

WIKIPEDIA

Điều chế tần số

Điều chế tần số (FM) là mã hóa thông tin trong sóng mang bằng cách thay đổi tần số tức thời của sóng. Công nghệ này được sử dụng trong viễn thông, phát sóng vô tuyến, xử lý tín hiệu và máy tính.

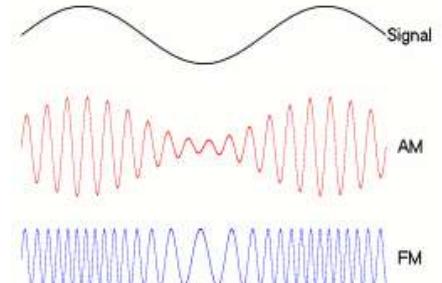
Trong điều chế tần số tương tự, chẳng hạn như phát sóng vô tuyến, của tín hiệu âm thanh đại diện cho giọng nói hoặc âm nhạc, độ lệch tần số tức thời, tức là sự khác biệt giữa tần số của sóng mang và tần số trung tâm của nó, có mối quan hệ hàm với biên độ tín hiệu điều chế.

Dữ liệu kỹ thuật số có thể được mã hóa và truyền với một loại điều chế tần số được gọi là khóa dịch tần (FSK), trong đó tần số tức thời của sóng mang được dịch chuyển giữa một tập hợp các tần số. Các tần số có thể đại diện cho các chữ số, chẳng hạn như '0' và '1'. FSK được sử dụng rộng rãi trong các modem máy tính, chẳng hạn như modem fax, hệ thống ID người gọi điện thoại, thiết bị mở cửa ga ra và các đường truyền tần số thấp khác.^[1] Radioteletype cũng sử dụng FSK.^[2]

Điều chế tần số được sử dụng rộng rãi để phát sóng radio FM. Nó cũng được sử dụng trong máy đo từ xa, radar, khảo sát địa chấn và theo dõi trẻ sơ sinh co giật qua điện não đồ,^[3] hệ thống vô tuyến hai chiều, tổng hợp âm thanh, hệ thống ghi băng từ và một số hệ thống truyền video. Trong truyền dẫn vô tuyến, một ưu điểm của điều chế tần số là nó có tỷ số tín hiệu trên tạp âm lớn hơn và do đó loại bỏ nhiều tần số vô tuyến tốt hơn so với tín hiệu điều chế biên độ công suất bằng nhau (AM). Vì lý do này, hầu hết âm nhạc được phát qua Đài FM.

Tuy nhiên, trong điều kiện đa đường dẫn khía cạnh nghiên cứu, nó hoạt động kém hơn nhiều so với AM, với các hiện tượng nhiễu tần số cao khác biệt có thể nghe được với âm lượng thấp hơn và âm ít phức tạp hơn. Với âm lượng đủ lớn và độ lệch sóng mang bất đồng xảy ra, biến dạng âm thanh sẽ không xuất hiện nếu không có đa đường hoặc với tín hiệu AM.

Điều chế tần số và điều chế pha là hai phương pháp điều chế góc bổ sung chính cho nhau; điều chế pha thường được sử dụng như một bước trung gian để đạt được điều chế tần số. Các phương pháp này tương phản với điều chế biên độ, trong đó biên độ của sóng mang thay đổi, trong khi tần số và pha không đổi.



Một tín hiệu có thể được truyền bằng sóng radio AM hoặc FM.



FM có khả năng loại bỏ tiếng ồn (RFI) tốt hơn AM, như được thể hiện trong cuộc biểu tình công khai ánh sáng ở New York năm 1940. Đài có cả máy thu AM và FM. Với hồ quang điện triệu vôn là nguồn gây nhiễu phía sau nó, máy thu AM chỉ tạo ra tiếng gầm tĩnh, trong khi máy thu FM tái tạo rõ ràng chương trình âm nhạc từ máy phát FM thử nghiệm W2XMN của Armstrong ở New Jersey.

