

Nghiên cứu, chế tạo mô đun phát tín hiệu mã pha trong radar dải sóng dm

Đỗ Trung Kiên^{1,*}, Bạch Gia Dương², Vũ Tuấn Anh², Phạm Văn Thành¹

¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN, 334 Nguyễn Trãi, Hà Nội, Việt Nam

²Trường Đại học Công nghệ, ĐHQGHN, 144 Xuân Thủy, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 25 tháng 02 năm 2008

Tóm tắt. Bài báo trình bày một số kết quả thực nghiệm trong chế tạo bộ phát của radar xung. Kít phát triển vi điều khiển PIC16F877A phát ra mã Barker 13 bit và một số mã đa dạng khác thường được sử dụng trong các hệ thống radar. Bộ dao động nội được thiết kế trong phạm vi dải tần từ 800MHz đến 900MHz bởi bộ tổ hợp tần số LM2316 và mạch VCO. Tần số của bộ dao động có thể dễ dàng thay đổi với sự kết hợp của PIC16F877A. Bộ khuếch đại công suất cao tần được chế tạo có công suất xung lồi ra 90W sử dụng công nghệ mạch dải cho phối hợp trở kháng lồi vào và lồi ra của transistor cao tần.

Từ khóa: Mã Barker, nén xung, dao động nội, khuếch đại công suất cao tần, mạch dải.

1. Giới thiệu

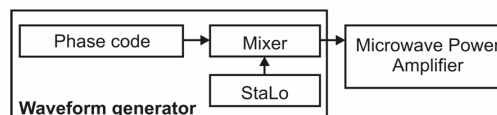
Nén xung là kỹ thuật được sử dụng để có được công suất trung bình của tín hiệu phát trong khi vẫn đảm bảo được độ phân giải cao cho hệ thống định vị vô tuyến. Nén xung được thực hiện bằng các bộ lọc phối hợp hoặc dùng các hàm tương quan. Trong số các dạng sóng sử dụng trong kỹ thuật nén xung, các mã Barker có các hàm tự tương quan rất thích hợp cho các kỹ thuật radar xung.

Bài toán liên quan đến kỹ thuật radar có rất nhiều phần liên quan đến lĩnh vực truyền thông sóng ngắn. Với bộ khuếch đại công suất cao tần, tại đầu ra của bộ phát, tín hiệu cần được khuếch đại trước khi truyền. Khuếch đại công suất cao tần là phần không thể thiếu trong các ứng dụng truyền dẫn qua ăng-ten.

Tại các vùng tần số thấp, việc thiết kế các bộ khuếch đại không khó khăn gì mà chỉ có một chút chú ý khi lựa chọn điểm làm việc cho transistor sao cho có được công suất lồi ra cực đại. Nhưng với bộ khuếch đại hoạt động trong miền tần số cao, cỡ 900MHz thì cần phải sử dụng kỹ thuật mạch dải.

2. Một số lý thuyết của hệ radar

Sơ đồ khối đơn giản của một bộ phát radar được trình bày trên Hình 1 [1].



Hình 1. Sơ đồ khối của một bộ phát radar.

Khởi phát dạng sóng (waveform generator) gồm mô đun mã pha để tạo ra các mã cụ thể cho

* Tác giả liên hệ. ĐT: 84-4-8582254.
E-mail: dtkien@vnu.edu.vn

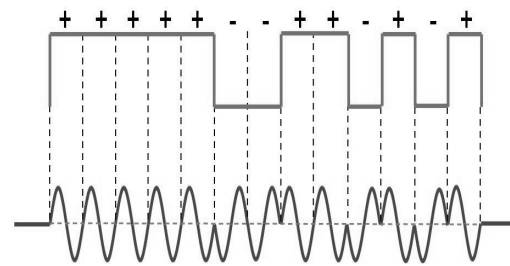
xung mã pha; khối dao động nội ổn định (stable local oscillator - StaLo) phát ra dao động ổn định tần số RF để trộn trung tần cho khối phát và tách trung tần cho khối thu. Khối trộn (mixer) chính để thực hiện nhiệm vụ trộn này. Khối khuếch đại công suất cao tần (microwave power amplifier) để cung cấp đủ năng lượng cần thiết cho tín hiệu radar trước khi truyền phát ra ăng-ten để thực hiện việc truyền thông trên các quãng đường dài.

