

ANTEN TÁI CẤU HÌNH THEO TẦN SỐ CẤP ĐIỆN ĐỒNG PHẪNG ỨNG DỤNG CHO CÁC THIẾT BỊ CẦM TAY

A CPW FED FREQUENCY RECONFIGURABLE ANTENNA USING CSRR FOR MOBILE HANDSET

Hoàng Thị Phương Thảo

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 09/02/2020, Ngày chấp nhận đăng: 24/04/2020, Phản biện: TS. Nguyễn Anh Quang

Tóm tắt:

Bài báo đề xuất một thiết kế anten tái cấu hình theo tần số cấp điện đồng phẳng. Bằng cách sử dụng hai chuyển mạch diôt, anten có thể hoạt động ở bốn cấu hình tần số khác nhau lần lượt là 2,1 GHz, 2,6 GHz, 3,0 GHz và 3,5 GHz. Để giảm nhỏ kích thước đồng thời tăng phối hợp trở kháng cho anten, một cấu trúc OSRR được tích vào phần tử bức xạ của anten. Với dải tần thiết kế, anten có thể ứng dụng cho thiết bị cầm tay phục vụ dải tần LTE hoặc các dải tần khác. Anten được thiết kế trên nền đế điện môi FR4 và được mô phỏng bằng phần mềm CST.

Từ khóa:

Anten tái cấu hình, CPW, OSRR, tái cấu hình theo tần số.

Abstract:

This paper presents a proposed CPW fed frequency reconfigurable antenna. By switching two PIN diodes, the antenna can operate at four configurations at 2,1 GHz, 2,6 GHz, 3,0 GHz, and 3,5 GHz. In order to reduce its dimensions, OSRR structures are integrated in the radiator. The antenna can be used for mobile handsets at LTE band and others. It is designed on FR4 substrate and simulated by CST software.

Keywords:

Reconfigurable antenna, CPW, OSRR, frequency reconfigurable PIFA, OSRR.

1. MỞ ĐẦU

Xu hướng thiết kế các phần tử siêu cao tần hiện nay là “ N trong một”, có nghĩa là N tính năng trong một phần tử và anten cũng không ngoại lệ. Khái niệm anten tái cấu hình theo tần số được hiểu là một anten có thể cung cấp cho nhiều chuẩn tần số khác nhau thay thế cho nhiều anten đơn. Tuy nhiên, khác với anten băng rộng,

các chuẩn tần số mà anten tái cấu hình cung cấp có thể không đồng thời. Nghĩa là một anten tái cấu hình theo tần số chuyển sang các cấu hình khác nhau để “nhảy tần” nhằm sử dụng các băng tần trống. Điều này giúp cho việc sử dụng phổ tần số hiệu quả hơn mà lại giảm được nhiễu ở các kênh lân cận hơn so với việc sử dụng anten băng rộng, đồng thời có thể

thay thế nhiều anten đơn giúp giảm kích thước cho thiết bị cầm tay. Việc chuyển đổi các cấu hình anten được thực hiện bằng nhiều cách khác nhau, trong đó tích hợp các chuyển mạch điện tử vào anten như điốt PIN, chuyển mạch MEMS là một phương pháp phổ biến và được đánh giá có nhiều ưu điểm nhất [1]. Tuy nhiên, nhược điểm của việc tích hợp các linh kiện điện tử vào anten là làm cho cấu trúc anten trở nên phức tạp, và làm tăng suy hao trong anten. Đã có rất nhiều công trình công bố về anten tái cấu hình theo tần số với nhiều thành tựu đáng kể. Tuy nhiên, tiếp tục giảm nhỏ kích thước cho anten tái cấu hình theo tần số cũng như sử dụng hiệu quả số linh kiện điện tử tích hợp vào anten vẫn là vấn đề hiện nay đang được quan tâm. Các anten tái cấu hình đã công bố được phát triển dựa trên các cấu trúc truyền thống như anten đơn cực [2], anten xoắn [3], anten PIFA [4-6] và các kiểu cấp điện khác nhau trong đó có anten cấp điện đồng phẳng CPW (Co-Planar Waveguide) [5-7]. Trong đó, anten cấp điện theo phương pháp CPW được sử dụng khá phổ biến bởi những ưu điểm như dễ chế tạo, nhỏ gọn, không cần khoan lỗ như cấp điện bằng cáp đồng trục, suy hao thấp [8]. Anten cấp điện bằng CPW đề xuất ở trong [5] hoạt động ở tần số nhỏ nhất là 2,47 GHz nhưng kích thước tổng $136 \times 45 \text{ mm}^2$, lớn hơn nhiều so với anten đề xuất. Một anten khác đề xuất trong [6] có kích thước lên đến $60 \times 69 \text{ mm}^2$ trong khi tần số cộng hưởng trung tâm ở dải tần nhỏ nhất là 5,0 GHz, lớn hơn rất nhiều so với anten đề xuất.