Nội dung

Học thuyết

- [Tín hiệu dải cơ sở hình sin](#)
- [Chỉ số điều chế](#)
- [Các hàm Bessel](#)
- [Quy tắc của Carson](#)

Giảm tiếng ồn

Thực hiện

- [Điều chế](#)
- [Giải điều chế](#)

Các ứng dụnghiệu ứng DopplerLưu trữ băng tầnÂm thanhĐài**Xem thêm**Người giới thiệuđọc thêmliên kết ngoại

Lý thuyết

Nếu thông tin được truyền đi (tức là tín hiệu băng tần cơ sở) là $x_m(t)$ và sóng mang hình sin là $x_c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)$, trong đó f_c là tần số cơ bản của sóng mang và A_c là biên độ của sóng mang, bộ điều chế kết hợp sóng mang với tín hiệu dữ liệu băng gôc để có được tín hiệu truyền: [4]

$$\begin{aligned} y(t) &= A_c \cos\left(2\pi \int_0^t f(\tau) d\tau\right) \\ &= A_c \cos\left(2\pi \int_0^t [f_c + f_\Delta x_m(\tau)] d\tau\right) \\ &= A_c \cos\left(2\pi f_c t + 2\pi f_\Delta \int_0^t x_m(\tau) d\tau\right) \end{aligned}$$

ở đây $f_\Delta = K_f A_m$, K_f là độ nhạy của bộ điều khiển và A_m là biên độ của tín hiệu điều chế hoặc tín hiệu băng gôc.

Trong phương trình này, $f(\tau)$ là tần số tức thời của dao động và f_Δ là độ lệch tần số, đại diện cho sự dịch chuyển cực đại ra khỏi f_c theo một hướng, giả sử $x_m(t)$ được giới hạn trong phạm vi ± 1 .

Mặc dù pha lớn năng lượng của tín hiệu nằm trong $f_c \pm f_\Delta$, nó có thể được chỉ ra bằng phân tích Fourier rã ng cần phải có một dài tần số rộng hơn để biểu diễn chính xác tín hiệu FM. Phổ tần số của tín hiệu FM thực tế có các thành phần mở rộng vô hạn, mặc dù biên độ của chúng giảm và các thành phần bậc cao thường bị bỏ qua trong các bài toán thiết kế thực tế. [5]

Tín hiệu dải cơ sở hình sin

Về mặt toán học, tín hiệu điều chế băng tần cơ sở có thể được tính bằng cách tích phân tín hiệu sóng liên tục hình sin có tần số f_m . Phương pháp này còn được đặt tên là điều chế đơn âm. Tích phân của một tín hiệu như vậy là:

$$\int_0^t x_m(\tau) d\tau = \frac{\sin(2\pi f_m t)}{2\pi f_m}$$

Trong trường hợp này, biểu thức cho $y(t)$ ở trên đơn giản hóa thành:

$$y(t) = A_c \cos\left(2\pi f_c t + \frac{f_\Delta}{f_m} \sin(2\pi f_m t)\right)$$

biên độ ở đây A_m của hình sin điều biến được biểu diễn trong độ lệch định $f_\Delta = K_f A_m$ (xem độ lệch tần số).

Sự phân bố hài của sóng mang sóng sin được điều chế bởi tín hiệu hình sin như vậy có thể được biểu diễn bằng các hàm Bessel; điều này cung cấp cơ sở cho sự hiểu biết toán học về điều chế tần số trong miênn tần số.

Chỉ số điều chế

Như trong các hệ thống điều chế khác, chỉ số điều chế cho biết mức độ thay đổi của biến điều chế xung quanh mức không điều chế của nó. Nó liên quan đến các biến trong tần số sóng mang:

$$h = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{f_\Delta |x_m(t)|}{f_m}$$

ở đây f_m là thành phần tần số cao nhất có trong tín hiệu điều chế $x_m(t)$, và Δf là độ lệch tần số định – tức là độ lệch lớn nhất của tần số tín hiệu so với tần số sóng mang. Đôi khi với điều chế sóng hình sin, chỉ số điều chế được xem là tỷ số giữa độ lệch tần số định của sóng mang và tần số của sóng hình sin điều chế.

Nếu $uh \ll 1$, điều chế được gọi là **FM băng hẹp** (NFM) và băng thông của nó xấp xỉ $2f_m$. Đôi khi chỉ số điều chế $h < 0.3$ được coi là NFM, nếu không thì FM băng rộng (WFM hoặc FM).

