

KỸ THUẬT ĐO CÔNG SUẤT CAO TẦN

Ngày nay, nền công nghiệp sử dụng công nghệ cao đang phát triển rất mạnh, cùng với đó việc ứng dụng các kỹ thuật cao tần ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong đời sống. Trước đây kỹ thuật cao tần hầu như chỉ được nghiên cứu và sử dụng trong lĩnh vực quân sự, tuy nhiên hiện nay đã và đang được dùng ngày càng nhiều trong đời sống đặc biệt trong các lĩnh vực như thông tin liên lạc hay trong y tế. Với những ứng dụng rộng rãi đó, yêu cầu về hiểu biết những khái niệm cơ bản, tính chất hay các kỹ thuật cao tần là rất cần thiết. Một kỹ thuật rất quan trọng và cơ bản trong lĩnh vực này là việc đo và xác định được công suất của các tín hiệu tần số cao.

Sóng điện từ suất hiện trong tự nhiên như là một hiện tượng tự nhiên, ở dạng bức xạ điện từ gây ra bởi sấm sét, các vụ nổ siêu tân tinh trong vũ trụ vv. Sóng điện từ suất hiện với nhiều tần số khác nhau. Giới hạn nghiên cứu về sóng điện từ trong tài liệu này được gọi là sóng cao tần. Sóng cao tần là một phần trong phổ điện từ toàn dải thường được biết như một môi trường của các hệ thống thông tin liên lạc, băng tần của nó trải rộng trong phạm vi từ 3 kHz đến 300 GHz. Sóng điện từ có một số đặc tính như sau:

- Lan truyền được trong các môi trường rắn, lỏng, khí và chân không.
- Là một dao động điện từ mà hướng dao động vuông góc với hướng lan truyền sóng.
- Tốc độ lan truyền sóng trong chân không là lớn nhất và bằng $c = 3 \times 10^8$ m/s.
- Luôn tạo thành một tam diện thuận.
- Sóng cao tần cũng có các tính chất của sóng cơ như: Phản xạ, khúc xạ, giao thoa, ... và cũng tuân theo các quy luật truyền thẳng, giao thoa, khúc xạ,...
- Sóng cao tần mang năng lượng. Một hạt photon có bước sóng λ sẽ mang một năng lượng là $\frac{h \times c}{\lambda}$, với h là hằng số Planck và c là vận tốc ánh sáng trong chân không. Như vậy, bước sóng càng dài thì năng lượng photon càng nhỏ.
- Sóng cao tần truyền thẳng trong phạm vi nhìn thấy trực tiếp. Hầu hết các dải sóng đều có khả năng xuyên qua bầu khí quyển trái đất và thay đổi ít về công suất và phương truyền.
- Sóng cao tần có tính định hướng cao khi bức xạ từ những vật có kích thước lớn hơn nhiều so với bước sóng.
- Sóng cao tần cho phép dải tần số sử dụng rất lớn.

Trong đời sống, sóng cao tần có một số ứng dụng chính sau:

- Giám sát điều khiển và đo lường từ xa: Sóng cao tần được dùng trong các hệ thống điều khiển và giám sát tự động như điều khiển phương tiện, máy móc, robot, ...

- Truyền thông tin tín hiệu (hữu tuyến và vô tuyến): Đây là một ứng dụng chính của sóng cao tần, tùy theo mục đích và khoảng cách truyền để sử dụng băng tần khác nhau (thông tin di động, thông tin vệ tinh, các hệ thống truyền thông quang bá, hàng hải ...).

- Sóng cao tần được ứng dụng trong chế biến sản phẩm nông nghiệp: Sóng cao tần có thể được dùng để tiêu diệt sâu bọ trong các hạt sấy khô. Ứng dụng này được các nhà khoa học người Mỹ nghiên cứu và thử nghiệm với các quả óc chó, hồ trăn và một số loại quả khác.

Sóng cao tần được sử dụng rộng rãi trong y học, sóng cao tần được sử dụng để trị một số bệnh như:

- Các bệnh về phổi: Sóng cao tần phát ra từ thiết bị đi vào phổi, đốt nóng và làm mềm các khối cơ, từ đó làm các đường dẫn khí lưu thông điều trị bệnh hen.

