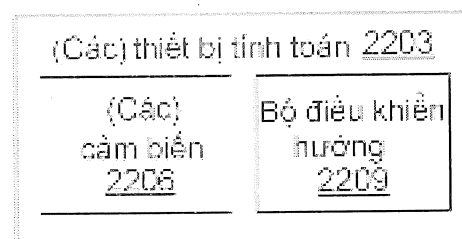


FIG. 18D

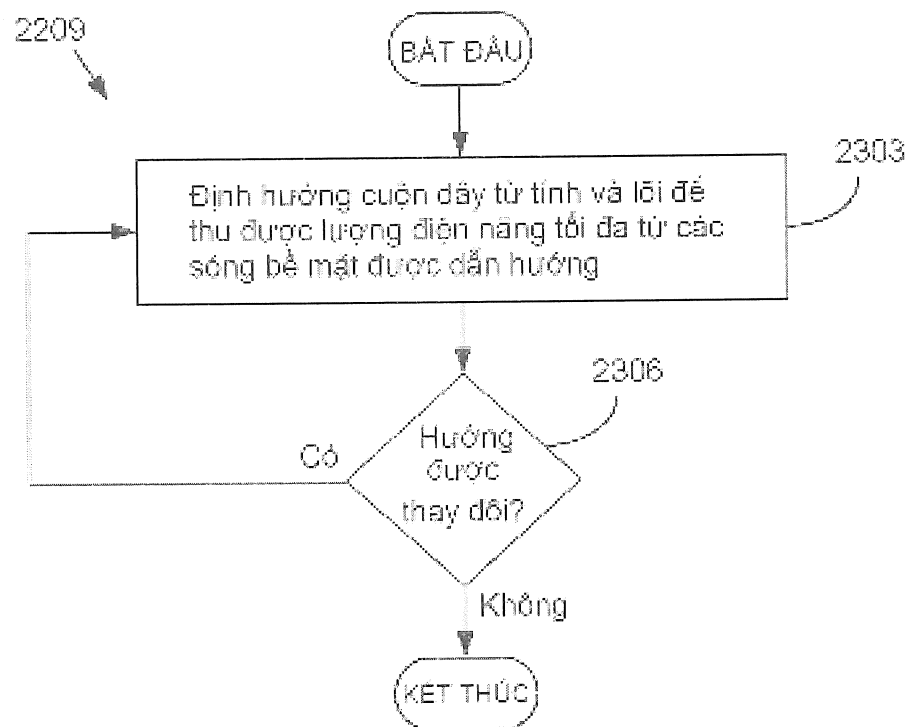
17/19

**FIG. 19****FIG. 20**

18/19

**FIG. 21****FIG. 22**

19/19

**FIG. 23**