



ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG RIÊNG CỦA MÉO PHI TUYẾN GÂY BỞI HPA TRONG HỆ THỐNG MISO 2×1 STBC

Nguyễn Thị Phương Hòa, Nguyễn Quốc Bình
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

Ngày tòa soạn nhận được bài báo: 22/01/2018

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 02/03/2018

Ngày bài báo được xét duyệt đăng: 05/03/2018

Tóm tắt:

Hệ thống MIMO – STBC dựa trên tổng quát hóa sơ đồ Alamouti đã được ứng dụng rất nhiều trong thực tế do các ưu thế của chúng về độ rộng băng, mã hóa và giải mã đơn giản, đạt được tăng ích phân tập đầy đủ với xử lý tuyến tính ở máy thu hoặc thích hợp với các máy di động nhỏ gọn rất khó thực thi nhiều ăng-ten được nghiên cứu nhiều trong điều kiện môi trường tuyến tính. Ngay cả việc đánh giá tác động phi tuyến gây bởi bộ khuếch đại công suất (HPA: High Power Amplifier) đối với hệ thống cũng đã được đề cập trong một số công trình [11], [12] nhưng việc xác định mối quan hệ cụ thể của tham số phi tuyến với các tham số hệ thống thì chưa được chỉ ra. Bài báo này đưa ra công thức thực nghiệm cho phép tính nhanh tham số suy giảm tỉ số tín hiệu/tạp âm SNRD của hệ thống theo tham số lượng thiệt hại khoảng cách dd của các bộ khuếch đại công suất trên hệ thống MISO 2×1 STBC.

Từ khóa: HPA, MISO, MIMO, STBC.

1. Mở đầu

Khi nghiên cứu các hệ thống MIMO, nhằm thuận lợi cho quá trình phân tích và làm nổi bật các ưu thế của các hệ thống này, bộ khuếch đại công suất HPA thường được giả thiết hoạt động trong vùng tuyến tính. Điều giả thiết này không phù hợp với thực tế, đặc biệt khi HPA hoạt động ở vùng công suất trung bình và công suất cao vì khi đó HPA gây ra méo phi tuyến gồm méo biên độ và méo pha đối với tín hiệu phát có thể dẫn tới mở rộng phổ tín hiệu gây nhiễu lân cận và nhiều tác động khác như làm tăng tạp âm phi tuyến trong băng, làm móp dạng chòm sao tín hiệu với điều chế M -QAM (M -ary Quadrature Amplitude Modulation) và gây ISI phi tuyến. Do đó, cần phải tính đến ảnh hưởng của méo phi tuyến gây bởi các HPA.

Trong hệ thống đơn ăng-ten, đơn sóng mang sử dụng điều chế biên độ cầu phương M -QAM, việc ước lượng ảnh hưởng phi tuyến của HPA đã được thực hiện trong [3], các tác giả đã sử dụng nhiều bộ khuếch đại HPA thực tế khác nhau để mô phỏng đánh giá ảnh hưởng méo phi tuyến trong hệ thống 16-QAM. Kết quả là đã đưa ra được công thức kinh nghiệm để tính toán SNRD ở BER = $5 \cdot 10^{-4}$ (BER: Bit Error Rate) theo tham số độ lùi công suất BO (Back-Off). Thực tế, cùng giá trị BO như nhau, các HPA có các đặc tuyến công tác có thể khác nhau nên có ảnh hưởng phi tuyến khác nhau. Kết quả mô phỏng cũng đã xác định được công thức thực nghiệm về mối quan hệ giữa SNRD do ảnh hưởng riêng của bộ khuếch đại công suất và dd ở các giá trị BER khác nhau trong các hệ thống 16-QAM, 64-

