

Ứng dụng RTL-SDR và Simulink phát triển bộ thu hệ thống thông tin số sử dụng điều chế QPSK

■ **ThS. NGUYỄN PHƯƠNG LÂM; TS. PHẠM VIỆT HƯNG**
Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

TÓM TẮT: Với các nền tảng phần cứng RTL-SDR (Realtek SDR), khả năng sử dụng và tích hợp môi trường lập trình Matlab/Simulink, các bộ thu SDR hệ thống thông tin số có độ linh hoạt và dễ dàng thay đổi cấu hình, các thông số hệ thống. Bài báo đề xuất phát triển một bộ thu mềm RTL-SDR cho hệ thống thông tin số sử dụng điều chế khóa dịch pha cầu phương (QPSK). Bộ thu QPSK RTL-SDR được đề xuất như một công cụ học tập, nghiên cứu hiệu quả cho sinh viên, học viên chuyên ngành.

TỪ KHÓA: Vô tuyến điều khiển bằng phần mềm, RTL-SDR, điều chế QPSK, giải điều chế QPSK.

ABSTRACT: Since the availability of hardware platform of RTL-SDR (Realtek SDR), many devices with very low cost and interact with Matlab/Simulink, the SDR receivers of digital communication systems are flexible and easy to re-configure and change system parameters. In this paper, a RTL-SDR receiver for QPSK communications is proposed. The proposed receiver is implemented as a studying model for student, learner of telecommuncations profesional.

KEYWORDS: Software Defined Radio, RTL-SDR, QPSK modulation, QPSK demodulation.

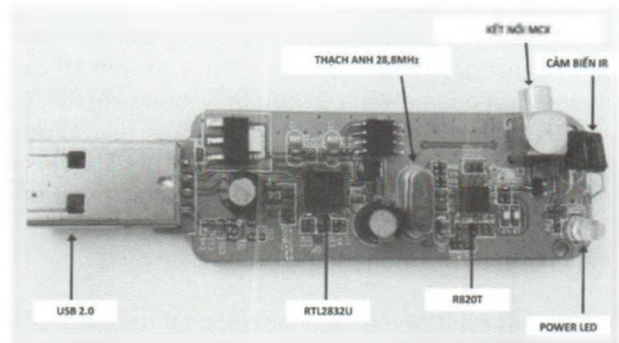
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Công nghệ vô tuyến điều khiển bằng phần mềm (SDR - Software Defined Radio) ban đầu được sử dụng cho các ứng dụng trong lĩnh vực quân sự để truyền thông, giao tiếp giữa các khối chức năng, giữa các thiết bị đòi hỏi cần phải bảo mật thông tin [1]. Với sự sẵn có của các thiết bị xử lý tín hiệu số (DSP) hiệu năng cao cùng với các phần mềm thiết kế truyền thông, tín hiệu vô tuyến RF có thể được số hóa và xử lý dễ dàng ở tốc độ cao giúp cho các kỹ sư công nghệ truyền thông có thể tiếp cận dễ dàng với các thiết bị SDR. Đặc biệt với thiết bị RTL-SDR (Realtek SDR) có chi phí tương đối rẻ, công nghệ SDR càng trở thành một động lực nghiên cứu, phát triển cho các kỹ sư truyền thông cũng như cho sinh viên, học viên sau đại học [2, 3]. Khi các thiết

bị RTL-SDR được phát triển cùng với các trình điều khiển mã nguồn mở, thiết bị RTL-SDR càng được sử dụng một cách phổ biến hơn để xử lý với các tín hiệu vô tuyến (RF) cũng như tín hiệu I/Q số hóa có dải tần từ 25MHz đến 1,75 GHz [4]. Dải tần làm việc rộng như vậy giúp cho thiết bị RTL-SDR có thể xử lý được với các tín hiệu như tín hiệu FM, tín hiệu GSM, tín hiệu 3G, tín hiệu GPS... Bài báo đề xuất phát triển bộ thu hệ thống thông tin số sử dụng điều chế khóa dịch pha cầu phương QPSK. Bộ thu được phát triển trên nền tảng RTL-SDR kết hợp với Matlab/Simulink để dễ dàng quan sát được các đặc tính phổ, đặc tính tín hiệu miền thời gian của tín hiệu thu được.

