



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

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

(11)



1-0033946

(51)⁸ H04B 1/00; H04L 27/00

(13) B

(21) 1-2017-04879

(22) 04/12/2017

(45) 25/11/2022 416

(43) 26/11/2018 368A

(73) Tập đoàn Công nghiệp - Viễn thông quân đội (VIETTEL) (VN)

Số 1 Trần Hữu Dực, Mỹ Đình 2, Nam Từ Liêm, Hà Nội

(72) Nguyễn Xuân Thắng (VN); Đặng Văn Quân (VN); Hà Văn Hường (VN); Lê Ngọc Quý (VN).

(74) Công ty Luật TNHH quốc tế BMVN (BMVN INTERNATIONAL LLC)

(54) PHƯƠNG PHÁP VÀ KHỐI BÙ CÔNG SUẤT ỔN ĐỊNH CHỈ SỐ TỶ LỆ RÒ
KÊNH LÂN CẬN CỦA CÁC THIẾT BỊ THU PHÁT SÓNG VÔ TUYẾN

(57) Sáng chế liên quan đến phương pháp bù công suất ổn định chỉ số rò kênh lân cận của thiết bị thu phát sóng vô tuyến (Radio Remote Head - RRH), bao gồm các bước: (i) xác định giá trị chênh lệch Δ_c giữa công suất số tuyến phát và công suất số tuyến phản hồi tại thời điểm hiệu chỉnh; (ii) lấy mẫu và tính công suất tín hiệu tuyến phát và tuyến phản hồi; (iii) chuyển đổi công suất số sang kiểu dBFS, và tính toán giá trị Δ ; và (iv) thực hiện bù công suất ổn định chỉ số ACLR. Sáng chế cũng đề xuất khối bù công suất ổn định chỉ số ACLR (PoStab), bao gồm ba khối con: (i) khối lấy mẫu dữ liệu và tính toán công suất trung bình của tuyến phát và tuyến phản hồi; (ii) khối chuyển đổi công suất số dạng dBFS và tính toán giá trị chênh lệch công suất tuyến phát và tuyến phản hồi; và (iii) khối triển khai thuật toán bù công suất không suy giảm chỉ số ACLR.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến phương pháp và khối bù công suất triển khai trên miền số nhằm nâng cao độ phân giải, qua đó giảm mức độ biến đổi đột biến của độ lợi toàn tuyến phát và giảm thiểu bức xạ ngoài băng của thiết bị thu phát sóng vô tuyến (Radio Remote Head – RRH) trong các hệ thống viễn thông.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong các hệ thống viễn thông, độ rộng vùng phủ của trạm thu phát là một trong những tham số hệ thống quan trọng. Tham số này bị ảnh hưởng trực tiếp bởi độ ổn định của công suất phát RRH. Khi công suất phát giảm, người dùng dịch vụ tại vị trí biên cell có thể gặp hiện tượng sóng chập chờn, thiếu ổn định. Ngược lại, khi công suất phát tăng, thì có thể gây nhiễu mạnh lên các trạm phát sóng lân cận và các thiết bị ở gần.

Xét theo tuyến phát của RRH, dữ liệu số nhận được từ khối xử lý băng gốc (Base Band - BB) qua chuẩn giao tiếp vô tuyến (Common Public Radio Interface - CPRI). Luồng dữ liệu số tiếp tục được xử lý tại các khối tăng mẫu, khối giảm tỉ lệ đỉnh tín hiệu, khối bù méo phi tuyến trước khi được biến đổi sang tín hiệu tương tự, khuếch đại bởi bộ khuếch đại công suất (Power Amplifier - PA) và phát ra môi trường vô tuyến.

Trong trường hợp toàn bộ tài nguyên được cấp phát cho người sử dụng, PA đạt mức công suất tối đa (40W tương đương 46dBm). Khi đó, PA hoạt động trong vùng bão hòa, chỉ số tỷ lệ rò kênh lân cận (Adjacent Channel Leakage Ratio - ACLR) tăng, dẫn đến chỉ số mặt nạ phổ phát xạ (Spurious Emission Mask - SEM) không đạt yêu cầu, vai trò của khối bù méo phi tuyến là hết sức quan trọng để giảm chỉ số ACLR. Mặt khác, độ lợi của PA phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ, cụ thể là nhiệt độ của PA tại vùng công suất cao tăng lên rất nhanh, dẫn đến độ lợi của PA giảm nhanh và công suất phát giảm theo. Ngược lại, trong trường hợp nhiệt độ của PA giảm, thì công suất phát của thiết bị sẽ tăng tương ứng với độ lợi của PA.

Để giải quyết vấn đề trên, phương pháp bù công suất hiện tại đang sử dụng bộ khuếch đại tương tự để duy trì độ ổn định của công suất phát đầu ra. Tuy nhiên, phương pháp này ảnh hưởng nhiều đến hiệu năng của khối bù méo phi tuyến (Digital Pre-Distortion - DPD). Cụ thể là, khi thuật toán bù công suất thực hiện điều chỉnh độ lợi của bộ khuếch đại tương tự, với bước nhảy công suất nhỏ nhất lên đến 0,5dB, do sự đột biến của độ lợi toàn tuyến, việc chỉ số ACLR suy giảm nhiều trong khoảng từ 9 dB đến 10 dB có thể dẫn đến chỉ số SEM không đạt yêu cầu.

Vì vậy, để khắc phục nhược điểm nêu trên, các tác giả đề xuất phương pháp bù công suất nhằm giảm thiểu được vấn đề suy giảm chỉ số ACLR mà vẫn duy trì được độ chính xác của công suất phát RRH với sai số $\pm 0,5\text{dB}$.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Để đạt được mục đích nêu trên, các tác giả đề xuất phương pháp bù công suất ổn định chỉ số tỷ lệ rò kênh lân cận (Adjacent Channel Leakage Ratio - ACLR) của thiết bị thu phát sóng vô tuyến (Radio Remote Head – RRH), bao gồm các bước sau:

(i) xác định giá trị chênh lệch Δ_c giữa công suất số tuyến phát và công suất số tuyến phản hồi tại thời điểm hiệu chỉnh theo công thức sau:

$$\Delta_c = - (G_{\text{TX_C}} + G_{\text{PA_C}} + G_{\text{FB}})$$

trong đó:

- $G_{\text{TX_C}}$ (dB) là độ lợi của mạch tương tự toàn tuyến phát (không bao gồm độ lợi của PA) tại thời điểm hiệu chỉnh (RRH ở chế độ phát công suất Max),
- $G_{\text{PA_C}}$ (dB) là độ lợi của PA tại thời điểm hiệu chỉnh,
- G_{FB} (dB) là độ lợi của mạch tương tự tuyến phản hồi,

(ii) lấy mẫu và tính công suất tín hiệu tuyến phát và tuyến phản hồi theo công thức sau:

$$P = \frac{\sum_{k=0}^N (I_k^2 + Q_k^2)}{N}, \text{ với } N = 16384;$$

trong đó:

I là phần thực của tín hiệu số,

Q là phần ảo của tín hiệu số (iii) chuyển đổi công suất số sang kiểu dBFS, và tính toán giá trị Δ theo các công thức sau:

$$dBFS = 10 \log_{10} P$$

$$\Delta_m = - (G_{TX} + G_{PA} + G_{FB})$$

$$\Delta = \Delta_c - \Delta_m = - (G_{TX_C} + G_{PA_C} + G_{FB}) + (G_{TX} + G_{PA} + G_{FB}) = G_{PA} - G_{PA_C};$$

trong đó:

- Δ_m là giá trị chênh lệch giữa công suất số tuyến phát và công suất số tuyến phản hồi tại thời điểm tính toán,
- G_{PA} (dB) là độ lợi của PA tại thời điểm tính toán, và

(iv) thực hiện bù công suất ổn định chỉ số ACLR theo nguyên tắc sau:

- khi Δ biến động nằm ngoài khoảng $[low_thres - high_thres]$, thì công suất tuyến phát được giữ không đổi,

- khi Δ nằm trong khoảng $[low_thres - high_thres]$, thì công suất tuyến phát được điều chỉnh tùy theo dấu của Δ : nếu $\Delta > 0$, tương ứng với $G_{PA} > G_{PA_C}$, thì khối bù công suất thực hiện giảm công suất tuyến phát một lượng là 0,1 dB, và chờ trong 1 giây; ngược lại, nếu $\Delta < 0$, tương ứng với $G_{PA} < G_{PA_C}$, thì khối Bù công suất thực hiện tăng công suất tuyến phát một lượng là 0,1 dB, và chờ trong 1 giây; lặp lại quá trình này cho đến khi Δ nằm ngoài khoảng $[low_thres - high_thres]$ thì kết thúc.

