

# THIẾT KẾ BỘ NGUỒN THU THẬP NĂNG LƯỢNG TỪ MÔI TRƯỜNG BÊN NGOÀI ỨNG DỤNG CHO CẢM BIẾN KHÔNG DÂY

DESIGNING THE POWER SOURCE TO ENERGY HARVESTING FROM THE EXTERNAL ENVIRONMENT APPLICATION FOR WIRELESS SENSOR

Nguyễn Hữu Phong<sup>1</sup>, Trần Văn Tiến<sup>2</sup>, Phan Thanh Hòa<sup>3,\*</sup>

## TÓM TẮT

Bài báo trình bày quá trình, phương pháp nghiên cứu, tính toán và thiết kế một bộ nguồn thu thập năng lượng từ môi trường bên ngoài ứng dụng cho cảm biến không dây. Thông qua nghiên cứu cơ sở lý thuyết về mạng cảm biến không dây, phương pháp thu thập năng lượng, lý thuyết về trường điện từ và siêu cao tần cũng như các linh kiện siêu cao tần nhóm nghiên cứu đã thiết kế một bộ nguồn thu thập năng lượng RF từ môi trường bên ngoài hướng đến ứng dụng cho mạng cảm biến không dây.

**Từ khóa:** Cảm biến không dây, phương pháp thu thập năng lượng, trường điện từ.

## ABSTRACT

The paper presents the process, research methodology, calculation and design of a power source that energy harvesting from the external environment for wireless sensor application. By studying the theoretical basis of the wireless sensor network, the method of energy collection, the theory of electromagnetic and ultra-high frequency fields as well as the ultra-high frequency components, the research team has designed a power source collects RF energy from the outside environment toward application for the wireless sensor network.

**Keywords:** wireless sensor, energy collection method, electromagnetic.

<sup>1</sup>Lớp ĐT8, Khoa Điện tử, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>2</sup>Lớp TTMMT1, Khoa Điện tử, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>3</sup>Viện Công nghệ HaUI, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: phanthanhhoa@hau.edu.vn

## 1. GIỚI THIỆU

Cung cấp khả năng thu thập năng lượng từ môi trường bên ngoài cho các thiết bị không dây cho phép các node cảm biến có thể tự duy trì hoạt động mà ít hoặc không cần sự can thiệp của con người. Điều này đưa tới một tương lai đầy hứa hẹn cho các mạng không dây: tự duy trì và hoạt động gần như liên tục với tuổi thọ mạng không bị giới hạn bởi phần cứng. Năng lượng thu từ môi trường cho mạng không dây dự kiến sẽ đem đến một số những thay đổi lớn trong mạng không dây. Ngoài khả năng tự cung cấp năng lượng và hoạt động vĩnh viễn, lợi ích mong đợi bao gồm giảm sử dụng năng lượng thông thường, di động không giới hạn bởi cách tách ra khỏi việc sạc pin thông thường và khả năng triển khai mạng không dây ở những nơi khó tiếp

cận như vậy như các vùng nông thôn hẻo lánh, trong các cấu trúc bê tông, hoặc trong cơ thể con người. Từ đó, mạng không dây thu năng lượng từ môi trường sẽ có thể thúc đẩy phát triển các lĩnh vực khác như y tế, xây dựng, giám sát và các ứng dụng an toàn không thể thực hiện được với hoạt động chạy bằng pin thông thường

### Vấn đề năng lượng hiện nay

Xã hội nhân loại đang ngày càng phát triển với tốc độ chóng mặt, vì thế nhu cầu về cuộc sống của con người cũng ngày càng gia tăng. Đồng nghĩa với đó con người phải gia tăng cường độ khai thác các nguồn tài nguyên thiên nhiên dùng cho sản xuất nhưng chúng đâu phải vô hạn cho con người cứ thế khai thác mãi được. Nhu cầu của con người ngày gia tăng nhưng nguồn các nguồn tài nguyên thì có hạn, chúng đang dần cạn kiệt theo thời gian. Nếu cứ theo tiến độ như vậy thì trong vài thập kỷ tới đây nhưng nguồn năng lượng hóa thạch trên trái đất sẽ cạn kiệt hoàn toàn và con người sẽ chẳng còn gì để khai thác.

Năng lượng thường được dùng để đánh giá cho các cấp độ văn minh loài người. Thang Kardashev là một phương pháp đo mức phát triển của một nền văn minh. Dù mang tính lý thuyết, thang Kardashev đã miêu tả một hướng đi của văn minh gắn liền với việc sử dụng năng lượng. Nó được đề xuất lần đầu tiên bởi nhà thiên văn học Xô Viết Nikolai Semenovich Kardashev vào năm 1964. Căn cứ vào khả năng lợi dụng năng lượng cũng như mức độ chinh phục không gian của một nền văn minh, ba bậc văn minh được đưa ra: loại I có thể sử dụng được toàn bộ nguồn năng lượng trên hành tinh mẹ, loại II là toàn hệ mặt trời của nó, và loại III có thể sử dụng năng lượng trong một thiên hà. Theo thước này thì nền văn minh loài người năm 2010 ở khoảng 0,72 (Năng lượng của trái đất được tính là  $1,74 \times 10^{17}W$  (174 petawatt)) và các suy đoán lý thuyết cho rằng loài người sẽ đạt đến đỉnh cao của loại I vào khoảng năm 2100 nhưng với tốc độ phát triển như hiện tại thì thời điểm đó có thể đến sớm hơn nhiều. Một phương pháp khai thác năng lượng từ vũ trụ bằng một quả cầu Dyson là một giả thiết về các siêu kiến trúc của Freeman Dyson, được mô tả như là một hệ thống các vệ tinh nhân tạo bọc quanh một ngôi sao và hấp thu hầu hết năng lượng tỏa ra của ngôi sao đó [5].