2.1. Mã Barker [2,3]

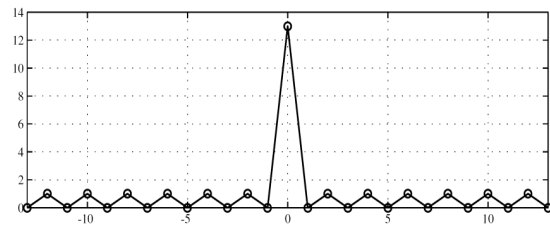
Nén xung là một kỹ thuật quan trọng không thể thiếu trong quá trình xử lý tín hiệu thu về của radar để phân tích các thông tin của mục tiêu. Trong quá trình nén xung, một xung dài độ rộng τ được chia thành N xung nhỏ hơn, mỗi xung có độ rộng $\Delta\tau = \tau/N$. Pha của mỗi xung nhỏ này theo điều chế khóa dịch pha nhị phân (binary phase shift keying signal - BPSK) thì sẽ chọn pha 0 cho bit “1” hoặc điện áp “+”, pha π cho bit “0” hoặc điện áp “-”. Mã Barker được ưa chuộng vì đỉnh của thùy chính trong hàm tự tương quan (autocorrelation function) có độ cao chính bằng N , N là độ dài của mã Barker, trong khi độ cao của thùy phụ hai bên chỉ bằng 1. Một số mã Barker nổi tiếng được trình bày trong Bảng 1. Tín hiệu và hàm tự tương quan của mã Barker 13 bit được chỉ ra trên Hình 2 và Hình 3.

Bảng 1. Một số mã Barker quan trọng

Chiều dài mã	Mã và độ suy giảm của thùy phụ (dB)	
2	10	(6.0)
3	110	(9.5)
4	1110	(12.0)
5	11101	(14.0)
7	1110010	(16.9)
11	11100010010	(20.8)
13	1111100110101	(22.3)



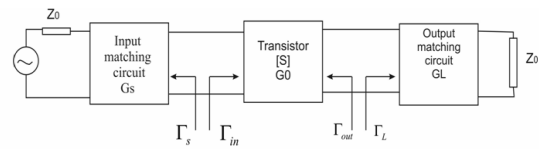
Hình 2. Mã Barker 13 bit và tín hiệu BPSK tương ứng.



Hình 3. Hàm tự tương quan của mã Barker 13 bit.

2.2. Khuếch đại công suất cao tần [4]

Đây là khối mạch không thể thiếu trong truyền dẫn sóng điện từ qua ăng-ten. Việc thiết kế khối này bao gồm việc chọn và ổn định điểm làm việc tĩnh cho transistor, đo lường các tham số S , thiết kế mạch dải cho phối hợp trở kháng lối vào và lối ra, đo lường các thông số kỹ thuật của mạch. Sơ đồ khối cơ bản của mạch khuếch đại được chỉ ra trong Hình 4.



Hình 4. Mô hình khối khuếch đại công suất.

Hoạt động của các phần tử tại các tần số cao cần được phân tích sử dụng các tham số về tán xạ $[S]$ (scattering). Các tham số này được xác định theo các sóng tương ứng.

$$S_{ij} = \frac{V_i^-}{V_j^+} \bigg|_{V_k^+ = 0 \text{ for } k \neq j} \quad (1)$$

Các bộ phận để phối hợp trở kháng lối vào và lối ra cho mạch transistor (*Input/Output matching circuit*) ở đây sử dụng kỹ thuật mạch dải. Hệ số khuếch đại tổng cộng $G_T = G_S \cdot G_0 \cdot G_L$

$$G_T = \frac{1 - |\Gamma_S|^2}{|1 - S_{11}\Gamma_S|^2} \cdot |S_{21}|^2 \cdot \frac{1 - |\Gamma_L|^2}{|1 - S_{22}\Gamma_L|^2} \quad (2)$$

Với G_S , G_0 , G_L là các hệ số khuếch đại chỉ ra trong hình 4. Γ_S , Γ_L là các hệ số phản xạ tại nguồn và tải tải.