QAM và 256-QAM lần lượt trong [4], [5], [1]. Cụ thể, các công thức thực nghiệm đạt được có dạng:

$$\text{SNRD} \approx a \cdot dd^2 + b \cdot dd \quad (1)$$

trong đó: a , b : là các hằng số đã tìm ra được qua mô phỏng hệ thống với một loạt HPA thực tế. Trong các công trình khảo sát ảnh hưởng của méo phi tuyến gây bởi bộ khuếch đại công suất trong các hệ thống MIMO, với tham số khảo sát là BO [11], [12] cũng chưa đưa ra được công thức thực nghiệm để xác định nhanh mối quan hệ giữa tham số phi tuyến và tham số khảo sát của hệ thống. Vấn đề được đặt ra là tham số dd có thể dùng để ước lượng ảnh hưởng riêng của méo phi tuyến gây bởi HPA nữa hay không cho các hệ thống MISO hay MIMO? Do vậy, trong bài báo này chúng tôi tiến hành khảo sát nhiều bộ khuếch đại công suất với các giá trị BO khác nhau nhằm kiểm tra tính khả dụng của tham số dd trên hệ thống MISO 2×1 STBC và đưa ra công thức thực nghiệm để tính nhanh SNRD theo tham số dd cho các HPA đã khảo sát. Ngoài ra, chúng tôi tiến hành so sánh mức độ ảnh hưởng riêng của méo phi tuyến và điểm làm việc tối ưu của HPA trên hai hệ thống SISO và MISO 2×1 STBC.

2. Mô hình hệ thống và tham số dd

A. Mô hình hệ thống

Giả sử có hệ thống phi tuyến MISO như trong hình 2 với số ăng-ten phát $n_t = 2$ và số ăng-ten thu $n_r = 1$, chỉ có tác động của tạp âm cộng trắng chuẩn (AWGN: Additive White Gaussian Noise), bộ lọc ở phía phát và thu là các bộ lọc căn bậc hai cosin nâng (S-RRC: Square Root Raised Cosine), T : chu

ki của ma trận truyền dẫn STBC. Tín hiệu thu được được theo mô hình trên với một khung dữ liệu có thể biểu diễn như sau:

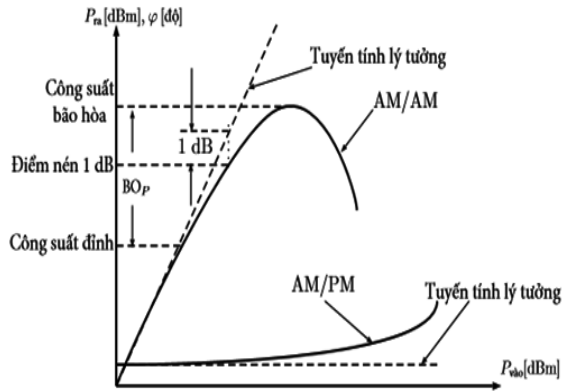
$$\mathbf{Y} = \mathbf{S} + \mathbf{N}, \quad (2)$$

với \mathbf{Y} là ma trận tín hiệu thu được $n_R \times T$, \mathbf{S} biểu diễn ma trận symbol tín hiệu phát $n_T \times T$, \mathbf{N} là ma trận nhiễu $n_R \times T$ gồm các phần tử là phân bố Gauss phức độc lập, đồng nhất với nhau và không tương quan với các symbol phát. Bộ mã hóa khối trực giao STBC dùng để phát R kí hiệu đầu vào phức trong khoảng thời gian T nên tỉ lệ thông tin từ mã đạt được là: $R_c = R/T$.

