

What is antenna tuning?

Một anten có điện trở, điện dung và độ tự cảm. Chúng được xác định bởi các đặc tính vật lý của ăng-ten bao gồm hình dạng, kích thước, vật liệu và cũng bởi môi trường. Khi một tín hiệu tần số cao được đưa đến một ăng-ten để bức xạ, không phải tất cả công suất được ăng-ten bức xạ mà một phần nhỏ của nó được phản xạ trở lại nguồn. Những sóng phản xạ này tạo ra ' *Sóng đứng* ' trong đường truyền và dẫn đến tổn thất. Phản xạ tối thiểu thu được khi trở kháng nguồn bằng trở kháng tải. Để giảm những phản xạ này và sau cùng là sự tổn thất công suất, trở kháng tải (tức là ăng ten) phải bằng trở kháng nguồn (thường là 50 ohm hoặc được mô tả khác). Điều chỉnh ăng-ten về cơ bản là quá trình kết hợp trở kháng của ăng-ten với trở kháng nguồn. Nếu anten đã có trở kháng bằng trở kháng nguồn thì không cần điều chỉnh.

Why tune an antenna?

Ăng-ten có lẽ là phần quan trọng nhất của hệ thống không dây, vì nó chịu trách nhiệm gửi và nhận dữ liệu trên lớp vật lý. Một ăng-ten được điều chỉnh phù hợp có thể giúp ích theo nhiều cách. Nó có thể tăng phạm vi hoạt động và cũng có thể giúp giảm tiêu thụ điện năng của thiết bị không dây.

VSWR, S11, Return Loss:

Đây là những thuật ngữ được sử dụng và nghe nhiều nhất khi điều chỉnh ăng-ten. VSWR là viết tắt của *Voltage Standing Wave Ratio* . Đây là một hàm của hệ số phản xạ, mô tả công suất phản xạ trở lại từ ăng-ten. Hệ số phản xạ được gọi là s11 hoặc tổn thất trả về. VSWR luôn là một số thực và dương đối với ăng-ten. VSWR càng nhỏ thì ăng ten càng phù hợp với đường truyền và càng truyền tải được nhiều năng lượng cho ăng ten. VSWR tối thiểu là 1,0. Trong trường hợp này, không có nguồn nào được phản xạ từ ăng-ten, điều này là lý tưởng. Nói chung, nếu VSWR dưới 2, kết hợp ăng-ten được coi là rất tốt và sẽ thu được rất ít do kết hợp trở kháng.

VSWR	(s11)	Reflected Power (%)	Reflected Power (dB)
1.0	0.000	0.00	-Infinity
1.5	0.200	4.0	-14.0
2.0	0.333	11.1	-9.55
2.5	0.429	18.4	-7.36

3.0	0.500	25.0	-6.00
3.5	0.556	30.9	-5.10
4.0	0.600	36.0	-4.44

Có thể thấy trong bảng, VSWR của 2 tương ứng với 11,1% công suất phản xạ. Điều này có nghĩa là tới ăng-ten, 89,9% công suất được truyền đi. VSWR 1,5 sẽ tăng công suất truyền này lên 96%, đây không phải là một bước nhảy quá lớn. Do đó, giảm VSWR từ 2 xuống 1,8-1,7 sẽ không mang lại nhiều cải tiến cho việc điều chỉnh ăng-ten của bạn.

Lựa chọn ăng-ten

Các loại anten thường được sử dụng:

Whip Antenna:

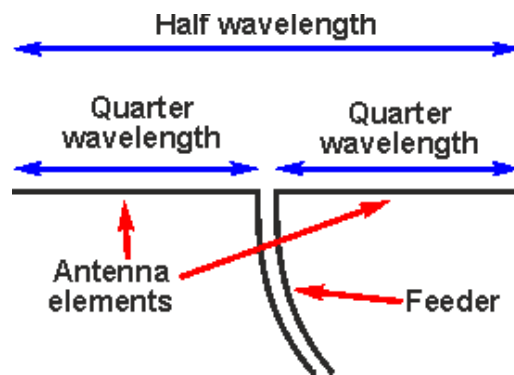
Whip antennas (Anten đơn cực): Được chế tạo sẵn và có sẵn trên thị trường. Chúng là Anten đẳng hướng ngoại trừ dọc theo chiều dài của Anten (Anten đơn cực). Chúng thường rất hiệu quả và có sẵn với đầu nối tiêu chuẩn cắm và sử dụng đơn giản (SMA, U.FL). Nhược điểm lớn nhất của chúng là kích thước và do đó chúng không thích hợp để đặt bên trong hộp.



Whip Antenna

Dipole Antenna:

Anten lưỡng cực được cấu tạo đơn giản và không yêu cầu thêm bất kỳ ground plane. Hình thái bức xạ của chúng tương tự như Anten đơn cực, đẳng hướng ngoại trừ dọc theo chiều dài của lưỡng cực (Donut Shaped). Có nhiều sửa đổi khác nhau của Anten lưỡng cực, Half-wave, Monopole, Folded Dipole, Short Dipole v.v. Bất lợi lớn của chúng cũng là kích thước của chúng.



Half Wave Dipole Antenna

PCB antenna:

Anten PCB nhỏ và gọn. Chúng không yêu cầu bất kỳ thành phần matching nào vì quá trình khớp được thực hiện bằng cách thay đổi chiều dài của Anten. Chúng chủ yếu được sử dụng ở những nơi có hạn chế về không gian, chẳng hạn như bên trong thiết bị IOT v.v. Nhược điểm lớn của chúng là chúng không hiệu quả như Anten Dipole. Một điều khác cần lưu ý là Anten có thể phải được điều chỉnh lại, nếu có bất kỳ thay đổi nào được thực hiện trên PCB. Ví dụ, điều chỉnh Anten có thể bỏ đi, nếu vật liệu PCB, lớp điện môi, độ dày PCB, hoặc một số thành phần khác bị thay đổi.



ESP-12F WiFi Module with PCB Antenna

Dielectric resonator antenna (Chip Antenna):

Đây là Anten nhỏ gọn. Chúng cũng là anten đẳng hướng. Chúng thường yêu cầu ground plane. Trở kháng đầu vào của chúng khác nhau và do đó cần phải sự kết nối phù hợp. Nhược điểm lớn của chúng là không hiệu quả như Anten lưỡng cực. Trong hầu hết các trường hợp, chúng cần được điều chỉnh thích hợp với các thành phần, mạch phù hợp nếu không dẫn đến sự tổn hao.

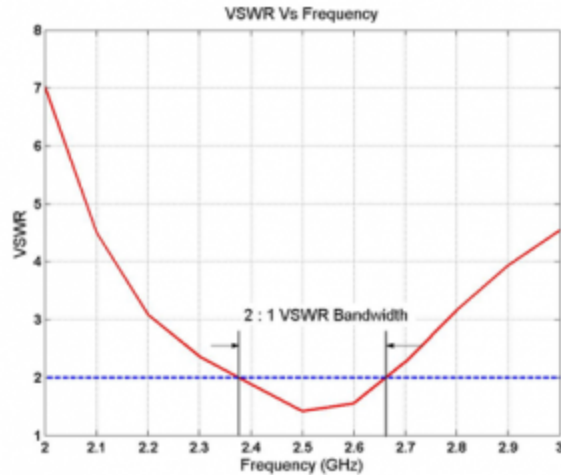


Working Frequency range (Dải tần số làm việc):

Kích thước của Anten quyết định dải tần làm việc. Kích thước Anten càng lớn thì tần số cộng hưởng càng nhỏ và ngược lại. Anten được chọn phải theo dải tần làm việc được yêu cầu.

Bandwidth

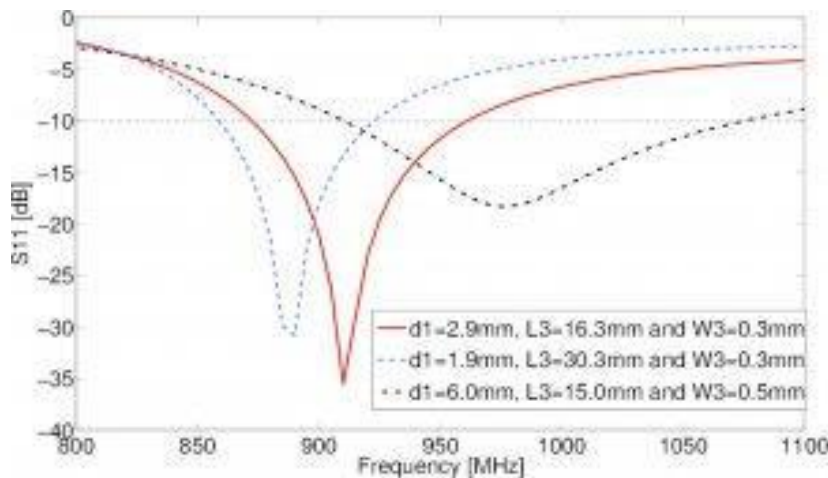
Bandwidth của Anten đề cập đến dải tần số mà Anten có thể hoạt động chính xác. bandwidth của Anten là số Hz mà Anten sẽ thể hiện VSWR nhỏ hơn 2: 1 (hoặc return loss nhỏ hơn -10dB).



Bandwidth is from 2.4GHz to 2.7GHz

Khi Anten ở bên trong vỏ hộp các thông số Anten có thể thay đổi so với Anten trong không gian. Để bù đắp cho những thay đổi này, Anten wide-band được ưu tiên.

Biểu đồ dưới đây so sánh bandwidth của ba Anten với các thông số vật lý khác nhau. Đường chấm đen thể hiện bandwidth cao nhất khi đường chấm đỏ có bandwidth thấp nhất. Lưu ý rằng, return loss tăng lên khi bandwidth tăng lên. Bandwidth và return loss phải được thỏa hiệp.