3. Các kết quả thực nghiệm

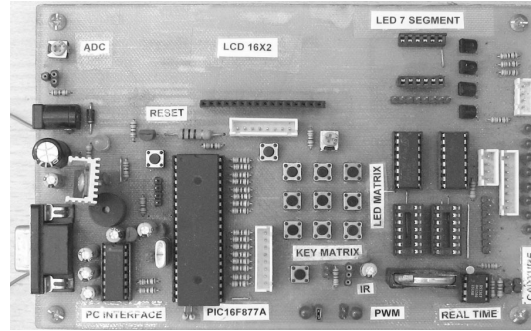
3.1. Tạo mã Barker 13 bit sử dụng bo mạch vi điều khiển PIC16F877A

Kít phát triển cho vi điều khiển PIC16F877A được xây dựng để có thể tạo ra bất cứ mã Barker nào để cập trong Bảng 1. Ngoài ra với tốc độ xử lý nhanh và sự linh động tiện lợi của vi điều khiển, bo mạch có thể tạo ra bất cứ một mã nào khác dùng cho yêu cầu của radar (Hình 5).

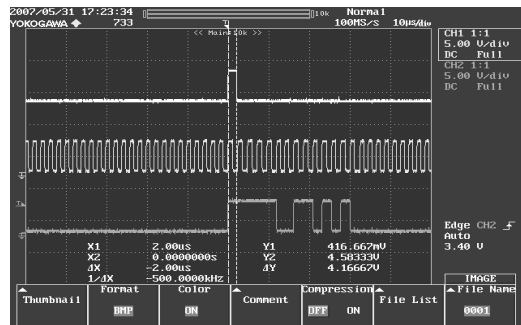
Mã Barker 13 bit trong Hình 6 được tạo ra với đầy đủ các thông số kỹ thuật cần có trong thực tế cho một hệ radar: độ rộng bit $2\mu s$, chiều dài cả chuỗi 13 bit là $26\mu s$, tần số lặp lại xung 1kHz.

Ngoài ra vi điều khiển còn đưa ra tại 2 chân khác là xung nhịp đồng hồ và một xung đơn đánh dấu bắt đầu của chuỗi bit.

Khi người lập trình muốn phát ra một mã khác, có thể dễ dàng thay đổi trong chương trình C nạp vào vi điều khiển.



Hình 5. Kít phát triển PIC16F877A.

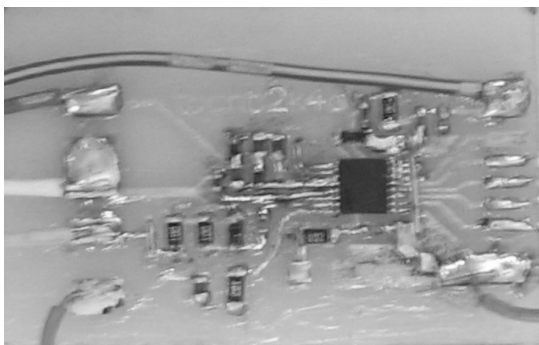


Hình 6. Mã Barker N = 13.

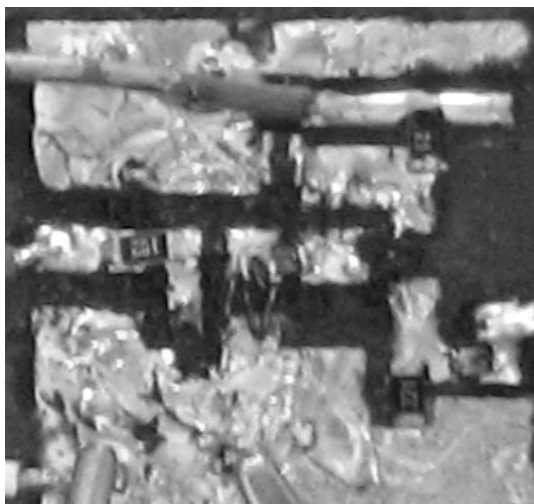
3.2. Khối tạo dao động nội

LM2316 được dùng cùng với khối dao động điều khiển bằng điện áp VCO (Voltage Controlled Oscillator) để phát ra một tín hiệu nhiễu rất thấp, ổn định để điều khiển bộ dao động nội của bộ thu phát radar. Tần số của dao động nội có thể linh hoạt thay đổi bởi dữ liệu phát ra từ vi điều khiển PIC16F877A đẩy vào trong thanh ghi dữ liệu 21 bit của LM2316.