Đối với hệ thống điều chế kỹ thuật số, ví dụ khóa dịch tần số nhị phân (BFSK), trong đó tín hiệu nhị phân điều chế sóng mang, chỉ số điều chế được cho bởi:

$$h = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{\Delta f}{\frac{1}{2T_s}} = 2\Delta f T_s$$

ở đây T_s là khoảng thời gian biều tượng, và $f_m = \frac{1}{2T_s}$ được sử dụng làm tần số cao nhất của dạng sóng nhị phân điều chế theo quy ước, mặc dù sẽ chính xác hơn nếu nói nó là tần số cơ bản cao nhất của dạng sóng nhị phân điều chế. Trong trường hợp điều chế kỹ thuật số, sóng mang f_c không bao giờ được truyền đi. Thay vào đó, một trong hai tần số được truyền đi, $f_c + \Delta f$ hoặc $f_c - \Delta f$, tùy thuộc vào trạng thái nhị phân 0 hoặc 1 của tín hiệu điều chế.

Nếu $uh \gg 1$, điều chế được gọi là **FM băng rộng** và băng thông của nó xấp xỉ $2f_\Delta$. Trong khi FM băng rộng sử dụng nhiều băng thông hơn, nó có thể cải thiện đáng kể tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu; ví dụ: tăng gấp đôi giá trị của Δf , trong khi giữ f_m không đổi, dẫn đến tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu được cải thiện gấp tám lần.^[6] (So sánh điều này với trái phổ chirp, sử dụng độ lệch tần số cực rộng để đạt được lợi ích xử lý tương đương với các chế độ trái phổ truyền thông, được biết đến nhiều hơn).

Với sóng FM điều chế âm, nếu giữ tần số điều chế không đổi và tăng chỉ số điều chế thì băng thông (không đáng kể) của tín hiệu FM tăng lên nhưng khoảng cách giữa các phổ không đổi; một số thành phần quang phổ giảm độ mạnh khi những thành phần khác tăng lên. Nếu giữ độ lệch tần số không đổi và tăng tần số điều chế thì khoảng cách giữa các quang phổ sẽ tăng lên.

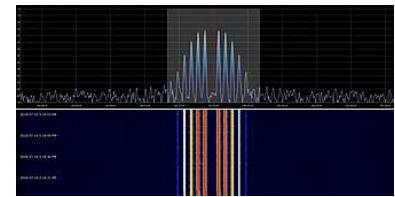
Điều chế tần số có thể được phân loại là băng hẹp nếu sự thay đổi tần số sóng mang gần bằng tần số tín hiệu, hoặc băng rộng nếu sự thay đổi tần số sóng mang cao hơn nhiều (chỉ số điều chế > 1) so với tần số tín hiệu.^[7] Ví dụ, FM băng hẹp (NFM) được sử dụng cho các hệ thống vô tuyến hai chiều như Dịch vụ Radio Gia đình, trong đó sóng mang chỉ được phép lệch 2,5 kHz trên và dưới tần số trung tâm với tín hiệu giọng nói không quá 3,5 kHz. FM băng rộng được sử dụng để phát sóng FM, trong đó âm nhạc và lời nói được truyền với độ lệch lên đến 75 kHz so với tần số trung tâm và mang âm thanh với băng thông lên đến 20 kHz và sóng mang phụ lên đến 92 kHz.

Các hàm Bessel

Đối với trường hợp sóng mang được điều chế bởi một sóng sin, phổ tần số thu được có thể được tính bằng cách sử dụng các hàm Bessel của loại đầu tiên, như một hàm của số biên và chỉ số điều chế. Biên độ sóng mang và dài biên được minh họa cho các chỉ số điều chế khác nhau của tín hiệu FM. Đối với các giá trị cụ thể của chỉ số điều chế, biên độ sóng mang trở thành 0 và tần số cá công suất tín hiệu nằm trong dài biên.^[5]

Vì các dài biên nằm ở cả hai phía của sóng mang, số lượng của chúng được nhân đôi, và sau đó nhân với tần số điều chế để tìm ra băng thông. Ví dụ, độ lệch 3 kHz được điều chế bởi âm thanh 2,2 kHz tạo ra chỉ số điều chế là 1,36. Giả sử rằng chúng ta chỉ giới hạn ở những dài biên có biên độ tương đối ít nhất là 0,01. Sau đó, xem xét biểu đồ cho

thấy chỉ số́ điều chế này sẽ tạo ra ba dải biên. Ba dải biên này, khi được nhân đôi, cho chúng ta ($6 \times 2,2$ kHz) hoặc băng thông yêu cầu $13,2$ kHz.