Nguồn năng lượng chính cung cấp cho con người khả năng tồn tại và phát triển đang dần cạn kiệt việc tìm tới các nguồn năng lượng mới như năng lượng tái tạo hoặc năng lượng từ ngoài vũ trụ là cần thiết. Việc khai thác năng lượng này không thể dùng hệ thống truyền tải năng lượng cũ chủ yếu sử dụng dây dẫn như hiện nay, nghiên cứu về năng lượng không dây mang tính cấp bách hơn bao giờ hết.

**2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT**

**2.1. Tổng quan về mạng cảm biến không dây**

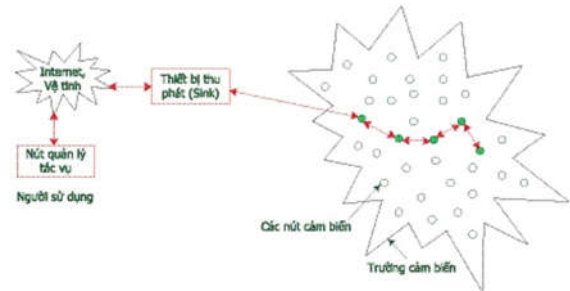
Mạng cảm biến không dây (WSN) bao gồm một tập hợp các thiết bị cảm biến sử dụng các liên kết không dây (vô tuyến, hồng ngoại hoặc quang học) để phối hợp thực hiện nhiệm vụ thu thập thông tin dữ liệu phân tán với quy mô lớn trong bất kỳ điều kiện và ở bất kỳ vùng địa lý nào. Mạng cảm biến không dây có thể liên kết trực tiếp với node quản lý giám sát trực tiếp hay gián tiếp thông qua một điểm thu phát (Sink) và môi trường mạng công cộng như Internet hay vệ tinh. Lợi thế chủ yếu của chúng là khả năng xử lý ở phạm vi rộng, triển khai hầu như trong bất kì loại hình địa lý nào kể cả các môi trường nguy hiểm không thể sử dụng mạng cảm biến có dây truyền thống. Các node cảm biến không dây có thể được triển khai cho các mục đích chuyên dụng như điều khiển giám sát và an ninh, kiểm tra môi trường, tạo ra không gian sống thông minh, khảo sát đánh giá chính xác trong nông nghiệp, trong lĩnh vực y tế,... Các thiết bị cảm biến không dây liên kết thành một mạng đã tạo ra nhiều khả năng mới cho con người. Các đầu đo với bộ vi xử lý và các thiết bị vô tuyến rất nhỏ gọn tạo nên một thiết bị cảm biến không dây có kích thước rất nhỏ, tiết kiệm về không gian. Chúng có thể hoạt động trong môi trường dày đặc với khả năng xử lý tốc độ cao. Ngày nay, các mạng cảm biến không dây được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như nghiên cứu vi sinh vật biển, giám sát việc chuyên chở các chất gây ô nhiễm, kiểm tra giám sát hệ sinh thái và môi trường sinh vật phức tạp, điều khiển giám sát trong công nghiệp và trong lĩnh vực quân sự, an ninh quốc phòng hay các ứng dụng trong đời sống hàng ngày [3].

**2.2. Cấu trúc mạng cảm biến không dây**

Một mạng cảm biến không dây bao gồm số lượng lớn các node được triển khai dày đặc bên trong hoặc ở rất gần đối tượng cần thăm dò, thu thập thông tin dữ liệu. Vị trí các cảm biến không cần định trước vì vậy nó cho phép triển khai ngẫu nhiên trong các vùng không thể tiếp cận hoặc các khu vực nguy hiểm. Khả năng tự tổ chức mạng và cộng tác làm việc của các cảm biến không dây là những đặc trưng rất cơ bản của mạng này. Với số lượng lớn các cảm biến không dây được triển khai gần nhau thì truyền thông đa liên kết được lựa chọn để công suất tiêu thụ là nhỏ nhất (so với truyền thông đơn liên kết) và mang lại hiệu quả truyền tín hiệu tốt hơn so với truyền khoảng cách xa.

Mỗi node cảm biến bao gồm bốn thành phần cơ bản là: bộ cảm biến, bộ xử lý, bộ thu phát không dây và nguồn điện. Tùy theo ứng dụng cụ thể, node cảm biến còn có thể có các thành phần bổ sung như hệ thống tìm vị trí, bộ sinh năng lượng và thiết bị di động. Bộ cảm biến thường gồm

hai đơn vị thành phần là đầu đo cảm biến (Sensor) và bộ chuyển đổi tương tự/số (ADC). Các tín hiệu tương tự được thu nhận từ đầu đo, sau đó được chuyển sang tín hiệu số bằng bộ chuyển đổi ADC, rồi mới được đưa tới bộ xử lý. Bộ xử lý, thường kết hợp với một bộ nhớ nhỏ, phân tích thông tin cảm biến và quản lý các thủ tục cộng tác với các node khác để phối hợp thực hiện nhiệm vụ. Bộ thu phát đảm bảo thông tin giữa node cảm biến và mạng bằng kết nối không dây, có thể là vô tuyến, hồng ngoại hoặc bằng tín hiệu quang. Một thành phần quan trọng của node cảm biến là bộ nguồn. Bộ nguồn, có thể là pin hoặc ắc quy, cung cấp năng lượng cho node cảm biến và không thay thế được nên nguồn năng lượng của node thường là giới hạn. Bộ nguồn có thể được hỗ trợ bởi các thiết bị sinh điện, ví dụ như các tấm pin mặt trời nhỏ.