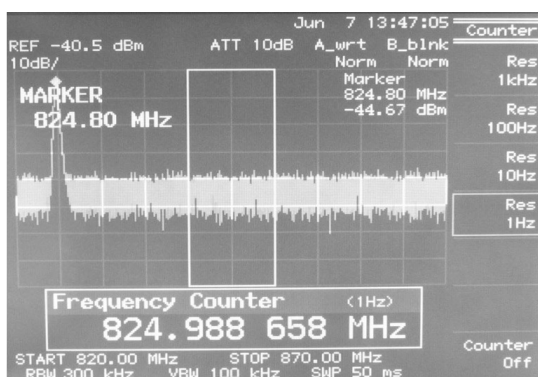
Trong nội dung thực nghiệm yêu cầu, chúng tôi đã điều chỉnh để dải tần của khối dao động nội có thể tùy biến từ 800MHz đến 900MHz. Sai số của tần số phát là 10Hz tương đương chất lượng ổn định của thạch anh. Hình 7 và Hình 8 chụp từ mạch thực nghiệm, Hình 9 là tần số tín hiệu đo trên máy phân tích phổ.



Hình 7. Khối tổ hợp tần số LM2316.



Hình 8. Mạch VCO.

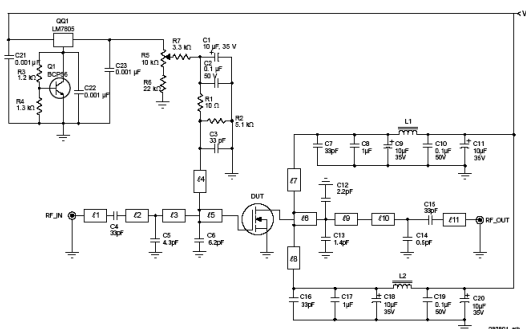


Hình 9. Tần số dao động trên máy phân tích phổ R3131A.

3.3. Khối khuếch đại công suất cao tần công suất xung 90W

Mô đun khuếch đại công suất làm việc trong chế độ xung, công suất xung 90W được thiết kế chế tạo trên công nghệ mạch dải (Microstrip).

Sơ đồ nguyên lý tầng khuếch đại công suất 90W được trình bày trong Hình 10



Hình 10. Sơ đồ nguyên lý mạch khuếch đại công suất cao tần.

Công suất ra có thể điều chỉnh nhờ điều chỉnh điện áp phân cực trong sơ đồ nguyên lý trên Hình 10. Trong đó biến trở R5 điều chỉnh điện áp phân cực của transistor.

Các bộ lọc nguồn được trình bày trong sơ đồ làm ổn định chế độ làm việc, lọc nhiễu và tránh tự kích cho tầng khuếch đại.

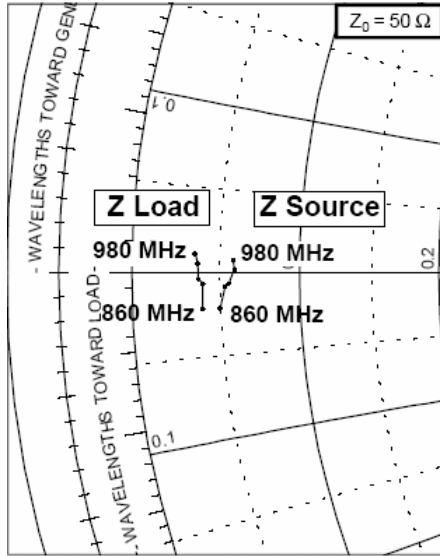
Transistor Q1 làm nhiệm vụ dịch mức lỗi ra của IC ổn áp LM7805.

Bộ lọc gồm C1, C2, C3, R1, R2 có nhiệm vụ lọc điện áp phân cực cho cực cửa (cực G).

Bộ lọc gồm C7, C8, C9, C10, C11, C16, C17, C18, C19, C20, các cuộn chặn L1 và L2 có nhiệm vụ lọc điện áp máng (cực D) cho transistor MOSFET.

Sử dụng điện trở phức trên giản đồ Smith Hình 11 để thiết kế mạch dải phối hợp trở kháng với điện trở lỗi vào và lỗi ra trong dải tần số từ 830MHz tới 900MHz. Trở kháng vào ra của transistor ở tần số từ 830MHz tới 860MHz

được tính từ phương pháp ngoại suy tuyến tính trên giản đồ Smith. Các tham số mạch dài khi sử dụng mảng mạch in PCB loại FR4 tính toán từ phần mềm thiết kế mô phỏng Ansoft được trình bày trên Bảng 2.