- Bệnh viêm amidan: Sóng cao tần cao tần được sử dụng trong máy Coblator giúp bác sĩ có thể thực hiện nhanh thủ thuật và hạn chế tối đa thương tổn.

- Rối loạn nhịp tim

- Bệnh về gan như viêm gan, ngoài ra sóng cao tần có thể phá hủy ung thư gan.

- Hỗ trợ trong việc điều trị chứng viễn thị, đau lưng. Ngoài ra còn rất nhiều bệnh đã được điều trị rất hiệu quả sử dụng sóng cao tần.

Một ứng dụng của sóng cao tần được sử dụng phổ biến trong hàng hải, hàng không và quân sự là radar. Radar (*Radio detection and ranging*) là một hệ thống dò tìm sử dụng sóng vô tuyến để xác định khoảng cách (phạm vi), góc phương vị hoặc vận tốc của một hoặc nhiều đối tượng, có thể được sử dụng để phát hiện khí cụ bay, tàu thủy, thiết bị vũ trụ, tên lửa tự hành, phương tiện cơ giới, hình thái thời tiết và địa hình.

- Radar có thể phát hiện vật ở một khoảng cách rất xa bằng sự phản hồi của sóng cao tần. Sóng khi gặp vật thể sẽ phản xạ lại, khoảng thời gian của sự phản xạ này được dùng để xác định khoảng cách.

- Radar định vị: Sóng ngắn sẽ được quét một vùng không gian rộng từ 2 tới 4 lần trong 1 phút, sóng phản hồi từ mặt đất sẽ giúp xác định vị trí. Radar loại này đã được sử dụng phổ biến trên tàu hay máy bay thương mại.

- Radar dò tìm mục tiêu: Sóng ngắn được quét một vùng không gian nhỏ thường vài lần một giây, vật thể nằm trong vùng quét sẽ làm phản xạ sóng trở lại qua đó phát hiện được mục tiêu.

- Radar thời tiết: sóng với phân cực tròn và có bước sóng phản hồi từ các giọt nước,

- Radar đo tốc độ: Ứng dụng hiệu ứng Doppler để đo tốc độ gió, tốc độ chất lỏng hay tốc độ vật thể chuyển động như radar đo tốc độ phương tiện giao thông.

- Ngoài ra còn có rất nhiều các loại radar sử dụng sóng radio với các mục đích chuyên dụng.

Để nghiên cứu và ứng dụng và tìm hiểu tính chất của sóng cao tần (sóng radio) vào trong thực tế thì người ta đặt vấn đề định lượng được nó. Nó có công suất là bao nhiêu, tần số hoạt động như thế nào... tóm lại là đo được nó.

Mặc dù các phép đo điện áp rất chính xác, tuy nhiên khi đo ở tần số cao trở nên rất khó khăn. Ở tần số thấp (khoảng dưới 100 kHz), thực tế có thể đo riêng dòng điện và điện áp của tín hiệu, công suất sẽ được tính toán từ các phép đo điện áp trên trở kháng giả định. Khi tần số tăng lên, trở kháng có sự thay đổi lớn, do đó các phép đo công suất trực tiếp sẽ được ưu tiên.

Khi tín hiệu ở cao tần, bước sóng lan truyền trong dây dẫn trở nên nhỏ hơn nhiều, mặt khác các hiện tượng phản xạ tín hiệu, sóng dừng và sự không phối hợp trở kháng đều có thể trở thành nguồn lỗi rất đáng kể. Máy đo công suất được thiết kế phù hợp có thể giảm thiểu các hiệu ứng này và cho phép đo biên độ một cách chính xác. Vì những lý do này, công suất đã được sử dụng làm đại lượng đo biên độ chính của tín hiệu cao tần.