Hình 1. Cấu trúc cơ bản của mạng cảm biến không dây

Hầu hết các công nghệ định tuyến trong mạng cảm biến và các nhiệm vụ cảm biến yêu cầu phải có sự nhận biết về vị trí với độ chính xác cao. Do đó, các node cảm biến thường phải có hệ thống tìm vị trí. Các thiết bị di động đòi hỏi cũng cần thiết để di chuyển các node cảm biến theo yêu cầu để đảm bảo các nhiệm vụ được phân công.



Hình 2. Các thành phần của node cảm biến [3]

**2.3. Vấn đề năng lượng của mạng cảm biến không dây**

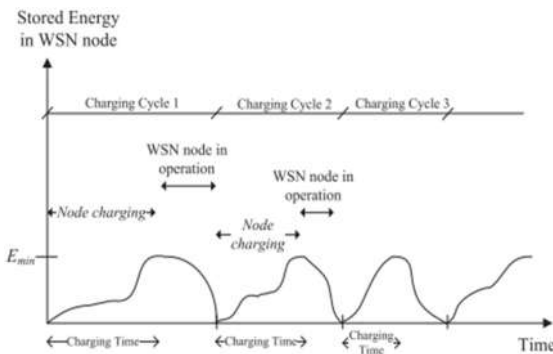
Hiện nay tuổi thọ của phần cứng lớn hơn rất nhiều so với thời gian sử dụng năng lượng của thiết bị lưu trữ. Việc đòi hỏi thường xuyên bổ xung năng lượng thủ công làm hạn chế rất nhiều khả năng của các thiết bị điện tử nói chung và mạng cảm biến không dây nói riêng. Khả năng hoạt động của mạng cảm biến không dây ở một số môi trường đặc thù như các vùng tồn tại ô nhiễm môi trường, ô nhiễm hạt nhân, chiến tranh, tồn tại thảm họa thiên nhiên, bên trong các công trình tồn tại hàng trăm năm hoặc theo dõi sức khỏe bên trong sinh vật hoặc con người sẽ gần như bất khả thi do hạn chế về vấn đề duy trì năng lượng cho phần cứng hoạt động. Kích thước và công suất tiêu thụ luôn chi phối khả năng xử lý, lưu trữ và tương tác của các thiết bị cơ sở. Việc thiết kế các phần cứng cho mạng cảm biến phải chú trọng đến giảm kích cỡ và công suất tiêu thụ

với yêu cầu nhất định về khả năng hoạt động. Việc sử dụng phần mềm phải tạo ra các hiệu quả để bù lại các hạn chế của phần cứng.

Việc nghiên cứu một phương thức truyền năng lượng từ xa hay thu thập năng lượng môi trường tự động cho các thiết bị di động nói chung và các node cảm biến làm việc ở môi trường không thể hoặc rất khó bổ sung năng lượng thủ công là cần thiết. Điều này sẽ thúc đẩy nhiều lĩnh vực khác như y tế, xây dựng, môi trường,... phát triển.

### 3. MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP THU THẬP NĂNG LƯỢNG TỪ MÔI TRƯỜNG BÊN NGOÀI

Thông qua việc trang bị cho các node cảm biến các thiết bị chuyển đổi năng lượng môi trường sang năng lượng điện như pin năng lượng mặt trời, chuyển đổi năng lượng nhiệt sang điện, chuyển đổi cơ năng sang điện năng, năng lượng sóng điện từ sang điện năng... kết hợp với các siêu tụ điện, năng lượng thu hoạch được tích lũy trong một thiết bị lưu trữ cho đến một mức nhất định trước khi node có đủ năng lượng hoạt động. Một phương pháp mới đang được nghiên cứu là truyền tải năng lượng RF, năng lượng sẽ được chuyển sang dạng sóng ở node mẹ chuyển cho node con hoạt động và gửi thông tin về node mẹ.



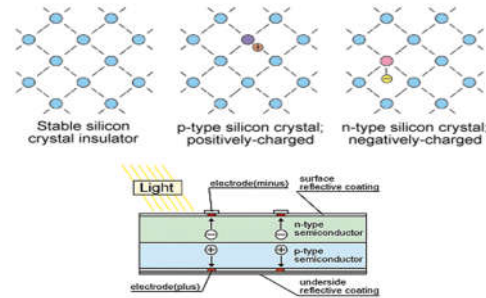
Hình 3. Chu kỳ thu thập năng lượng và truyền thông tin của các node cảm biến

Chu kỳ hoạt động của node cảm biến sử dụng thu thập năng lượng từ môi trường. Quá trình được lặp lại vì các siêu tụ điện cung cấp chu kỳ nạp lại hầu như không giới hạn nên phương pháp này có thể có khả năng hoạt động trong thời gian rất dài (nhiều năm hoặc thậm chí nhiều thập kỷ) mà không cần phải bổ sung năng lượng thủ công. Các đặc điểm trên cho thấy phương pháp phù hợp với nhiều ứng dụng cảm biến bao gồm cả cấu trúc theo dõi sức khỏe, trong đó năng lượng có thể được thu từ các nguồn xung quanh (ví dụ: rung, ánh sáng, nhiệt, gió) để cấp nguồn cho từng thiết bị, giám sát đang hoạt động (tức là dữ liệu là được lấy định kỳ bởi mỗi node và được chuyển tiếp đến điểm thu phát), và địa điểm thường không khả thi để thay pin (với các cảm biến được nhúng vào các cấu trúc trong tòa nhà) hoặc nguy hiểm (với các cảm biến được gắn vào các cấu trúc tại công trường) [9].