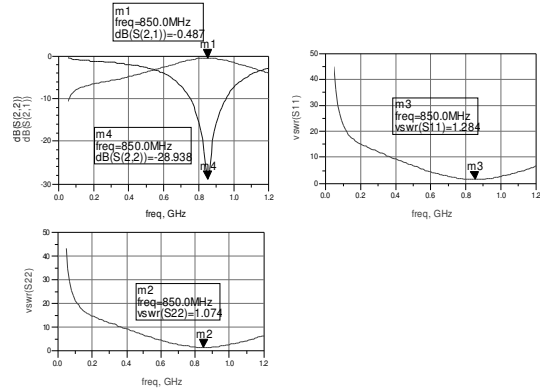


Hình 11. Biểu đồ Smith tính toán trở kháng lối vào và lối ra của transistor.

Bảng 2. Các thông số mạch dài tính bởi phần mềm Ansoft

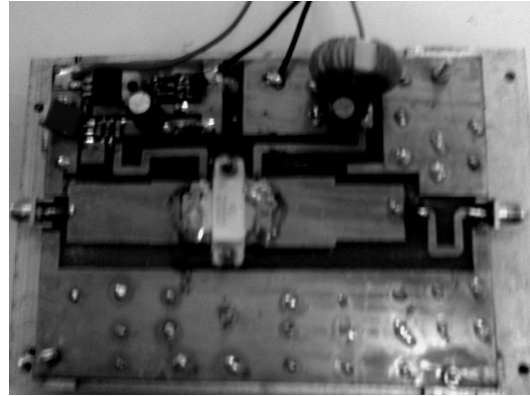
Mạch dài (l_i)	Z_0 (Ω)	Độ dài điện (Độ)
l_1	2.2784	12.6282
l_2	11.3663	57.4394
l_3	10.7038	34.6279
l_4	49.7781	90.0268
l_5	10.7038	6.28856
l_6	10.0064	6.87789
l_7	49.7781	90.0268
l_8	49.7781	90.0268
l_9	10.0064	51.3795
l_{10}	12.1954	44.8828
l_{11}	54.8981	79.1619

Kết quả mô phỏng dùng phần mềm ADS với hệ số truyền, khuếch đại công suất, hệ số sóng đứng và các tham số S_{11} S_{12} S_{21} S_{22} khi ghép nối với tải vào/ra 50Ω được trình bày trên Hình 12.



Hình 12. Các tham số S mô phỏng tại 850MHz.

Mạch điện của khối khuếch đại công suất cao tần lắp ráp trong thực tế được đưa ra trong Hình 13



Hình 13. Khối khuếch đại công suất cao tần dùng mạch dài.

- Chế độ làm việc của Transistor được chọn nhờ điện áp phân cực U_G cùng với biên độ tín hiệu và để cho transistor làm việc trong chế độ AB.

- Dải thông bộ khuếch đại (dải tần số công tác) 820MHz tới 890MHz, trong dải tần làm việc độ nhấp nhô biên độ không quá 1 dBm

- Trở kháng vào ra 50Ω

- Đầu nối kiểu SMA chuẩn, dây cáp RG-58 A/U

- Mạch in PCB là mạch dải (Microstrip), tham số hằng số điện môi ϵ_r , độ dày lớp điện môi h, độ dày lớp dẫn điện T được đo trực tiếp khi sử dụng mảng mạch PCB hoặc theo tham số kỹ thuật của nhà sản xuất.

- Độ rộng xung tối đa 210 μ s, chu kỳ lặp lại 2000 μ s, công suất tín hiệu vào cực đại 30dBm, công suất ra trung bình không nhỏ hơn 40dBm đo trên máy đo công suất, tương ứng với công suất xung không nhỏ hơn 90W.

- Nguồn nuôi : Nguồn một chiều 12V và 24V công suất 250W

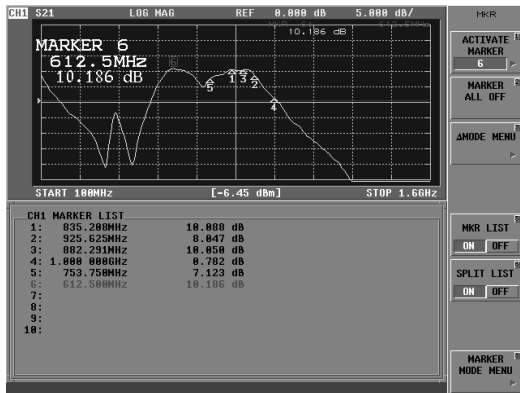
- Điều kiện làm việc :