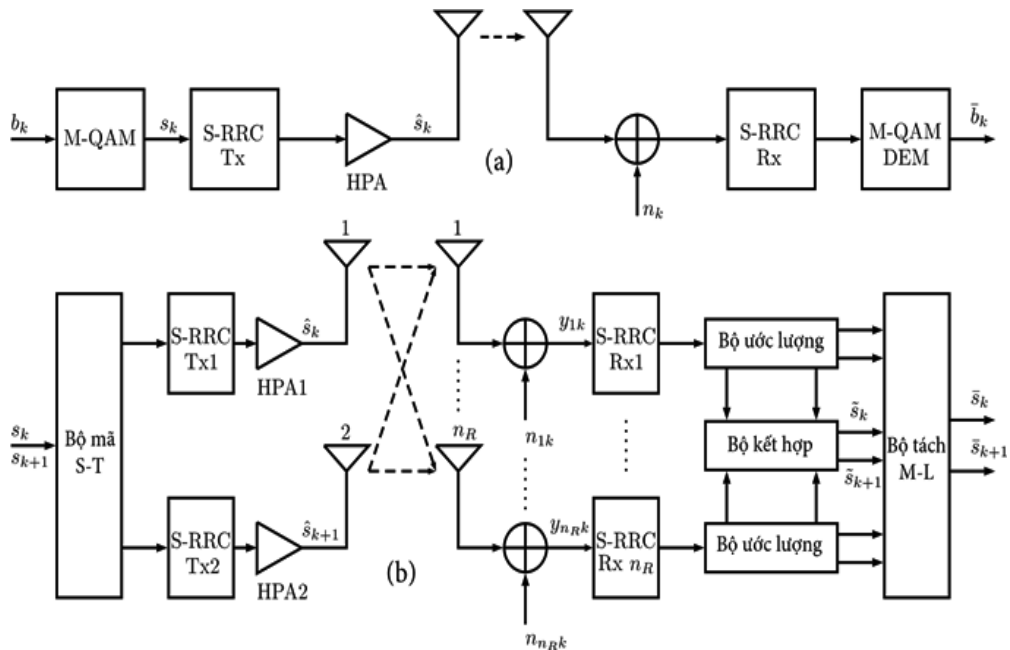
B. Mô hình bộ khuếch đại công suất HPA

HPA được mô hình hóa như một kênh phi tuyến không nhớ và được mô tả bằng các đường đặc

tính AM/AM và AM/PM [9].



Hình 1. Đặc tính khuếch đại của bộ khuếch đại công suất



Hình 2. Mô hình khảo sát

Theo mô hình này, nếu biểu diễn symbol tín hiệu đầu vào theo tọa độ cực như sau:

$$s = r e^{j\theta} \quad (3)$$

với r và θ lần lượt là biên độ và pha tín hiệu đi vào HPA, $j^2 = -1$ thì symbol ở đầu ra HPA có thể biểu diễn:

$$\hat{S} = A(r) e^{j\phi(r)} e^{j\theta} \quad (4)$$

$A(r)$ và $\phi(r)$: là các biến điệu AM/AM và AM/PM tương ứng được xác định theo mô hình Saleh [7]:

$$A(r) = \frac{\alpha_a r}{1 + \beta_a r^2} \quad (5)$$

$$\phi(r) = \frac{\alpha_p r^2}{1 + \beta_p r^2} \quad (6)$$

trong đó α_a , β_a và α_p , β_p là các cặp tham số của mô hình Saleh được xác định bằng thuật toán sai số trung bình bình phương tối thiểu (MMSE: Minimum Mean Square-Error) với các số liệu đo được từ các bộ khuếch đại công suất thực tế. Tên gọi các bộ khuếch đại công suất HPA267, HPA1371 và HPA1373 được lấy theo tài liệu [1].

Để cho đơn giản trong việc tính toán và mô phỏng, giả sử các HPA trên các nhánh phát có cùng đặc tính phi tuyến. Khi đó, dạng tín hiệu MISO 2 x 1 STBC trong điều kiện có HPA phi tuyến có thể

được biểu diễn lại như sau:

$$\mathbf{Y} = \widehat{\mathbf{S}} + \mathbf{N}, \quad (7)$$

với $\widehat{\mathbf{S}}$ biểu diễn ma trận tín hiệu phát đã bị méo khi đi qua HPA. Phía thu sử dụng bộ kết hợp Alamouti [12] và bộ tách tín hiệu tối ưu MLD (*Maximum Likelihood Detector*) [6]:

$$\widehat{\mathbf{S}} = \arg_s \{ \min \| \mathbf{Y} - \mathbf{S} \| \} \quad (8)$$