Size and Space constraint

Khi đặt Anten bên trong vỏ hộp, đôi khi có thể bị hạn chế về không gian. Nói chung, suy hao sẽ nhiều hơn trong một Anten có kích thước nhỏ hơn so với một Anten có kích thước

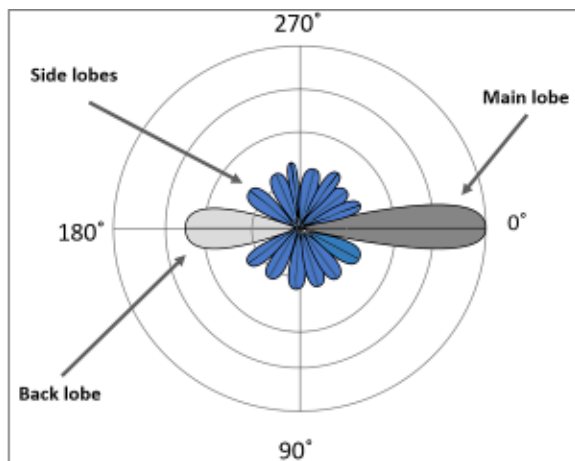
thích hợp. Bạn nên chọn một Anten có kích thước phù hợp nếu không gian không phải là hạn chế hoặc nếu Anten có thể được đặt bên ngoài vỏ hộp (Whip Antenna).

Gain, Radiation Pattern and Directivity

Một Anten có định hướng cao sẽ cung cấp phạm vi và hiệu suất tốt hơn nhưng chỉ theo một hướng cụ thể. Một Anten đẳng hướng sẽ phải thỏa hiệp về phạm vi.

Độ lợi của một Anten có thể là một giá trị dương hoặc âm. Giá trị dương cho biết Anten sẽ bức xạ nhiều hơn bao nhiêu so với Anten đẳng hướng và giá trị âm cho biết Anten sẽ bức xạ ít hơn như thế nào so với Anten đẳng hướng. Mẫu bức xạ là biểu đồ mô tả Anten sẽ bức xạ theo hướng nào. Nó có các thùy chính và phụ. Anten sẽ bức xạ nhiều nhất theo hướng của thùy chính, trong khi nó có thể không bức xạ theo một số hướng cụ thể (Ở giữa các thùy).

Ví dụ trong mẫu bức xạ này, phần bức xạ chính sẽ nằm dọc theo Thùy chính và sau, nhưng sẽ có những bức xạ rất nhỏ dọc theo Thùy phụ.



Connector Type

Cách kết nối Anten với PCB sẽ phụ thuộc vào loại đầu nối. Hầu hết các lựa chọn Anten đều có sẵn với đầu nối SMA và U.FL. Connector cũng phụ thuộc vào không gian có sẵn trên PCB.

CONNECTOR POLARITY



SMA MALE RP-SMA MALE

SMA Connector



U.FL Connector

Tools Required

Hardware

VNA (Vector Network Analyzer) :

Có rất nhiều VNA khác nhau trên thị trường nhưng chúng thường rất đắt. VNA mà chúng tôi sử dụng được gọi là 'miniVNA' và khá tiết kiệm so với các loại khác. Đây là một VNA dựa trên USB, không có màn hình và do đó phải kết nối với máy tính để xem kết quả.

miniVNA Tiny Plus2



Calibration Kit:

Một bộ hiệu chuẩn được sử dụng để hiệu chuẩn một VNA và có 3 đầu nối, ngắn, hở và trở kháng 50 ohm. Nó phải mua bên ngoài nếu không được cung cấp bởi VNA. MiniVNA có những thứ này bên trong hộp.

Matching components:

Để điều chỉnh Anten, cần phải có các thành phần phù hợp (cuộn cảm và tụ điện) có nhiều giá trị khác nhau. Trong khi mua các thành phần này, hãy đảm bảo rằng giá trị ESR của chúng thấp. Lower ESR, là tác động của điện dung ký sinh và điện cảm ký sinh.

Connector converters:

Đôi khi có nhu cầu chuyển đổi một loại kết nối này sang một loại kết nối khác. Ví dụ: SMA đến U.FL hoặc SMA male to SMA female. Vì mục đích này, có sẵn các bộ chuyển đổi khác nhau có thể chuyển đổi từ loại kết nối này sang loại kết nối khác.



SMA to U.FL Connector



SMA male to female Connector

Software

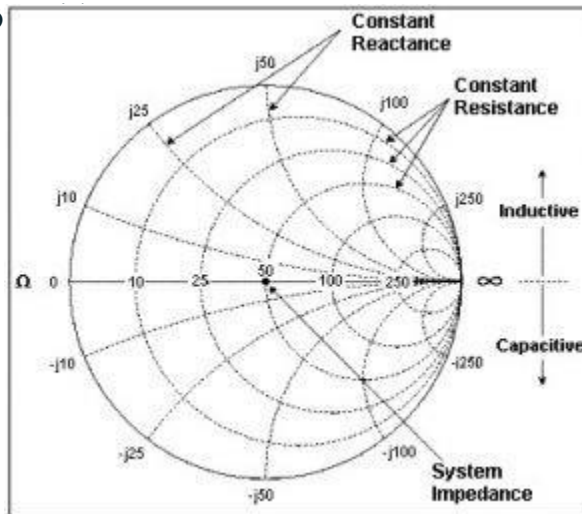
Software for VNA and calibration

Phần mềm cho VNA sẽ phụ thuộc vào việc sử dụng VNA. Vui lòng tham khảo trang web cụ thể của VNA để biết thêm thông tin.

Smith Chart plot:

Biểu đồ Smith là một công cụ để hình dung trở kháng phức tạp của một Anten như một hàm của tần số. Chúng rất hữu ích cho việc kết hợp trở kháng. Nó được sử dụng để hiển thị trở kháng thực tế của Anten (physical) khi đo trên Máy Vector Network Analyzer

(VNA). Giá trị của các thành phần phù hợp có thể được tính toán rất dễ dàng bằng cách sử dụng Biểu đồ



Smith Chart

Một phần mềm có sẵn để vẽ Biểu đồ Smith và tính toán các giá trị thành phần: <https://www.w0qe.com/SimSmith.html>

PCB Guidelines

Antenna placement

Trong khi đặt Anten trên PCB, các hướng dẫn đưa ra trong bảng dữ liệu Anten phải được tuân thủ càng nhiều càng tốt. Đảm bảo không có bộ phận kim loại nào gần Anten vì điều đó có thể làm thay đổi các thông số của Anten. Đường truyền kết nối Anten với nguồn phải bằng trở kháng nguồn vì đường cáp tạo thành một phần của đường truyền kết nối Anten. Đối với mục đích điều chỉnh, mạng Pi network nên được thêm ngay trước vị trí đặt Anten (nếu cần chỉnh Anten) tốt nhất là '0403' packaging

How to tune antenna:

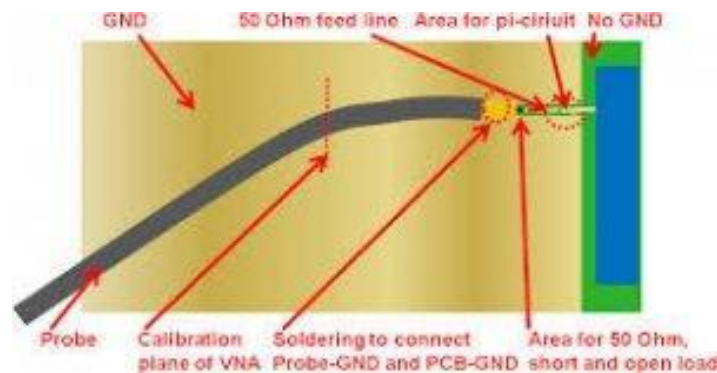
Phần này sẽ đưa ra một ý tưởng thực tế về cách thực hiện cùng với việc điều chỉnh Anten. Với mỗi bước có một trường hợp sử dụng, trong đó mô tả cách tôi thực hiện để điều chỉnh Anten của mình.

VNA Calibration

Bước đầu tiên của việc điều chỉnh Anten là hiệu chỉnh VNA. VNA Calibration hay Vector error correction là quá trình đặc trưng cho các lỗi hệ thống của máy phân tích mạng bằng cách đo các thiết bị đã biết được gọi là calibration tiêu chuẩn. Sau đó, ảnh hưởng của các sai số hệ thống đặc trưng được loại bỏ về mặt toán học khỏi các phép đo thô. Việc calibration phải được thực hiện càng gần điểm quan tâm càng tốt. Các dây cáp dài giữa VNA và DUT (Thiết bị Đang Kiểm tra) có thể thêm độ trễ pha, dẫn đến các phép đo sai.

How to do VNA calibration on PCB

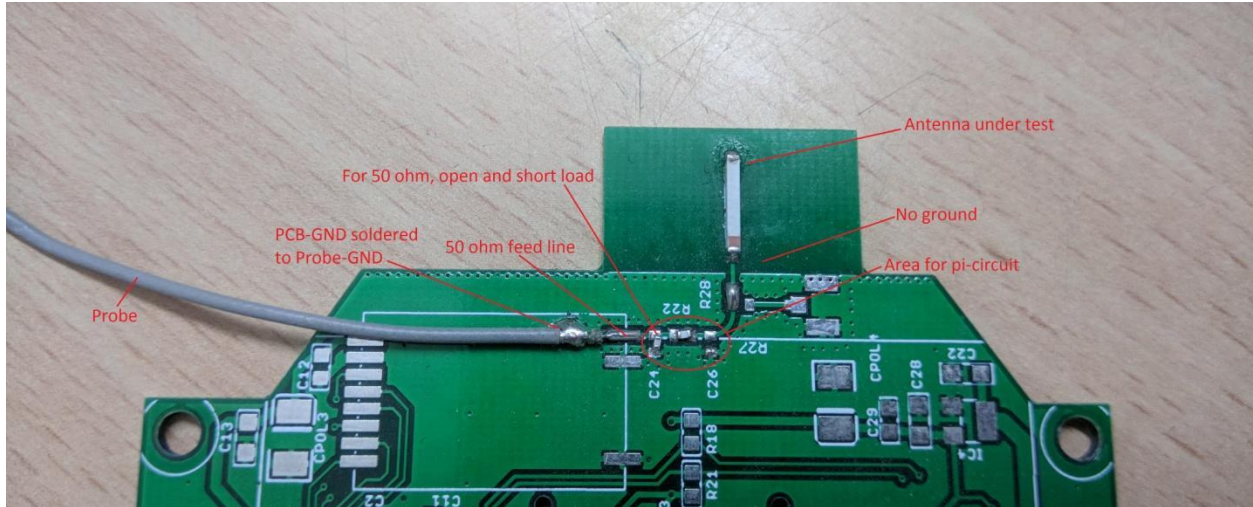
Để kiểm tra một Anten không được gắn vào PCB, việc calibration của VNA có thể được thực hiện trực tiếp với sự trợ giúp của bộ calibration. Tham khảo tài liệu cụ thể của VNA về cách hiệu chỉnh VNA. Tuy nhiên, để kiểm tra một Anten gắn trên PCB, việc calibration phải được thực hiện với chính PCB. Điều này là do đường truyền thực sự sẽ tạo thành một phần của đường truyền cung cấp cho Anten. Vì vậy, nó cũng cần phải được tính đến. Để calibration, hãy lấy một sợi cáp đồng trục có chiều dài nhỏ chất lượng tốt và hàn cáp trên PCB như trong hình. Cáp phải được hàn ngay trước khi điểm bắt đầu của đường cáp vào.



