

DESIGNING OSCILLATOR AND AMPLIFIER FOR MICROWAVE MOTION SENSOR

Tran Xuan Trong*, Luong Quang Huy

TNU - University of Information and Communication Technology

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 31/3/2021 Revised: 31/5/2021 Published: 31/5/2021	The content of the paper presents the basic structure of microwave motion sensor and how to apply microwave technology in design sensor's oscillator and amplifier. During the design process, the authors used modeling and computer simulation with the support of specialized software Advanced Design System (ADS). The simulation results show that the Oscillator generates frequency 2.49 Ghz, with an oscillation amplitude of 2.35V. The Amplifier has a scattering coefficient at input and output less than -30dB and the gain of 13.2 dB with frequency 2.49 Ghz. Basically, the Oscillator and Amplifier design are suitable for use in motion sensor fabrication.
KEYWORDS Motion Sensor High Frequency Electronics Microwave Oscillator Amplifier	

THIẾT KẾ BỘ TẠO DAO ĐỘNG VÀ BỘ KHUẾCH ĐẠI TRONG CẢM BIẾN CHUYỂN ĐỘNG SỬ DỤNG SÓNG VIBA

Trần Xuân Trọng*, Lương Quang Huy

Trường Đại học Công nghệ Thông tin và Truyền thông – ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 31/3/2021 Ngày hoàn thiện: 31/5/2021 Ngày đăng: 31/5/2021	Nội dung bài báo trình bày về cấu trúc cơ bản của cảm biến phát hiện chuyển động dựa trên công nghệ sóng Viba (Microwave) và ứng dụng kỹ thuật siêu cao tần trong thiết kế bộ dao động và bộ khuếch đại của cảm biến. Trong quá trình thiết kế, nhóm tác giả đã sử dụng phương pháp mô hình hóa và mô phỏng trên máy tính bằng phần mềm chuyên dụng Advanced Design System (ADS). Kết quả mô phỏng cho thấy, bộ dao động được thiết kế đã tạo ra dao động có tần số 2,49 Ghz và biên độ dao động 2,35V. Bộ khuếch đại có hệ số tán xạ tại đầu vào và đầu ra nhỏ hơn -30 dB và hệ số khuếch đại đạt 13,2 dB với tần số 2,49 Ghz. Với các thông số thiết kế đạt được, bộ dao động và bộ khuếch đại cơ bản phù hợp để ứng dụng vào chế tạo cảm biến chuyển động.
TỪ KHÓA Cảm biến phát hiện chuyển động Mạch điện tử siêu cao tần Sóng Viba Bộ dao động Bộ khuếch đại	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.4236>

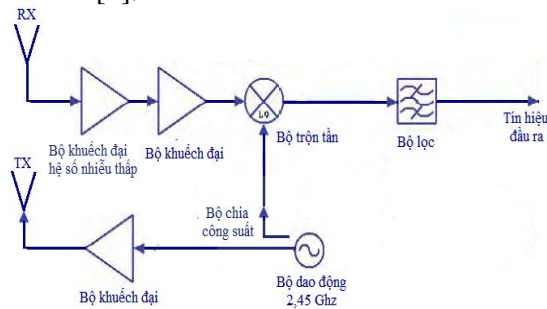
* Corresponding author. Email: txtrong@ictu.edu.vn