Đặc tính phi tuyến của HPA cũng được mô tả bằng nhiều tham số khác nhau như công suất bão hòa, điểm nén 1 dB... trong đó các biến điệu AM/AM và AM/PM là tham số sử dụng phổ biến hơn cả. Các biến điệu này dễ dàng được xác định và thường được cho bởi nhà sản xuất theo các đường đặc tính của suy giảm tăng ích ΔG và méo pha $\Delta\Phi$, các đường đặc tính này là hàm của công suất đầu ra. Tuy nhiên, rất khó để đưa tất cả các tham số trên vào việc tính toán trực tiếp BER hoặc SNRD gây bởi méo phi tuyến của hệ thống. Do vậy, một tham số mới dd hay còn gọi là tham số lượng thiệt hại khoảng cách, đã được đề xuất cho méo phi tuyến gây bởi HPA [4]. Tham số dd được xác định theo sự suy giảm trung bình khoảng cách gây bởi các biến điệu AM/AM và AM/PM đối với tất cả các điểm tín hiệu. Tham số dd là lượng thiệt hại của khoảng cách từ điểm tín hiệu tới biên quyết định gần nhất gây bởi tác động gây dịch chuyển các điểm tín hiệu trên giản đồ chòm sao, tính trung bình trên toàn tập tín hiệu. Với một bộ HPA và với một độ lùi công suất đỉnh BO_p đã cho, dd có thể xác định dễ dàng được như sau:

- Từ các đặc tuyến $\Delta G(P_{out})$ và $\Delta\Phi(P_{out})$ của bộ khuếch đại cho bởi các nhà sản xuất và từ giá trị độ lùi công suất đỉnh BO_p , xác định các giá trị ΔG_{ij} và $\Delta\Phi_{ij}$ đối với từng vị trí tín hiệu $[i,j]$ trên chòm sao tín hiệu

($i,j = 1,2,\dots, \sqrt{M}/2$). Nhờ vậy xác định được chòm sao bị méo gồm các điểm tín hiệu mới, bị dịch khỏi vị trí tiêu chuẩn do tác động của ΔG_{ij} và $\Delta\Phi_{ij}$;

- Do tính đối xứng của chòm sao tín hiệu M -QAM nên chỉ cần tính đến một góc phần tư của không gian tín hiệu;

- Công suất của tín hiệu QAM có công suất lớn nhất, tức là công suất đỉnh của tín hiệu QAM, được xác định theo $P_{\sqrt{M}/2, \sqrt{M}/2} = P_{Peak} = P_S - BO_p$ trong đó P_S là công suất bão hòa của HPA, xác định được tại điểm gục của đặc tuyến AM/AM. Từ đây có thể xác định dễ dàng công suất tương ứng của các tín hiệu P_{ij} còn lại nếu coi tín hiệu lỗi vào của HPA là các tín hiệu NRZ nhiều mức;

- Đối với từng tín hiệu $[i,j]$ trên chòm sao tín hiệu bị méo, xác định bằng hình học khoảng cách

nhỏ nhất $d_{i,j}$ từ điểm tín hiệu tới biên quyết định gần nhất. Thiệt hại khoảng cách đối với tín hiệu $[i,j]$ là $dd_{i,j} = 1 - d_{i,j}$;

- Tham số thiệt hại khoảng cách của bộ khuếch đại là giá trị trung bình của thiệt hại khoảng cách tính trên toàn tập tín hiệu, tức là:

$$dd = \frac{4}{M} \sum_{i,j=1}^{\sqrt{M}/2} dd_{i,j} \quad (9)$$

Việc sử dụng tham số dd cho phép so sánh các bộ khuếch đại khác nhau thuộc các chủng loại khác nhau, bất luận là các bộ khuếch đại đó có hay không có méo trước. Sử dụng tham số này, theo các công thức gần đúng xác định theo lối kinh nghiệm thông qua mô phỏng nhiều bộ khuếch đại khác nhau, với nhiều giá trị BO_p khác nhau, người ta có thể tính trực tiếp ảnh hưởng của méo phi tuyến gây bởi bộ khuếch đại công suất tới chất lượng hệ thống.