OPEN calibration có thể được thực hiện chỉ bằng cách giữ PI circuit open. SHORT Calibration có thể được thực hiện bằng cách rút ngắn đường cáp nguồn với GND và LOAD calibration có thể được thực hiện bằng cách kết nối một điện trở giữa đường cáp và GND (PI circuit có thể được sử dụng để đặt điện trở). Chọn một điện trở có trở kháng chính xác và có dung sai từ 1% trở lên. Sau khi calibration xong, hãy lưu calibration (vui lòng tham khảo tài liệu của VNA) để sử dụng sau này.

Use Case

Lưu ý những điểm trên, tôi đã chuẩn bị PCB của riêng mình để calibration.



Để OPEN calibration, chúng tôi đã loại bỏ C24, C26, R22, R28 và R27. Đối với SHORT Calibration, tôi đặt một điện trở 0 ohm tại C24 và giữ nguyên mọi thứ khác và đối với LOAD calibration, một điện trở 50 ohm được lắp đặt tại C24 giữ cho mọi thứ khác giống nhau. Điều này tạo ra calibration mà chúng tôi sử dụng để đo Anten.

Initial Antenna measurement

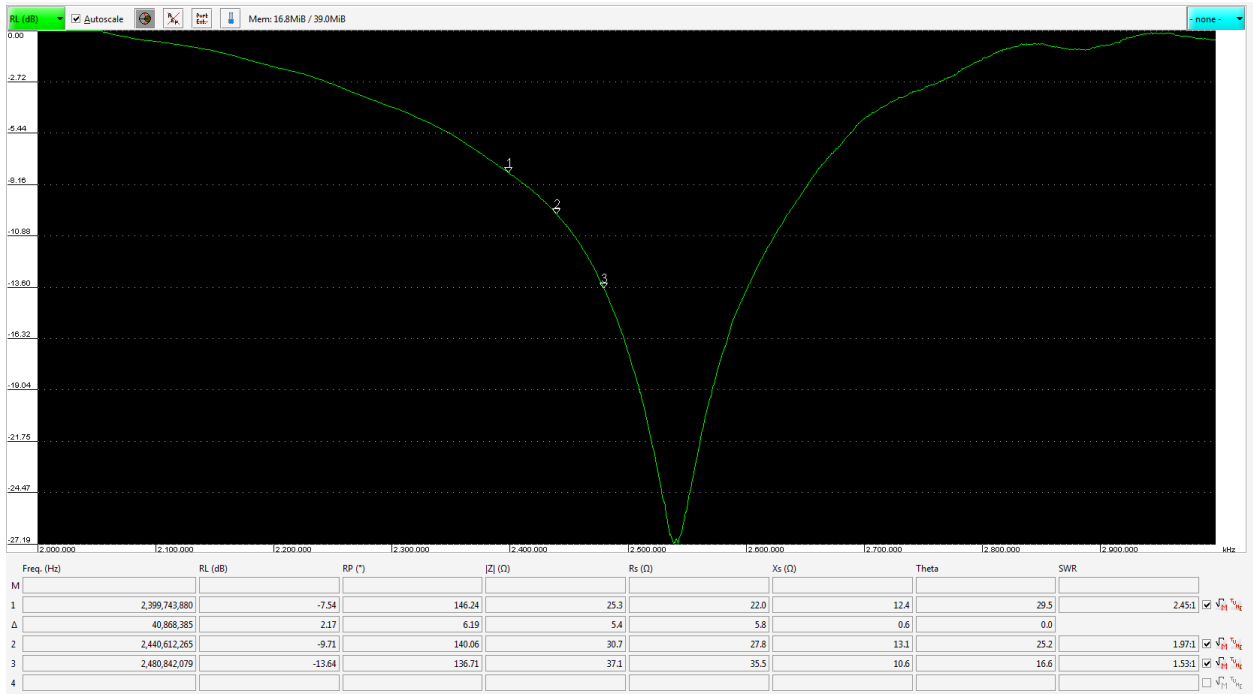
Sau khi calibration xong, bạn có thể bắt đầu với phép đo Anten. Kết nối VNA với Anten, không có bất kỳ thành phần nào phù hợp. Nếu cần Anten để trong hộp, hãy đặt Anten vào bên trong hộp và gắn nó giống như ở phiên bản cuối cùng. Kiểm tra return loss và VSWR trong dải tần số quan tâm. Bất cứ điều gì dưới -10 dB return loss / VSWR <2: 1 là đủ tốt. Sẽ không có lợi ích lớn nào khi đi từ -10 dB đến -20 dB.

Điều này là do ở VSWR 2: 1, chỉ có 11,1% tổng công suất truyền tới Anten bị phản xạ trở lại. Điều đó có nghĩa là 89,9% tổng công suất được truyền bởi Anten. Ở VSWR 1.5: 1, 4% tổng công suất được phản xạ và 96% công suất được truyền qua Anten. Sẽ không có sự khác biệt đáng kể về công suất phát 89,9% và 96%.

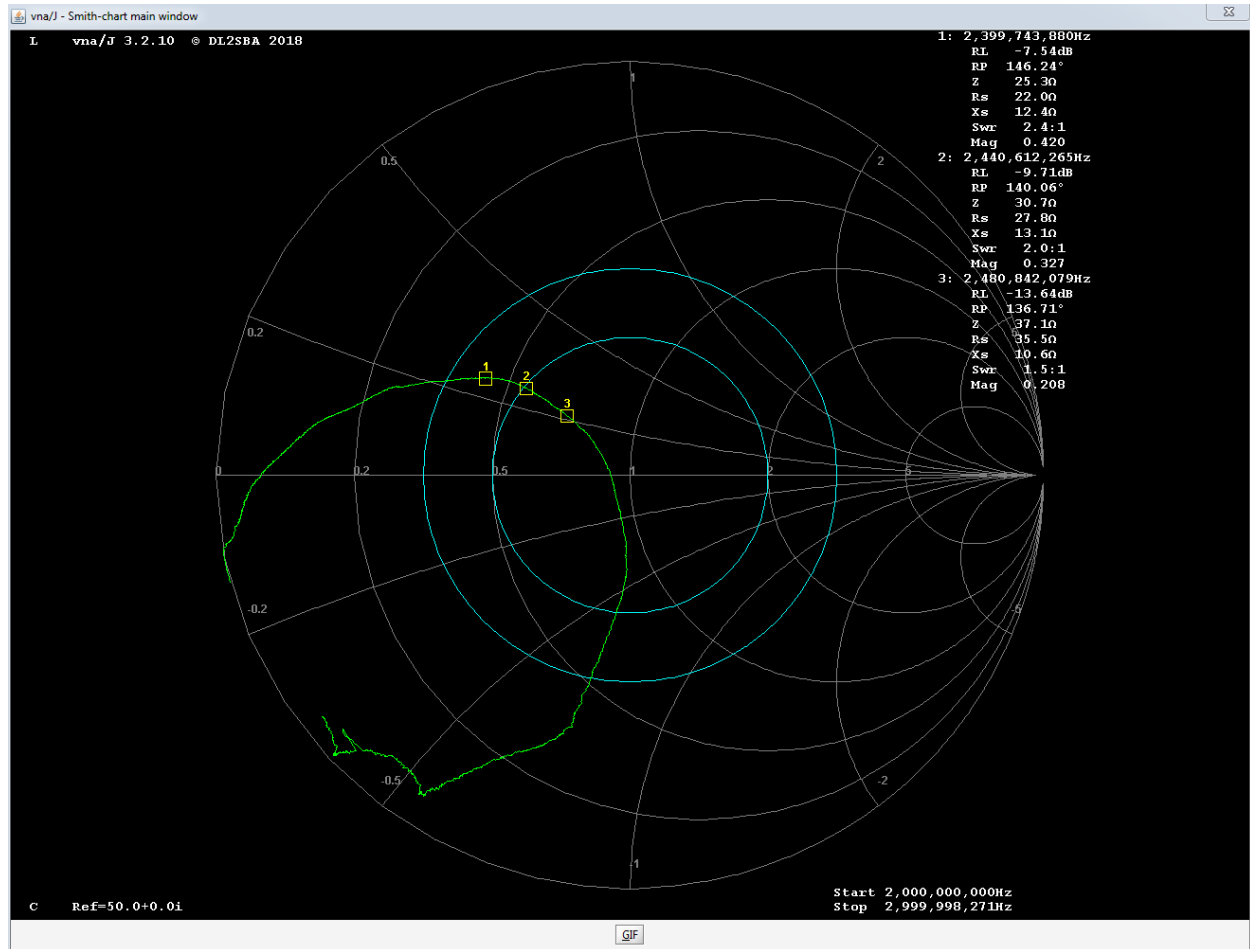
Nếu phản hồi của Anten trong dải tần mong muốn đã dưới -10dB, thì Anten sẽ được điều chỉnh. Nếu không, hãy tiến hành thêm về cách điều chỉnh.

Use Case

Tôi đã kiểm tra Anten của mình mà không có bất kỳ thành phần phù hợp nào, với calibration được tạo ở trên. Đây là những kết quả.