#### 3.1. Thu thập năng lượng mặt trời

Pin năng lượng mặt trời (hay pin quang điện, tế bào quang điện), là thiết bị bán dẫn chứa lượng lớn các lớp tiếp giáp p-n, dưới sự hiện diện của ánh sáng mặt trời có khả

năng tạo ra dòng điện sử dụng được. Sự chuyển đổi này gọi là hiệu ứng quang điện.



Hình 4. Cấu tạo pin quang điện

Pin quang điện được cấu tạo chủ yếu bởi các tinh thể silic bán dẫn. Silicon được biết đến là một chất bán dẫn. "Chất bán dẫn là vật liệu trung gian giữa chất dẫn điện và chất cách điện. Chất bán dẫn hoạt động như một chất cách điện ở nhiệt độ thấp và có tính dẫn điện ở nhiệt độ phòng". Với tính chất như vậy, silicon là một thành phần quan trọng trong cấu tạo của pin năng lượng mặt trời.

Silicon tuy có mức dẫn điện hạn chế nhưng nó có cấu trúc tinh thể rất phù hợp cho việc tạo ra chất bán dẫn. Nguyên tử silicon cần 4 electron để trung hòa điện tích nhưng lớp vỏ bên ngoài một nguyên tử silicon chỉ có một nửa số electron cần thiết nên nó sẽ bám chặt với các nguyên tử khác để tìm cách trung hòa điện tích. Để tăng độ dẫn điện của silicon, các nhà khoa học đã "tạp chất hóa" nó bằng cách kết hợp nó với các vật liệu khác. Quá trình này được gọi là "doping" và silicon pha tạp với các tạp chất tạo ra nhiều electron tự do và lỗ trống. Một chất bán dẫn silicon có hai phần, mỗi phần được pha tạp với một loại vật liệu khác. Phần đầu tiên được pha với photpho, photpho cần 5 electron để trung hòa điện tích và có đủ 5 electron trong vỏ của nó. Khi kết hợp với silicon, một electron sẽ bị dư ra. Electron đặc trưng cho điện tích âm nên phần này sẽ được gọi là silicon loại N (điện cực N). Để tạo ra silicon loại P (điện cực P), các nhà khoa học kết hợp silicon với boron. Boron chỉ cần 3 electron để trung hòa điện tích và khi kết hợp với silicon sẽ tạo ra những lỗ trống cần được lấp đầy bởi electron [1].

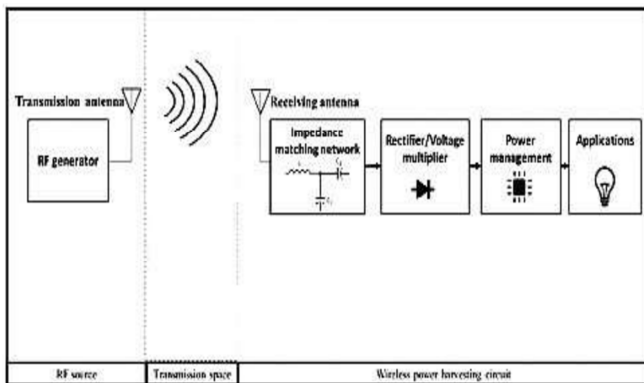
#### 3.2. Thu thập năng lượng sóng điện từ vô tuyến (RF)

Thu hoạch năng lượng tần số vô tuyến (RFEH) là một kỹ thuật chuyển đổi năng lượng được sử dụng để chuyển đổi năng lượng từ trường điện từ (EM) sang miền điện (thành điện áp và dòng điện) được dựa trên phương pháp truyền năng lượng qua sóng điện từ. Đặc biệt, RFEH là một giải pháp rất hấp dẫn để sử dụng trong các mạng cảm biến không dây vì nó cho phép các cảm biến và hệ thống năng lượng thấp được cung cấp năng lượng không dây trong các tình huống ứng dụng khác nhau. Trích xuất năng lượng từ các nguồn RF đặt ra một nhiệm vụ đầy thách thức đối với các nhà thiết kế và nhà nghiên cứu bởi vì công việc này yêu cầu kiến thức bao quát trong các trường điện từ và mạch điện tử. Kiến thức từ cả hai lĩnh vực là cần thiết để thiết kế bộ thu năng lượng RF hiệu suất cao.

Việc sử dụng ngày càng nhiều các thiết bị không dây, như điện thoại di động, máy tính và hệ thống thăm dò,... đã dẫn đến nhu cầu và sự phụ thuộc vào việc sử dụng pin ngày càng tăng. Hiện nay, hầu hết các thiết bị điện tử, chủ yếu trong thị trường tiêu dùng (điện thoại di động, thiết bị đeo tay), được cung cấp bởi pin có một số nhược điểm: chúng phải được thay thế hoặc sạc lại định kỳ và hầu hết chúng bất hợp lý với kích thước và trọng lượng của toàn bộ sản phẩm.