3. Các kết quả

Chúng tôi tiến hành mô phỏng với cấu hình hệ thống SISO và MISO 2×1 STBC: tín hiệu điều chế 16-QAM, số symbol mô phỏng: 10000, bộ lọc căn bậc hai cosin nâng ở phía phát và thu: trễ nhóm (*Delay Group* = 10); hệ số uốn lọc (*Roll off factor* = 0.35); tần số lấy mẫu đầu vào ($F_d = 1$); tần số lấy mẫu đầu ra ($F_s = 8$). Các bộ khuếch đại công suất với các tham số của mô hình Saleh. Do *SNRD* không phụ thuộc vào độ khuếch đại của HPA (vốn chỉ có tác dụng bù tổn hao của hệ thống) mà chỉ phụ thuộc vào dạng đường cong của biến điệu AM/AM và AM/PM vì thế trong quá trình mô phỏng hệ thống bằng phần mềm Matlab đặt tham số $\alpha_a = 1$ đối với tất cả các HPA mà không mất đi tính tổng quát. Riêng hệ thống MISO 2×1 STBC có $R_c = 1$.

• Hệ thống SISO:

Mối quan hệ giữa SNRD và dd tại BER = 10^{-3} :

$$SNRD = 387,15dd^2 - 6,72dd$$

Sai số ước lượng: 0,14[dB].

Mối quan hệ giữa SNRD và dd tại BER = 10^{-6} :

$$SNRD = 536,27dd^2 + 0,77dd$$

Sai số ước lượng: 0,44[dB].

• Hệ thống MISO STBC 2 × 1:

Mối quan hệ giữa SNRD và dd tại BER = 10^{-3} :

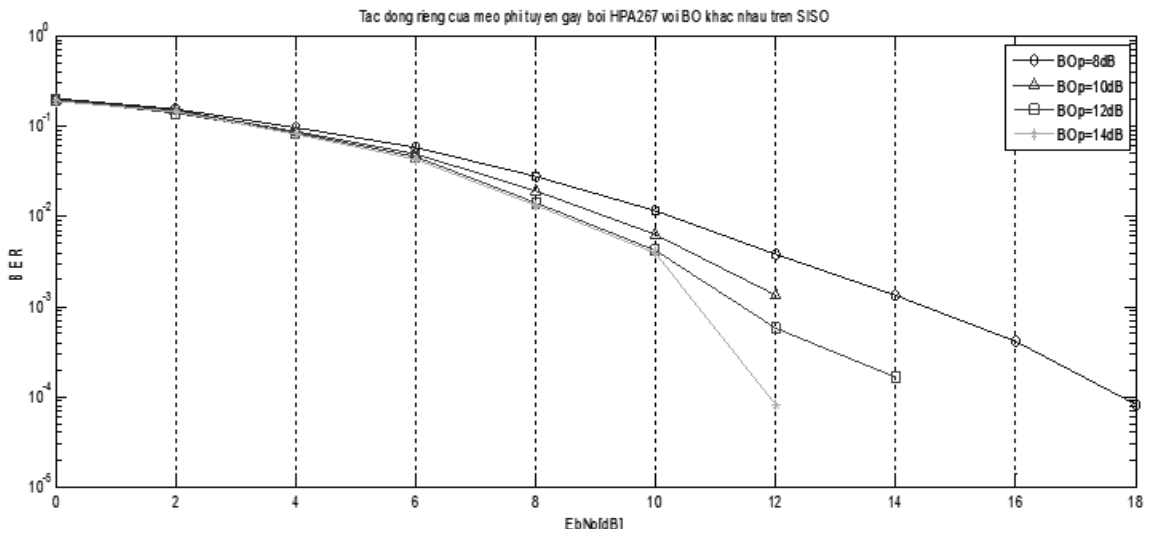
$$SNRD = 1482,7dd^3 + 44,2dd^2 + 23,1dd$$

Sai số ước lượng: 0,24[dB].