Để thực hiện phương pháp nêu trên, các tác giả sáng chế cũng đề xuất khối bù công suất ổn định chỉ số tỷ lệ rò kênh lân cận (Adjacent Channel Leakage Ratio - ACLR) của thiết bị thu phát sóng vô tuyến (Radio Remote Head – RRH) bao gồm 3 khối con:

- (i) Khối lấy mẫu dữ liệu và tính toán công suất trung bình của tuyến phát và tuyến phản hồi;
- (ii) Khối chuyển đổi công suất số dạng dBFS và tính toán giá trị chênh lệch công suất tuyến phát và tuyến phản hồi; và

(iii) Khối triển khai thuật toán bù công suất không suy giảm chỉ số ACLR.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình vẽ mô tả các thành phần của hệ thống thu phát vô tuyến cơ bản.

Hình 2 là hình vẽ mô tả phương pháp bù công suất ổn định chỉ số ACLR theo sáng chế.

Hình 3 là hình vẽ biểu diễn độ lợi của các khối sau khi hiệu chỉnh công suất của thiết bị thu phát vô tuyến theo phương pháp bù công suất ổn định chỉ số ACLR theo sáng chế.

Hình 4 là hình vẽ mô tả thuật toán tính giá trị công suất cần bù theo phương pháp bù công suất ổn định chỉ số ACLR theo sáng chế.

Hình 5 là hình vẽ mô tả hệ thống thu phát vô tuyến khi áp dụng khối bù công suất ổn định chỉ số ACLR theo sáng chế.

Hình 6 là hình vẽ minh họa sơ đồ thí nghiệm hiệu năng của khối bù công suất ổn định chỉ số ACLR theo sáng chế.

Hình 7 là ảnh chụp kết quả đo tuyến phát RRH với dữ liệu ETM 1.1 trên máy phân tích phổ tại thời điểm ban đầu của phương pháp bù công suất sử dụng bộ khuếch đại tương tự.

Hình 8 là đồ thị biểu diễn chỉ số ACLR của tuyến phát RRH trong thời gian dài của phương pháp bù công suất sử dụng bộ khuếch đại tương tự.

Hình 9 là đồ thị biểu diễn công suất phát RRH khi nhiệt độ thay đổi của phương pháp bù công suất sử dụng bộ khuếch đại tương tự.

Hình 10 là ảnh chụp kết quả đo tuyến phát RRH với dữ liệu ETM 1.1 trên máy phân tích phổ tại thời điểm ban đầu của phương pháp bù công suất ổn định chỉ số ACLR theo sáng chế.

Hình 11 là đồ thị biểu diễn chỉ số ACLR của tuyến phát RRH trong thời gian dài của phương pháp bù công suất ổn định chỉ số ACLR theo sáng chế.

Hình 12 là đồ thị biểu diễn công suất phát RRH khi nhiệt độ thay đổi của phương pháp bù công suất ổn định chỉ số ACLR theo sáng chế.

Mô tả chi tiết sáng chế

Trước tiên, các tác giả sẽ mô tả tổng quát về kỹ thuật bù công suất sử dụng bộ khuếch đại tương tự (KĐTT). Kỹ thuật này giúp cho RRH phát sóng ở mức công suất chính xác theo yêu cầu từ khối xử lý băng gốc. Tuy nhiên, mỗi lần thực hiện bù công suất, việc thay đổi độ lợi toàn tuyến với độ phân giải quá lớn gây ra suy giảm hiệu năng của khối bù méo phi tuyến và giảm chỉ số ACLR tương đối lớn. Hình 1 minh họa sơ đồ khối của phương pháp bù công suất sử dụng bộ khuếch đại tương tự. Trong đó, các thành phần chính tác động đến công suất tín hiệu truyền đi bao gồm:

- Phần tiền xử lý số trên phần vi mạch số khả trình (Field-Programmable Gate Array – FPGA) bao gồm khối tăng mẫu, khối giảm tỷ lệ đỉnh tín hiệu và khối bù méo phi tuyến...
- Khối bù công suất theo phương pháp khuếch đại tương tự được thực hiện bằng phần mềm chạy trên vi xử lý ARM có nhiệm vụ theo dõi công suất tín hiệu tuyến phát và công suất tín hiệu tuyến phản hồi; từ đó, tính toán giá trị cần bù cho tuyến phát.
- Khối khuếch đại tương tự tuyến phát có thể điều chỉnh được độ lợi.
- Khối khuếch đại tương tự tuyến phản hồi (đặt độ lợi cố định).
- Bộ khuếch đại công suất (PA) có nhiệm vụ chính là khuếch đại tín hiệu lên mức công suất 40W.

Ý nghĩa của một số ký hiệu:

- P_{measure} (dBm): công suất tín hiệu đo được tại đầu ra RRH.
- P_{expect} (dBm): công suất tín hiệu mong muốn tại đầu ra RRH.
- G_{TX} (dB): độ lợi của toàn tuyến phát, có thể điều chỉnh bởi bộ khuếch đại tương tự.
- G_{PA} (dB): độ lợi của PA, bị thay đổi bởi nhiệt độ môi trường.
- G_{FB} (dB): độ lợi của tuyến phản hồi, được giữ cố định.
- Δ (dB) : giá trị cần bù cho tuyến phát.
- P_{TX} (dBFS): công suất tín hiệu số tuyến phát.
- P_{FB} (dBFS): công suất tín hiệu số tuyến phản hồi.

Trong trường hợp lý tưởng, công suất phát tại đầu ra của RRH không chịu ảnh hưởng bởi tham số nhiệt độ, do đó:

$$P_{\text{expect}} = P_{\text{TX}} + G_{\text{TX}} + G_{\text{PA}} \quad (1)$$

Trong quá trình RRH hoạt động trên thực tế, G_{PA} bị thay đổi bởi nhiệt độ. Nhiệt độ tăng thì G_{PA} giảm và ngược lại. Công suất thực tế đo được tại đầu ra của RRH được tính theo biểu thức sau:

$$P_{\text{measure}} = P_{\text{FB}} + G_{\text{FB}} \quad (2)$$

Từ biểu thức (1) và (2) nêu trên, ta đặt

$$\Delta = P_{\text{expect}} - P_{\text{measure}} \quad (3)$$

Theo phương pháp bù công suất hiện tại, Δ là giá trị cần bù và độ lợi của tuyến phát sẽ được điều chỉnh thành $G_{\text{TX}} + \Delta$ (dB). Trong khi đó, bộ khuếch đại tương tự có bước điều chỉnh độ lợi nhỏ nhất bằng 0,5dB. Do đó, nếu $\Delta < 0,5\text{dB}$, thuật toán bù công suất không thể tác động. Trường hợp $\Delta > 0,5\text{dB}$, tín hiệu tuyến phát sẽ được điều chỉnh theo từng bước nhỏ 0,5dB cho đến khi $\Delta < 0,5\text{dB}$.

Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp này là sự điều chỉnh độ lợi của bộ khuếch đại tương tự với bước điều chỉnh lớn, ảnh hưởng rất lớn đến hiệu năng của khối bù méo phi tuyến. Thực tế, khối bù méo phi tuyến tính toán bộ hệ số phi tuyến dựa vào dữ liệu tuyến phát và tuyến phản hồi. Kết quả tính toán rất nhạy với sự thay đổi của độ lợi tuyến phát. Do đó, khi thực hiện bù công suất với bước nhảy 0,5dB, bộ hệ số phi tuyến mới được cập nhật sẽ không tương thích với tình trạng hiện tại của tuyến phát, làm cho chỉ số ACLR suy giảm lớn từ 6 đến 7dB và chỉ số SEM sẽ không đạt yêu cầu.