Return Loss Plot vs Frequency



Smith Chart

Như có thể thấy, mức 'giảm' return loss trả về là khoảng 2,5 GHz nhưng dải tần số yêu cầu là băng tần ISM 2,4 GHz.

Decide which point to tune

Tùy thuộc vào trường hợp sử dụng, Anten có thể phải hoạt động trên một tần số duy nhất hoặc một dải tần số rộng. Anten phải hoạt động trên một tần số duy nhất, thì điểm quan tâm là điểm duy nhất đó. Ví dụ : Có thể yêu cầu một Anten chỉ hoạt động ở tần số 868,5 MHz. Trong trường hợp này, một điểm duy nhất được quan tâm. Trong một số trường hợp, Anten phải hoạt động trên một dải tần số. Ví dụ : Một Anten hoạt động trong băng tần ISM 2,4 GHz phải hoạt động từ 2400 MHz đến 2483,5 MHz. Nếu một Anten phải làm việc trong một dải tần số, thường thì điểm trung tâm của dải tần là điểm cần quan tâm. Nó có thể thay đổi theo một trong hai hướng tùy thuộc vào trường hợp sử dụng ứng dụng. Nếu dải tần số cao hơn được ưu tiên, điểm quan tâm có thể chuyển sang dải tần cao hơn và tương tự nếu dải tần số thấp hơn được mong muốn. Sau khi địa điểm ưa thích được quyết định, hãy kiểm tra nó trên Biểu đồ Smith do VNA vẽ. Mục tiêu là bằng cách

nào đó đưa nó vào khu vực trung tâm của Biểu đồ Smith, nơi thể hiện sự phù hợp hoàn hảo. Để chuyển điểm ưa thích về phía trung tâm của Biểu đồ Smith, các thành phần phù hợp được sử dụng.

Use Case:

Trong ứng dụng của tôi, điểm quan tâm được đặt thành 2440 MHz, vì dải tần số yêu cầu là băng tần ISM 2,4 GHz. Mục tiêu được đặt ra là đưa điểm '2' (2440 MHz) trong các biểu đồ trên càng gần tâm của Biểu đồ Smith càng tốt.

Calculate matching components value

Để tìm ra các thành phần phù hợp và tính toán giá trị của chúng, cần có một chút kiến thức về cách các điểm thay đổi trên Biểu đồ Smith. Một cách tiếp cận rất cơ bản và thực tế được hiển thị ở đây, để biết thêm về Biểu đồ Smith, vui lòng xem bài viết tại đây:

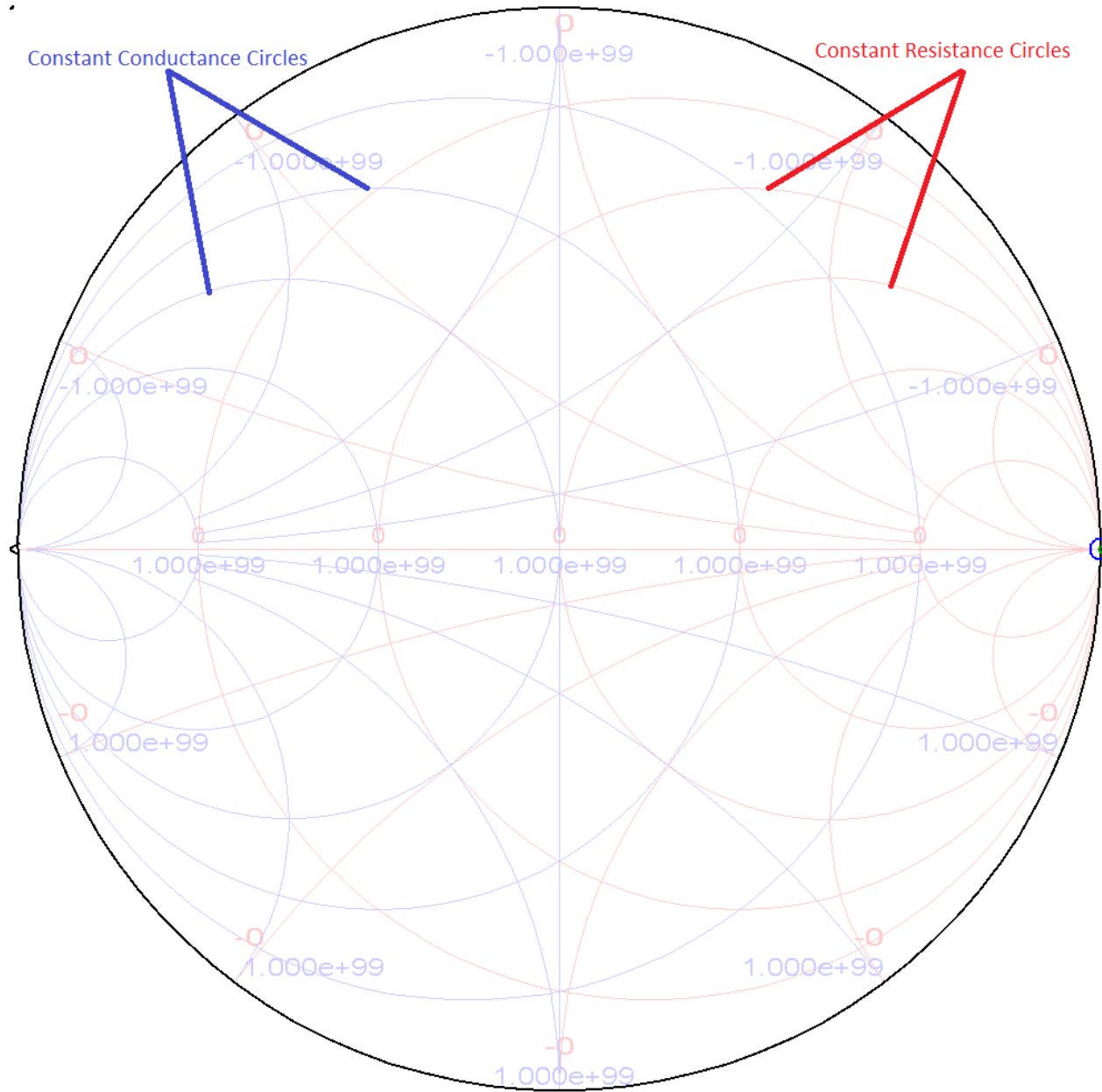
<http://www.antenna-theory.com/tutorial/smith/chart.php>

Sử dụng máy tính Biểu đồ Smith, quyết định sử dụng các thành phần phù hợp nào và tính toán các giá trị của chúng. Mục đích là đạt được điểm điều chỉnh cần thiết càng gần điểm trung tâm của Biểu đồ Smith càng tốt. Đôi khi không thể di chuyển điểm đến vị trí trung tâm chỉ với một thành phần. Trong trường hợp đó, phải sử dụng nhiều thành phần.

Smith Chart Tutorial:

Biểu đồ smith là một công cụ để hình dung trở kháng phức tạp của Anten như một hàm của tần số. Do đó, các điểm được vẽ trên Biểu đồ Smith có bản chất phức tạp, tức là chúng có phần thực và phần ảo. Phần thực được vẽ trên trục X và phần ảo được vẽ trên trục Y. Một điểm được vẽ trên Biểu đồ Smith chỉ có thể di chuyển dọc theo một số đường cụ thể. Những đường này được gọi là '**Constant Resistance Circles**' và

'**Constant Conductance Circles**'. Biểu đồ Smith có cả '*Constant Resistance Circles*' và '*Constant Conductance Circles*' được gọi là '**Biểu đồ Smith** không liên tục'.