Kể từ cuối những năm 1800, khi Nikola Tesla lần đầu tiên trình diễn việc truyền dẫn không dây (wireless transmission), từ đó đặt ra vấn đề xác định công suất đầu ra của các mạch phát cao tần. Công việc này thường hoạt động ở mức tần số cao và việc cần xác định công suất là mức phóng điện của “tia chớp cao tần” (RF lighting). Việc đó rất khó để thực hiện với bất kỳ phép đo “tiếp xúc” nào.

Khoảng năm 1888, một nhà vật lý người Áo tên là Ernst Lecher đã phát triển kỹ thuật “dây dẫn” (Wires) của mình như một phương pháp đo tần số của bộ dao động cao tần. Thiết bị, thường được gọi là “Dây Lecher” (Lecher wires), bao gồm hai thanh hoặc dây dẫn song song, được đặt cách nhau một khoảng không

đôi, giữa chúng có một đoạn mạch trượt ngắn. Các dây dẫn tạo thành một đường truyền cao tần và bằng cách di chuyển thanh Lecher có thể tạo ra các sóng dừng trong đường dây, kết quả xuất hiện một loạt các đỉnh và điểm không. Bằng cách đo khoảng cách vật lý giữa hai đỉnh hoặc hai điểm không, bước sóng của tín hiệu được xác định và do đó có thể tính được tần số của nó.

Năm 1933, H.V. Noble, một kỹ sư của Westinghouse, đã cải tiến một số nghiên cứu của Tesla và có thể truyền vài trăm watt ở 100 MHz trong khoảng cách 10 m hoặc hơn. Việc truyền năng lượng cao tần không dây này đã được trình diễn tại hội chợ Chicago World tại triển lãm Westinghouse. Tần số của nó đủ thấp để điện áp tín hiệu truyền và nhận có thể được đo trực tiếp bằng các thiết bị điện tử thông thường thời đó – ống chân không và máy dò “râu mèo” (cat’s whisker). Tuy nhiên, ở tần số cao hơn (trên 100 MHz) những phương pháp đơn giản này không hoạt động tốt.

Anh em nhà Varian đã sử dụng một kỹ thuật chỉ thị khác vào cuối những năm 1930 phát triển thành Klystron (đèn điện tử chân không). Họ khoan một lỗ nhỏ ở bên cạnh khoang cộng hưởng và đặt một màn huỳnh quang bên cạnh. Ánh sáng sẽ cho biết các phân tử đang dao động và độ sáng sẽ chỉ thị giá trị công suất thay đổi tuy nhiên chỉ thị này rất thô. Tất cả các kỹ thuật này đơn giản là báo hiệu tín hiệu cao tần hơn là các công cụ đo lường.

Water- flow calorimeter (Thiết bị đo nhiệt năng dạng nước chảy), vốn một thiết bị phổ biến cho các mục đích sử dụng khác, đã được điều chỉnh cho các phép đo công suất cao tần lớn dựa trên đo hiệu ứng nhiệt của tín hiệu và được đưa vào sử dụng ở vị trí có thể lắp đặt “tải giả”. Bằng cách theo dõi dòng nước và nhiệt độ tăng lên khi làm mát tải, từ đó có thể đo công suất trung bình trong thời gian dài do tải tiêu thụ.

Cặp nhiệt điện là một trong những cách đầu tiên để đo trực tiếp mức công suất cao tần mức thấp. Điều này được thực hiện bằng cách đo hiệu ứng nhiệt của nó khi có tải và ngày nay vẫn được sử dụng phổ biến để đo công suất hiệu dụng. Ampe mét cao tần dùng cặp nhiệt điện đã được sử dụng từ trước năm 1930 nhưng bị hạn chế ở dải tần số thấp. Mãi đến những năm 1970, các cặp nhiệt điện mới được phát triển cho phép sử dụng chúng làm cảm biến dải VHF cao hơn.

Trong những năm sau đó, cặp nhiệt điện và diode bán dẫn đã cải thiện cả về độ nhạy và ở tần số cao. Vào giữa những năm 1940, các máy dò “râu mèo” mỏng manh, làm từ ga-len (galena) đã được thay thế bằng các diode tích hợp, rất

ổn định có thể được hiệu chuẩn theo các chuẩn đã biết và được sử dụng để đo công suất cao tần cho các mục đích chung hơn.