Một trong những thách thức của thị trường là giảm kích cỡ của thiết bị lưu trữ và hệ thống quản lý năng lượng mới để cải thiện hiệu quả thiết bị. Một ý tưởng mới là trích xuất năng lượng từ môi trường để sạc lại pin hoặc cung cấp năng lượng trực tiếp cho thiết bị điện tử. Thu hoạch năng lượng RF sử dụng ý tưởng bắt sóng điện từ trong không gian và lưu trữ chúng để sử dụng. Thiết kế bao gồm một anten với mạch điện tử có khả năng chuyển đổi tín hiệu RF thành điện áp DC. Hiệu suất của anten phụ thuộc chủ yếu vào trở kháng và của mạch chuyển đổi. Nếu không được phối hợp trở kháng, thì bộ nguồn sẽ không thể nhận được tất cả năng lượng một cách tối ưu.

Sóng điện từ đến từ nhiều nguồn khác nhau như trạm vệ tinh, internet không dây, đài phát thanh và phát sóng đa phương tiện kỹ thuật số. Một hệ thống thu hoạch năng lượng tần số vô tuyến có thể thu và chuyển đổi năng lượng điện từ thành điện áp một chiều có thể sử dụng được (DC). Thành phần cơ bản của hệ thống thu năng lượng RF là anten và mạch chỉnh lưu cho phép chuyển đổi nguồn RF hoặc dòng điện xoay chiều (AC) thành dòng điện DC. Việc thực hiện công nghệ này sẽ giúp giảm sự phụ thuộc vào pin, cuối cùng sẽ có tác động tích cực đến môi trường. Vì sản xuất cũng như sử dụng các thiết bị lưu trữ điện như pin, acquy sẽ cần rất nhiều hóa chất và kim loại nặng đây là những tác nhân tác động rất tiêu cực đến môi trường sống hiện nay của chúng ta.



Hình 5. Sơ đồ khối chung của hệ thống thu thập năng lượng RF

Năng lượng RF có thể có sẵn trong môi trường ngay cả khi nó chỉ có từ microwatts, với việc thu hoạch năng lượng tần số vô tuyến, các vấn đề điển hình của các nguồn năng lượng môi trường khác được khắc phục, đó là: môi trường ánh sáng yếu, nhiệt độ chênh lệch không đủ, thiếu rung động; hơn nữa, năng lượng RF có thể được kiểm soát và quản lý liên tục theo yêu cầu. Do đó, năng lượng tần số vô

tuyến không chỉ có thể được sử dụng để sạc lại pin mà còn để tự thay thế pin, để cung cấp năng lượng cho các thiết bị tiêu thụ cực thấp. Đương nhiên, sự sẵn có của loại năng lượng này phụ thuộc vào công suất của nguồn RF và khoảng cách giữa nguồn và máy thu RF, độ nhạy của máy thu, đặc tính của anten thu và tần số của tín hiệu.

Hầu hết các nghiên cứu hiện nay chỉ ra để tối ưu quá trình thu thập năng lượng RF bao gồm các khối chính là anten, khối phối hợp trở kháng, khối chỉnh lưu, khuếch đại điện áp và bộ quản lý năng lượng [8].

Nghiên cứu về sóng điện từ là cần thiết để thiết kế hệ thống thu thập năng lượng RF. Hành vi của sóng điện từ thay đổi tùy theo khoảng cách, tần số và môi trường. Phương trình của Friis quy định công suất của các node cảm biến trong không gian:

$$P_{in,i} = eP_{tx}G_tG_x\left(\frac{\lambda}{4\pi R_i}\right)^2$$

Với:

$P_{in,i}$ ;  $P_{tx}$  lần lượt là công suất thu được của node con thứ i và công suất của máy phát (node mẹ).

$e$  là hiệu suất thu năng lượng của các node con.

$G_t$ ,  $G_x$  lần lượt là độ lợi của anten truyền và nhận.

$\lambda$  là bước sóng và  $R_i$  là khoảng cách từ node mẹ đến node con thứ i.

Các node con sử dụng anten để thu tín hiệu RF và chuyển đổi nó thành điện áp DC thích hợp với bộ chỉnh lưu của chúng. Đến cung cấp năng lượng thích hợp để truyền dữ liệu, các node con lưu trữ năng lượng vào kho lưu trữ năng lượng ví dụ như tụ điện khi đủ năng lượng để truyền gói tin node con sẽ chuyển sang trạng thái gửi dữ liệu. Quá trình này sẽ lặp lại khi node con nhận được năng lượng vào lần tiếp theo.

#### 4. THU THẬP NĂNG LƯỢNG TẦN SỐ VÔ TUYẾN (RF)

##### 4.1. Năng lượng tần số vô tuyến (RF)

Bức xạ tần số radio (Radio Frequency Radiation - RF) là dạng bức xạ không ion hoá. Dải tần radio (RF) trải rộng từ 3kHz đến 3000GHz. Bức xạ RF hiểu theo nghĩa đơn giản nhất là phát xạ các tín hiệu radio từ nguồn phát. Nguồn phát xạ được chia thành hai loại : phát xạ tự nhiên và nhân tạo. Nguồn phát xạ tự nhiên tiêu biểu là các vì sao, mặt trời, tầng ion. Nguồn phát xạ nhân tạo chủ yếu là các hệ thống truyền thông. Trong dải RF đó là các hệ thống phát thanh quảng bá điều chế biên độ (AM) hoặc điều chế tần số (FM), các hệ thống vô tuyến truyền hình quảng bá VHF và UHF, hệ thống điện thoại di động, các hệ thống radar và các hệ thống thông tin vệ tinh,... [6].

