

調 頻

人 民 郵 電 出 版 社

調 頻

蘇聯 C. B. 諾瓦柯夫斯基著

人 民 郵 電 出 版 社

С. В. НОВАКОВСКИЙ
ЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ВОПРОСАМ
СВЯЗИ И РАДИО
МОСКВА 1946

內 容 提 要

本書是作者收集很多關於調頻方面的資料而寫成的。書中敘述調頻的原理和各種調頻電路，對其中若干電路作出理論上的分析，從理論及實際來說明調頻抑制干擾的作用，並簡要地說明調頻收音機各部分的作用。

調 頻

原著者:	蘇聯 С. В. 諾瓦柯夫斯基
譯 者:	朱 慶 璋
出版者:	人 民 郵 電 出 版 社 北京西長安街三號
印刷者:	郵電部供應局南京印刷廠 南京太平路戶部街15號
發行者:	新 華 書 店

書號61 1955年 5 月南京 第一版 第一次印刷 1—2,830 冊
850×1168 1/32 66頁 印張4 $\frac{1}{2}$ 字數115,000字 定價(9)1.04元
★北京市書刊出版業營業許可證出字第〇四八號★

序 言

實驗工作和理論研究的結果，指出了調頻在高質量無線電廣播和實際無線電通信業務中較之調幅有重大的優點，這些優點引起了廣大的無線電專家們對調頻的注意。毫無疑義，在超短波和公分波波段內，調頻制不僅在無線電廣播方面，而且在電視、長途通信方面和各種特殊的通信部門中（首先是在軍用無線電通信方面）都將得到非常廣泛的應用。在上述各方面採用調頻的初次試驗就產生了良好的效果。

從三十年代中期起，就進行調頻法實用電路圖的研究，並分析與這種調制有關的物理現象。

關於調頻的各個問題，無論在外文或俄文的無線電技術期刊中，都曾經登載了很多著作。這些著作介紹了已調頻波理論上的研究、已調頻波通過電路時的現象、接收已調頻波時干擾的影響、產生調頻的方法等。

可惜刊登於雜誌上的這樣豐富的資料，對於希望有系統地洞悉整個調頻制的讀者來說，是極端難於利用的。因此，作者進行了把曾經在期刊中發表過的所有最有意義的問題集中於一篇作品中的工作。

作者在這本篇幅不多的書中，就篇幅所能容納的程度儘量把整個調頻問題包括進去，並且不單在理論上研究問題，而且提供有實用價值的電路資料。

書末附有書刊目錄，讀者可以根據這個目錄來選擇對某些問題論述得較本書更為詳細的著作。

工程師 B.C. 阿加福諾夫上校在審查本稿時提供了寶貴的意見；斯大林獎金獲得者 I.T. 施契科夫工程師為本書提出了許多有益的指示，並且慇懃地提供了關於改變電子管動態電容以得到調頻的電路資料；作者謹向他們表示深切的感謝。T.A. 烈文教授為本書提出了寶貴的批評和關於理論問題上的意見；H.T. 克僚茨金教授在評閱本書時提出了寶貴的指示；作者同樣地向他們表示莫大的謝忱。

作者希望讀者們對本書、特別是對本書內有辯論性質的部分，提出批評和意見。

作者

概 論

從無線電出現起到今天，無線電技術已經沿着兩個基本的方向發展，即增加無線電傳輸的距離和改善傳輸的質量。

增加無線電傳輸距離的問題，曾經用提高無線電收信機的靈敏度、增大無線電發信機的功率和合理地利用發射的電能（例如，使用定向天綫和正確地選擇波長）等方法加以解決。

改善無線電傳輸質量的問題，曾經用改進電聲機械（送話器及揚聲器）和正確地設計構造由表演者至收聽者這一整個無線電傳輸路綫上各個部分的方法加以解決。

但是收信和發信路綫的改進對於增加無線電傳輸的距離和改善傳輸的質量來說仍舊還是不夠的。

問題在於收信機靈敏度的提高和傳輸頻帶寬度的擴大受到無線電收信干擾的限制。

隨着無線電的蓬勃發展，無線電台的數目大量增加，其功率也大為提高，結果使無線電台間相互產生干擾，在提高收信機的靈敏度和擴大收信機的通帶寬度時，這種干擾表現得特別顯著。

除此以外，由於電氣技術的迅速發展，在居民區，特別是在城市中，充滿了電氣用具。這些電氣用具通常都發射電磁波，而在產生火花和電弧時電磁波的發射特別強烈，這就是所謂無線電收信的工業干擾的來源。收信機的通過帶寬度越闊，收信機的靈敏度越高，則此種干擾的作用越強。