Phép đo công suất dựa trên diode đã được cải thiện hơn nữa trong những năm 50 và 60, và hãng Boonton Electronics đã có một số đóng góp đáng chú ý cho ngành công nghiệp, ban đầu là các phép đo điện áp cao tần.

Vôn mét cao tần và máy đo công suất tiếp tục phát triển trong suốt những năm 70 với việc áp dụng công nghệ kỹ thuật số và bộ vi xử lý, nhưng đây đều là những thiết bị “chỉ đo giá trị trung bình” và một số ít có khả năng định lượng các phép đo đỉnh. Khi tín hiệu xung cần được xác định các thông số, một kỹ thuật được chấp nhận sử dụng là dùng máy hiện sóng để xem dạng sóng một cách định tính và thực hiện phép đo công suất trung bình trên tín hiệu tổng hợp bằng máy đo công suất sóng liên tục hoặc phép đo công suất cao - ví dụ như sử dụng nhiệt lượng kế (calorimeter).

“Oát mét trượt ngược” (slideback wattmeter) sử dụng cảm biến diode và được thay thế bằng một điện áp DC cho xung cao tần khi xung tắt, mang đến một cách để đo biên độ xung khi bù cho chu kỳ làm việc. Tuy nhiên, một cách tiếp cận phổ biến hơn là cần xác định đặc trưng của cảm biến diode để hiệu chỉnh đáp ứng xung, đây là một kỹ thuật được tiên phong bởi Boonton Radio, một công ty địa phương đã cung cấp rất nhiều công nghệ cho Boonton Electronics.

Công nghệ hiện đại trong các máy đo công suất đỉnh được ra đời vào đầu những năm 1990. Boonton Electronics, Hewlett Packard (sau này là Agilent Technologies) và Wavetek đều đã giới thiệu các thiết bị được thiết kế đặc biệt để đo tín hiệu xung hoặc tín hiệu điều chế, đồng thời điều chỉnh đáp ứng phi tuyến tính của cảm biến diode trong thời gian thực. Những thiết bị này đã phát triển theo thời gian với việc áp dụng các cảm biến tốt hơn và công nghệ xử lý tín hiệu kỹ thuật số tốc độ cao.

Tài liệu này trình bày một số nội dung của việc đo công suất cao tần ở phạm vi công suất nhỏ và chính xác, đây là phạm vi cơ bản của đo công suất. Với các phạm vi mở rộng ở công suất cao sẽ được đề cập cụ thể ở các tài liệu khác. Tài liệu này trình bày các khái niệm đặc trưng đo cơ bản của các thiết bị đo công suất phân loại, nguyên lý cấu tạo, hoạt động và giới thiệu sơ lược về hệ thống thiết bị đo công suất đặc biệt tại Việt Nam. Ngoài ra tài liệu cũng giới thiệu về các phép đo, hiệu chuẩn công suất cao tần cơ bản. Nội dung của tài liệu bao gồm các mục chính sau:

Chương 1. Tổng quan về lĩnh vực đo công suất cao tần.

Chương 2. Phương tiện đo công suất cao tần.

Chương 3. Chuẩn và liên kết chuẩn đo lường lĩnh vực công suất cao tần.

Chương 4. Hiệu chuẩn phương tiện đo công suất cao tần.

Tài liệu kỹ thuật đo công suất cao tần có thể sử dụng như một tài liệu tham khảo cho những người những người muốn tìm hiểu hay làm việc tại lĩnh vực cao tần. Việc biên soạn tài liệu đại cương cho cả một lĩnh vực đo lường công suất cao tần cần rất nhiều thời gian và phải luôn cập nhật cùng với sự phát triển khoa học công nghệ.

Hà Nội, tháng 3/2024

Phòng đo lường Điện tử trường, Viện Đo lường Việt Nam

Đoàn Anh Khoa và cộng sự

(Lưu ý: Nếu Quý độc giả quan tâm bản đầy đủ tài liệu kỹ thuật đo xin liên hệ theo số điện thoại 0914915453)