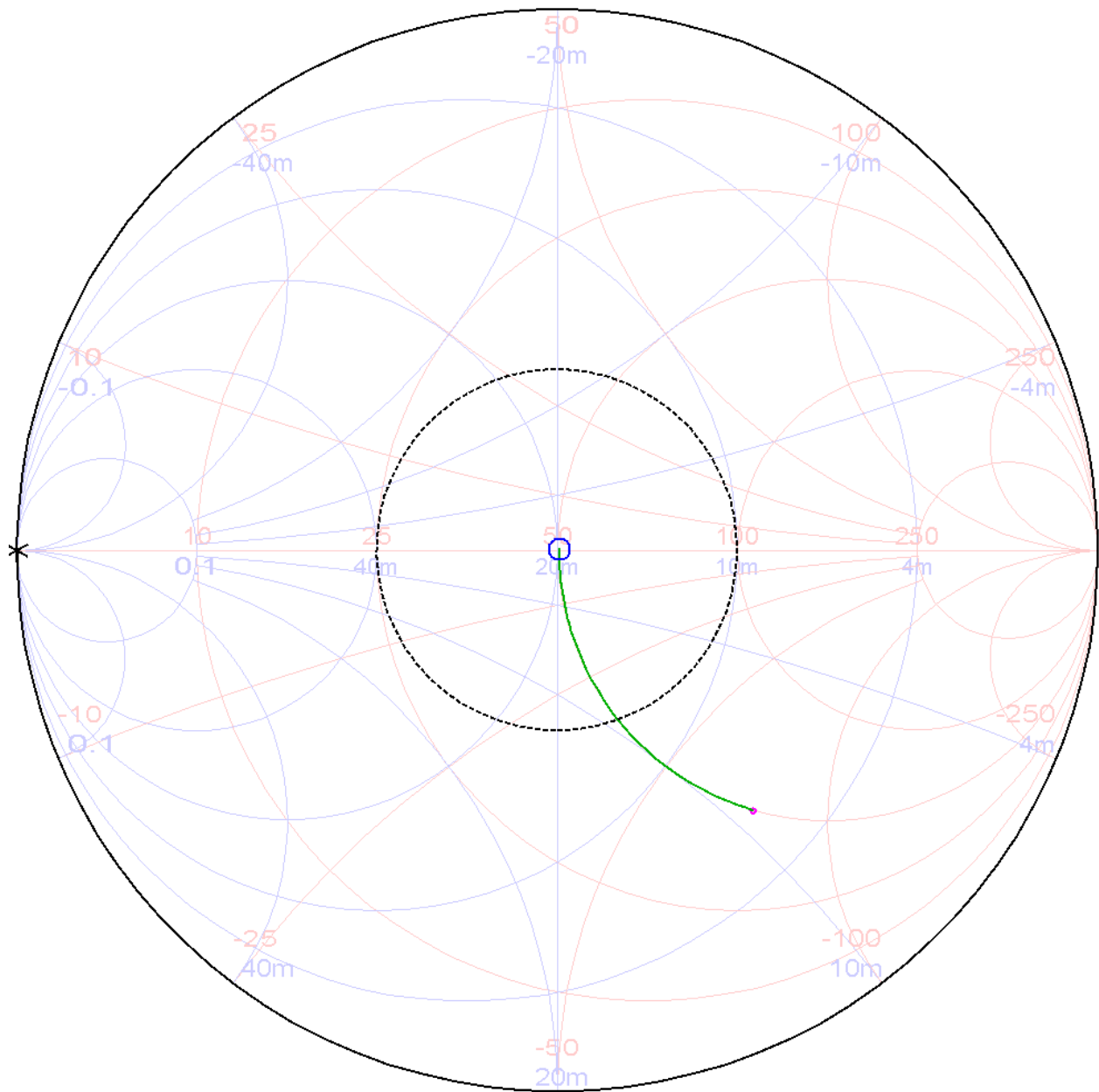
Immitance Smith Chart

How Points Move on Smith Chart

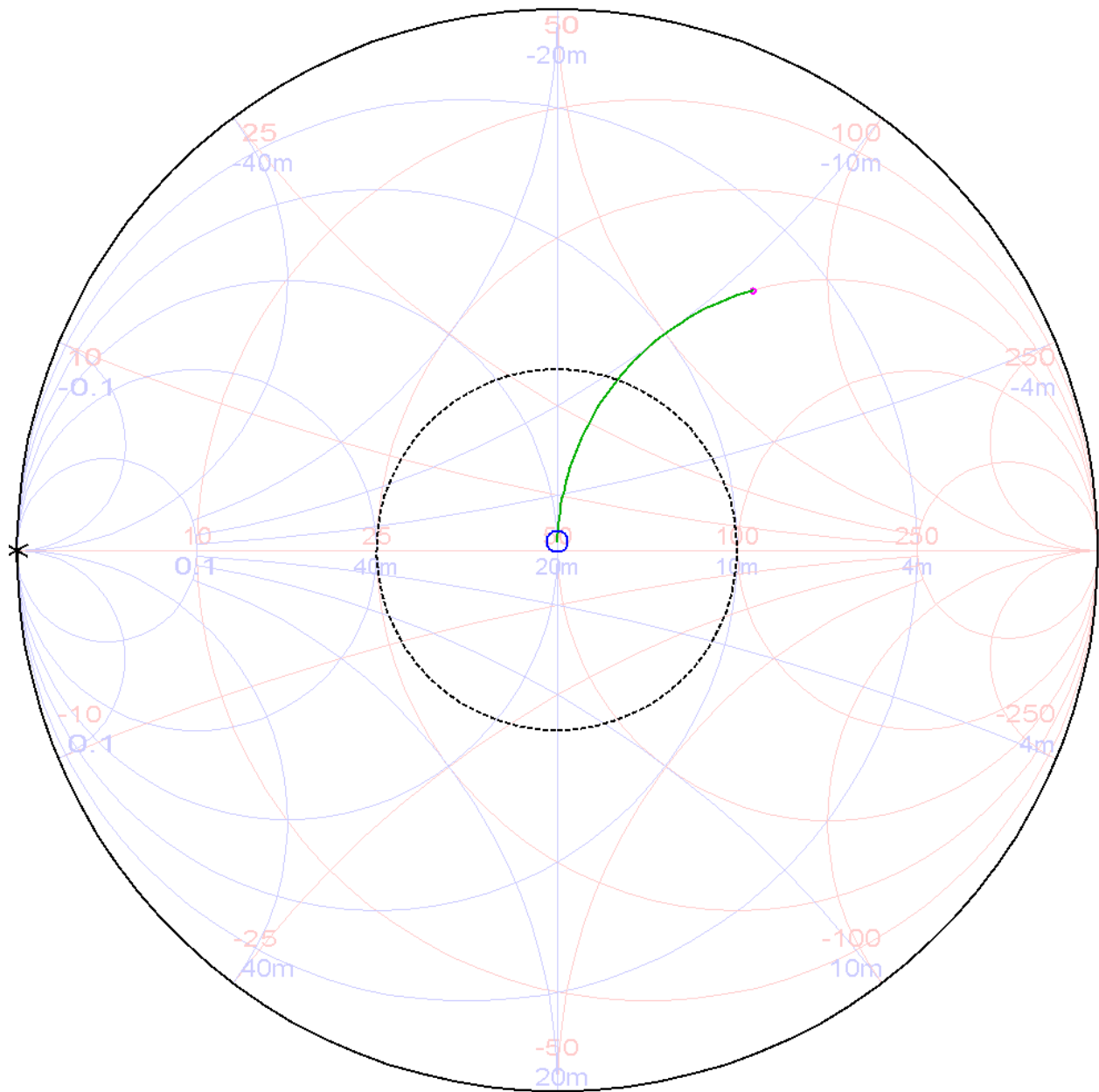
Để di chuyển một điểm dọc theo các đường dẫn cụ thể, cần phải có một thành phần phù hợp (cuộn cảm hoặc tụ điện).

Trong tất cả các trường hợp dưới đây, Điểm màu đỏ biểu thị điểm bắt đầu và Màu xanh lam biểu thị điểm kết thúc.

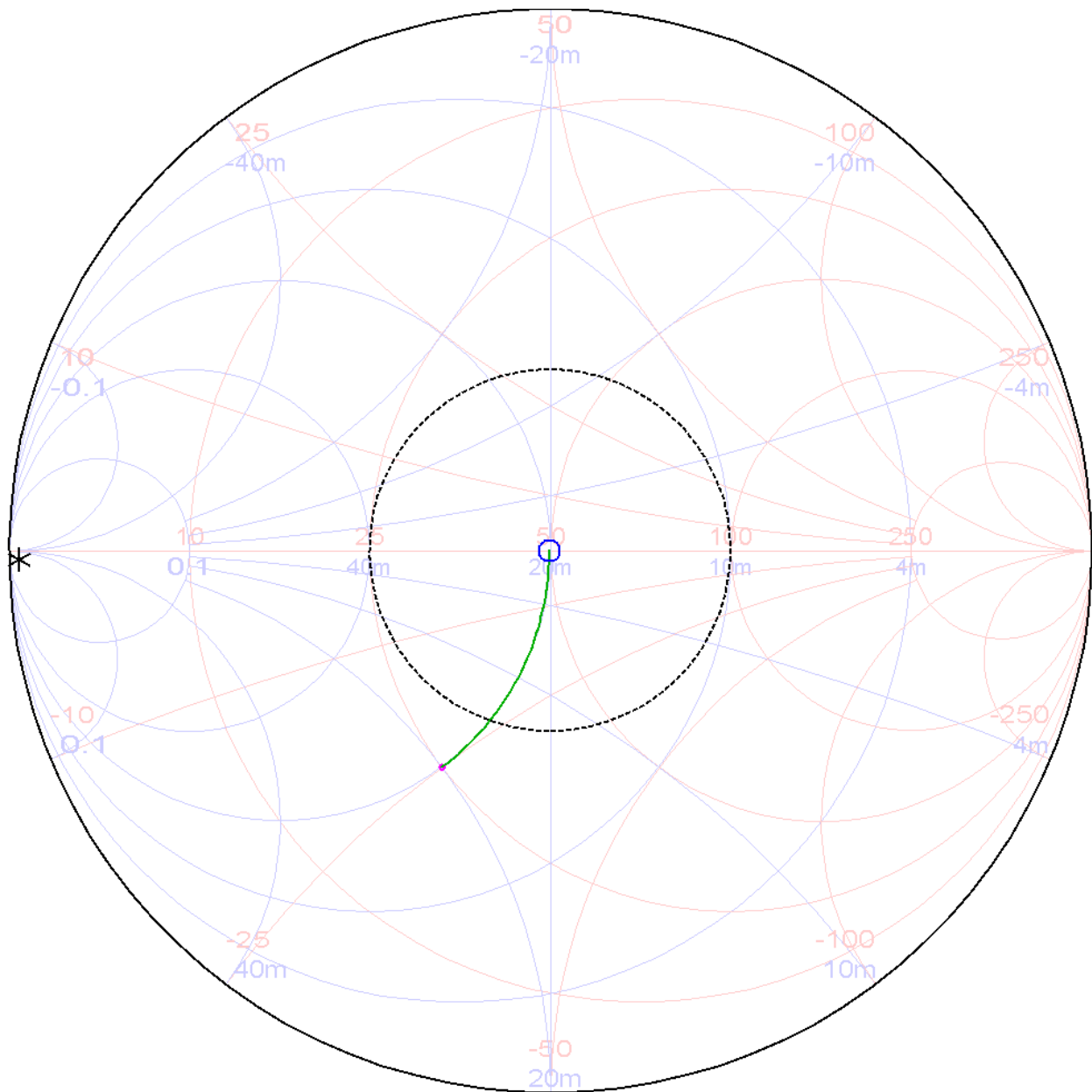
Một cuộn cảm nối tiếp sẽ dịch chuyển điểm theo chiều kim đồng hồ dọc theo Vòng tròn Constant Resistance Circle.