此外還存在着自然界的干擾，這種干擾通常稱為天電干擾，它們由大氣層中的暴風雨所引起（由大氣電荷所引起）。實際上，在暴風雨發源地附近，無線電收信是不可能的。天電干擾對無線電收信的影響，正如其他形式的干擾一樣，隨着收信機靈敏度的提高和收信機通過帶寬度的擴大而增大。

最後，無線電收信機本身同樣也有干擾無線電收信的源泉——收

信機的本身雜音。這種雜音是由電路內各元件（例如電阻）中的熱騷動和電子管中的電子騷動（散粒效應）所引起的。收信機的靈敏度越高，它的通過帶寬度越闊，則收信機的本身干擾也越大。

這樣一來，干擾的存在就限制了收信機靈敏度的提高和傳輸頻帶寬度的擴大。

關於為保證收信機輸出信號的逼真度所必需的傳輸頻帶的寬度問題，是無線電通信和無線電廣播技術中的一個基本問題，原因是由於這個問題的解決決定着：

- 1) 在互相不干擾的情況下已知波段內可容納的無線電台的數量；
- 2) 傳輸波段的選擇；
- 3) 無線電收信的質量；
- 4) 機件的價值、複雜性和運用上的可靠性。

為了使被傳輸的談話和音樂有良好的逼真度，所必需的頻帶應該有足夠的寬度。可是波道越寬，則來自其他無線電台的干擾、天電干擾、工業干擾和收信機本身的內部雜音等對收信的影響也越厲害。

為了增加無線電傳輸的距離和改善傳輸的質量，剩下來的方法就是提高發信機的功率和更合理地利用無線電波的發射電能。這個方法是非常不經濟的，因為它要求笨重的設備和大量的費用。

因此，自然而然地，無線電技術工作者在整個無線電發展時期內就力求尋取適當的方法去合理地解決增加無線電傳輸距離和改善傳輸質量的問題。

在1920—1922年，有過用調頻代替調幅的企圖，因為當時認為調頻可以在比調幅為狹窄的波道中傳輸所需要的頻帶，並由此認為調頻在收信時可以減低干擾的影響，認為使用調頻後就能增加電路的數量。但是這一推測的錯誤性很快地就被人指出了，之後，調頻就不再受人注意了。

一直到1935年還沒有提出任何新的和有成效的避免干擾的方法，因而無線電技術工作者也就被迫走上提高無線電台的功率和開拓短波波段的道路。在短波波段內，干擾的電平較低，而由於短波的傳播特

性，無線電傳輸的距離較大。

後來，工業開始生產通過帶寬度可以調整的無線電收音機，這種收音機可以在干擾嚴重時犧牲一些收音機輸出信號的質量來縮窄收音機的頻帶寬度。此外，當時還有發展不受干擾影響的有線廣播的傾向。

1932年，阿姆斯屈郎（美國人）力圖找尋使無線電收音不受干擾的方法，他開始了調頻的研究。阿姆斯屈郎找尋問題的解答不是從縮窄傳輸上必需的頻帶寬度着手（從縮窄頻帶着手在先前已嘗試過但一無成就），相反的却從擴大頻帶的寬度着手。這一方法取得了良好的效果，而在1935年阿姆斯屈郎報導了他所研究出的調頻方法，利用這種方法可以免除失真並顯著地提高收音機輸出端的信號雜音比[⊖]（也就是可以削弱干擾對無線電收音的影響）。

阿姆斯屈郎指出：爲了得到這樣的效果，射頻無線電信號的頻率擺動（頻率的調制）必須不低於調制信號的頻帶寬度，而收音機對所收信號幅度的變化應該是不靈敏的。在上述的條件下，當收音機有內部雜音時，收音機輸出端的信號雜音比在使用調頻時爲使用調幅時的1000倍（也就是增加了60分貝），而當有外來的脈衝形式的干擾時，這一比值在使用調頻時爲使用調幅時的200倍（增大了46分貝）。

阿姆斯屈郎的著作轟動一時，並且引起了許多著名的專家和輿論界的注意。經過了無數次理論上的和實驗上的關於調頻的研究後，證實了阿姆斯屈郎所取得的成就。這些研究與阿姆斯屈郎的著作一樣，指出：當正確地利用調頻時，在減低干擾對無線電收音的影響方面，調頻較之調幅有較大的優點。因此，當其他條件相同時，在採用調頻後，無線電傳輸的距離較之採用調幅時要大得多。