Phổ tần số và biểu đồ thác nước của sóng mang 146,52 MHz, tần số được điều chế bằng hình sin 1.000 Hz. Chỉ số điều chế đã được điều chỉnh về khoảng 2,4, do đó tần số sóng mang có biên độ nhỏ. Một số dải bên mạnh mẽ là rõ ràng; về nguyên tắc, một số vô hạn được tạo ra trong FM nhưng các dải biên bậc cao hơn có độ lớn không đáng kể.

Chỉ số điều chế	Vận chuyển	Biên độ dải biên															
		1	2	3	4	5	6	7	số 8	9	10	11	12	13	14	15	16
0,00	1,00																
0,25	0,98	0,12															
0,5	0,94	0,24	0,03														
1,0	0,77	0,44	0,11	0,02													
1,5	0,51	0,56	0,23	0,06	0,01												
2,0	0,22	0,58	0,35	0,13	0,03												
2,41	0,00	0,52	0,43	0,20	0,06	0,02											
2,5	-0,05	0,50	0,45	0,22	0,07	0,02	0,01										
3,0	-0,26	0,34	0,49	0,31	0,13	0,04	0,01										
4,0	-0,40	-0,07	0,36	0,43	0,28	0,13	0,05	0,02									
5,0	-0,18	-0,33	0,05	0,36	0,39	0,26	0,13	0,05	0,02								
5,53	0,00	-0,34	-0,13	0,25	0,40	0,32	0,19	0,09	0,03	0,01							
6,0	0,15	-0,28	-0,24	0,11	0,36	0,36	0,25	0,13	0,06	0,02							
7,0	0,30	0,00	-0,30	-0,17	0,16	0,35	0,34	0,23	0,13	0,06	0,02						
8,0	0,17	0,23	-0,11	-0,29	-0,10	0,19	0,34	0,32	0,22	0,13	0,06	0,03					
8,65	0,00	0,27	0,06	-0,24	-0,23	0,03	0,26	0,34	0,28	0,18	0,10	0,05	0,02				
9,0	-0,09	0,25	0,14	-0,18	-0,27	-0,06	0,20	0,33	0,31	0,21	0,12	0,06	0,03	0,01			
10,0	-0,25	0,04	0,25	0,06	-0,22	-0,23	-0,01	0,22	0,32	0,29	0,21	0,12	0,06	0,03	0,01		
12,0	0,05	-0,22	-0,08	0,20	0,18	-0,07	-0,24	-0,17	0,05	0,23	0,30	0,27	0,20	0,12	0,07	0,03	0,01

Quy tắc của Carson

Một quy tắc chung, quy tắc Carson nói rắng gấn như tất cả (≈ 98 phấn trăm) sức mạnh của tín hiệu được điều chế tần số nắm trong một băng thông B_T của:

$$B_T = 2(\Delta f + f_m) = 2f_m(\beta + 1)$$

ở đâu Δf , như đã định nghĩa ở trên, là độ lệch định của tần số tức thời $f(t)$ từ tần số sóng mang trung tâm f_c , β là chỉ số điệu u ché, là tỷ số giữa độ lệch tần số với tần số cao nhất trong tín hiệu điệu u ché và f_m là tần số cao nhất trong tín hiệu điệu u ché. Điều kiện để áp dụng quy tắc Carson chỉ là các tín hiệu hình sin. Đô i với tín hiệu không phải hình sin:

$$B_T = 2(\Delta f + W) = 2W(D + 1)$$

trong đó W là tần số cao nhất của tín hiệu điệu u ché nhưng có bán ché t không phải hình sin và D là tỷ số độ lệch là tỷ số giữa độ lệch tần số với tần số cao nhất của tín hiệu điệu u ché không hình sin.