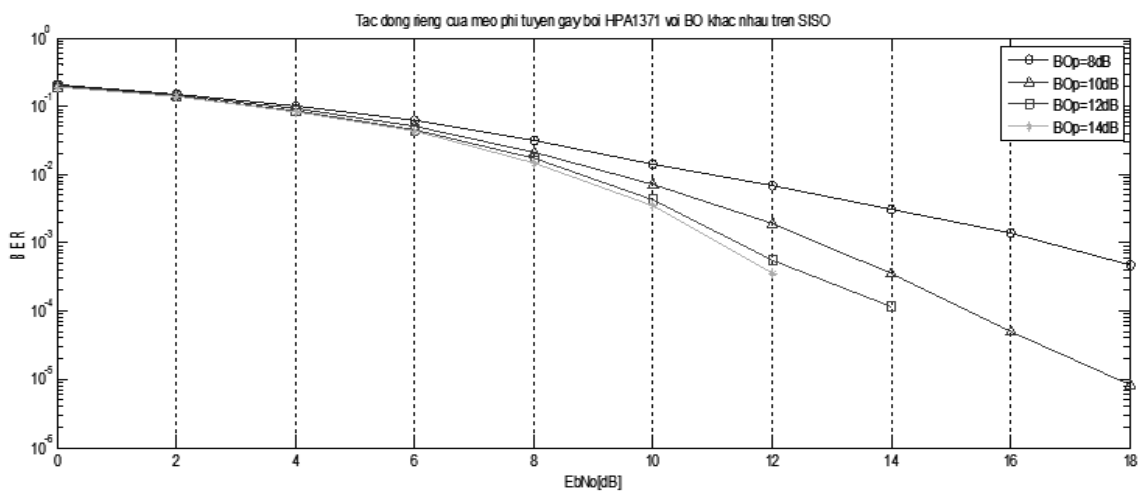
Mối quan hệ giữa SNRD và dd tại BER = 10^{-6} :

$$SNRD = 369,18dd^3 + 337,94dd^2 + 23,27dd$$

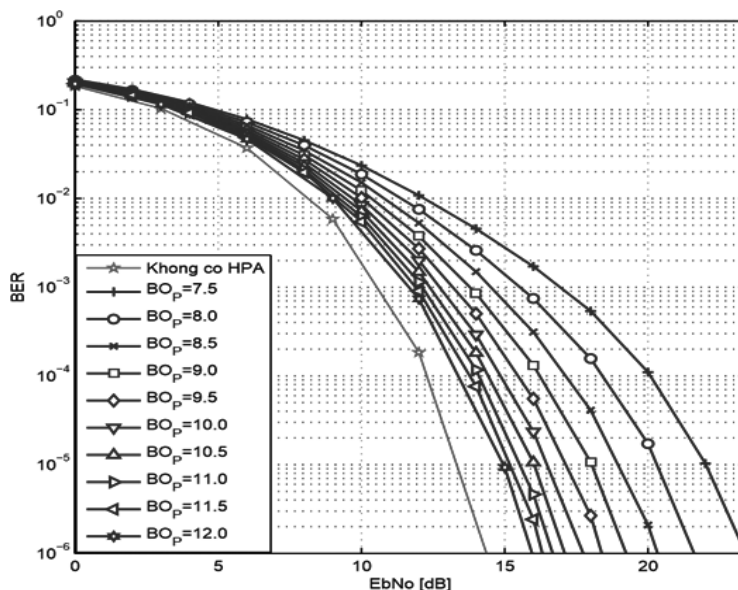
Sai số ước lượng: 0,27[dB].