研究的結果，闡明了如果要有效地削弱干擾對無線電收音的影響，則在以太中傳輸時所佔的頻帶寬度必須比原有的被傳輸信號的頻帶寬度（即調制發信機頻率的信號之頻帶寬度）大5至9倍。文藝廣播的內容（談話和音樂），其頻帶寬度有時達到15,000週，因此，當文藝廣播用調頻來傳送時，在以太中傳輸所佔有的波道寬度必須爲90,000至150,000週。非常明顯的，這只有在超短波波段內才可能

⊖信號雜音比——信號與雜音之比——譯者。

沒有特殊的困難；在超短波波段中，干擾電平一般說來較在其他波段中為低。

在傳輸那些頻帶狹窄的信號（例如頻帶在2,500至3,000週以下的信號）時，以太中波道的寬度不超過18,000至30,000週，這時調頻也可以用於短波波段。

利用調頻時，收信機輸出端的信號干擾比平均至少比利用調幅時大20至30分貝，亦即在收信質量相同的情況下，調幅發信機與調頻發信機功率之比不小於100到1000。

削弱了干擾對無線電收信的影響，就使發信機相互干擾問題的解決大為簡易。例如，在應用調頻時，為了完全消除相互間的干擾，有用信號與該工作波段中干擾電台的信號之比應該如下：

a) 對於那種和干擾電台在同一波道內工作的電台來說，二者之比為10:1（當波道寬度為200千週時）；在應用調幅時，此比值必須為500:1到1000:1。

b) 對於那種在干擾電台隣近波道中工作的電台來說，當波道寬度為150至200千週時，此比值為2:1；當波道寬度為60千週時，此比值為7:1；當波道寬度為30千週時，為15:1。而在應用調幅時則此比值必須為100:1。

上述數據是指完全抑制干擾這一情況而言的。在應用調頻時，當工作電台與干擾電台在同一波道內工作時，如果工作電台的電場強度比干擾電台的電場強度大1倍，則工作電台已經可以充分地抑制干擾。在這種情況下，收信機被較強的信號所控制。

上述的調頻的優點可以用圖0—1和0—2所示的曲線來說明。這些曲線是在調頻發信機的功率為50瓦，載波頻率為41兆週時（波長7.3公尺），根據收信測試結果而繪成的。

固然，由於使用調頻的結果，利用超短波可以給觀眾或聽眾以完全沒有干擾的高質量電視和高質量無線電廣播，但是畢竟仍舊沒有解決增大無線電傳輸距離的問題。

如所週知，超短波的傳播距離只稍為比直線視界的距離遠一點。因此，超短波只能為面積比較不大的地區服務，例如，將超短波發信

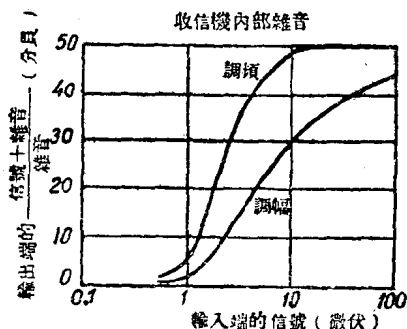


圖 0-1. 在沒有外界干擾的情況下，調幅和調頻時收音機輸出端的信號+雜音比與輸入端電壓之關係。

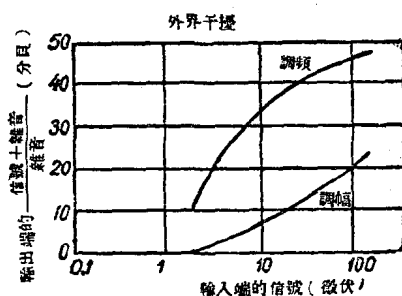


圖 0-2. 調幅和調頻時收音機輸出端的信號+雜音比與輸入端電壓之關係。雜音由外界干擾所產生。

機裝於城市中心來為一個城市服務。由於調頻制的採用，這個城市的居民可以利用超短波波段收聽高度藝術的無線電廣播（即使這個城市中的干擾特別強）。

至於說到使無線電傳輸於遠距離並具有良好的質量和沒有干擾這一問題，則近年來有着建設所謂中繼綫路，即建設工作於公分波波段的小電力調頻無線電轉播站的趨向。沿着無線電通信綫路設立大量的無線電轉播站，各相隣轉播站之間的距離都不大。從經濟觀點上來看，這種通信綫路非常有利，它除了可以把高度藝術性的無線電廣播傳輸至其他城市外，同時還可以傳輸高質量的電視和大量（數百）不同的業務通信和公務通信（電話、電報、無線電傳真）。