Bởi vậy, yêu cầu đặt ra cho hệ thống RRH là vừa đảm bảo độ chính xác của công suất phát trong khi vẫn phải duy trì được chỉ số ACLR, chỉ số SEM đạt chuẩn 3GPP. Do đó, các tác giả sáng chế đề xuất phương pháp bù công suất ổn định chỉ số ACLR, được triển khai trong khối bù công suất.

Phương pháp này dựa vào giá trị chênh lệch công suất tuyến phát và tuyến phản hồi tại thời điểm đo (Δ_m) và giá trị chênh lệch công suất chuẩn (Δ_c) để tính toán giá trị công suất cần bù. Giá trị Δ_c có được sau giai đoạn căn chỉnh công suất ban đầu. Chi tiết cách thức tính Δ_m và Δ_c sẽ được trình bày dưới đây. Giá trị công suất cần bù được tính theo công thức (4).

$$\Delta = \Delta_c - \Delta_m \quad (4)$$

Sau đó, giá trị cần bù Δ được chia thành các bước bù nhỏ ở mức 0,1dB. Lưu ý, đây là điều không thực hiện được ở bộ khuếch đại tương tự nhưng dễ dàng triển khai trên FPGA. Thời gian thực hiện mỗi bước bù cách nhau 1 giây để hạn chế ảnh hưởng đến hiệu năng của thuật toán bù méo phi tuyến.

Phương pháp được đề xuất này bao gồm 4 bước chính được mô tả trong lưu đồ của Hình 2. Các bước cụ thể được mô tả dưới đây:

Bước 1: Xác định giá trị chênh lệch Δ_c giữa công suất số tuyến phát và công suất số tuyến phản hồi tại thời điểm hiệu chỉnh:

Trước tiên, xin được giới thiệu về cách tính giá trị Δ_c thông qua quá trình hiệu chỉnh độ lợi của RRH nhằm đảm bảo công suất đầu ra PA là 46dBm (40W). Trong Hình 3, xét tại thời điểm hiệu chỉnh, một số ký hiệu có nghĩa như sau:

- P_{TX_C} (dBFS) là công suất số tuyến phát tại thời điểm hiệu chỉnh (ví dụ bằng -10 dBFS).
- P_{FB_C} (dB) là công suất số tuyến phản hồi tại thời điểm hiệu chỉnh.
- G_{TX_C} (dB) là độ lợi của mạch tương tự toàn tuyến phát (không gồm độ lợi của PA) tại thời điểm hiệu chỉnh.
- G_{PA_C} (dB) là độ lợi của PA tại thời điểm hiệu chỉnh.
- G_{FB} (dB) là độ lợi của mạch tương tự tuyến phản hồi (được giữ cố định trong quá trình làm việc).
- P_{out_C} (dBm) là công suất đầu ra PA tại thời điểm hiệu chỉnh (ví dụ bằng 46dBm ~ 40W).

Quá trình hiệu chỉnh độ lợi của thiết bị thu phát vô tuyến để đảm bảo công suất đầu ra PA là 46 dBm diễn ra như sau:

- Phát mẫu dữ liệu kiểm tra tuyến phát định dạng chuẩn LTE (LTE Downlink Test Model) – ETM1.1 từ khối xử lý băng gốc, đảm bảo công suất tại số đầu vào khối bù méo phi tuyến là P_{TX_C} (ví dụ bằng -10 dBFS).
- Quan sát giá trị công suất hiển thị trên máy đo. Điều chỉnh độ lợi của mạch tương tự tuyến phát, sao cho công suất đo trên máy đạt 46 dBm. Lúc này độ lợi của mạch tương tự tuyến phát là G_{TX_C} , độ lợi của PA là G_{PA_C} .
- Tính giá trị công suất số tuyến phản hồi (P_{FB_C}).
- Quá trình hiệu chỉnh kết thúc.

Dựa trên Hình 3, công suất đầu ra của PA (công suất phát ra của RRH) được tính như sau:

$$P_{out_C} = P_{TX_C} + G_{TX_C} + G_{PA_C} \quad (5)$$

$$P_{out_C} = P_{FB_C} - G_{FB} \quad (6)$$

Đặt giá trị Δ_c (dB) = $P_{TX_C} - P_{FB_C}$, từ biểu thức (5) và (6), suy ra

$$\Delta_c = - (G_{TX_C} + G_{PA_C} + G_{FB}) \quad (7)$$

Do G_{TX_C} , G_{PA_C} và G_{FB} là hằng số nên Δ_c là hằng số. Như vậy, kết thúc quá trình hiệu chỉnh, giá trị Δ_c được tính toán và lưu trữ vào vùng nhớ cố định, đại diện cho mỗi RRH riêng biệt.

Bước 2: Lấy mẫu và tính công suất tín hiệu tuyến phát và tuyến phản hồi

Để tính toán được công suất tín hiệu đầu vào khối bù méo phi tuyến và công suất tín hiệu tuyến phản hồi, việc đầu tiên là lấy 16384 (2^{15}) mẫu dữ liệu I và Q liên tiếp. Sau đó công suất tín hiệu được tính theo biểu thức (8) dưới đây

$$P = \frac{\sum_{k=0}^N (I_k^2 + Q_k^2)}{N}, \text{ với } N = 16384 \quad (8)$$

trong đó:

I là phần thực của tín hiệu số,

Q là phần ảo của tín hiệu số

Bước 3: Chuyển đổi công suất số sang kiểu dBFS và tính toán giá trị Δ

Sau khi tính được giá trị công suất P , giá trị công suất dạng dBFS được tính theo biểu thức (9) dưới đây.

$$dBFS = 10 \log_{10} P \quad (9)$$

Dựa vào các mức công suất đo được ở trên, tiếp tục tính toán độ thay đổi Δ của độ lợi PA theo nhiệt độ. Khi thiết bị thu phát vô tuyến hoạt động thực tế, các giá trị trên sẽ biến đổi liên tục, cụ thể: công suất số đầu vào khối bù méo phi tuyến (P_{TX}) thay đổi phụ thuộc theo luồng dữ liệu phát từ khối xử lý băng gốc (BBU - Baseband Unit), đồng thời độ lợi của PA (G_{PA}) giảm khi nhiệt độ tăng và ngược lại độ lợi của PA tăng khi nhiệt độ giảm. Theo phương pháp của sáng chế, sau khi hiệu chỉnh ban đầu, độ lợi của mạch tương tự tuyến phát (G_{TX_C}) và độ lợi của tuyến phản hồi là G_{FB} được giữ nguyên.

Từ Hình 1 có thể dễ dàng có được công thức sau:

$$P_{FB} = P_{TX} + G_{TX} + G_{PA} + G_{FB} \quad (10)$$

Đặt giá trị Δ_m (dB) = $P_{TX} - P_{FB}$, theo công thức (10) trên đây:

$$\Delta_m = - (G_{TX} + G_{PA} + G_{FB}) \quad (11)$$

Từ các công thức (7) và (11); Δ trong công thức (4) được tính như sau (lưu ý rằng độ lợi của bộ khuếch đại tương tự được giữ nguyên nên $G_{TX} = G_{TX_C}$), ta có:

$$\begin{aligned} \Delta &= \Delta_c - \Delta_m = - (G_{TX_C} + G_{PA_C} + G_{FB}) + (G_{TX} + G_{PA} + G_{FB}) \\ &= G_{PA} - G_{PA_C} \end{aligned} \quad (12)$$

Từ những lập luận trên đây, có thể thấy rằng khi có đầy đủ thông tin về công suất số P_{TX} và P_{FB} , thì có thể tính được G_{PA} thay đổi một lượng là Δ .

Giá trị Δ có thể là một trong các trường hợp sau:

$\Delta = 0$: $G_{PA} = G_{PA_C}$, độ lợi của PA không thay đổi.

$\Delta > 0$: $G_{PA} > G_{PA_C}$, độ lợi của PA tăng so với thời điểm hiệu chỉnh một lượng là Δ .

$\Delta < 0$: $G_{PA} < G_{PA_C}$, độ lợi của PA giảm so với thời điểm hiệu chỉnh một lượng là $-\Delta$.