Bài báo gồm có các phần sau: Phần 2 mô tả sơ đồ khối và các chức năng cơ bản của thiết bị RTL-SDR. Kiến trúc bộ thu QPSK sử dụng RTL-SDR kết hợp Matlab/Simulink được đưa ra ở phần 3 và kết quả thử nghiệm bộ thu QPSK này được trình bày ở phần 4. Cuối cùng, phần 5 đưa ra một số kết luận và hướng phát triển.

2. CẤU TRÚC THIẾT BỊ RTL-SDR



Hình 2.1: Thiết bị RTL-SDR của hãng NooElec

Các thiết bị RTL-SDR thường có kích thước nhỏ gọn cỡ một thẻ nhớ USB, được đóng gói cùng anten và điều khiển từ xa, thế hệ đầu tiên của RTL-SDR do hãng NooElec chế tạo và không đi kèm phần mềm. Do đó, người sử dụng có thể sử dụng các phần mềm của riêng họ, tùy thuộc vào nhu cầu người sử dụng muốn dùng RTL-SDR vào chức năng gì. Các thành phần chính của RTL-SDR hãng NooElec bao gồm:

- Cổng kết nối MCX: Để kết nối anten vào thiết bị (thường sử dụng anten đẳng hướng).

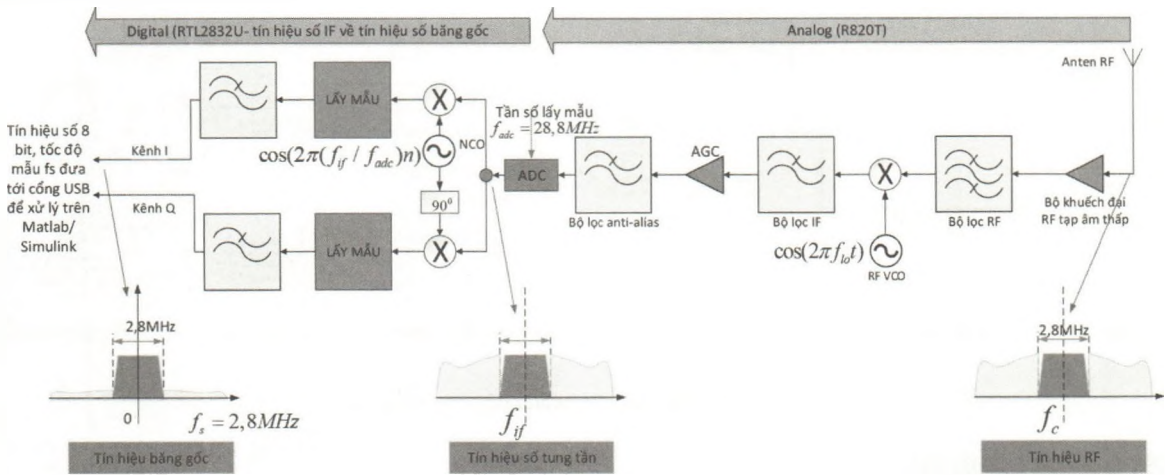
- Diode ESD: Nhằm bảo vệ khối Tuner không bị phóng điện từ anten vào.

- Chip R820T: Chip Tuner để lựa chọn phổ vô tuyến và hạ tần xuống trung tần.

- Chip RTL2832U: Chip giải điều chế, hạ tần từ trung tần IF về băng gốc, số hóa tín hiệu và giảm tần số lấy mẫu.

Khi làm việc như một bộ thu, kiến trúc của RTL-SDR được minh họa như Hình 2.2. Kiến trúc này tương ứng với quá trình giải điều chế 2 giai đoạn: phần cứng analog được sử dụng để hạ tần từ RF về IF, hạ tần từ IF về băng gốc được thực hiện bằng các khối xử lý số. Đặc biệt, việc điều khiển quá trình giải điều chế này được thực thi thông qua phần mềm, cho phép thiết lập các băng tần hoặc tần số vô tuyến mong muốn.