因此可以推測到，將來長波、中波和短波將會主要地只用來傳輸向外省廣播的中央廣播節目（當傳輸的質量要求比較不很高時）和傳輸無線電通信；而高質量的無線電廣播和電視則將採用調頻藉中繼綫路用超短波和公分波來傳輸。

調頻較之調幅有上述的優點，這些優點的使用範圍可以而且應當不局限於無線電廣播。對於業務的、特別是軍用的無線電通信來說，避免干擾的問題同樣極端重要，因為干擾使通信感到困難，甚至往往完全破壞通信。

第二次世界大戰證明了戰役的勝利決定於空軍、機械化部隊和步兵間強有力的活動連繫之協調性和準確性。很明顯的，祇有在具備了良好的無線電通信設備後，各種部隊才有可能互相配合起來。但是，由於在現代化的軍隊中充滿了無線電台和各種電氣機械（特別是在機械化部隊中），在軍事無線電通信的情況下，無線電收信干擾的電平通常是非常高的。因此，採用調頻來進行軍事無線電通信，無論在空軍和機械化部隊抑或在步兵中都有很大的發展。

短波波段上的調頻制在目前還未被用在軍事無線電通信上，亦未普遍地用在業務無線電通信上，但可以推測到，這種調制方法在以後是一定會用在短波波段上的。

概論的參考書

Журнал «Электросвязь»:

Смирнов. Частотная модуляция в радиовещании на укв и в радиосвязи США № 1. 1941 г.

Журнал «Electronics»:

Frequency Modulation Demonstrated. March 1939.

Frequency Modulation—A Revolution in Broadcasting. January 1940.

Carmahan. F. M. Applied to a Television System. February 1940.

Loughren. Interspersed F. M. and A. M. in a Television Signal. February 1940.

F. M. get its day in court. April 1940.

Federal Communications Commission holds Frequency Modulation Hearing. April 1940.

Frequency Modulation Advances. June 1940.

F. M. 105 Hours per Week. September 1940.

Noble. State-wide F. M. Police Network. December 1940.

Brown. FM and its post-war future. June 1944 г.

Журнал «Journal de Telecommunication»:

La radiodiffusion sur ondes Metriques a Modulation de Frequence aux Etats-Units d' Amerique. Septembre 1940.

Журнал «The Wireless World»:

Frequency Modulation in America, Anti Noise Broadcasting under Test. № 19/20. May 1938.

Frequency Modulation Again, № 18, May 1939.

Amplitude Modulation or Frequency Modulation? № 5. March 1940.

Журнал «RCA Review»:

Kroger, Trevor and Smith. A 500-Megacycle Relay Distribution System for Television, July 1940.

Журнал «Radio and Television»:

Frequency Modulation, March 1940.

Журнал «General Electric Review»:

Du Val. The Tests that proved F. M. vital to Communications. February 1942.

Журнал «Electrical Engineering»:

Armstrong. Evolution of F. M. December 1940.

Журнал «Radio News»:

Toombs. The Radio Battle of 1941. F. M. vs A. M. March 1941.

Marks. F. M. in World War II. February 1944.

Журнал «Radio Craft»:

F. M. Future at a Glance. March 1942.

F. M. Map Grows Rapidly. March 1942.

F. M. Station List. March 1942.

Poppelle. F. M. in 1942 as I see it. March 1942.

Armstrong. F. M. and its future uses. March 1942.

Gernsback. The Future of F. M. November 1943.

Kleinman. Frequency Modulation for the new Trainee, November 1943.

David. F. M. today and tomorrow. February 1944.

Журнал «F. M.»:

Cowan. AT&T Prepared to serve F. M. March 1941.

Sleeper. Analyses of F. M. Markets. September 1941.

Rath. New Applications of F. M. February, March 1942.

Doremee. Police Installations in Massachusetts. April 1943.

Halstead. F. M. aids battle of Transportation. July 1943.

Журнал «Commerce»:

Static—les Radio Arrives. July 1940.

Журнал «Communications»:

Du Val. F. M. Vital to Communications. February 1942.

Сборник «Broadcasting Year Book Number» FCC Rulings for F. M. Stations, p. 364, 328. 1942.