Giảm tiê ng ô n

FM cung cấp tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu (SNR) được cải thiện, ví dụ như so với AM. So với sơ đồ AM tối ưu, FM thường có SNR kém hơn dưới một mức tín hiệu nhất định được gọi là ngưỡng nhiễu, nhưng trên mức cao hơn - mức cải thiện hoàn toàn hoặc ngưỡng im lặng hoàn toàn - SNR được cải thiện nhiều so với AM. Sự cải thiện phụ thuộc vào mức độ điệu u ché và độ lệch. Đô i với các kênh liên lạc thoại diền hình, các cải tiến thường là 5–15 dB. Phát sóng FM sử dụng độ lệch rộng hơn có thể đạt được những cải tiến lớn hơn nữa. Các kỹ thuật bổ sung, chẳng hạn như nhán mạnh trước các tần số âm thanh cao hơn với giảm nhán mạnh tương ứng trong máy thu, thường được sử dụng để cải thiện SNR tổng thể trong mạch FM. Vì tín hiệu FM có biên độ không đổi, máy thu FM thường có bộ hạn chế loại bỏ nhiễu AM, cải thiện SNR hơn nữa. [8] [9]

Thực hiện

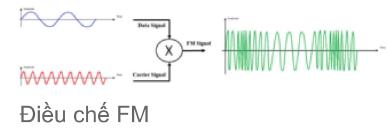
Điều ché

Tín hiệu FM có thể được tạo ra bằng cách sử dụng điệu u ché tần số trực tiếp hoặc gián tiếp:

- Điều ché FM trực tiếp có thể đạt được bằng cách đưa trực tiếp bản tin vào đầu vào của bộ dao động điều khiển bằng điện áp.
- Đối với điều ché FM gián tiếp, tín hiệu bản tin được tích hợp để tạo ra tín hiệu điều ché pha. Điều này được sử dụng để điều ché một bộ dao động điều khiển bằng tinh thể, và kết quả được chuyển qua bộ nhân tần số để tạo ra tín hiệu FM. Trong điều ché này, FM băng hẹp được tạo ra dẫn đến FM băng rộng sau này và do đó điều ché được gọi là điều ché FM gián tiếp. [10]

Giải điều ché

Nhiều mạch dò FM tồn tại. Phương pháp phổ biến để khôi phục tín hiệu thông tin là thông qua bộ phân biệt Foster-Seeley hoặc bộ dò tỷ lệ. Một vòng lặp khóa pha có thể được sử dụng như một bộ giải điệu u ché FM. Phát hiện độ dò c giải điệu u ché tín hiệu FM bằng cách sử dụng một mạch đã điều chỉnh có tần số cộng hưởng của nó hơi lệch so với sóng mang. Khi tần số tăng và giảm, mạch được điều chỉnh cung cấp biên độ đáp ứng thay đổi, chuyển FM thành AM. Máy thu AM có thể phát hiện một số đường truyền FM bằng phương tiện này, mặc dù nó không cung cấp phương tiện phát hiện hiệu quả cho các chương trình phát sóng FM.



Ứng dụng

Hiệu ứng Doppler

Khi một con dơi định vị băng tiê ng vang tiê p cận mục tiêu, âm thanh phát ra của nó sẽ trở lại dưới dạng tiê ng vang, được Doppler dịch chuyển lên theo tần số. Ở một số loài dơi nhâ t định tạo ra các cuộc gọi định vị băng tiê ng vang với tần số không đổi (CF), dơi bù đă p cho sự thay đổi Doppler băng cách giảm tần số gọi của chúng khi chúng

tiếp cận mục tiêu. Điều này giữ cho tiếng vọng trở lại trong cùng một dải tần số của cuộc gọi định vị tiếng vang bình thường. Điều chế tần số động này được gọi là **Doppler Shift Compensation** (DSC), và được phát hiện bởi Hans Schnitzler vào năm 1968

Lưu trữ băng từ

FM cũng được sử dụng ở các tần số trung gian bởi các hệ thống VCR tương tự (bao gồm cả VHS) để ghi lại các phần đĩa chói (đen và trắng) của tín hiệu video. Thông thường, thành phần sắc nét được ghi lại dưới dạng tín hiệu AM thông thường, sử dụng tín hiệu FM tần số cao hơn làm độ lệch. FM là phương pháp khả thi duy nhất để ghi lại thành phần đĩa chói ("đen trắng") của video vào (và truy xuất video từ) băng từ mà không bị biến dạng; tín hiệu video có nhiều ưu điểm hơn tần số - từ vài hertz đến vài megahertz, quá rộng đối với bộ cân bằng để làm việc do tiếng ôn điện tử dưới -60 dB. FM cũng giữ băng ở mức bão hòa, hoạt động như một hình thức giảm nhiễu; một bộ giới hạn có thể che đi các biến thể trong đầu ra phát lại và hiệu ứng bắt sóng FM loại bỏ quá trình in qua và tiếng vọng trước. Một giai điệu thí điểm liên tục, nếu được thêm vào tín hiệu - như đã được thực hiện trên V2000 và nhiều định dạng băng tần cao - có thể giữ cho hiện tượng rung cơ học được kiểm soát và hỗ trợ hiệu chỉnh cơ sở thời gian.