+ Nhiệt độ môi trường -20° tới 70°

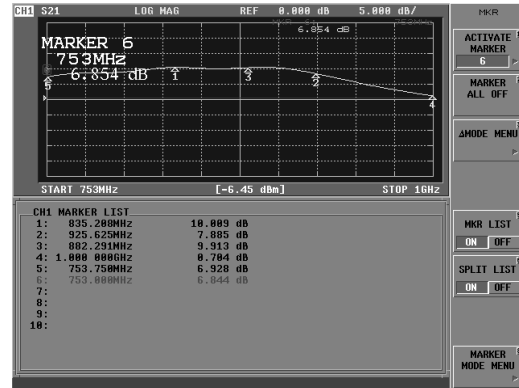
+ Độ ẩm môi trường 100%

- Toàn bộ tầng khuếch đại được gắn trên phiên tỏa nhiệt hợp kim nhôm và được tản nhiệt bằng quạt thông gió.

Kết quả được kiểm tra trên máy phân tích phổ và đo đặc trên máy phân tích mạng về đặc trưng tần số biên độ như Hình 14 và Hình 15.



Hình 14. Đặc trưng tần số đánh dấu tại 612.5MHz.



Hình 15. Đặc trưng tần số đánh dấu tại 753.0MHz.

Để nâng công suất cao hơn, một giải pháp đã được thử nghiệm là cộng công suất từ các mô đun thành phần sử dụng các bộ Dividers/Combiners công suất lớn. Việc chế tạo thành công các mô đun cơ sở cho các bộ cộng là công đoạn quan trọng nhất cho việc chế tạo máy phát cao tần công suất lớn.

4. Kết luận

Sử dụng vi điều khiển PIC16F877A, mã Barker của tín hiệu radar có thể được tạo ra rất dễ dàng với khả năng rất linh hoạt trong việc thay đổi độ rộng xung, chu kỳ lặp lại xung. Đây hoàn toàn là một ưu điểm nổi bật so với các phương pháp truyền thống sử dụng các IC số trong các mạch điện phức tạp mới có thể tạo ra các mã này. Hơn nữa, theo các mạch cũ đó, do độ trễ tổng cộng của rất nhiều linh kiện sẽ không thể thu được các mã có độ rộng xung hẹp, thời gian chuyển mức gần như tức thời như trong mạch dùng vi điều khiển. Ngoài ra, mạch vi điều khiển trong thực nghiệm này còn được dùng để điều chỉnh tần số của khối dao động nội mà không cần thay đổi các thông số linh kiện của mạch.

Khối khuếch đại công suất cao tần cũng đã được lắp ráp thành công với việc tính toán mô phỏng và chế tạo thực tế phần mạch dài kết hợp với transistor cao tần để có được sự phối hợp trở kháng tốt. Đây là một kết quả bước đầu tốt đẹp để tiếp tục xây dựng các bộ cộng công suất để có được máy phát công suất cao tần công suất lớn.

Tài liệu tham khảo

- [1] R. Mahafza Bassem, *Matlab Simulation for Radar Systems Design*, Chapman & Hall /CRC, United State of America, 2004.
- [2] Werner Wiesbeck, *Lecture Script of Radar System Engineering*, Institute for Very High Frequency Technology and Electronics, Germany, 2007
- [3] Nadav Levanon, *Radar Signals*, Wiley and Sons, Inc., United State of America, 2004
- [4] M. Pozar David, *Microwave Engineering*, Second Edition, Wiley and Sons, Inc., United State of America, 1998.

Research, fabrication of a transmitter of phased-code dm pulse radar system

Do Trung Kien¹, Bach Gia Duong², Vu Tuan Anh², Pham Van Thanh¹

¹College of Science, VNU, 334 Nguyen Trai, Hanoi, Vietnam

²College of Technology, VNU, 144 Xuan Thuy, Hanoi, Vietnam

This paper reports some of the experimental results of a pulse radar transmitter. A kit of microcontroller PIC16F877A generates a 13-bit Barker code and various other codes that often use in the radar system. A stable local oscillator is designed with the range of 800MHz to 900MHz by LM2316 and VCO circuit. The frequency of the oscillator can be easily changed with the help of the PIC16F877A above. A microwave power amplifier is fabricated that have output pulse power of 90W using a microstrip technique for input/output matching network.