Như minh họa ở Hình 2.2, đầu ra của RTL-SDR là các mẫu dữ liệu cầu phương, kênh đồng pha I (Inphase) và kênh vuông góc Q (Quadrature) sẽ được xử lý bởi nền tảng Matlab/Simulink thông qua gói hỗ trợ phần cứng RTL-SDR [5]. Lưu ý, các mẫu lỗi ra của RTL-SDR ở dạng dấu phẩy thập 8 bit trong khi Matlab/Simulink xử lý với dữ liệu ở dạng dấu phẩy động. Với khả năng xử lý dữ liệu băng gốc trên nền tảng Matlab/Simulink nên khái niệm điều khiển mềm thể hiện rất rõ ở bộ thu SDR này. Các bộ thu mềm SDR băng gốc có thể làm việc thời gian thực (real-time) nhờ các máy tính PC có tốc độ xử lý cao. Vì vậy, kết hợp thiết bị RTL-SDR và Matlab/Simulink, các bộ thu RTL-SDR cho nhiều hệ thống khác nhau có thể được phát triển dễ dàng và thuận tiện với chi phí rất rẻ.



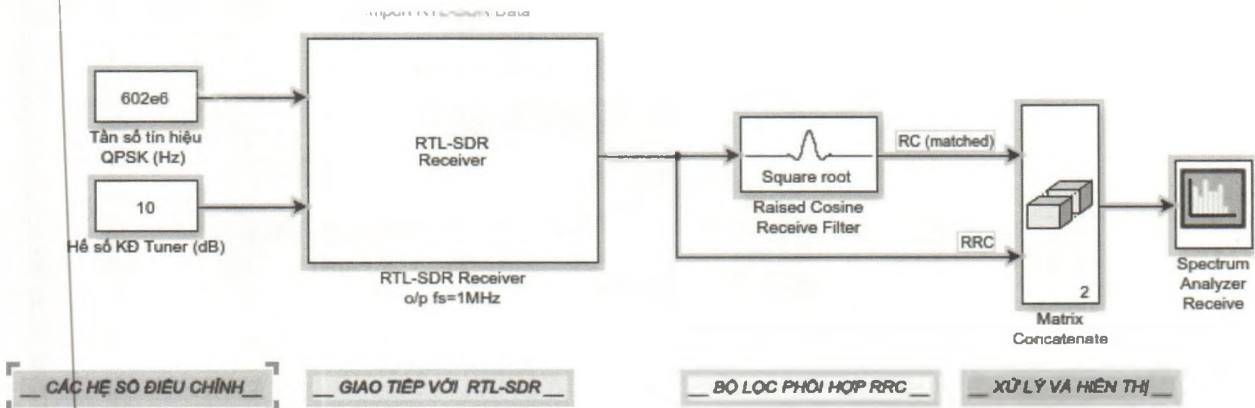
Hình 2.2: Sơ đồ khối chức năng các thành phần chính trong RTL-SDR

3. PHÁT TRIỂN BỘ THU HỆ THỐNG THÔNG TIN SỐ SỬ DỤNG ĐIỀU CHẾ QPSK

Bộ thu QPSK được phát triển dựa trên RTL-SDR sử dụng bộ lọc phối hợp dạng cosin nâng. Do giới hạn về băng thông của các hệ thống truyền thông không dây, các bộ lọc tạo dạng xung luôn được sử dụng tại phía phát để hạn chế băng thông của tín hiệu được truyền phát, đồng thời chống được nhiễu xuyên symbol (ISI - Intersymbol Interference) [5].

3.1. Bộ lọc thích nghi cosin nâng (RRC - Root Raise Cosine)

Đây là bộ lọc tạo dạng xung, mục đích chính của bộ lọc cosin nâng nhằm hạn chế phổ của quá trình truyền dẫn, đảm bảo phổ của tín hiệu được truyền nằm trong mặt nạ phổ đã cho trước. Điều này cho phép quá trình truyền dẫn không dây có thể sử dụng các băng tần kế nhau mà không gây ra hiện tượng chồng phổ. Việc sử dụng bộ lọc cosin nâng sẽ loại trừ được nhiễu ISI trong tín hiệu được truyền. Do vậy, đáp ứng tần dạng cosin nâng cũng phải được sử dụng tại phía thu để phù hợp với phổ tín hiệu được truyền đi từ phía thu, gọi là lọc phối hợp. Cả hai bộ lọc phía phát và phía thu đều ở dạng lọc cosin nâng căn bậc hai (RRC) nhằm thực hiện được phổ cosin nâng theo dạng 2 tầng như minh họa ở Hình 3.1.