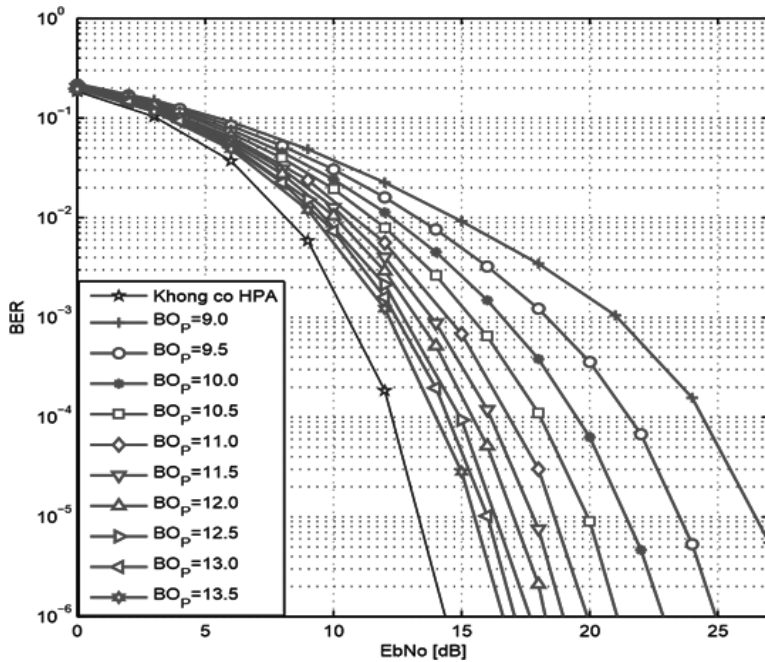
Hình 3. Tác động riêng của méo phi tuyến gây bởi HPA267 với BO_p khác nhau trên SISO



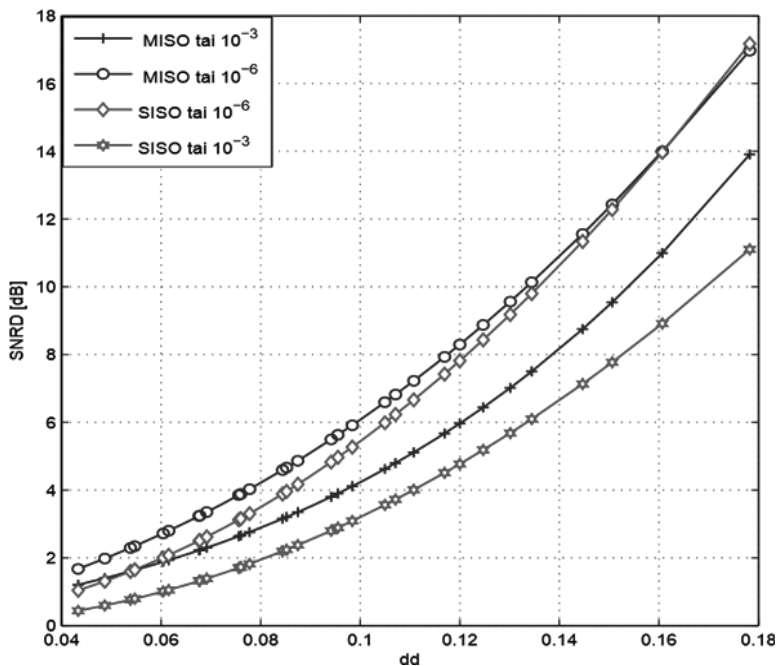
Hình 4. Tác động riêng của méo phi tuyến gây bởi HPA1371 với BO_p khác nhau trên SISO



Hình 5. Tác động riêng của méo phi tuyến gây bởi HPA267 với BO_p khác nhau trên MISO 2x1 STBC



Hình 6. Tác động riêng của méo phi tuyến gây bởi HPA1371 với BO_p khác nhau trên MISO 2×1 STBC