Bước 4: Thực hiện bù công suất ổn định chỉ số ACLR

Khi nhiệt độ thay đổi, theo chu kỳ 10 giây, khối bù công suất thực hiện theo lưu đồ được minh họa trong Hình 4. Trong đó *low_thres* là ngưỡng bù dưới (ngưỡng trong đó cho phép sai số của công suất phát), nếu giá trị tuyệt đối của Δ nằm dưới ngưỡng này - tương ứng với công suất đầu ra đã nằm trong khoảng sai số cho phép, thì sẽ dừng bù công suất; *high_thres* là ngưỡng bù trên (ngưỡng cho thấy đã nằm trong dải bị hỏng thiết bị phần cứng), nếu giá trị tuyệt đối của Δ nằm trên ngưỡng này - tương ứng với công suất đầu ra đã có hiện tượng bất thường, ví dụ như hỏng phần cứng, và sẽ không thực hiện bù trong dải này. Như vậy, khi Δ biến động nằm ngoài khoảng $[low_thres - high_thres]$, thì công suất tuyến phát được giữ không đổi. Khi Δ nằm trong khoảng $[low_thres - high_thres]$, thì công suất tuyến phát được điều chỉnh tùy theo dấu của Δ . Nếu $\Delta > 0$, tương ứng với $G_{PA} > G_{PA_C}$, nghĩa là độ lợi của PA đã bị tăng so với thời điểm hiệu chỉnh, nên khối bù công suất thực hiện giảm công suất tuyến phát một lượng là 0,1 dB, và chờ trong 1 giây; thực hiện ngược lại với tình huống $\Delta < 0$, tương ứng với $G_{PA} < G_{PA_C}$, nghĩa là độ lợi của PA đã bị giảm so với thời điểm hiệu chỉnh, nên khối bù công suất thực hiện tăng công suất tuyến phát một lượng là 0,1 dB, và chờ trong 1 giây. Lặp lại quá trình này cho đến khi Δ nằm ngoài khoảng $[low_thres - high_thres]$ thì kết thúc.

Dựa trên phương pháp này, kỹ thuật bù công suất ổn định chỉ số ACLR được triển khai trên SoC Zynq-7000, bởi khối bù công suất số ổn định chỉ số ACLR (gọi tắt là PoStab). Khối bù công suất này bao gồm 3 khối con:

- (i) Khối lấy mẫu dữ liệu và tính toán công suất trung bình của tuyến phát và tuyến phản hồi;
- (ii) Khối chuyển đổi công suất số dạng dBFS và tính toán giá trị chênh lệch công suất tuyến phát và tuyến phản hồi; và
- (iii) Khối triển khai thuật toán bù công suất không suy giảm chỉ số ACLR.

Cấu trúc của khối bù công suất được trình bày trong Hình 5, bao gồm 3 khối con (được bôi đen):

- Khối lấy mẫu dữ liệu và tính toán công suất.
- Khối chuyển đổi dBFS và tính toán Δ .

- Khối bù công suất.

Chức năng của các khối như sau:

Khối lấy mẫu dữ liệu và tính toán công suất:

Khối này thực hiện lấy 16384 mẫu dữ liệu I và Q trên tuyến phát và tuyến phản hồi, sau đó thực hiện tính công suất P theo công thức (8). Sau đó, giá trị P của tuyến phát và tuyến phản hồi được lưu lại trong 2 thanh ghi khác nhau.

Khối chuyển đổi dBFS và tính toán giá trị Δ :

Sau khi giá trị công suất tuyến phát và tuyến phản hồi được lưu trong thanh ghi, chương trình chạy trên vi xử lý ARM thực hiện đọc thanh ghi lưu giá trị P và tính toán dBFS theo biểu thức (9).

Tiếp theo, chương trình này đọc giá trị Δ_c (giá trị này đã được lưu sau giai đoạn hiệu chỉnh ban đầu) và tính giá trị $\Delta_m = P_{TX} - P_{FB}$. Sau đó, chương trình này tính toán giá trị $\Delta = \Delta_c - \Delta_m$ và lưu vào thanh ghi.

Khối bù công suất:

Khối bù công suất đọc thanh ghi lưu giá trị Δ , theo chu kỳ 10 giây, khối này thực hiện theo lưu đồ Hình 4. Như vậy, mỗi lần điều chỉnh công suất tuyến phát (nếu có), bước nhảy chỉ là 0,1 dB, thời gian thực hiện mỗi bước nhảy là 1 giây.

Với phương pháp này, công suất đầu ra PA được đảm bảo đạt mức ổn định như mong muốn, đồng thời tỷ lệ rò kênh lân cận (ACLR) vẫn được duy trì ở mức cao để luôn đạt chỉ tiêu mặt nạ phổ bức xạ (SEM).

Ví dụ thực hiện sáng chế

Để chứng minh hiệu quả của sáng chế, khối bù công suất nâng cao độ ổn định chỉ số ACLR Power Stabilizer (gọi tắt là PoStab) được tích hợp vào RRH để triển khai thử nghiệm trên hệ thống trên chip Zynq-7000 (System on Chip-SoC), và đánh giá hiệu quả của phương pháp.

Trong thực tế triển khai thì khối bù công suất này được tích hợp vào sau khối bù méo phi tuyến và có nhiệm vụ điều chỉnh mức công suất tín hiệu theo thuật toán bù công suất

ổn định ACLR trước khi đưa vào khối chuyển đổi giao diện JESD204 như được thể hiện trong Hình 5. Khối bù công suất này được thực hiện bằng cách kết hợp xử lý trên cả FPGA và vi xử lý ARM. Cụ thể, khối lấy mẫu dữ liệu và tính toán công suất, khối bù công suất được triển khai trên FPGA; mặt khác khối chuyển đổi dBFS và tính Δ (rồi chuyển ngược lại cho FPGA thực hiện bù) sẽ được triển khai bằng phần mềm nhúng trên vi xử lý ARM. Hệ thống triển khai thuật toán bù công suất bởi khối bù công suất được tích hợp lên khối thu phát tín hiệu cao tần 4G (Radio Remote Head - RRH) do VTTEK - Viettel sản xuất, cấu hình chi tiết của hệ thống như sau:

- Độ rộng băng thông (Bandwidth): 10 MHz
- Dải tần làm việc (Band) 3, tần số phát trung tâm 1860 MHz.
- Tốc độ lấy mẫu dữ liệu số trên đường truyền (Sample rate): 122.88 Msps; Tốc độ CPRI: 6.144 Gbps
- Công suất phát: 46dBm

Chip sử dụng cho quá trình triển khai hệ thống thuộc dòng Zynq7000 của hãng Xilinx, trong đó bao gồm:

- 01 chip FPGA, Kintex7
- 02 lõi vi xử lý ARM CortexA9

Hệ thống kiểm tra phương pháp và khối bù công suất được mô tả như trong Hình 6. Các thành phần của hệ đo bao gồm:

- Nguồn phát dữ liệu có nhiệm vụ truyền mẫu dữ liệu kiểm tra tuyến phát định dạng chuẩn LTE (LTE Downlink Test Model - ETM) thông qua dây cáp quang sử dụng chuẩn CPRI;
- Khối thu phát tín hiệu cao tần RRH tích hợp khối bù công suất;
- Máy phân tích phổ có nhiệm vụ theo dõi chất lượng tín hiệu phát của RRH;
- Máy tính cá nhân, được kết nối với máy phân tích phổ thực hiện thu thập và phân tích dữ liệu các thông số cần thiết trong quá trình kiểm tra.

Các tác giả tiến hành thí nghiệm, so sánh hiệu năng của hai phương pháp bù công suất. Thí nghiệm 1: áp dụng phương pháp bù công suất sử dụng bộ khuếch đại tương tự; thí

thí nghiệm 2: áp dụng phương pháp bù công suất. Mẫu dữ liệu kiểm tra được phát từ khối xử lý băng gốc BBU do VTTEK – Viettel sản xuất gồm có các mẫu dữ liệu có công suất trung bình cao (ETM 1.1; 1.2). Hai mẫu dữ liệu này được sử dụng để kiểm tra chỉ số ACLR và chỉ số SEM của tuyến phát. Trong cả hai thí nghiệm, RRH đều được kiểm tra trong thời gian dài (12h) để kiểm tra độ ổn định của chỉ số ACLR và độ chính xác của công suất phát RRH.