1. Giới thiệu

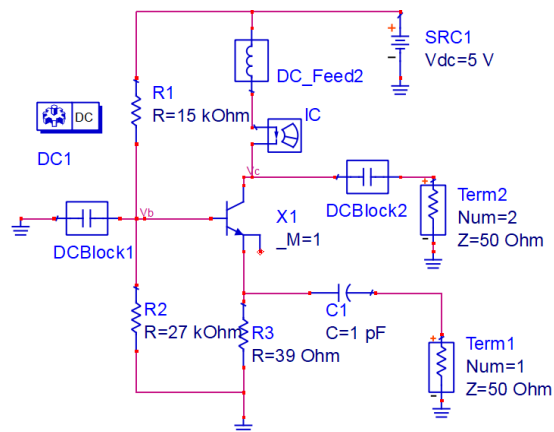
Cảm biến chuyển động sử dụng sóng Viba là thiết bị dùng sóng điện từ tần số Viba để phát hiện chuyển động của vật thể hoặc con người trong phạm vi làm việc của nó. Cảm biến này hoạt động như một chiếc RADAR thu nhỏ [1] nên nó có tầm phủ lớn, hoạt động ổn định, ít bị ảnh hưởng bởi nhiễu từ khí hậu. Ngoài ra, sóng Viba có thể xuyên qua các vật liệu phi kim giúp cảm biến có thể lắp chìm, tăng tính thẩm mỹ cho các thiết kế [2]. Với các ưu điểm nêu trên, loại cảm biến này được ứng dụng rộng rãi và đóng vai trò quan trọng trong các hệ thống an ninh, hệ thống giám sát sức khỏe [3]-[5]. Cảm biến chuyển động sử dụng sóng Viba có thể được chế tạo dưới dạng vi xử lý tích hợp trên chip [6], tuy nhiên phương pháp này đòi hỏi công nghệ cao, kỹ thuật chế tạo tinh vi. Vì vậy để đơn giản hóa quá trình chế tạo, nhóm tác giả đã thực hiện nghiên cứu, thiết kế cảm biến chuyển động sử dụng sóng Viba chỉ dùng mạch vi dải và các linh kiện điện tử cơ bản. Nội dung chính của bài báo trình bày về kết quả thiết kế bộ Dao động và bộ Khuếch đại, 2 bộ phận quan trọng của cảm biến chuyển động sử dụng sóng Viba. Kết quả thiết kế đạt được có thể phục vụ việc nghiên cứu, chế tạo, cải tiến cảm biến chuyển động trong thực tế.

2. Tổng quan cảm biến chuyển động sử dụng công nghệ tần số vô tuyến

Cảm biến chuyển động dựa trên công nghệ sóng Viba phát ra sóng điện từ tần số Viba, sau đó sử dụng sóng phản xạ thu được từ mục tiêu để phát hiện chuyển động của mục tiêu. Về cơ bản cấu trúc một bộ cảm biến chuyển động sử dụng sóng Viba gồm các khối được trình bày trong Hình 1 [7]:



Hình 1. Sơ đồ khối cảm biến



Hình 2. Sơ đồ tổng quát của mạch dao động

Trong đó: Bộ dao động tạo ra dao động điện từ cao tần. Bộ khuếch đại dùng để khuếch đại công suất sóng vô tuyến từ bộ dao động hoặc khuếch đại sóng phản xạ chính thu được từ anten thu RX. Anten phát TX và thu RX dùng để phát và thu sóng cao tần; Bộ trộn tần có nhiệm vụ so sánh tần số sóng phản xạ từ vật thể và tần số sóng gốc để phát hiện ra sai lệch tần số do vật chuyển động gây ra theo hiệu ứng Doppler. Bộ lọc để lọc nhiễu cao tần.

Nguyên lý hoạt động: Cảm biến chuyển động tạo ra sóng Viba tần số f_0 lan truyền với vận tốc ánh sáng c , khi gặp vật cản thì sóng bị phản xạ lại với tần số f_R . Nếu vật cản chuyển động với vận tốc v_r thì sai lệch tần số Δf giữa sóng phản xạ và sóng gốc được tính theo hiệu ứng Doppler [8]:

$$\Delta f = f_R - f_0 = f_0(1 + v_r/c) \left(\frac{1}{1 - v_r/c} \right) - f_0 \approx \frac{2v_r}{c} f_0 \quad (1)$$

Dựa vào sai lệch tần số Δf thiết bị có thể phát hiện ra chuyển động, thậm chí tính toán được vận tốc chuyển động của vật.

3. Thiết kế bộ dao động, bộ khuếch đại và đánh giá kết quả

3.1. Bộ dao động (Local Oscillator)

Trong cảm biến chuyển động sử dụng sóng viba, mạch dao động được thiết kế để tạo dao động điện từ cao tần (2,45-2,5 GHz) hình sin có biên độ và tần số ổn định [9]. Mạch cần phối hợp trở kháng 50Ω , sử dụng nguồn 1 chiều 5V.

Mạch dao động được thiết kế theo mô hình trở kháng âm (Negative Resistance Oscillator – NRO), sử dụng phân tử transistor cao tần mắc theo sơ đồ Base chung. Tín hiệu phản hồi về cực gốc và có mạch cộng hưởng song song với đầu ra bộ dao động theo Hình 2 [9], [10].