Các hệ thống FM này khác thường, ở chỗ chúng có tỷ lệ sóng mang trên tần số điều chế cực đại nhỏ hơn hai; tương phản điều chế này với phát sóng âm thanh FM, trong đó tỷ lệ là khoảng 10.000. Ví dụ, hãy xem xét một sóng mang 6 MHz được điều chế ở tốc độ 3,5 MHz; băng phân tích Bessel, dài biên đầu tiên là 9,5 và 2,5 MHz và dài biên thứ hai trên 13 MHz và -1 MHz. Kết quả là một dài biên đảo ngược pha trên +1 MHz; vì giải điều chế, điều chế này dẫn đến đầu ra không mong muốn ở $6 - 1 = 5$ MHz. Hệ thống phải được thiết kế sao cho giảm sản lượng không mong muốn này đến mức có thể chấp nhận được. [11]

Âm thanh

FM cũng được sử dụng ở tần số âm thanh để tổng hợp âm thanh. Kỹ thuật này, được gọi là tổng hợp FM, đã được phổ biến bởi các bộ tổng hợp kỹ thuật số ban đầu và trở thành một tính năng tiêu chuẩn trong một số thiết bị card âm thanh máy tính cá nhân.

Đài

Edwin Howard Armstrong (1890–1954) là một kỹ sư điện người Mỹ, người đã phát minh ra đài điều tần băng rộng (FM). [12] Ông được cấp bằng sáng chế cho mạch tái tạo vào năm 1914, máy thu superheterodyne vào năm 1918 và mạch siêu tái tạo vào năm 1922. [13] Armstrong đã trình bày bài báo của mình, "Phương pháp giảm nhiễu trong tín hiệu vô tuyến bằng hệ thống điều chế tần số", (mà lần đầu tiên mô tả đài FM) trước khu vực New York của Viện Kỹ sư Vô tuyến điện vào ngày 6 tháng 11 năm 1935. Bài báo được xuất bản năm 1936. [14]

Như tên của nó, FM băng rộng (WFM) yêu cầu băng thông tín hiệu rộng hơn so với điều chế biên độ băng tần rộng; điều này cũng làm cho tín hiệu mạnh mẽ hơn chung lại tiếng ôn và nhiễu. Điều chế tần số cũng mạnh mẽ hơn chung lại hiện tượng giảm đầu biên độ tín hiệu. Do đó, FM được chọn làm tiêu chuẩn điều chế cho truyền dẫn vô tuyến tần số cao, độ trung thực cao, do đó có thuật ngữ "đài FM" (mặc dù trong nhiều năm, BBC gọi nó là "đài VHF" vì phát sóng FM thương mại sử dụng một phần của băng tần VHF - băng tần phát sóng FM). Máy thu FM sử dụng một bộ lọc đặc biệt cho tín hiệu FM và thể hiện một hiện tượng được gọi là hiệu ứng bắt, trong đó bộ lọc sóng "bắt" mạnh hơn của hai đài trên cùng một tần số trong khi từ chối đài kia (so sánh điều chế này với tinh hoáng tương tự trên bộ thu AM, trong đó cả hai trạm có thể được nghe đồng thời). Tuy nhiên, sự chênh lệch tần số hoặc thiết kế tinh chọn lọc có thể khiến một trạm này bị trạm khác trên kênh lân cận vượt qua. Trỗi tần số là một vấn đề đối với các máy thu đài đầu (hoặc rơ le); tinh chọn lọc không đánh giá đủ có thể ảnh hưởng đến bát kỳ bộ chỉnh nào.

Tín hiệu FM cũng có thể được sử dụng để truyền tín hiệu âm thanh nối; điều này được thực hiện với quá trình ghép kênh và phân kênh trước và sau quá trình FM. Quá trình điều chế và giải điều chế FM giống nhau trong các quá trình âm thanh nối và đơn âm. Bộ khuếch đại chuyển mạch tần số vô tuyến quá cao có thể được sử dụng để truyền tín hiệu FM (và các tín hiệu biên độ không đổi khác). Độ i với cường độ tín hiệu nhất định (được đo tại ăng-ten



Một máy phát đài FM của Mỹ ở Buffalo, NY tại WEDG

máy thu), bộ khuếch đại chuyển mạch sử dụng ít năng lượng pin hơn và thường có giá thấp hơn bộ khuếch đại tuyến tính. Điều này mang lại cho FM một lợi thế khác so với các phương pháp điều chế khác yêu cầu bộ khuếch đại tuyến tính, chẳng hạn như AM và QAM.