Hình 7. Mối quan hệ giữa SNRD và dd trên hệ thống SISO và MISO 2×1 STBC

4. Kết luận

Trong bài báo này, công thức thực nghiệm chung duy nhất cho phép ước lượng nhanh ảnh hưởng riêng của méo phi tuyến gây bởi các HPA đã được đưa ra cho hệ thống MISO 2×1 STBC sử dụng bộ điều chế 16-QAM thông qua tham số SNRD và dd . Kết quả bài báo cho thấy, khi chuẩn

hóa công suất ở đầu vào như nhau thì hệ thống SISO chịu tác động bởi méo phi tuyến gây ra bởi các HPA ít hơn so với MISO 2×1 STBC được thể hiện rất rõ qua tham số khảo sát là SNRD đồng thời đây điểm làm việc tối ưu của HPA trên MISO 2×1 STBC xuống thấp hơn so với SISO.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Thị Hằng Nga, *Nghiên cứu nâng cao chất lượng hệ thống vi ba số dung lượng cao, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật*, Học viện Công nghệ Bru chính Viễn thông, Bộ Giáo dục Đào tạo, 2003.
- [2]. Alamouti S., A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1998, **vol. 16**, no. 8, pp. 1451-1458.
- [3]. Bahceci I., Altunbasak Y., and Duman T. M., Space-time coding over correlated fading channels with antenna selection. *IEEE Transaction on Wireless Communication*, 2006, **vol. 5**, no. 1, pp. 34-39.
- [4]. Binh N. Q., Bérces J., and Frigyes I., Estimation Of The Effect Of Nonlinear High Power Amplifier in M-QAM Radio Relay Systems, *Proc. The Periodica Polytechnica SER. EL. ENG.*, Hungary, 1995.
- [5]. Binh N. Q., Bien N. T., and Thang N.T. , The usability of distance degradation in estimation of signal to noise ratio degradation caused by the effect of nonlinear transmit amplifiers and optimum additional phase shift in 256-QAM systems. *Proceedings of International Conference on Advanced Technologies for Communication*, Ha Noi, Viet Nam, 2010, pp. 258-261.
- [6]. C. E. Shannon, *The Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press, 1949.
- [7]. Dantona V., et al., Impact of Nonlinear Power Amplifiers on the Performance of Precoded MIMO Satellite Systems. *Proceeding of IEEE First AESS European Conference*, Rome, Italy, 2012, pp. 1-7.
- [8]. F.H.Gregorio, Analysis and Compensation of Nonlinear Power Amplifier Effects in Multi-antenna OFDM Systems. PhD, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, 2007.
- [9]. Saleh A. A. M., Frequency-Independent and Frequency Dependent Nonlinear Models of TWT Amplifiers. *IEEE Transaction on Communication*, 1981, **vol. 29**, no. 11, pp. 1715-1720.
- [10]. Su W., Xia X.-G., and Liu K. J. R., A systematic design of highrate complex orthogonal space-time block codes. *IEEE Communication Letter*, 2004, **vol. 8**, no. 6, pp. 380-382.
- [11]. Q.Jian and S.Aissa, On the effect of Power Amplifier Nonlinearity on MIMO transmit diversity systems. *Proceedings of International Conference on Communications*, Dresen, Gemany, 2009, pp. 1-5.
- [12]. A.I.Sulyman and M.Ibnkahla, Performance Analysis of nonlinearity Amplified M-QAM signals in MIMO channels. *European Transactions on Telecommunications*, 2008, **vol. 19**, pp. 15-22.

AN EVALUATION OF THE EFFECT OF NONLINEAR DISTORTION CAUSED BY HPA IN THE MISO 2×1 STBC SYSTEM

Abstract:

The MIMO-STBC system based on the generalization of the Alamouti scheme has been widely applied in practicing due to their advantages in terms of band width, coding and decoding, achievement in diversity gain with linear processing in receivers or suitable for compact mobile machines which are difficult to implement for multiple antennas that have been researched extensively in linear situation. Some evaluation of nonlinear distortion effect caused by HPA have implemented in [11], [12] but the determination of the relationship between the nonlinear parameters with system parameters is not specified. This paper provides an experiment formula for calculating the SNRD (Signal-to-Noise Degradation) according to the dd (dd: Distance Degradation) in the MISO 2×1 STBC system.

Keywords: HPA, MISO, MIMO, STBC.