Anten đề xuất trong [7] hoạt động ở tần số trung tâm nhỏ nhất là 3,36 GHz với kích thước $12,4 \times 18,5 \text{ mm}$, có kích thước tổng xấp xỉ $0,3\lambda$, với λ là bước sóng ở tần số cộng hưởng, nhỏ hơn so với anten đề xuất ($0,4\lambda$). Tuy nhiên, anten trong [7] chỉ đạt hệ số tăng ích 0,2 dBi ở tần số 3,36 GHz, thấp hơn nhiều so với anten đề xuất.

Bài báo đề xuất một cấu trúc anten vi dải cấp điện đồng phẳng tái cấu hình theo tần số, gồm 4 cấu hình hoạt động ở các tần số trung tâm 2,1 GHz, 2,6 GHz, 3,0 GHz và 3,5 GHz có thể ứng dụng cho các thiết bị đầu cuối thông tin di động cho các băng tần 4 G LTE (Long Term Evolution) và các băng tần khác. Để đạt được 4 cấu hình, anten chỉ dùng 2 chuyển mạch điốt PIN nhằm giảm sự phức tạp cho cấu trúc anten cũng như giảm chi phí khi chế tạo. Anten đạt hệ số tăng ích lần lượt là 1,45 dBi, 1,37 dBi, 1,66 dBi và 1,77 dBi ở cấu hình tần số tương ứng 2,1 GHz, 2,6 GHz, 3,0 GHz và 3,5 GHz. Khi tần số thay đổi giữa bốn cấu hình, dạng đồ thị bức xạ của anten hoàn toàn không thay đổi.

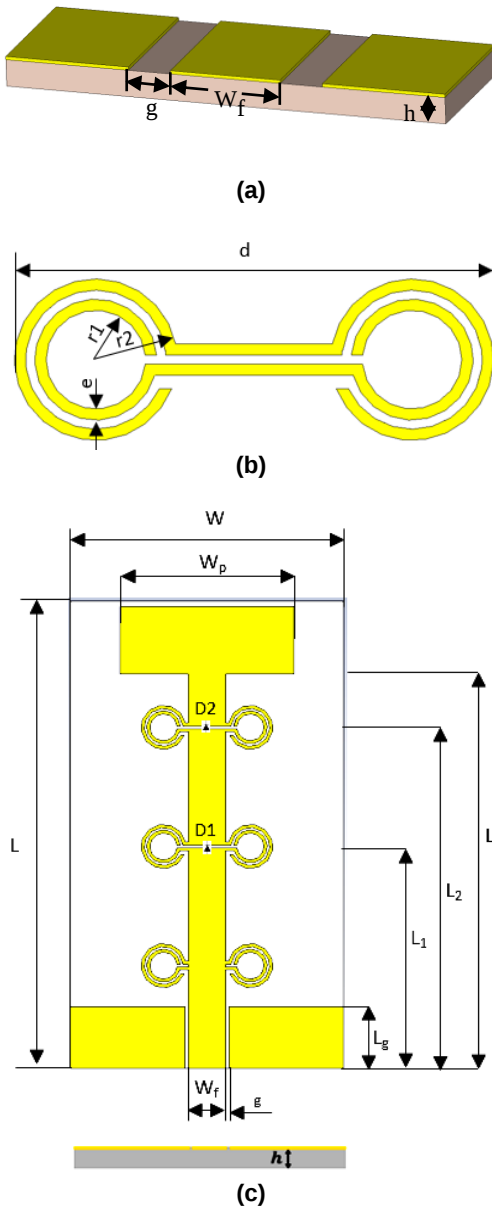
Các phần sau của bài báo gồm: phần 2 trình bày về thiết kế anten cấp điện đồng phẳng tái cấu hình theo tần số, phần 3 là các kết quả đạt được và phần cuối cùng là kết luận của bài báo.