FM thường được sử dụng ở tần số vô tuyến VHF để phát sóng âm nhạc và lời nói với độ trung thực cao. Âm thanh truyền hình tương tự cũng được phát bằng FM. FM băng hẹp được sử dụng để liên lạc bằng giọng nói trong các thiết lập radio thương mại và nghiệp dư. Trong các dịch vụ quảng bá, nơi mà độ trung thực của âm thanh là quan trọng, FM băng rộng thường được sử dụng. Trong vô tuyến hai chiều, FM băng hẹp (NBFM) được sử dụng để bảo toàn băng thông cho các dịch vụ di động trên đất liền, di động trên biển và các dịch vụ vô tuyến khác.

Có nguồn tin cho biết vào ngày 5 tháng 10 năm 1924, Giáo sư Mikhail A. Bonch-Bruevich, trong một cuộc trò chuyện khoa học và kỹ thuật tại Phòng thí nghiệm Vô tuyến Nizhny Novgorod, đã báo cáo về phương pháp điện thoại mới của ông, dựa trên sự thay đổi trong chu kỳ dao động. Trình diễn điều chế tần số được thực hiện trên mô hình phòng thí nghiệm. [15]

Xem thêm

- [Điều chế biên độ](#)
- [Radar điều biến tần số sóng liên tục](#)
- [Tiếng kêu](#)
- [Phát sóng FM](#)
- [Âm thanh nỗi FM](#)
- [FM-UWB \(FM và Băng thông siêu rộng\)](#)
- [Lịch sử phát thanh](#)
- [Điều chế](#), để biết danh sách các kỹ thuật điều chế khác

Tài liệu tham khảo

1. Gibilisco, Stan (2002). *Tự học điện và điện tử* (<https://archive.org/details/teachyourselfele00gibi>). McGraw-Hill Chuyên nghiệp. P. 477 (<https://archive.org/details/teachyourselfele00gibi/page/477>). ISBN 978-0-07-137730-0. "morse-code tần số-shift-keying đã gửi-sử dụng-fsk."
2. Rutledge, David B. (1999). *Điện tử của Radio* (<https://books.google.com/books?id=ZvJYLhk4N64C&q=radio-teletype+fsk&pg=RA2-PA310>). Nhà xuất bản Đại học Cambridge. P. 310. ISBN (<https://books.google.com/books?id=ZvJYLhk4N64C&q=radio-teletype+fsk&pg=RA2-PA310>) 978-0-521-64645-1.
3. Boashash, chủ biên, *Phân tích và xử lý tín hiệu tần số thời gian - Tài liệu tham khảo toàn diện*, Khoa học Elsevier, Oxford, 2003; ISBN 0-08-044335-4
4. Faruque, Saleh (2017). *Dễ dàng điều chế tần số vô tuyến* (<https://nvhrbiblio.nl/biblio/book/Faruque%20-%20Radio%20Frequency%20Modulation%20made%20easy.pdf>) (PDF). Springer Cham. trang 33–37. ISBN (<https://nvhrbiblio.nl/biblio/book/Faruque%20-%20Radio%20Frequency%20Modulation%20made%20easy.pdf>) 978-3-319-41200-9.
5. T.G. Thomas, *Lý thuyết giao tiếp*, Tata-McGraw Hill 2005, ISBN 0-07-059091-5 trang 136
6. Der, Lawrence. "Hướng dẫn điều chế tần số (FM)" (<https://web.archive.org/web/20141021093250/http://www.silabs.com/Marcom%20Documents/Resources/FMTutorial.pdf>) (PDF). Phòng thí nghiệm Silicon . S2CID 48672999 (<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:48672999>). Bản gốc (<http://www.silabs.com/Marcom%20Documents/Resources/FMTutorial.pdf>) lưu trữ (PDF) vào ngày 21 tháng 10 năm 2014 . Truy cập ngày 17 tháng 10 năm 2019 . (<https://web.archive.org/web/20141021093250/http://www.silabs.com/Marcom%20Documents/Resources/FMTutorial.pdf>) (<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:48672999>) (<http://www.silabs.com/Marcom%20Documents/Resources/FMTutorial.pdf>)
7. Lathi, BP (1968). *Hệ thống thông tin liên lạc* , tr. 214–217. New York: John Wiley và Sons, ISBN 0-471-51832-8 .
8. HP Westman, ed. (1970). *Dữ liệu tham khảo cho kỹ sư vô tuyến* (ấn bản thứ năm). Howard W. Sams & Co trang 21–11.
9. Alan Bloom (2010). "Chương 8. Điều chế". Ở H. Phường Bạc; Mark J. Wilson (chủ biên). *Sổ tay ARRL dành cho Truyền thông Vô tuyến* . Liên đoàn Tiếp sóng vô tuyến Hoa Kỳ. P. 8.7. ISBN 978-0-87259-146-2.
10. Haykin, Simon [Ed]. (2001). *Hệ thống thông tin liên lạc* , xuất bản lần thứ 4.
11. : "Hệ thống FM có băng thông vượt trội" Proc. IEEE vol 112, không. 9, tr. 1664, tháng 9 năm 1965