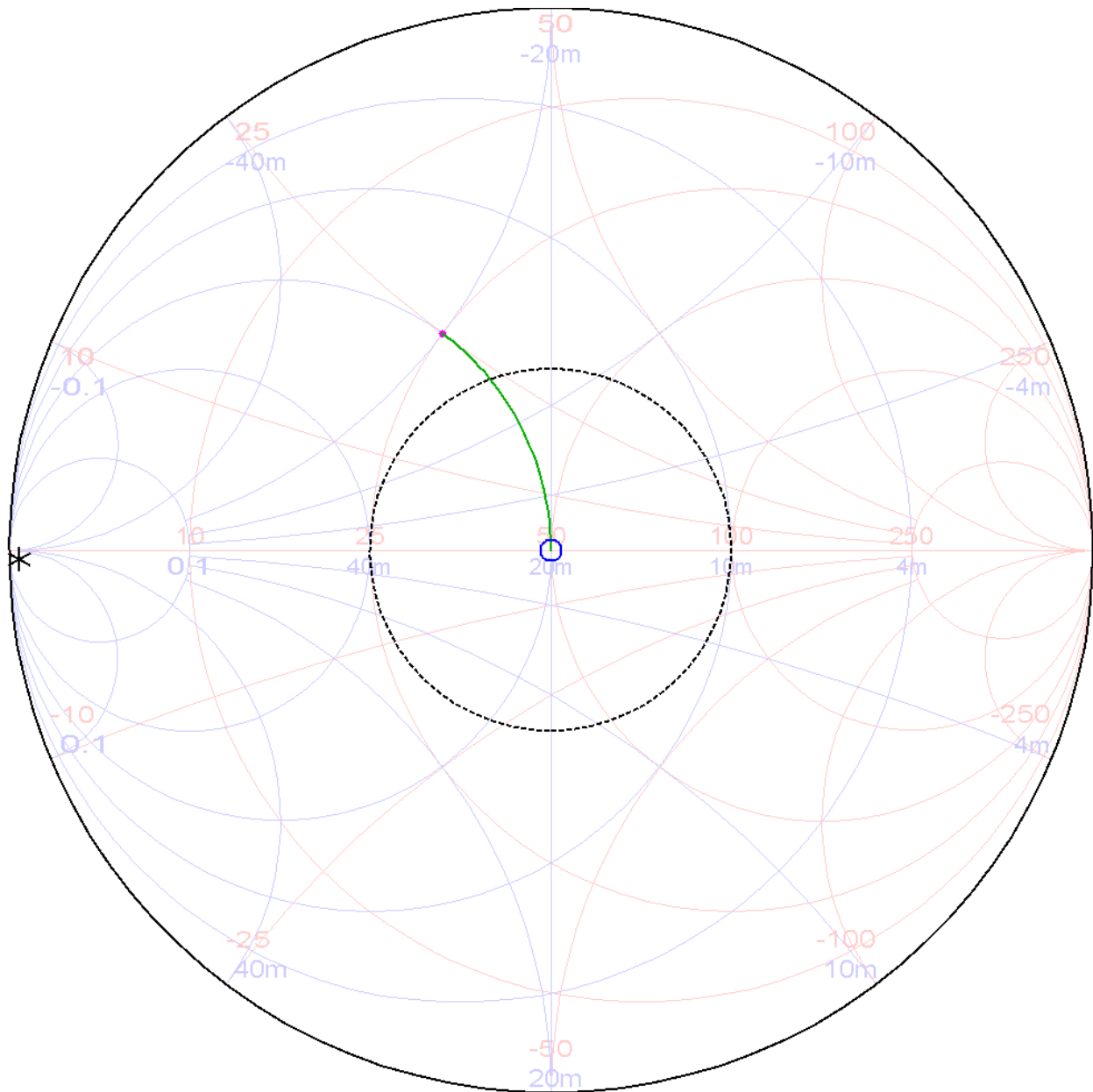
Một tụ điện nối tiếp sẽ dịch chuyển điểm theo hướng ngược chiều kim đồng hồ dọc theo Đường tròn Constant Resistance Circle.



Một cuộn cảm song song sẽ di chuyển một điểm theo hướng ngược chiều kim đồng hồ dọc theo đường tròn constant conductance circle.



Một tụ điện song song sẽ di chuyển một điểm theo chiều kim đồng hồ dọc theo đường tròn constant conductance circle.



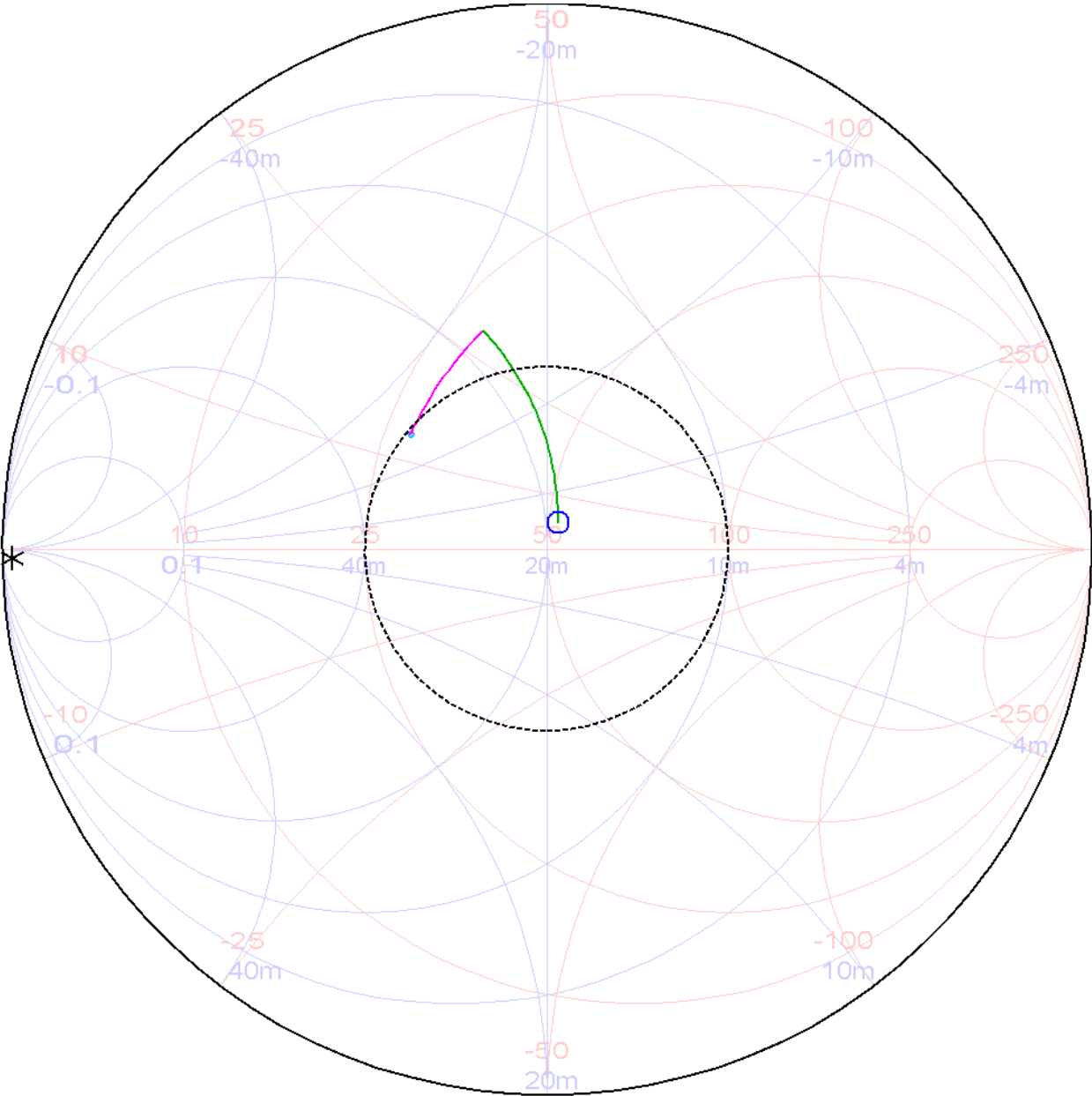
Use case:

Sử dụng công cụ SimSmith, các giá trị thành phần phù hợp đã được tính toán. Chúng tôi quyết định sử dụng mạch L, vì chỉ một thành phần là không đủ để đưa điểm '2' (2440 MHz) vào trung tâm.

Các giá trị thành phần phù hợp được tính toán là:

1. Parallel Capacitor: 1 pF
2. Series Inductor: 1 nH

Sự dịch chuyển điểm được tính toán theo lý thuyết là như thế này.

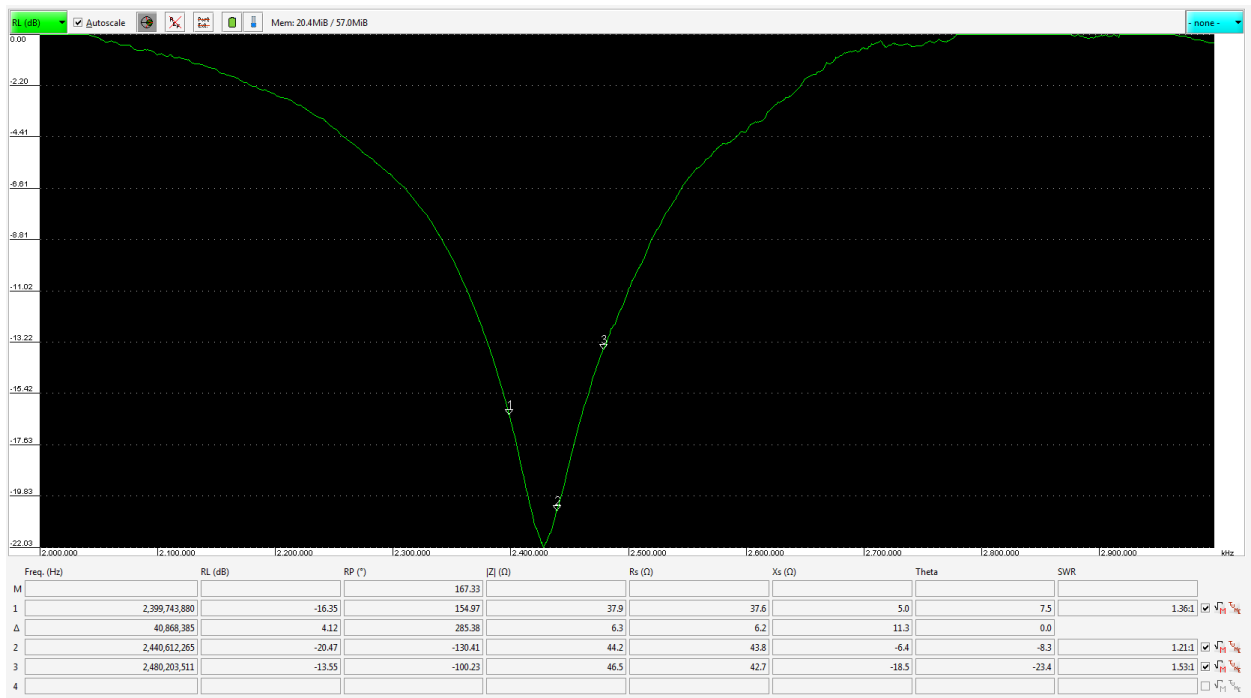


Kiểm tra hoạt động của Anten với các giá trị thành phần được tính toán.