2. THIẾT KẾ ANTEN PIFA TÁI CẤU HÌNH SỬ DỤNG ĐIỐT PIN TÍCH HỢP CẤU TRÚC CSRR

2.1. Cấu trúc anten

Anten tái cấu hình theo tần số đề xuất có cấu trúc đối xứng. Anten gồm phần cấp

điện là ống dẫn sóng đồng phẳng và các thanh bức xạ được in một mặt trên lớp đế điện môi FR4 có độ dày là 1,6 mm. Phần bức xạ được in trên bề mặt điện môi, hai điôt SMP1345 được sử dụng để ngắt hoặc nối giữa các thanh bức xạ nhằm tạo ra bốn cấu hình anten khác nhau.



Hình 1. Cấu trúc anten tái cấu hình tích hợp cấu trúc OSRR: (a) Cấu trúc phần cấp điện đồng phẳng; (b) Cấu trúc OSRR; (c) Cấu trúc anten tái cấu hình mặt trên và mặt cạnh

Giới hạn tần số của các PIN là từ 10 MHz đến 6 GHz, phù hợp với yêu cầu đối với băng tần thiết kế. Ngoài ra, để giảm nhỏ kích thước của anten cũng như tăng khả năng phối hợp trở kháng, 3 cấu trúc vòng cộng hưởng hở OSRR (Open Split Ring Resonator) được sử dụng. Cấu trúc của phần cấp điện, OSRR và anten như trên hình 1.

2.2. Tính toán kích thước anten

Đầu tiên, phần cấp điện CPW cho anten được tính toán với độ dày của đế điện môi là h , độ rộng khe hở là g và độ rộng của đường tiếp điện là W_f sao cho trở kháng đặc trưng của đường truyền là 50Ω và thỏa mãn công thức (1):

$$Z_0 = \frac{30\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \frac{K(k'_0)}{K(k_0)} \quad (1)$$

trong đó,

$$\epsilon_e = 1 + \frac{(\epsilon_{r1}-1) K(k_1) K(k'_0)}{2 K(k'_1) k(k_0)} \quad (2)$$

và hàm $K(k_0)$, $K(k'_0)$, $K(k_1)$, $K(k'_1)$ là hàm tích phân elip đầy đủ với ϵ_{r1} là hằng số điện môi xấp xỉ 4,4.

$$k_0 = \frac{W_f}{W_f + 2g} \quad (3)$$

$$k'_0 = \sqrt{1 - k_0^2} \quad (4)$$

$$k_1 = \frac{\sinh(\frac{\pi W_f}{4h_1})}{\sinh\{\frac{\pi(W_f + 2g)}{4h}\}} \quad (5)$$

$$k'_1 = \sqrt{1 - k_1^2} \quad (6)$$

Sau khi tính toán kích thước của phần cấp điện, kích thước của đường truyền được tối ưu bằng phần mềm CST như trong bảng 1.

Tiếp theo, chiều dài của phần tử bức xạ l ở mỗi trạng thái được điều chỉnh và luôn xấp xỉ bằng một phần tư bước sóng ở tần số cộng hưởng cần thiết kể theo công thức sau đây:

$$l = \frac{\lambda_r'}{4} \quad (7)$$

trong đó, λ_r' là bước sóng hiệu dụng tại tần số cần thiết kể f_r ; ϵ_e là hằng số điện môi hiệu dụng; c_0 là vận tốc ánh sáng và λ_r' được tính theo công thức sau:

$$\lambda_r' = \frac{c_0}{f_r \sqrt{\epsilon_e}} \quad (8)$$

Trong phần này, chiều dài L1 của thanh bức xạ đầu tiên và cũng là vị trí đặt điôt D1 được tính toán thiết kế để hoạt động được ở tần số 3,5 GHz. Sau đó, vị trí điôt D2 được đặt cách điểm tiếp điện một khoảng L2 được tính toán để tạo ra thanh bức xạ có độ dài điện tương ứng với một phần tư bước sóng ở tần số 2,6 GHz, độ dài L3 và miếng bức xạ hình chữ nhật trên cùng được xác định để anten cộng hưởng ở tần số 2,1 GHz. Cấu hình cuối cùng được tạo nên từ việc tắt, bật các điôt để hoạt động ở tần số 3,0 GHz.