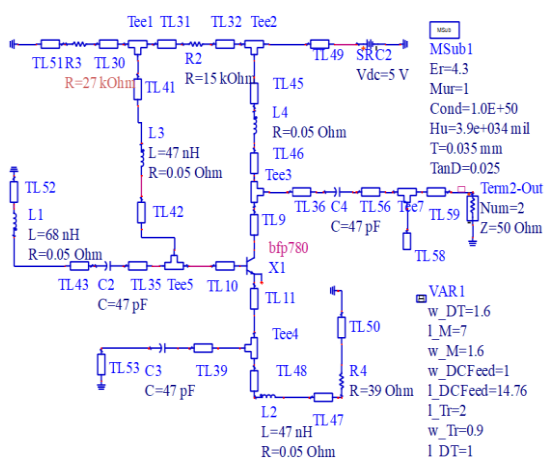
Các phân tử cơ bản của mạch dao động bao gồm [11], [12]: Transistor BFP780 Infineon, các điện trở và tụ điện dán (Surface Mount Devices) của hãng PANASONIC, cuộn cảm của hãng Mouser. Vật liệu FR4 được sử dụng làm đường vi dải. Việc thiết kế bộ dao động trải qua 3 bước chính [9], [13]:

Bước 1: Phân cực cho transistor trong chế độ tĩnh. Bước này giúp tìm ra điện áp và dòng điện tối ưu cần đặt vào các cực của transistor.

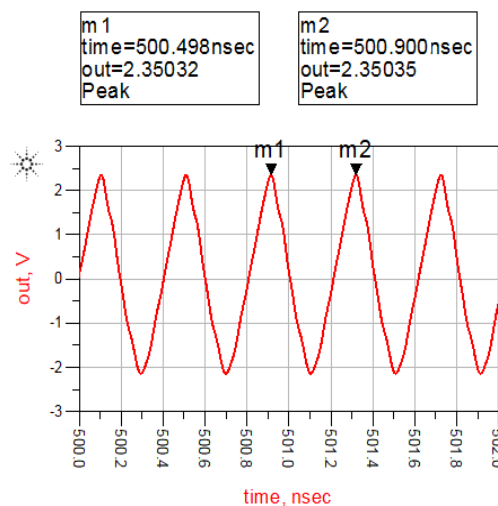
Bước 2: Xây dựng mạch khuếch đại không ổn định bằng các linh kiện điện tử, trong đó có tính đến vị trí linh kiện, kích thước đường truyền vi dải, phối hợp trở kháng,...

Bước 3: Lựa chọn trở kháng đầu ra của mạch khuếch đại tại vùng không ổn định, đồng thời kết hợp với quá trình phối hợp trở kháng sẽ thu được mạch dao động theo yêu cầu.

Kết quả thiết kế mạch dao động thể hiện ở Hình 3 và kết quả mô phỏng dao động thể hiện ở Hình 4.



Hình 3. Thiết kế hoàn thiện mạch dao động



Hình 4. Sóng dao động của mạch dao động

Kết quả mô phỏng ở Hình 4 cho thấy, mạch dao động tạo ra dao động có tần số dao động 2,49 GHz với chu kỳ 0,402ns, kết quả này nằm trong khoảng tần số mà mục tiêu thiết kế đặt ra. Biên độ dao động của tần số $V = 2,35V$.

3.2. Bộ khuếch đại

Để đảm bảo hiệu quả lọc nhiễu và khuếch đại công suất của sóng tần chính, bộ khuếch đại cần đảm bảo tần số làm việc trung tâm 2,49 GHz và hệ số khuếch đại lớn hơn 12 dB [14], [15]. Ngoài ra để đảm bảo tính thực tiễn và đồng bộ trong thiết kế, bộ khuếch đại cần sử dụng các loại linh kiện và vật liệu vi dải tương tự bộ dao động. Có 4 bước chính để thiết kế mạch khuếch đại [9], [14]:

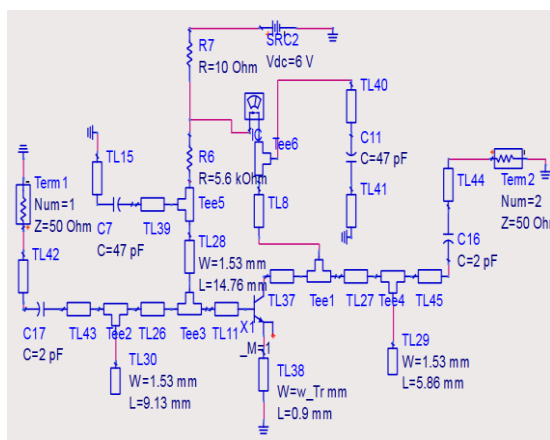
Bước 1: Phân cực và lựa chọn điểm làm việc của transistor.

Bước 2: Xét tính ổn định của transistor.