Thí nghiệm 1: Hệ thống RRH sử dụng phương pháp bù công suất sử dụng bộ khuếch đại tương tự

Tại thời điểm ban đầu, kết quả đo với dữ liệu ETM 1.1 trên máy phân tích phổ thể hiện trong Hình 7.

Hình 8 biểu diễn đồ thị chỉ số ACLR của tuyến phát RRH trong thời gian dài.

Hình 9 biểu diễn đồ thị công suất phát RRH khi nhiệt độ thay đổi.

Thí nghiệm 2: Hệ thống RRH sử dụng phương pháp bù công suất theo sáng chế

Kết quả đo với dữ liệu ETM 1.1 trên máy phân tích phổ thể hiện trong Hình 10.

Hình 11 biểu diễn đồ thị chỉ số ACLR của tuyến phát RRH trong thời gian dài.

Hình 12 biểu diễn đồ thị công suất phát RRH khi nhiệt độ thay đổi.

Kết quả thí nghiệm của hai phương án bù công suất được tổng hợp trong Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả đo của tuyến phát RRH khi áp dụng các phương pháp bù công suất

ETM	Phương pháp	ACLR dưới (dBc)		ACLR trên (dBc)		Công suất phát (dBm)	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
1.1	Phương pháp bù công suất sử dụng bộ khuếch đại tương tự (giải pháp cũ)	49	60	50	60	45,5	46,1
	Phương pháp bù công suất sử dụng khối bù công suất theo sáng chế	58,8	60,5	59,8	61	45,6	45,9

Như vậy, đối với hệ thống RRH áp dụng phương pháp bù công suất sử dụng bộ khuếch đại tương tự, chỉ số ACLR dao động lớn, từ khoảng 60 dBc xuống 50 dBc, công suất phát có độ chính xác cao $46 \pm 0,5$ dBm. Khi áp dụng phương pháp bù công suất PoStab, độ dao động của chỉ số ACLR giảm từ 10 dB xuống chỉ còn 1,5dB so với phương pháp bù công suất hiện tại. Công suất phát của RRH của phương pháp bù công suất PoStab vẫn duy trì độ chính xác cao $46 \pm 0,4$ dBm, tương đương với phương pháp bù công suất sử dụng bộ khuếch đại tương tự.

Kết quả thí nghiệm trong thời gian dài cũng cho thấy chỉ số ACLR của tuyến phát RRH được cải thiện khi áp dụng phương pháp bù công suất PoStab so với phương pháp hiện tại.

Hiệu quả đạt được của sáng chế

Phương pháp và khối bù công suất ổn định chỉ số ACLR có vai trò quan trọng trong việc đảm bảo chất lượng tín hiệu phát của RRH. Chỉ số ACLR luôn được duy trì ở mức cao, giảm nhiễu sang các kênh lân cận, nâng cao chất lượng dịch vụ mạng. Ngoài ra, phương pháp bù công suất này được triển khai trên FPGA nên khả năng bù công suất cho tuyến phát RRH có độ chính xác cao, độ trễ ngắn và có thể tùy biến theo mọi yêu cầu đặt ra.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp bù công suất ổn định chỉ số rò kênh lân cận (Adjacent Channel Leakage Ratio -ACRL) của thiết bị thu phát sóng vô tuyến (Radio Remote Head – RRH), bao gồm các bước sau:

(i) xác định giá trị chênh lệch Δ_c giữa công suất số tuyến phát và công suất số tuyến phản hồi tại thời điểm hiệu chỉnh theo công thức:

$$\Delta_c = - (G_{TX_C} + G_{PA_C} + G_{FB})$$

trong đó:

- G_{TX_C} (dB) là độ lợi của mạch tương tự toàn tuyến phát (không bao gồm độ lợi của PA) tại thời điểm hiệu chỉnh (RRH ở chế độ phát công suất Max),
- G_{PA_C} (dB) là độ lợi của PA tại thời điểm hiệu chỉnh,
- G_{FB} (dB) là độ lợi của mạch tương tự tuyến phản hồi,

(ii) lấy mẫu và tính công suất tín hiệu tuyến phát và tuyến phản hồi theo công thức:

$$P = \frac{\sum_{k=0}^N (I_k^2 + Q_k^2)}{N}, \text{ với } N = 16384;$$

trong đó:

I là phần thực của tín hiệu số,

Q là phần ảo của tín hiệu số

(iii) chuyển đổi công suất số sang kiểu dBFS, và tính toán giá trị Δ theo các công thức sau:

$$dBFS = 10 \log_{10} P$$

$$\Delta_m = - (G_{TX} + G_{PA} + G_{FB})$$

$$\Delta = \Delta_c - \Delta_m = - (G_{TX_C} + G_{PA_C} + G_{FB}) + (G_{TX} + G_{PA} + G_{FB}) = G_{PA} - G_{PA_C};$$

trong đó:

- Δ_m là giá trị chênh lệch giữa công suất số tuyến phát và công suất số tuyến phản hồi tại thời điểm tính toán,
- G_{PA} (dB) là độ lợi của PA tại thời điểm tính toán, và

(iv) thực hiện bù công suất ổn định chỉ số ACLR theo nguyên tắc sau:

- khi Δ biến động nằm ngoài khoảng $[low_thres - high_thres]$, thì công suất tuyến phát được giữ không đổi,

- khi Δ nằm trong khoảng $[low_thres - high_thres]$, thì công suất tuyến phát được điều chỉnh tùy theo dấu của Δ : nếu $\Delta > 0$, tương ứng với $G_{PA} > G_{PA_C}$, thì khối Postab thực hiện giảm công suất tuyến phát một lượng là 0,1 dB, và chờ trong 1 giây; thực hiện ngược lại với tình huống $\Delta < 0$, tương ứng với $G_{PA} < G_{PA_C}$, thì khối Postab thực hiện tăng công suất tuyến phát một lượng là 0,1 dB, và chờ trong 1 giây; lặp lại quá trình này cho đến khi Δ nằm ngoài khoảng $[low_thres - high_thres]$ thì kết thúc.

2. Khối bù công suất ổn định chỉ số chỉ số rò kênh lân cận (Adjacent Channel Leakage Ratio - ACLR) của thiết bị thu phát sóng vô tuyến (Radio Remote Head – RRH), bao gồm ba khối con:

- khối lấy mẫu dữ liệu và tính toán công suất, trong đó khối này thực hiện lấy 16384 mẫu dữ liệu I và Q trên tuyến phát và tuyến phản hồi, sau đó thực hiện tính công suất P theo công thức dưới đây, giá trị công suất P của tuyến phát và tuyến phản hồi được lưu lại trong 2 thanh ghi khác nhau:

$$P = \frac{\sum_{k=0}^N (I_k^2 + Q_k^2)}{N}, \text{ với } N = 16384;$$

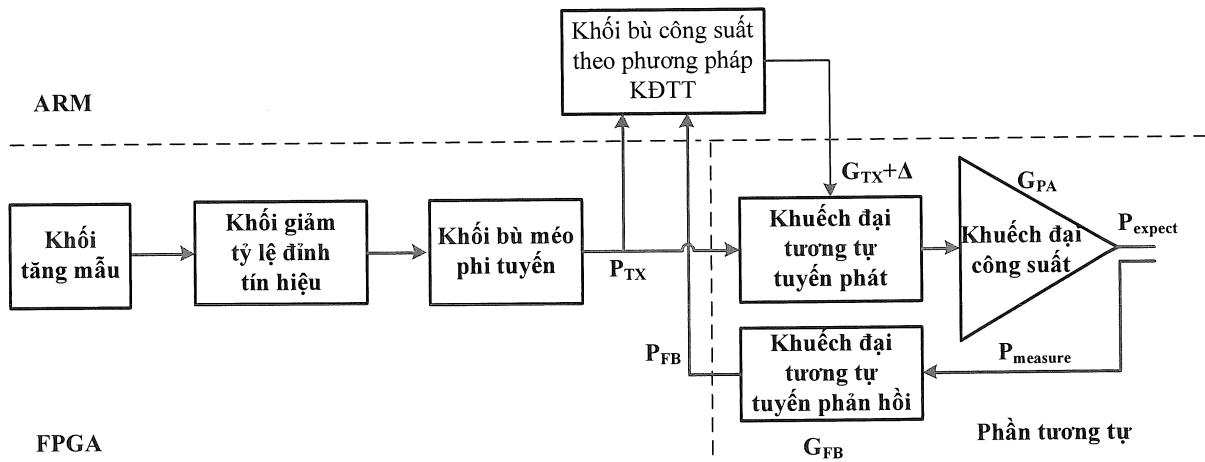
- khối chuyển đổi dBFS và tính toán giá trị Δ , trong đó chương trình chạy trên vi xử lý ARM thực hiện đọc thanh ghi lưu giá trị công suất tuyến phát và tuyến phản hồi, đồng thời tính toán dBFS theo biểu thức sau đây:

$$dBFS = 10 \log_{10} P$$

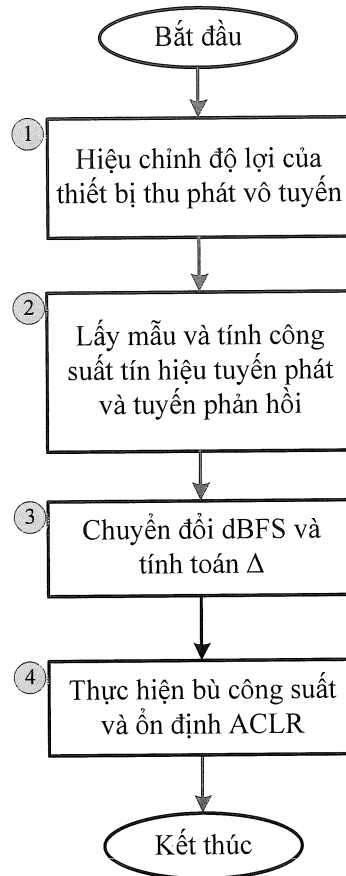
và tính giá trị $\Delta_m = P_{TX} - P_{FB}$; sau đó, chương trình này tính toán giá trị $\Delta = \Delta_c - \Delta_m$ và lưu vào thanh ghi; và

- khối bù công suất, trong đó khối bù công suất này đọc thanh ghi lưu giá trị Δ , theo chu kỳ 10 giây, khối này thực hiện bù công suất với bước nhảy là 0,1 dB, thời gian thực

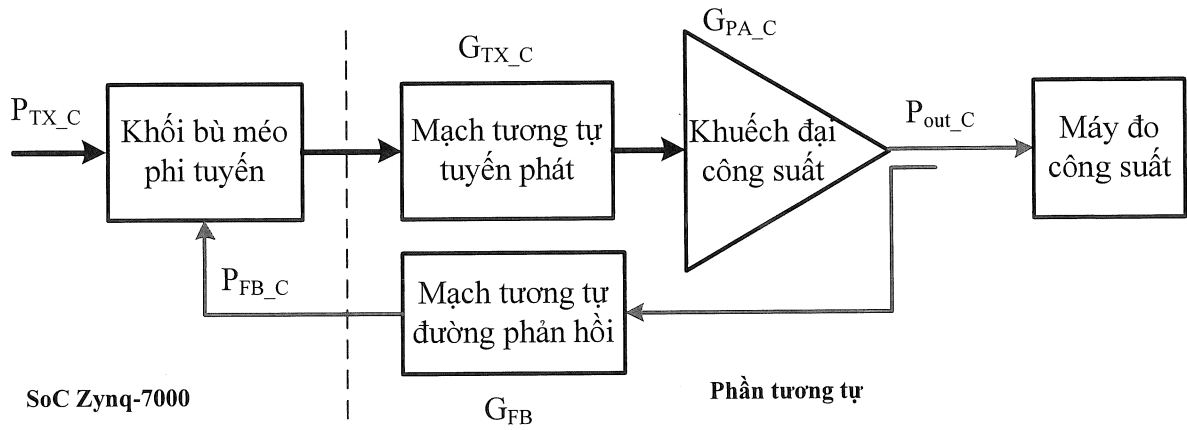
hiện mỗi bước nhảy là 1 giây, cho tới khi giá trị sai số Δ nằm ngoài khoảng [*low_thres* - *high_thres*] thì dừng bù, trong đó *low_thres* là ngưỡng bù dưới (ngưỡng trong đó cho phép sai số của công suất phát) và *high_thres* là ngưỡng bù trên (ngưỡng cho thấy đã nằm trong dải bị hỏng thiết bị phần cứng).