Bảng 1. Kích thước của anten (mm)

Tham số	W	L	h	W _f	g
Giá trị	22	36	1,6	3	0,3
Tham số	L _g	L ₁	L ₂	L ₃	W _P
Giá trị	5	17,9	26,6	30,1	14
Tham số	d	r ₁	r ₂	e	
Giá trị	10,6	1,33	1,73	0,2	

Các kích thước chính của anten được tính toán theo công thức trên, các kích thước còn lại sẽ được chọn và sau đó được mô phỏng và tối ưu bằng phần mềm CST Microwave kết hợp với CST Design. Kích thước tổng của anten sau khi tối ưu là 22×36×1,6 mm và các giá trị sau khi tối ưu cho anten đề xuất được chỉ ra ở bảng 1.

2.3. Nguyên lý hoạt động

Nguyên lý hoạt động của anten tuân theo nguyên lý thay đổi chiều dài bức xạ để thay đổi tần số cộng hưởng. Vì thế, để tái cấu hình anten, chiều dài của các thanh bức xạ thay đổi bằng cách thay đổi trạng thái chuyển mạch của điôt. Khi cấp cho điôt một điện áp thuận thì điôt ở trạng thái “BẬT”, khi đó hai thanh bức xạ giữa điôt này được nối với nhau làm cho chiều dài điện của thanh bức xạ tăng lên. Ngược lại, khi cấp một điện áp ngược cho điôt thì điôt ở trạng thái “NGẮT”, khi đó, hai thanh bức xạ sẽ ngắt kết nối với nhau làm giảm chiều dài điện. Bằng cách này, chiều dài của thanh bức xạ thay đổi để đạt được ba cấu hình anten khác nhau, gọi là S1, S2, và S3. Trạng thái của điôt được mô tả như trong bảng 2.

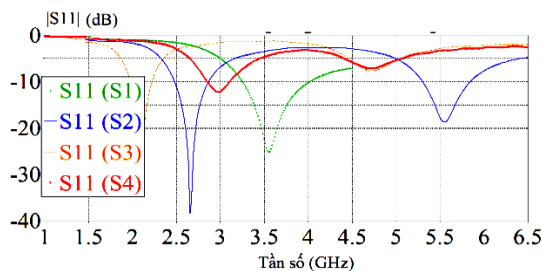
Bảng 2. Trạng thái hoạt động của điôt

Cấu hình	Điôt D1	Điôt D1	Tần số trung tâm (GHz)
S1	NGẮT	NGẮT	3,5
S2	BẬT	NGẮT	2,6
S3	BẬT	BẬT	2,1
S4	NGẮT	BẬT	3,0

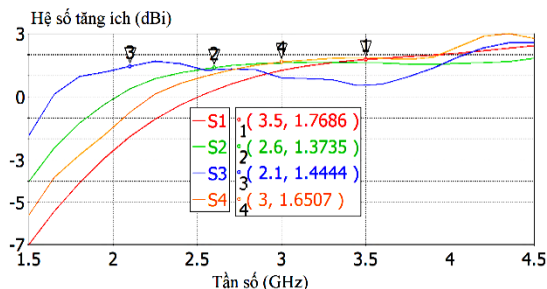
Trong trạng thái S1, khi tắt cả các điôt ở trạng thái “NGẮT”, tần số cộng hưởng trung tâm của Anten là 3,5 GHz cho ứng dụng LTE 3500 hoặc cho WiMax. Ở trạng thái S2, điôt D1 “BẬT” và điôt D2 ngắt, Anten cộng hưởng ở tần số 2,6 GHz cho ứng dụng LTE 2600. Ở cấu hình S3, cả hai điôt D2 và D4 “BẬT”, Anten hoạt động ở tần số cộng hưởng trung tâm 2,1 GHz cho các ứng dụng như LTE 2100, UMTS. Ở cấu hình cuối cùng, D1 “NGẮT”, D2 “BẬT”, Anten cộng hưởng ở tần số trung tâm 3,0 GHz có thể được ứng dụng cho tương lai.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Hình 2 là kết quả mô phỏng hệ số suy hao phản hồi $|S_{11}|$ ở cả bốn cấu hình của Anten tái cấu hình.