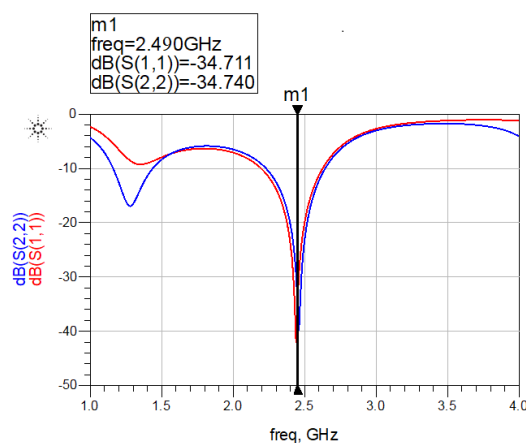
Bước 3: Lựa chọn thông số mạch và phối hợp trở kháng.

Bước 4: Hiệu chỉnh và hoàn thiện thiết kế.

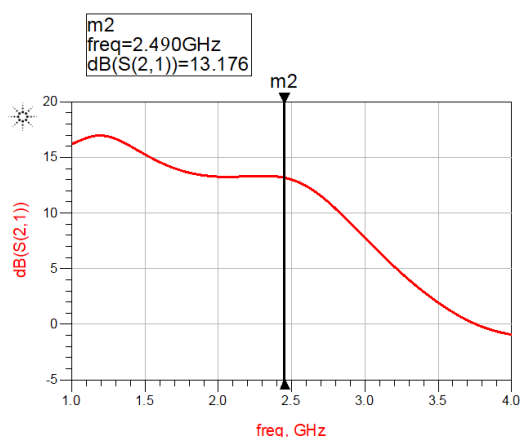
Kết quả thiết kế mạch khuếch đại trình bày ở Hình 5, Hình 6, Hình 7.



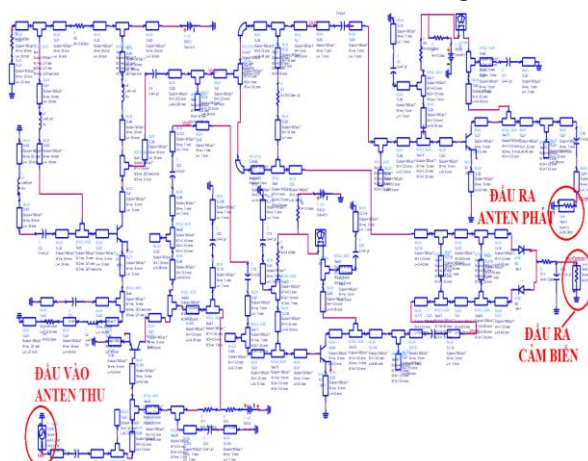
Hình 5. Mạch khuếch đại



Hình 6. Hệ số tán xạ tại tần số trung tâm



Hình 7. Hệ số khuếch đại của mạch khuếch đại



Hình 8. Thiết kế cảm biến chuyển động sử dụng sóng RF

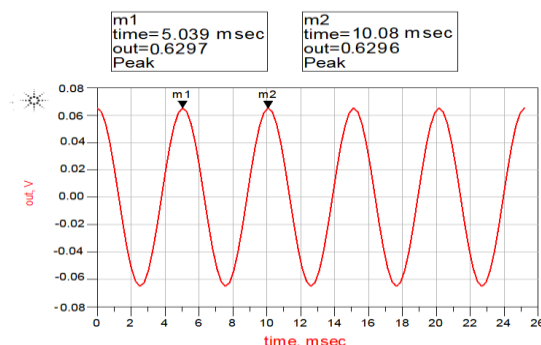
Kết quả mô phỏng mạch khuếch đại tại Hình 6 cho thấy, hệ số tán xạ đầu vào $S(1,1)$ và đầu ra $S(2,2)$ tại tần số 2,49 GHz đều nhỏ hơn -30 dB. Nghĩa là công suất nguồn vào và công suất mạch đi ra đạt hiệu suất gần 100%, không bị tán xạ hoặc cản trở. Tuy nhiên, việc hiệu chỉnh thông số mạch và phối hợp trở kháng để giảm $S(1,1)$ và $S(2,2)$ có thể làm cho hệ số khuếch đại $S(2,1)$ của mạch khuếch đại giảm đáng kể. Trong kết quả mô phỏng Hình 7 cho thấy hệ số khuếch đại tại tần số trung tâm của bộ khuếch đại $S(2,1)$ đạt 13,2 dB lớn hơn mục tiêu thiết kế (12 dB).

3.3. Đánh giá kết quả

Để đánh giá hoạt động của bộ dao động và bộ khuếch đại trong cảm biến, nhóm tác giả đã thực hiện ghép nối 2 bộ này vào thiết kế tổng thể của cảm biến theo Hình 8.