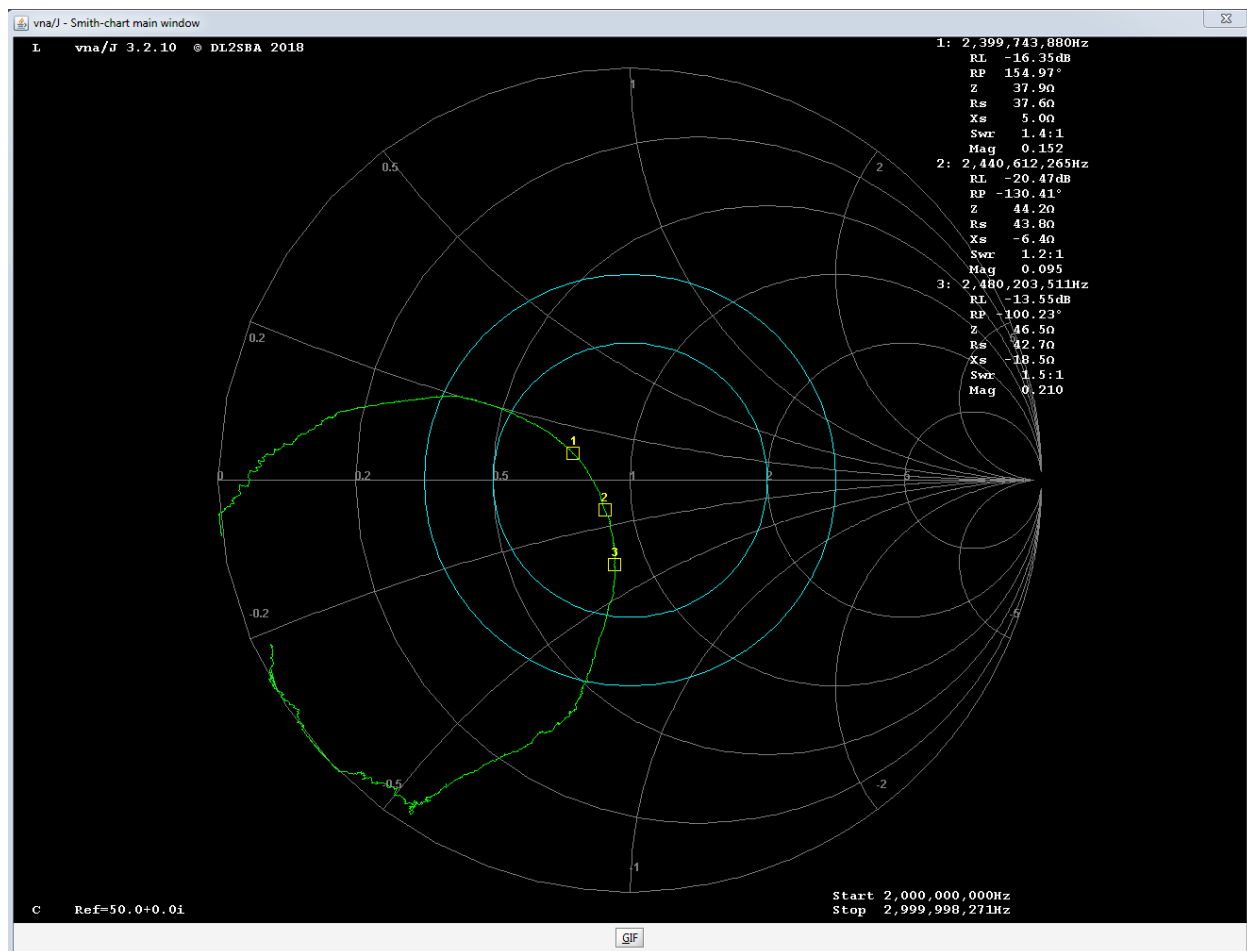
Sử dụng giá trị thành phần đã tính toán ở trên, thực hiện lại phép đo Anten. Nếu tần số quan tâm dường như thấp hơn -10dB, việc điều chỉnh được thực hiện.

Use case:

Với các giá trị tính toán trên, các phép đo đã được thực hiện lại. Kết quả thu được là khá gần với tính toán lý thuyết mặc dù không chính xác. Anten dường như được điều chỉnh rất tốt cho băng tần ISM 2,4 GHz, nhưng yêu cầu của chúng tôi là có được dải tần số cao hơn tốt hơn.



Return Loss Plot vs Frequency



Smith Chart

Lặp lại các bước trên cho đến khi điểm yêu cầu được khớp đúng

Giá trị thành phần phù hợp được tính toán trên lý thuyết có thể không cung cấp đáp ứng chính xác giống như thực tế vì luôn có điện dung ký sinh trong cuộn cảm và điện cảm ký sinh trong tụ điện. Trong khi thực hiện các tính toán lý thuyết, tất cả những điều này cần phải được xem xét hoặc một số đánh giá thực tế và thử nghiệm là cần thiết.

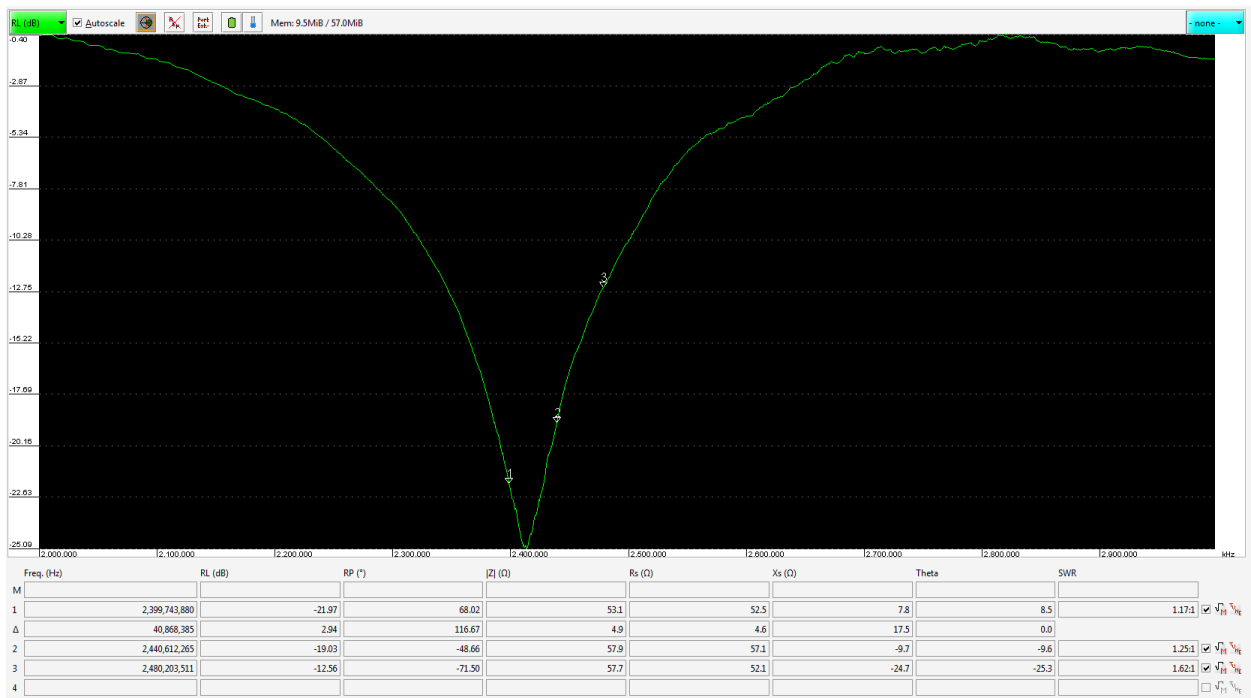
Use case:
Attempt #1

Việc điều chỉnh ban đầu có vẻ ổn, nhưng yêu cầu của tôi là cải thiện các dải tần số trên. Các tính toán thành phần được thực hiện một lần nữa, lần này cố gắng lấy điểm '3' (2480 MHz) càng gần tâm của Biểu đồ Smith càng tốt.