Để nhận được tín hiệu vô tuyến, người ta sử dụng anten. Tuy nhiên, anten sẽ nhận hàng ngàn tín hiệu vô tuyến cùng lúc, cần phải có một bộ dò sóng vô tuyến bắt được tần số muốn tìm (hay dải tần). Việc này thường được thực hiện thông qua một bộ cộng hưởng. Mạch cộng hưởng khuếch đại dao động trong một dải tần cụ thể, trong khi giảm dao động ở các tần số khác ngoài băng tần.

**4.2. Tìm hiểu về phối hợp trở kháng**

Khi ở tần số cao (bước sóng microwaves) lý thuyết mạch cơ sở không còn hiệu lực, do pha của dòng và áp thay đổi đáng kể trong các phần tử (các phần tử phân bố).

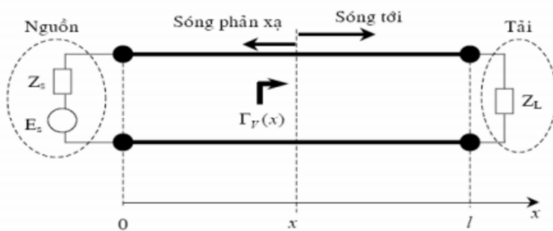
Thông số tập trung: là các đại lượng đặc tính điện xuất hiện hoặc tồn tại ở một vị trí nào đó của mạch điện. Thông số tập trung được biểu diễn bởi một phần tử điện tương ứng (phần tử tập trung - Lumped circuit element), có thể xác định hoặc đo đạc trực tiếp ví dụ (R, L, C, nguồn áp, nguồn dòng).

Thông số phân bố: (distributed element) của mạch điện là các đại lượng đặc tính điện không tồn tại duy nhất ở một vị trí cố định trong mạch điện mà được rải đều trên chiều dài của mạch. Thông số phân bố thường được dùng trong lĩnh vực siêu cao tần, trong các hệ thống truyền sóng (đường dây truyền sóng, ống dẫn sóng, không gian tự do,...) Không thể xác định bằng cách đo đạc trực tiếp các thông số phân bố.

Trong siêu cao tần, khi bước sóng so sánh được với kích thước của mạch thì phải xét cấu trúc của mạch như một hệ phân bố. Đồng thời khi xét hệ phân bố nếu chỉ xét một phần mạch điện có kích thước nhỏ hơn bước sóng rất nhiều thì có thể coi mạch điện này bằng một mạch điện có thông số tập trung để đơn giản hóa bài toán.

Khi xét mạch điện với định nghĩa hệ số phản xạ:

$$\Gamma(x) = \frac{\text{sóng phản xạ}}{\text{sóng tới}}$$



Hình 6. Mạch điện tính hệ số phản xạ

Ta nhận thấy khi  $Z_l = Z_0$  thì hệ số phản xạ sẽ bằng không (không có sóng phản xạ) hay nói cách khác mạch được phối hợp trở kháng. Với các vật liệu đường truyền siêu cao tần hiện tại bằng thực nghiệm đo đạc  $Z_0 = 50\Omega$  [2].

Vậy phối hợp trở kháng (Matching network) là thiết kế sao cho trở kháng nhìn vào bằng  $Z_0$  triệt tiêu phản xạ trên đường truyền.

Mục tiêu phối hợp trở kháng:

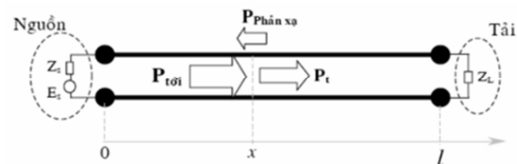
- Lấy được công suất cực đại trên tải, giảm thiểu công suất tổn hao trên đường truyền.
- Đối với các phần tử nhạy thu, phối hợp trở kháng để tăng tỷ số tín hiệu/nhiều của hệ thống (anten, LNA,...).
- Phối hợp trở kháng trong một mạng phân phối công suất (mạng nuôi anten mảng) sẽ cho phép giảm biên độ và lỗi pha.

Công suất khi phối hợp trở kháng:

$$P_t = [V_+ \cdot e^{-\gamma \cdot x} (1 + \Gamma_V(x))] [I_+ \cdot e^{-\gamma \cdot x} (1 + \Gamma_V(x))]$$

$$P_t = P_{t0i}(1 - \Gamma_V(x)) = P_{t0i} - P_{t0i}\Gamma_V^2(x)$$

Khi phối hợp trở kháng công suất thu được trên tải sẽ là cực đại. Bộ nguồn không hoạt động ổn định khi chưa được phối hợp trở kháng. Tần số 915MHz sẽ được chọn để thiết kế vì đây là băng tần của mạng GSM được sử dụng phổ biến với nhiều trạm phát. Thêm vào đó máy phân tích mạng vector sử dụng trên bộ môn Điện tử truyền thông, khoa Điện tử, trường Đại học công nghiệp Hà nội có thể đo trong khoảng 300kHz - 1,3GHz, phù hợp để đo kiểm định bộ nguồn [2].