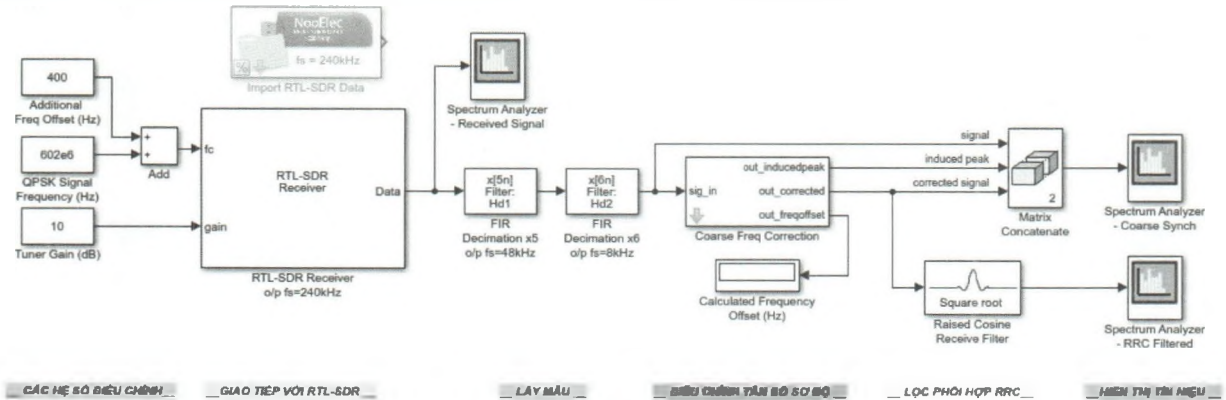


Hình 3.1: Mô hình Simulink của lọc phối hợp RRC

3.2. Bám tần số sóng mang

Trong quá trình đồng bộ sóng mang, do tần số khởi tạo ở phía thu có sự chênh lệch lớn so với tần số sóng mang tới. Khi đó, cần thiết phải có khâu xử lý đồng bộ sóng mang sơ bộ trước khi thực hiện đồng bộ sóng mang nhờ mạch vòng khóa pha (PLL-Phase Locked Loop) và đồng bộ thời gian. Mục đích của khâu này nhằm giảm đáng kể độ lệch tần số khởi tạo ở bộ thu giúp cho quá trình đồng bộ sóng mang sẽ thành công. Thuật toán ở đây sử dụng dựa trên sự hiểu biết về cấu trúc tín hiệu, như bậc điều chế pha M (tương ứng với số lượng pha trong điều chế khóa dịch pha PSK). Mức công suất của tín hiệu nâng lên M lần dẫn đến tạo ra một vạch phổ tại vị trí gấp M lần độ dịch tần số. Với tín hiệu QPSK, khi mức công suất tăng lên 4 lần, một vạch phổ được tạo ở vị trí 4 lần độ dịch tần số. Như vậy, độ dịch tần số có thể tính toán được dựa trên vị trí của vạch phổ này và chia cho 4.

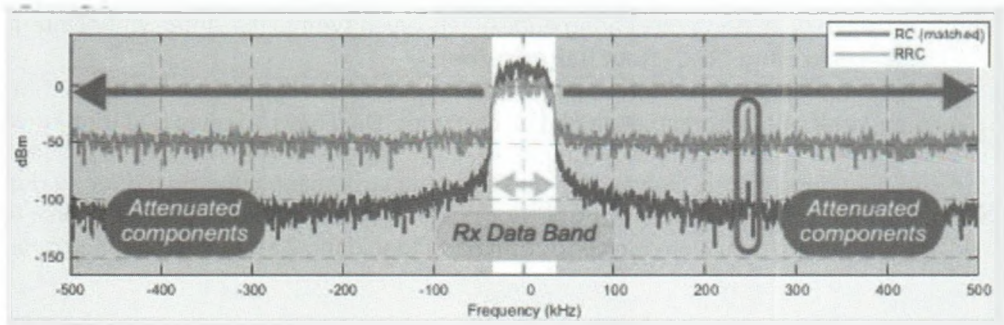
Thuật toán ước lượng độ dịch tần số được thực hiện bằng tính toán FFT (Fast Fourier Transform) của tín hiệu và xác định biên độ FFT có giá trị lớn nhất. Sơ đồ Simulink thực hiện quá trình đồng bộ được minh họa ở Hình 4.1.