Hình 2. Kết quả mô phỏng tham số $|S_{11}|$ ở bốn cấu hình S1, S2, S3, S4 của Anten



Hình 3. Kết quả mô phỏng hệ số tăng ích Anten theo tần số của 4 cấu hình S1, S2, S3, S4

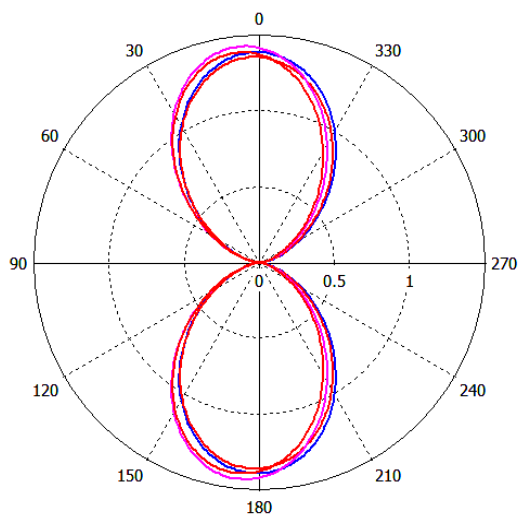
Ở tất cả các cấu hình Anten đều làm việc ở

trạng thái đơn băng. Các cấu hình này có tần số cộng hưởng lần lượt 3,5 GHz, 2,6 GHz, 2,1 GHz, 3,0 GHz với băng tần tính từ -10dB tương ứng là 797 MHz (từ 3241 MHz đến 4038 MHz), 415 MHz (từ 2467 MHz đến 2884 MHz), 246 MHz (từ 1973 MHz đến 2219 MHz), 279 MHz (từ 2840 MHz đến 3119 MHz). Dải tần hoạt động này có thể được ứng dụng cho LTE, UMTS, WiMax hoặc các ứng dụng trong tương lai. Hình 3 biểu diễn kết quả mô phỏng hệ số tăng ích của Anten theo tần số ở bốn cấu hình. Tại tần số trung tâm của các cấu hình S1, S2, S3, S4, hệ số tăng ích đạt lần lượt là 1,77 dBi, 1,37 dBi, 1,45 dBi và 1,66 dBi. Hệ số tăng ích của Anten không cao là trả giá của Anten do Anten đạt được kích thước nhỏ. Hình 4 (a) và (b) biểu diễn đồ thị bức xạ 2D của Anten ở bốn cấu hình trên mặt phẳng XY và XZ (mặt phẳng XY chứa Anten và mặt phẳng XZ là mặt phẳng vuông góc với Anten và chứa trục theo chiều ngang của Anten). Kết quả mô phỏng cho thấy, đồ thị bức xạ của Anten ở bốn trạng thái hoàn toàn tương đương nhau.

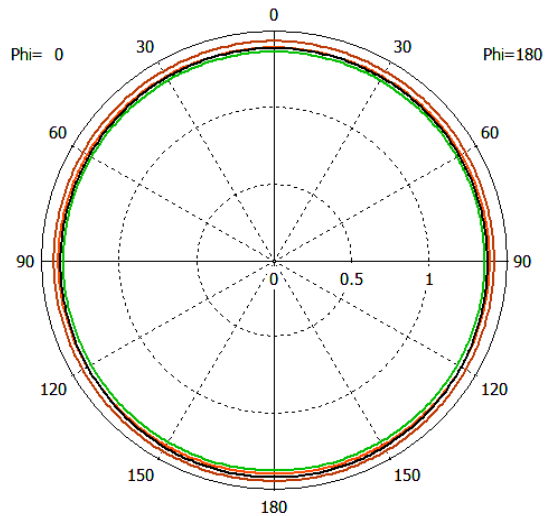
Bảng 3 tóm tắt các thông số đạt được của Anten tái cấu hình.