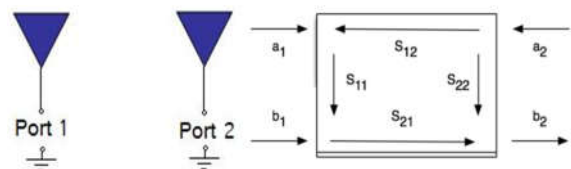


Hình 7. Mạch điện khi phối hợp trở kháng

**4.3. Mạng nhiều cực siêu cao tần**

Ngoài đường truyền và hộp cộng hưởng trong tuyến siêu cao tần còn sử dụng các phần tử thụ động tuyến tính và không tuyến tính khác nhau. Những phần tử này có cấu trúc rất đa dạng và có những tính chất đặc thù để đảm nhiệm những chức năng cần thiết trong tuyến siêu cao tần. Khi nghiên cứu và ứng dụng các phần tử siêu cao tần nếu dựa trên sự tính toán cấu trúc trường điện từ và tính các tham số đặc trưng bên trong của thiết bị thường gặp nhiều khó khăn do cấu trúc và điều kiện bờ của chúng rất phức tạp. Hơn nữa các phần tử này người ta quan tâm chủ yếu đến công suất truyền, hệ số phản xạ và sự phối hợp trở kháng trên đường truyền [4].

Thông qua Tham số S mô tả mối quan hệ đầu vào - đầu ra giữa các cổng (hoặc thiết bị đầu cuối) trong một hệ thống điện. Chẳng hạn, nếu chúng ta có 2 cổng, thì  $S_{12}$  đại diện cho năng lượng được chuyển từ cổng 2 sang cổng 1.  $S_{21}$  đại diện cho năng lượng được chuyển từ cổng 1 sang cổng 2. Nói chung, SNM đại diện cho năng lượng chuyển từ Cổng M sang Cổng N trong mạng đa cổng.  $S_{11}$  đại diện cho công suất phản xạ 1 đang cố gắng phản xạ lại ăng-ten 1.  $S_{22}$  đại diện cho công suất phản xạ 2 đang cố gắng phản xạ lại ăng-ten 2.



Hình 8. Minh họa mạng hai cổng

Suy hao (RL) đại diện cho mức độ phối hợp trở kháng  $50\Omega$  của mạch đối với đường truyền sóng (transmission line). Thông số trở kháng của đường truyền sóng thông thường là  $50\Omega$ , mặc dù có thể xuất hiện một số giá trị khác. Nhưng  $50\Omega$  là tiêu chuẩn trong công nghiệp và các thiết bị

thương mại, do đó đây là giá trị phổ biến nhất. Đối với sự phối hợp trở kháng lý tưởng sẽ không có suy hao.  $S_{11}$  là thang âm của suy hao trên thang dB(decibel). Trong hầu hết trường hợp, suy hao lớn hơn hoặc bằng 10dB, tương đương  $S_{11}$  nhỏ hơn -10dB.

$$\text{Công thức tính suy hao RL(dB)} = 10 \log \frac{P_t}{P_{pX}}$$

Từ thực nghiệm đo được mối tương quan giữa  $S_{11}$  và hiệu suất bức xạ như bảng 1.

Bảng 1. Mối tương quan giữa  $S_{11}$  và hiệu suất bức xạ

$S_{11}$ (dB)	Return Loss (dB)	$P_{\text{reflected}}/P_{\text{incident}}$ (%)	$P_{\text{radiated}}/P_{\text{incident}}$ (%)
-20	20	1	99
-10	10	10	90
-3	3	50	50
-1	1	79	21

Qua đó, khi thiết kế mạch phối hợp trở kháng với thông số  $S_{11}$  đạt -29dB thì hiệu suất giữa công suất bức xạ và công suất tới là 99% [7].

### 5. MÔ PHỎNG VÀ THIẾT KẾ THỬ NGHIỆM BỘ NGUỒN THU THẬP NĂNG LƯỢNG RF

#### 5.1. Thiết kế mạch nguyên lý

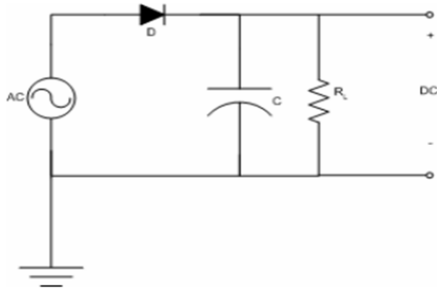
Yêu cầu thông số bộ nguồn thu thập năng lượng RF:

Khi đo thông số  $S_{11}$  bằng máy phân tích mạng vector đạt được  $S_{11} > 15\text{dB}$  tại tần số 915MHz.

Đo được điện áp thu thập năng lượng môi trường từ đầu ra của bộ nguồn.

#### 5.2. Mạch chỉnh lưu bội áp

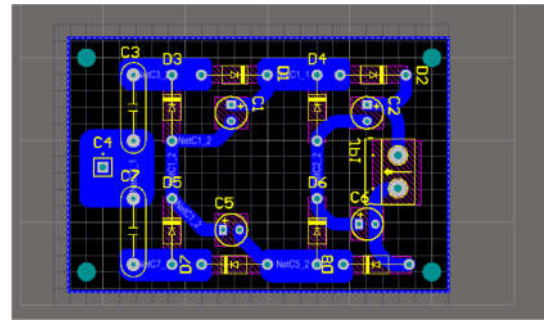
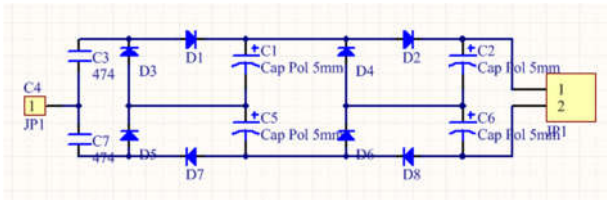
Các nghiên cứu đã chỉ ra để tối ưu khả năng chuyển đổi mức năng lượng thấp chúng ta thường sử dụng mạch chỉnh lưu bội áp có sơ đồ tương đương như hình 9.