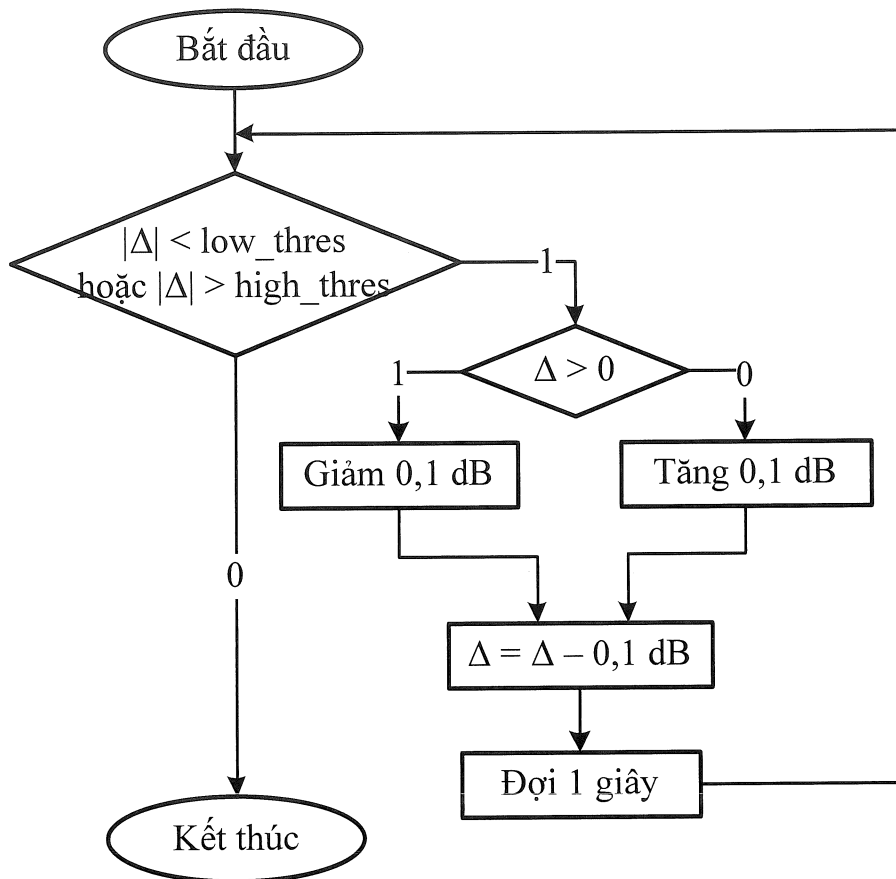
Hình 1



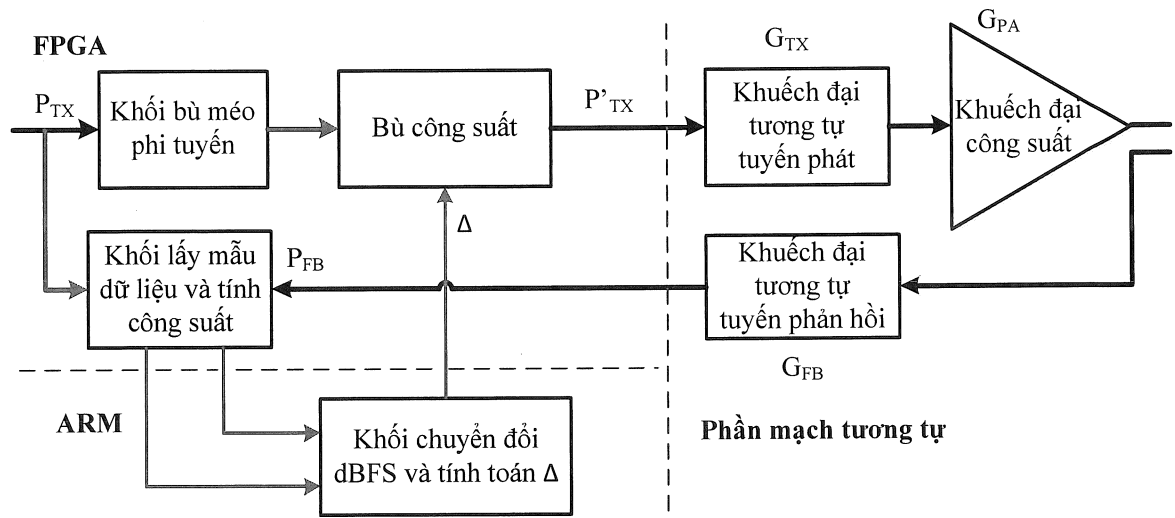
Hình 2



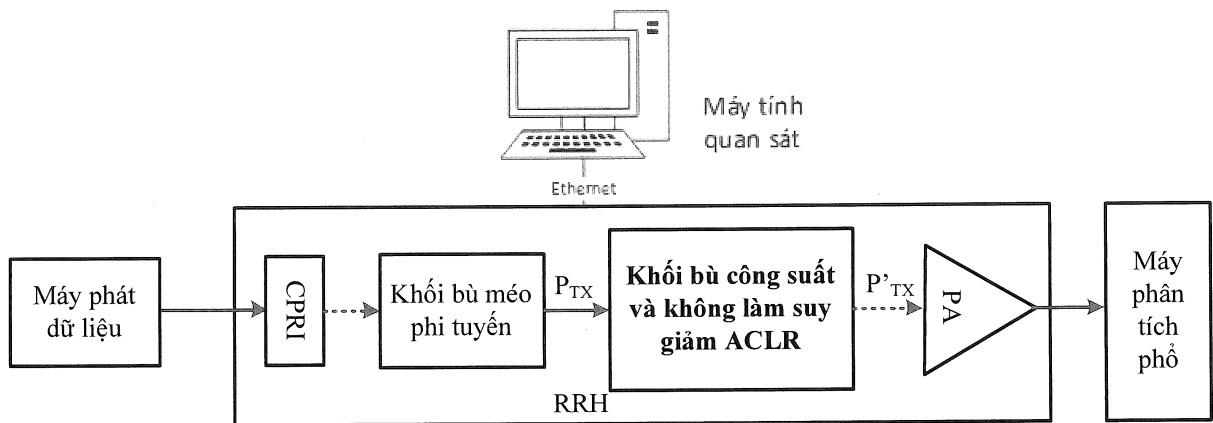
Hình 3



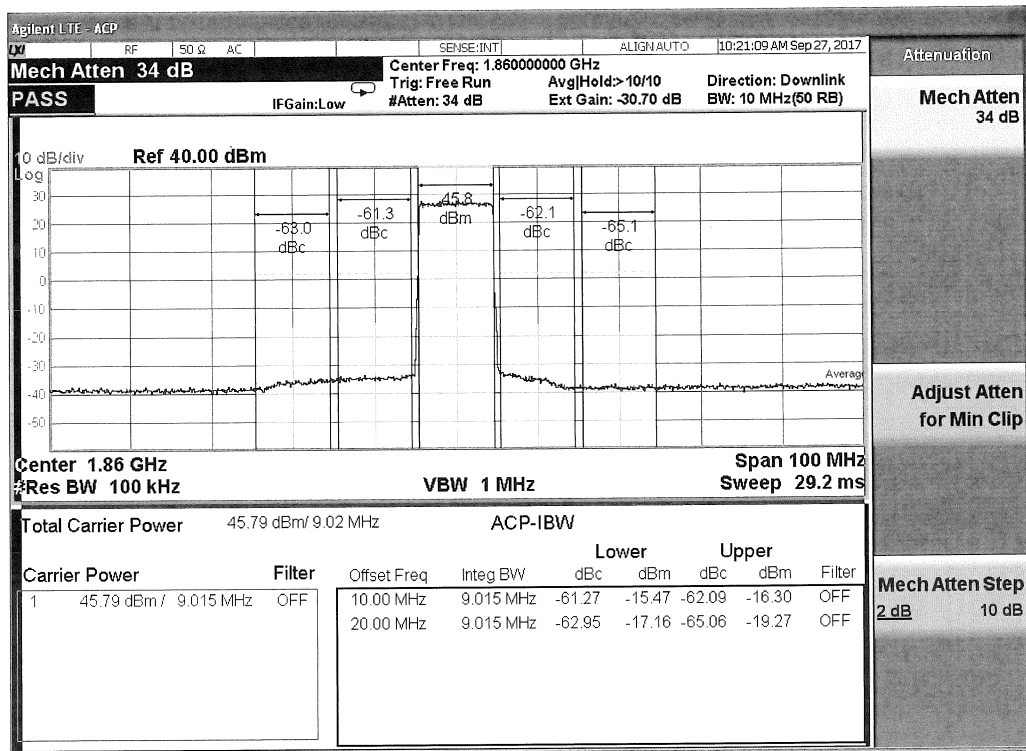
Hình 4



Hình 5

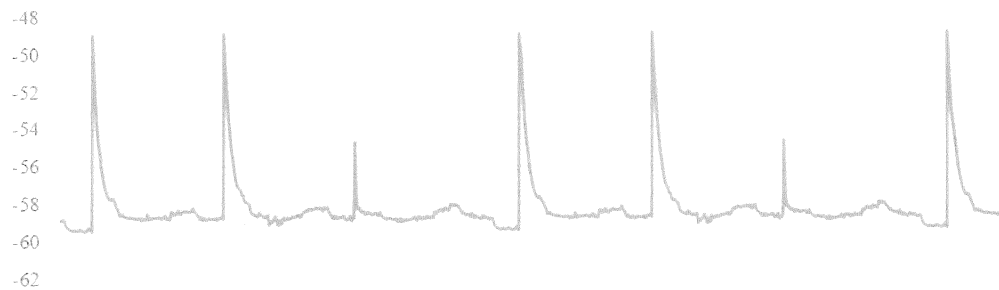


Hình 6

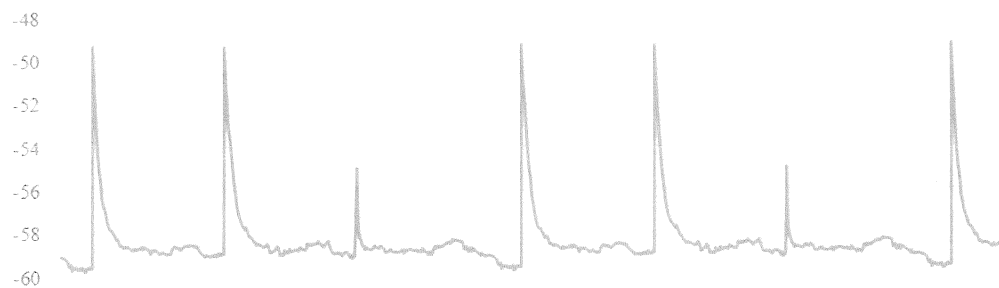


Hình 7

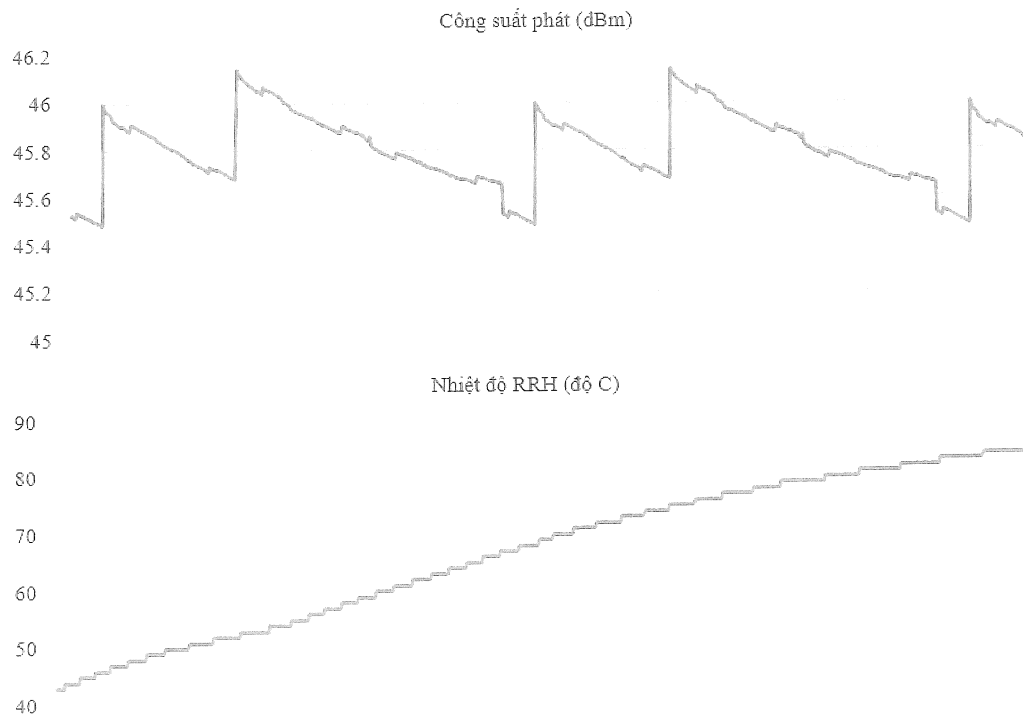
ACLR trên (dBc)