Bảng 3. Tóm tắt các thông số của Anten

Cấu hình	Tần số trung tâm (GHz)	Băng thông (MHz)	Tăng ích cực đại (dBi)
S1	3,5	797	1,77
S2	2,6	415	1,37
S3	2,1	246	1,45
S4	3,0	279	1,66



(a)



(b)

Hình 4. Kết quả mô phỏng hệ số tăng ích Anten theo tần số của 4 cấu hình S1, S2, S3, S4 ở:
(a) mặt phẳng [XY], (b) mặt phẳng [XZ]

4. KẾT LUẬN

Bài báo đề xuất một thiết kế Anten tái cấu hình theo tần số cấp điện đồng phẳng, cấu trúc OSRR được tích hợp vào Anten giúp phối hợp trở kháng tốt hơn và kích thước Anten nhỏ gọn. Anten có thể hoạt động ở bốn cấu hình tần số khác nhau nhưng chỉ sử dụng hai diốt với tần số trung tâm lần

lượt là 2,1 GHz, 2,6 GHz, 3,0 GHz và 3,5 GHz. Đồ thị bức xạ ở cả hai cấu hình gần như không thay đổi. Vì kích thước của Anten được giảm nhỏ nên Anten đề xuất có hiệu suất không cao. Ngoài ra, mẫu Anten cần được chế tạo và đo đạc để kiểm chứng với kết quả mô phỏng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] C.G. Christodoulou, Y. Tawk, S.A. Lane, and S.R. Erwin, "Reconfigurable Antennas for Wireless and Space Applications", *Proc. IEEE*, vol. 100, no. 7, pp. 2250–2261, Jul. 2012.
- [2] Tariq, A., Ghafouri-Shiraz, H.: "Frequency-reconfigurable monopole antennas", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 2012, 60, (1), pp. 44–50.
- [3] Liu, X., Yao, S., Cook, B.S., et al.: "An origami reconfigurable axial-mode bifilar helical antenna", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 2015, 63, (12), pp. 5897–5903.
- [4] Sung, Y.: "Compact quad-band reconfigurable antenna for mobile phone applications", *Electron. Lett.*, 2012, 48, (16), pp. 977–979.
- [5] Sung, Y., Lee, S.: "Reconfigurable PIFA with a parasitic strip line for a hepta-band WWAN/LTE mobile handset", *IET Microw. Antennas Propag.*, 2015, 9, (2), pp. 108–117.

- [6] C. Sulakshana and J. Pokhar, "A CPW fed H-shaped reconfigurable patch antenna", in *Antenna Week (IAW), 2011 Indian*, 2011, pp. 1–4.
- [7] Lim, J.H., Back, G.T., Ko, Y.I., et al.: "A Reconfigurable PIFA using a switchable PIN-diode and a fine-tuning varactor for USPCS/WCDMA/m-WiMAX/WLAN", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 2010, 58, (7), pp. 2404–2411.
- [8] M.S. Khan, A.D. Capobianco, A. Iftikhar, S. Asif, B. Ijaz, and B.D. Braaten, "An electrically small CPW fed frequency reconfigurable antenna", in *Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, 2015 IEEE International Symposium on*, 2015, pp. 2391–2392.
- [9] F.D. Dahalan, S.K.A. Rahim, M.R. Hamid, M.A. Rahman, M.Z.M. Nor, M.S.A. Rani, and P.S. Hall, "Frequency-Reconfigurable Archimedean Spiral Antenna", *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol.
- [10] R.N. Simons, "Coplanar Waveguide circuits, Components and systems", *John Wiley & Sons*, Inc., 2001.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Hoàng Thị Phương Thảo tốt nghiệp đại học ngành viễn thông năm 2004; nhận bằng Thạc sĩ ngành khoa học điện tử viễn thông năm 2007, nhận bằng Tiến sĩ ngành kỹ thuật viễn thông năm 2019 tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Lĩnh vực nghiên cứu: siêu vật liệu ứng dụng cho anten, anten tái cấu hình, anten thông minh, anten dải sóng millimeter và bộ lọc siêu cao tần ứng dụng cho hệ thống thông tin vô tuyến.