Mô phỏng với giả lập một vật chuyển động có tốc độ 12,15 m/s, đi vào vùng làm việc của cảm biến. Tính toán theo (1) thì lệch tần do hiệu ứng Doppler $\Delta f \approx 200$ (Hz).

Kết quả mô phỏng tín hiệu đầu ra của cảm biến có dao động Doppler theo đúng giả thiết đã đưa ra tại Hình 9 với tần số xấp xỉ 200 Hz và biên độ của tín hiệu dao động đạt 0,6 V. Tín hiệu này đủ lớn để có thể xử lý ở các khối chức năng khác phía sau cảm biến.



Hình 9. Tín hiệu thu được tại đầu ra của cảm biến

4. Kết luận

Từ việc nghiên cứu cảm biến chuyển động sử dụng sóng Viba, nhóm tác giả bước đầu đã thiết kế thành công bộ dao động và bộ khuếch đại (tần số 2,49 Ghz) đảm bảo yêu cầu kỹ thuật đặt ra. Ngoài ra, khi tích hợp hai bộ phận này với các khối chức năng khác trong cảm biến chuyển động, tín hiệu mô phỏng đầu ra của cảm biến phù hợp với tính toán, thiết kế. Với kết quả thiết kế đạt được, việc chế tạo và ứng dụng cảm biến chuyển động sử dụng sóng Viba vào trong thực tiễn là có cơ sở và khả thi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] D. Tuteja, D. Jain, H. Singla, and D. Sharma, "Detailed Survey on Motion Sensing," *Journal of Basic and Applied Engineering Research*, vol. 1, no. 8, pp. 27-31, October, 2014.
- [2] J. S. Wilson, *Sensor Technology Handbook*. Elsevier Inc, 2005.
- [3] M. A. Belen, P. Mahouti, and F. Güneş, "Design and implementation of doppler microwave motion sensor for indoor application," *Sigma J Eng & Nat Sci*, vol. 36, no. 3, pp. 849-859, 2018.
- [4] B. C. Li, J. Cummings, J. Lam, E. Graves, and W. Wu, "Radar Remote Monitoring of Vital Signs," *February 2000 IEEE Microwave Magazine*, 2000, pp. 47-56.
- [5] W. Ma, Z. Xiao, D. Tang, F. Liu, and W. Hu, "A Real-Time 2.4-GHz Doppler Radar System with All Functionalities on Board for Vital Signal Detection," *IEEE 15th International Conference on Solid-State & Integrated Circuit Technology (ICSICT)*, 2020.
- [6] A. Genewsky, D. E. Heinz, P. M. Kaplick, K. Kilonzo, and C. T. Wotjak, "A simplified microwave-based motion detector for home cage activity monitoring in mice," *Journal of Biological Engineering*, vol. 11, no. 36, pp. 1-12, 2017, doi: 10.1186/s13036-017-0079-y.
- [7] C. Li and J. Lin, *Microwave Noncontact Motion Sensing*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2014, pp. 7-18.
- [8] H. Tom, *The Doppler Effect – Lesson 3, Waves*. Physics tutorial. The Physics Classroom, 2017.
- [9] Agilent Technologies, Inc, *ADS Circuit Design Cookbook 2.0, USA*, 2012, 2012, pp. 3-9, 67-127, 171-215.
- [10] G. D. Vendelin, A. M. Pavio, and U. L. Rohde, *Microwave Circuit Design Using Linear And Nonlinear Techniques*, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005, pp. 53-57, 192-268, 520-540.
- [11] Infineon Technologies AG, *Data Sheet BFP780*. Published by Infineon Technologies AG 81726 Munich, Germany, 2015.
- [12] Infineon Technologies AG, *Data Sheet BAT17*. Published by Infineon Technologies AG 81726 Munich, Germany, 2015.
- [13] U. L. Rohde, A. K. Poddar, and G. Boock, *The design of modern microwave oscillators for wireless applications*. John Wiley & Sons, inc, German, 2005.
- [14] A. Bandla, *Highly Linear 2.45 GHz Low-Noise Amplifier Design*, Department of Science and Technology Institutionen Linköping University, Sweden, 2015.
- [15] B. Maruddani, M. Ma'sum, E. Sandi, Y. Taryana, T. Daniati, and W. Dara, "Design of two stage low noise amplifier at 2.4 - 2.5 GHz frequency using microstrip line matching network method," *4th Annual Applied Science and Engineering Conference, Conference Series 1402*, 2019.