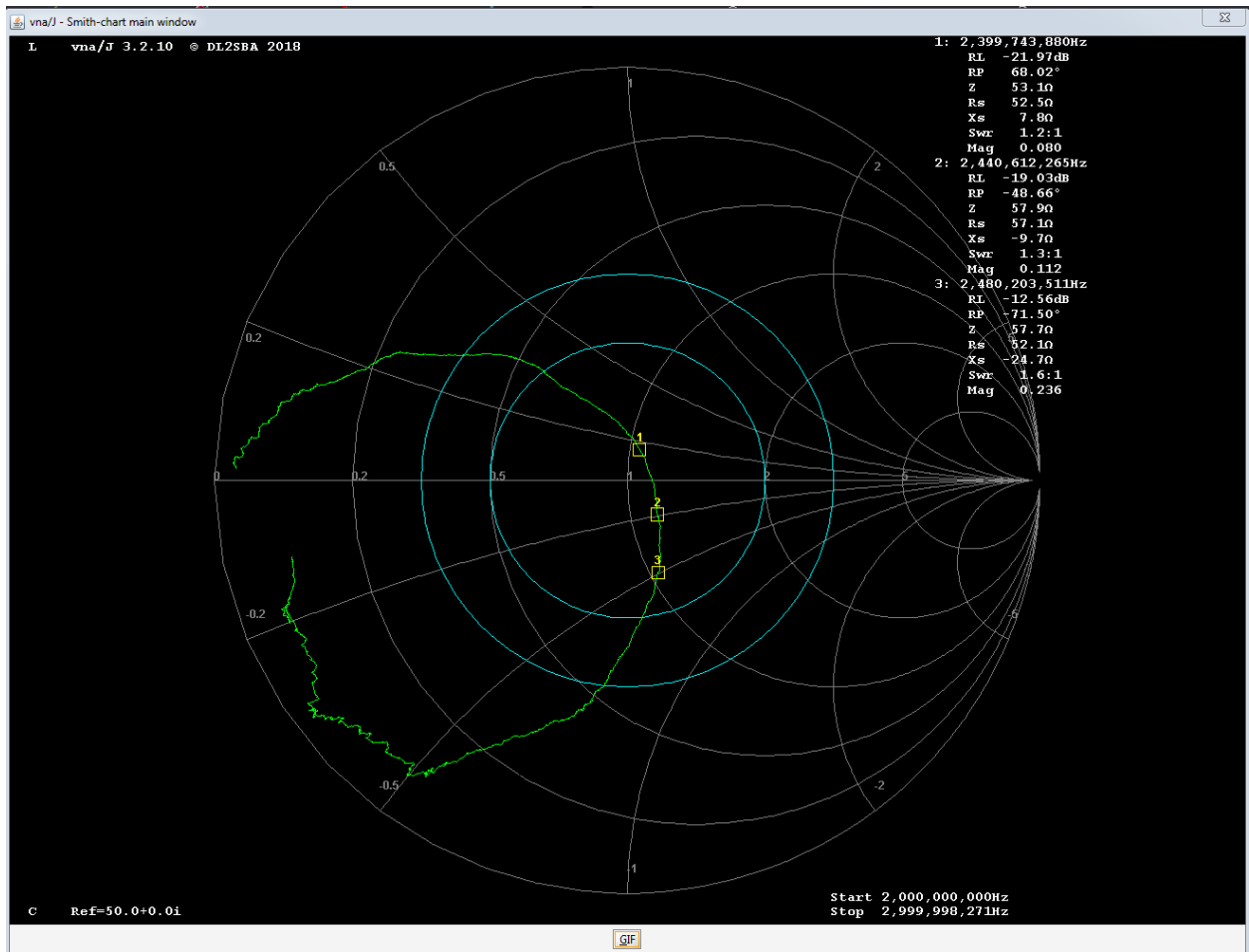
Các giá trị được tính toán:

- 1. Parallel Capacitor: 1 pF
- 2. Series Inductor: 1.5 nH

Kết quả thu được là



Return Loss plot vs Frequency

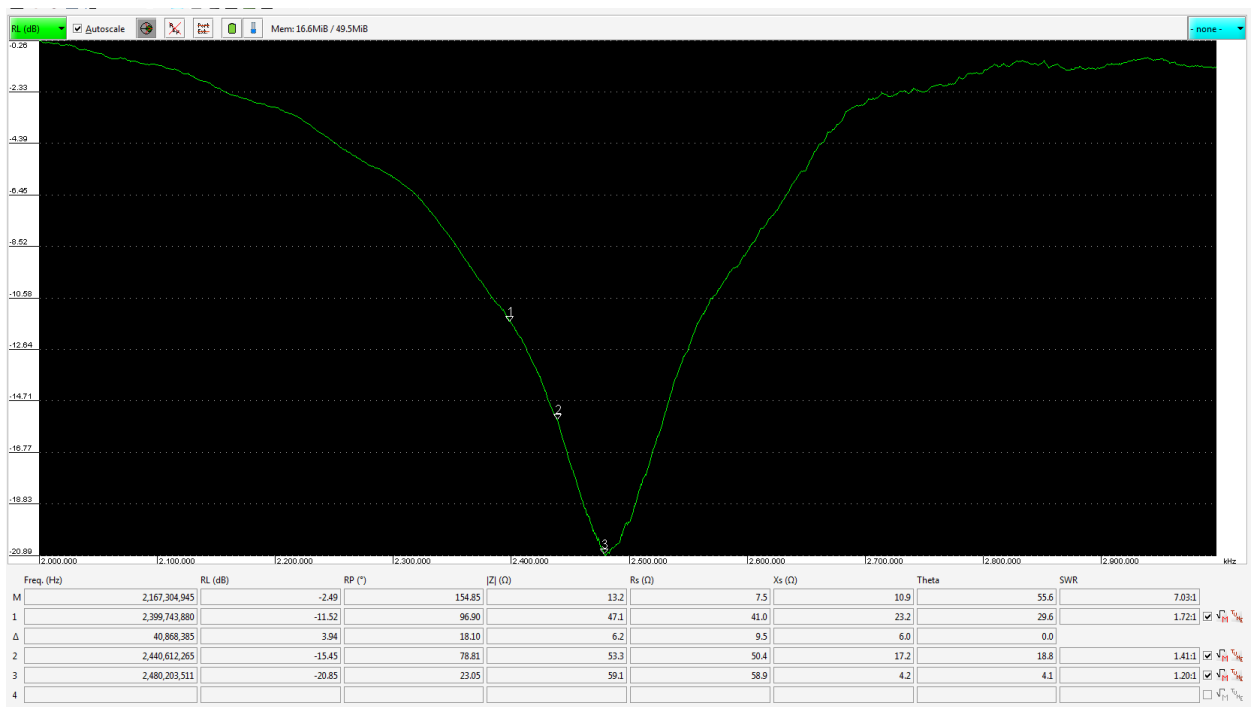


Smith Chart

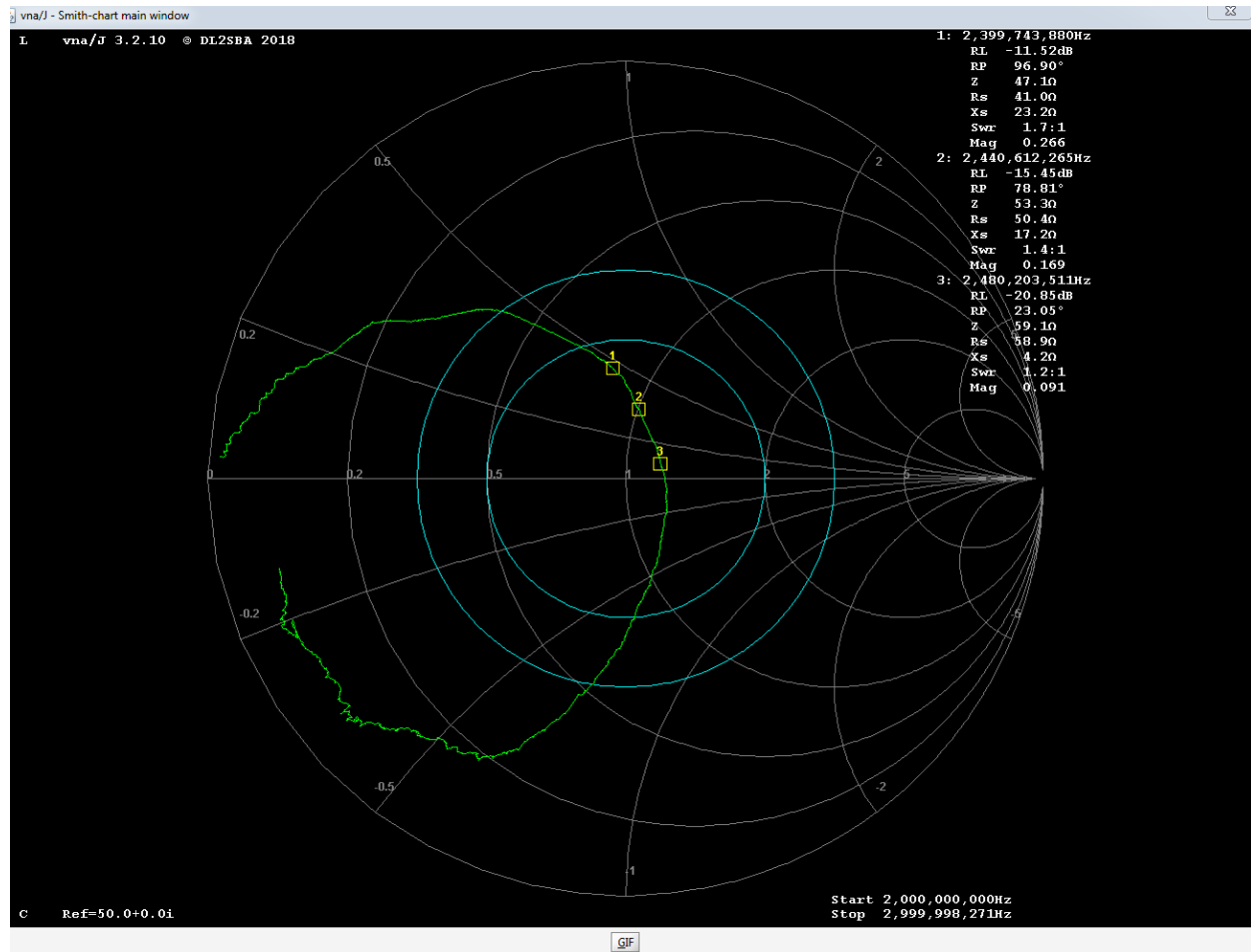
Attempt #2:

Các giá trị được tính toán:

- 1. Parallel Capacitor: 0.5 pF
- 2. Series Inductor: 1.5 nH



Return Loss plot vs Frequency



Smith Chart

Kiểm tra thiết bị với Anten được điều chỉnh

Khi có vẻ như Anten đã được điều chỉnh, hãy kiểm tra thiết bị trong tình huống thực tế.

Use Case:

Với việc điều chỉnh Anten, chúng tôi quyết định kiểm tra nó trong điều kiện thực tế. Trước khi điều chỉnh, Anten hoạt động trong phạm vi rất ngắn (~ 10 mét). Với việc điều chỉnh được thực hiện, phạm vi được tăng lên và tốc độ truyền cũng vậy. Thiết bị hiện có thể truyền khối lượng lớn dữ liệu từ thậm chí từ 2 tầng trở lên với trần và tường bê tông ở giữa một cách đáng tin cậy. Trong khu vực mở, chúng tôi có thể đạt được tầm nhìn phạm vi trực tiếp hơn 90 m (295 feet), điều này khá tốt khi xem xét một Anten đa hướng trên một thiết bị chạy bằng pin hoạt động ở tốc độ 2 Mbps trong không khí.