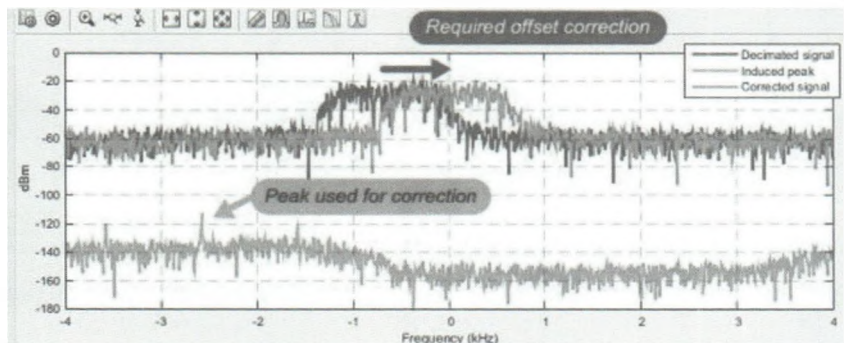
Hình 3.2: Mô hình Simulink đồng bộ sóng mang sơ bộ

4. KẾT QUẢ VÀ ĐÁNH GIÁ

Khi thực hiện chạy mô phỏng, đối với khâu RRC, khối Phân tích phổ tín hiệu thu được (Spectrum Analyzer Receive) cho thấy có hai tín hiệu như Hình 4.1 bao gồm: tín hiệu RRC nhận được và tín hiệu RRC được cho qua lọc phối hợp. Tần số lấy mẫu của RTL-SDR được thiết lập tại giá trị 1 MHz (lớn hơn nhiều bằng thông của tín hiệu) để giúp thấy được toàn bộ các băng tần nằm ngoài hai bên của tín hiệu thu được. Quan sát thấy, các thành phần ngoài băng bị suy hao đi rất nhiều nhờ bộ lọc phối hợp RRC. Thành phần ngoài băng này bao gồm cả tín hiệu từ hệ thống khác và nhiễu.