12. A. Michael Noll (2001). *Nguyên lý của công nghệ thông tin liên lạc hiện đại* (<https://archive.org/details/principlesofmodemode0000noll>) . Nhà Artech. P. 104 (<https://archive.org/details/principlesofmodemode0000noll/page/104>) 978-1-58053-284-6.
13. US 1342885 (<https://worldwide.espacenet.com/textdoc?DB=EPDOC&IDX=US1342885>)
14. Armstrong, EH (tháng 5 năm 1936). "Phương pháp giảm nhiễu trong tín hiệu vô tuyến bằng hệ thống điều chế tần số". *Kỷ yếu của IRE* . IRE. **24** (5): 689–740. doi : 10.1109/JRPROC.1936.227383 (<https://doi.org/10.1109/JRPROC.1936.227383>) . S2CID 43628076 (<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:43628076>) . (<https://doi.org/10.1109/JRPROC.1936.227383>) (<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:43628076>)
15. F. Lbov. *Hệ thống radio mới* (http://sergeyhry.narod.ru/r/r1924_06_09.htm) // "Radio nghiệp dư". - Năm 1924. - Số 6. - Tr 86.

Đọc thêm

- Carlson, A. Bruce (2001). *Hệ thống thông tin liên lạc* . Khoa học / Kỹ thuật / Toán (xuất bản lần thứ 4). McGraw-Hill. ISBN 0-07-011127-8, ISBN 978-0-07-011127-1 .
- Frost, Gary L. (2010). *Đài FM thời kỳ đầu: Công nghệ phát triển ở Mỹ thế kỷ XX* . Baltimore, MD: Nhà xuất bản Đại học Johns Hopkins. ISBN 978-0-8018-9440-4, ISBN 978-0-8018-9440-4 .
- Seymour, Ken (1996). "Điều chế tần số". *Sổ tay Điện tử* (xuất bản lần 1). CRC Nhấn. trang 1188–1200. ISBN 0-8493-8345-5.(Xuất bản lần thứ 2, 2005)

Liên kết bên ngoài

- [Trình diễn tương tác trực tuyến Điều chế tương tự](https://colab.research.google.com/drive/14Ws9gX1hPzBkE7P1sBepVuoz-uo2f-Be?usp=sharing) (<https://colab.research.google.com/drive/14Ws9gX1hPzBkE7P1sBepVuoz-uo2f-Be?usp=sharing>) bằng Python trong [Google Colab Platform](https://colab.research.google.com) (<https://colab.research.google.com>) , của C Foh.

Retrieved from "https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Frequency_modulation&oldid=1112419862"

Trang này được chỉnh sửa lần cuối vào ngày 26 tháng 9 năm 2022, lúc 07:28 (UTC) .

Văn bản có sẵn theo Giấy phép Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 ; các điều khoản bổ sung có thể được áp dụng. Bằng cách sử dụng trang web này, bạn đồng ý với Điều khoản sử dụng và Chính sách bảo mật . Wikipedia® là nhãn hiệu đã đăng ký của Wikimedia Foundation, Inc. , một tổ chức phi lợi nhuận.