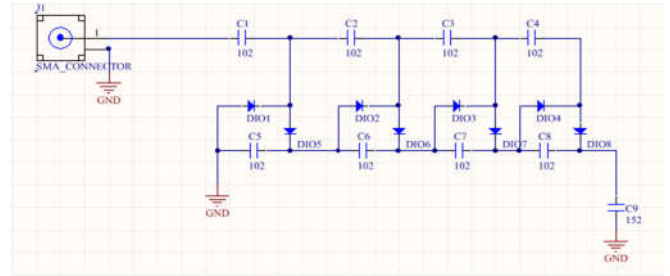
Hình 9. Mạch chỉnh lưu bội áp nửa chu kỳ

#### 5.3. Nguyên lý bộ nguồn và mô phỏng

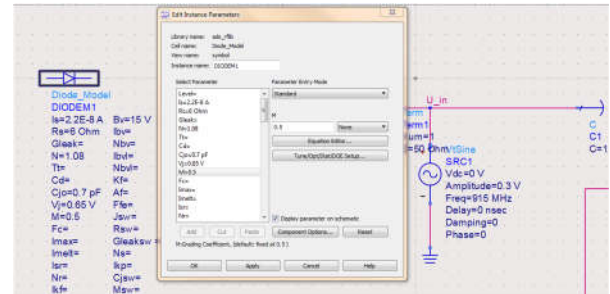
Hình 10 ÷ 13 mô tả sơ đồ nguyên lý và PCB 2 tầng mạch chỉnh lưu bội áp, bộ nguồn thu thập năng lượng không dây, thông số của diode Schottky HSMS-2820, thiết kế layout.



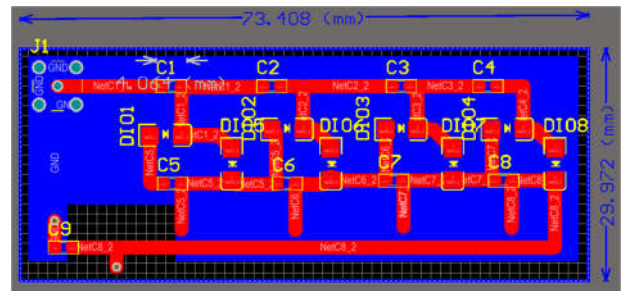
Hình 10. Nguyên lý và PCB 2 tầng mạch chỉnh lưu bội áp



Hình 11. Nguyên lý bộ nguồn thu thập năng lượng không dây

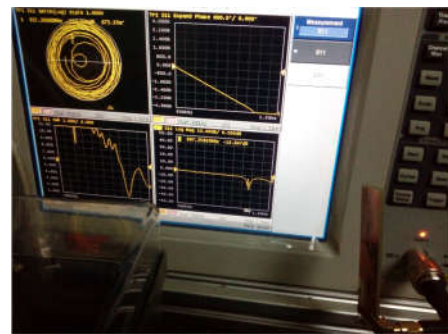


Hình 12. Sử dụng thông số của diode Schottky HSMS-2820 để tiến hành mô phỏng



Hình 13. Thiết kế layout

#### 5.4. Đo đạc và kiểm tra thiết kế



Hình 14. Đo thông số  $S_{11}$  của mạch

Sau khi tạo PCB tiến hành đo, kiểm tra lại thiết kế bằng máy phân tích mạng vector T5113A của TRAANSCOM INSTRUMENTS. Kết quả đo như hình 14.

Ta có thông số  $S_{11} > -20\text{dB}$ , mạch sẽ hoạt động tốt và gần như không có phản xạ.

## 6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã trình bày nguyên lý của bộ thu thập năng lượng không dây (thu năng lượng ở tần số vô tuyến RF). Tiến hành mô phỏng và thiết kế bước đầu thu được sản phẩm cũng như đánh giá được sản phẩm bộ nguồn.

---

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. <https://vogiasolar.com/cau-cao-va-nguyen-ly-hoat-dong-cua-tam-pin-nang-luong-mat-troi-solar-panel/>
- [2]. Đại học Bách khoa Hà Nội. *Giáo trình Phối hợp trở kháng và Tuning*.
- [3]. <https://emin.vn/gioi-thieu-ve-mang-cam-bien-khong-day-330/ne.html>
- [4]. Kiều Khắc Lâu. *Cơ sở kỹ thuật siêu cao tần*.
- [5]. [https://vi.wikipedia.org/wiki/Thang\\_Kardashev](https://vi.wikipedia.org/wiki/Thang_Kardashev)
- [6]. <https://stttt.quangbinh.gov.vn/3cms/buc-xa-tan-so-vo-tuyen-dien---nhung-dieu-can-biet..htm>
- [7]. <http://www.antenna-theory.com/definitions/sparameters.php>
- [8]. Jaeho Kim, Jaeho Kim, Jang-Won Lee. *Energy Adaptive MAC Protocol for Wireless Sensor Networks with RF Energy Transfer*.
- [9] Zhi Ang Eu, Hwee-Pink Tan, Winston K.G. Seah. *Design and performance analysis of MAC schemes for Wireless Sensor Networks Powered by Ambient Energy Harvesting*.