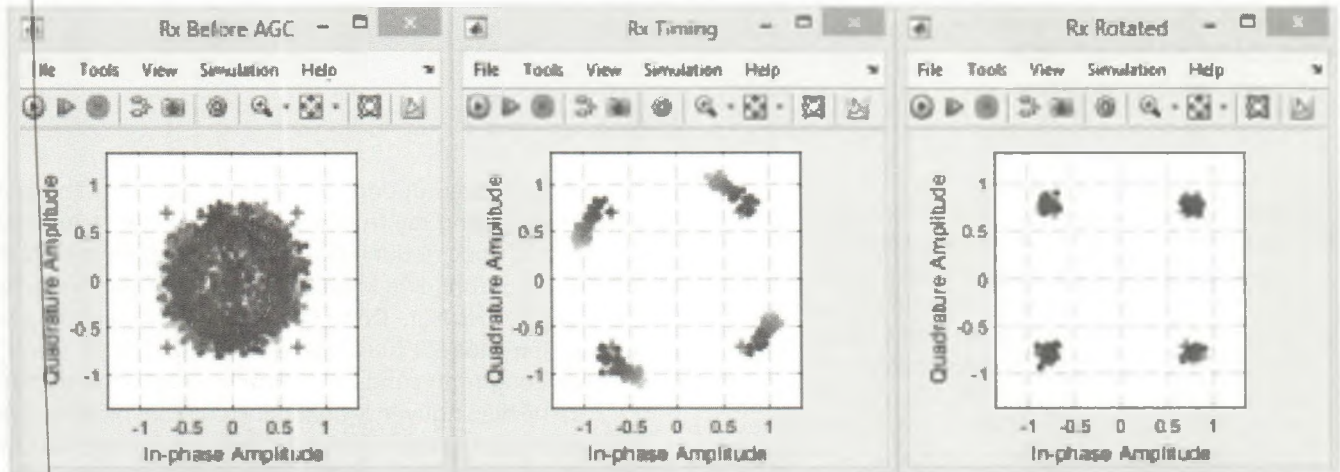


Hình 4.1: Phổ tín hiệu trước và sau lọc phối hợp RRC



Hình 4.2: Phổ tín hiệu khi đồng bộ sóng mang sơ bộ

Đối với khâu đồng bộ sóng mang, khối phân tích phổ (Spectrum Analyzer) hiển thị phổ của ba trạng thái của quá trình đồng bộ như Hình 4.2. Tín hiệu "Decimated" là tín hiệu nhận được bởi bộ thu RTL-SDR. Tăng công suất của tín hiệu này lên 4 lần để tìm ra được vạch phổ có công suất đỉnh lớn nhất để sử dụng vào việc tìm độ dịch tần số. Thực hiện dịch vạch phổ (chia cho 4) để dịch tín hiệu nhằm tìm ra được tín hiệu chính xác, có tần số trung tâm tại 0 Hz. Trên cơ sở phổ tín hiệu, xác định và quan sát được giá trị khởi tạo sơ bộ của độ dịch tần số bằng cả mắt thường và bằng khối "Độ dịch tần số tính toán được" vào khoảng 701,17 Hz. Trong trường hợp khó quan sát được vạch phổ như trên, thực hiện điều chỉnh tăng Tuner Gain (dB) tới khi quan sát được vạch phổ rõ ràng hơn.



Hình 4.3: Đồ hình chòm sao tín hiệu QPSK nhận được

Cuối cùng, khâu đồng bộ tín hiệu QPSK (bao gồm cả đồng bộ tinh chỉnh pha sóng mang và đồng bộ thời gian). Kết quả của quá trình mô phỏng này được thể hiện trên Hình 4.3. Đồ hình tín hiệu trước khi đi qua bộ AGC cho biết cường độ tín hiệu tới bộ thu. Nếu vòng chòm sao nhỏ thì hệ số AGC cần được điều chỉnh để có thể xử lý được tín hiệu ở các khâu tiếp theo. Ở hình giữa của Hình 4.3 biểu diễn tín hiệu thu được sau AGC và được đồng bộ thời gian. Lúc này, chòm sao tín hiệu nằm ở 4 cụm tương ứng với 4 góc pha khác nhau. Các tín hiệu tại mỗi vị trí pha này sẽ quay theo chiều kim đồng hồ hoặc ngược chiều kim đồng hồ tùy thuộc vào sự phân cực của dịch pha sóng mang. Ở hình cuối, sau khi có cả đồng bộ pha sóng mang, chòm sao tín hiệu sẽ nằm cố định xung quanh 4 vị trí pha.

5. KẾT LUẬN

Kết hợp RTL-SDR và Matlab/Simulink, bộ thu QPSK cho hệ thống thông tin số được phát triển có độ linh hoạt cao, có thể quan sát được nhiều trạng thái phổ của nhiều tín hiệu thành phần, tại nhiều khâu xử lý trung gian. Những dữ liệu phổ quan sát được mang đến cho học viên, nhà nghiên cứu về điều chế QPSK nhiều thông tin hữu ích và có nhiều ý nghĩa thực tiễn.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số DT21-22.53.

Tài liệu tham khảo

- [1]. T. Ulversoy (2010), *Software defined radio: Challenges and opportunities*, IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol.12, no.4, pp.531-550.
- [2]. A. L. Reis, A. F. Selva, K. G. Lenzi, S. E. Barbin and

L. G. Meloni (2012), *Software defined radio on digital communications: A new teaching tool*, in WAMICON 2012 IEEE Wireless & Microwave Technology Conference, pp.1-8: IEEE.

[3]. E. Grayver (2012), *Implementing software defined radio*, Springer Science & Business Media.

[4]. R. Stewart, K. Barlee and D. Atkinson (2015), *Software Defined Radio using the MATLAB & Simulink and the RTL-SDR*, Strathclyde Academic Media, ISBN-13, pp.978-0.

[5]. <https://au.mathworks.com/hardware-support/rtl-sdr.html>.

[6]. R. W. Stewart et al. (2015), *A low-cost desktop software defined radio design environment using MATLAB, simulink, and the RTL-SDR*, IEEE Communications Magazine, vol.53, no 9, pp.64-71.

Ngày nhận bài: 25/5/2022

Ngày chấp nhận đăng: 18/6/2022

**Người phản biện: TS. Nguyễn Mạnh Cường
ThS. Nguyễn Thanh Vân**