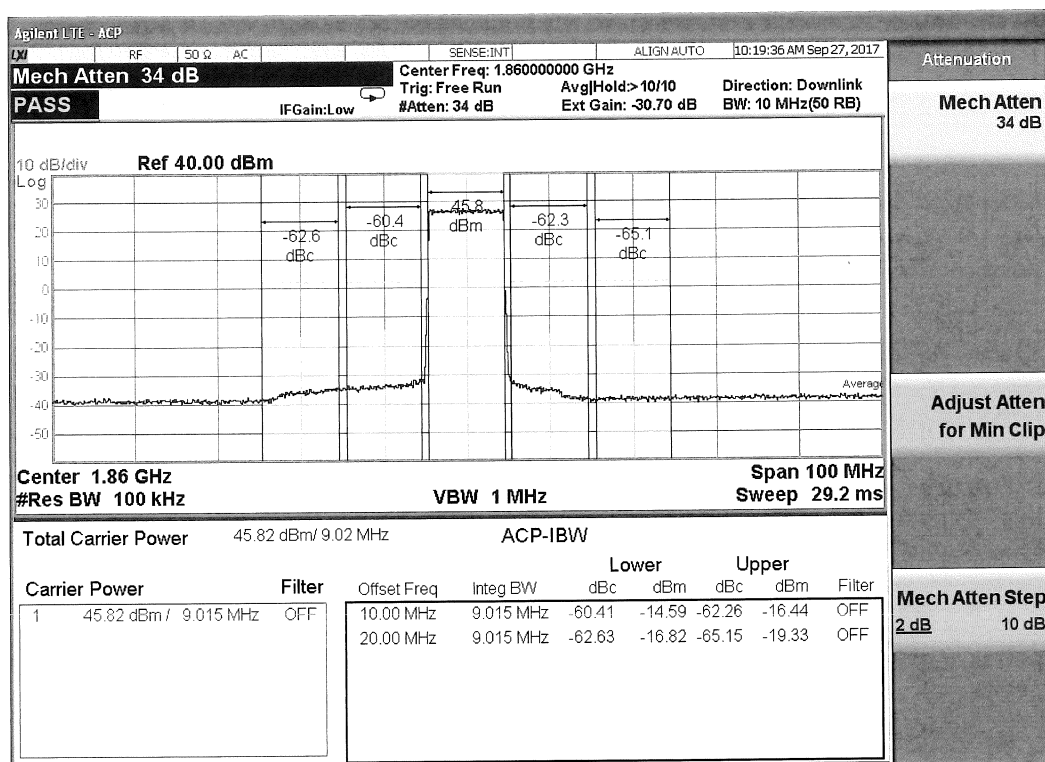
ACLR dưới (dBc)



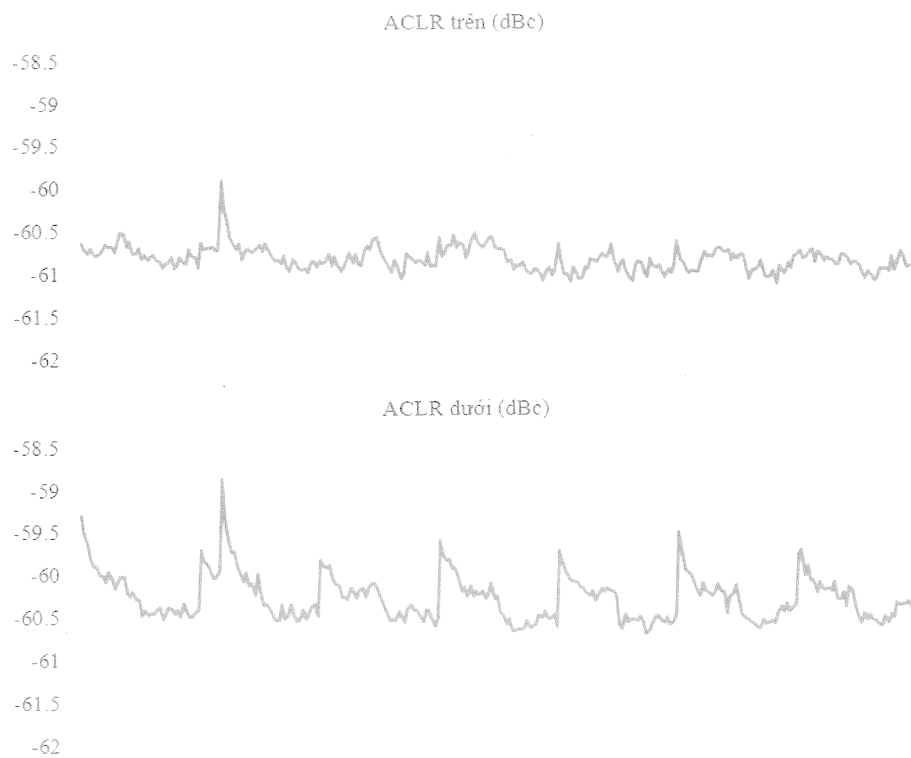
Hình 8



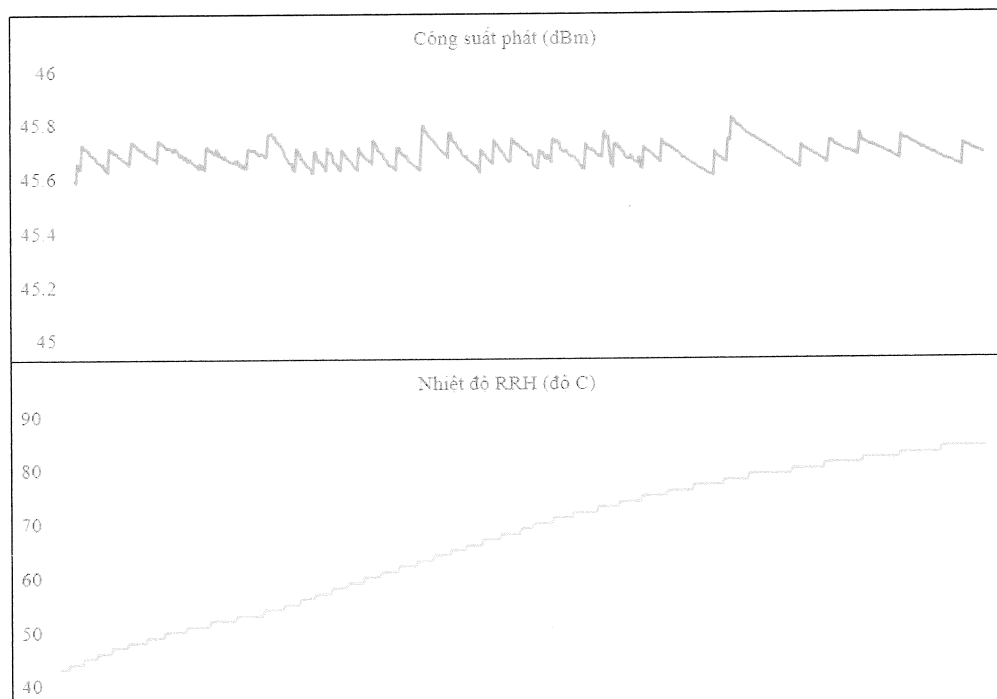
Hình 9



Hình 10



Hình 11



Hình 12