目 錄

序 言

概 論

第 一 章 調頻的分析.....	(1)
第 二 章 調頻設備(發信機).....	(25)
電路分類.....	(25)
調相變換電路.....	(25)
電抗管電路.....	(31)
第 三 章 在接收調頻波時抑制干擾.....	(55)
第 四 章 調頻波的接收.....	(94)
概說.....	(94)
高頻放大器 (γBY)	(95)
變頻器.....	(97)
振盪器.....	(97)
中頻放大器 ($\gamma \Pi Y$)	(98)
限幅器.....	(101)
變流器.....	(105)
負回授.....	(114)
調幅調頻二用收音機.....	(116)

第一章

調頻的分析

被用來遠距離傳輸電報符號、談話、音樂或圖像的電磁波必須經過調制，即必須使之按照被傳輸的信號而變化。

在目前，差不多只使用等幅波來進行無線電傳輸，等幅波的全部特性可以用三個參數——幅度、頻率和相位來表示。

等幅波的電流瞬時值

$$i = I_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (I-1)$$

是時間的正弦函數；幅度 I_m 、頻率 ω_0 和初相 φ_0 是常數。

採用這樣的電流來構成已調波時，必須用適當的方法改變上述三個參數中的任一參數①。

由此可見，調制是一種使上述三個獨立參數（它們係表示電壓之特徵者）之一發生改變的方法，也就是一種使幅度、頻率或相位發生改變的方法。幅度改變、頻率改變或相位改變的頻率和載波頻率比較起來，應該是很小的。

根據三個參數（它們表示電波的特徵）中受到改變的是那一個，來決定所得到的是單獨的或某種配合的調幅、調頻或調相。

顯然可見，由於任何形式的調制的結果，(I-1)式所表示的純粹正弦波就變為帶可變參數的電磁波，這種波已不再是正弦波，而是一種較為複雜的時間的函數，即由一定的頻譜所構成的電波。因此在調制時經常總出現本來的電波中所沒有的新頻率。已調波的頻譜是已調波的最重要的特性。

因為不同形式的調制可以產生不同寬度的頻帶，所以已調波的頻帶寬度在選擇調制方法時十分重要。

① $\omega = 2\pi f$ 為單位時間內電流矢量進行的角度，本書有時稱之為角頻率，有時稱之為角速度，又因 2π 是常數，故作者有時直接稱之為頻率——譯者。

①現在我們暫不研究兩個參數的同時改變。

在調制時，一般都應當力求做到使已調波的頻帶內只包括必需的頻率，使已調波的頻帶不過份寬。除此以外，還必須使調制信號能在不帶不能容許的失真的情況下在收信機中被簡單的設備檢出來。

這兩個基本的要求決定了那一種調制方法得到採用和發展。

在第一部強力的專幅波無線電發報機中，採用了浦耳生電弧作為振盪器，這部發報機用改變被發射的無線電波的頻率的方法來傳輸電報符號。這部發報機不能採用改變幅度的方法，原因是由於電弧會在符號的間隔內熄滅。

在電弧發信機的振盪槽路中，藉電報電鍵來接入附加的電容或電感，以使無線電波不斷地發射出去，使無線電波的頻率由二個不同的頻率互相交替。電報符號對應於其中一個頻率，而間隔則對應於另一頻率。用以接收電弧發信機信號的收信機，具有尖銳的調諧特性，它調諧在符號的頻率上。用類似的方法也可以傳輸談話和音樂。

改變電波的頻率而不改變電波的幅度的調制，稱為調頻。

電子管發明並應用於無線電技術後，調幅便到處被加以應用，在調幅時，載波的頻率不變，而其幅度改變，以完成調制。

現在我們來簡略地研究一下調幅，並用字母 AM 來代表它。

當調幅時，在最簡單的情況下（在用單頻來調幅時，也就是在用純音來調幅時），高頻信號的幅度 I_m 按照下式變化：

$$I_m = I_{m_0} (1 + m \cos \Omega t), \quad (I-2)$$

式中 I_{m_0} 為載波頻率的幅度；

Ω 為調制的角頻率；

m 為調制係數，它決定於下式：

$$m = \frac{I_{m \max} - I_{m_0}}{I_{m_0}},$$

其中 $I_{m \max}$ 為調幅時幅度 I_m 的最大值。

將 (I-2) 式中的 I_m 值代入 (I-1) 式，得出大家所熟悉的表示式

$$i = I_{m_0} (1 + m \cos \Omega t) \cos (\omega_0 t + \varphi_0). \quad (I-3)$$

為了簡單起見，設 $\varphi_0 = 0$ 。整理上式後，得

$$i = I_{m_0} \cos \omega_0 t + I_{m_0} \frac{m}{2} \cos(\omega_0 + \Omega)t + I_{m_0} \frac{m}{2} \cos(\omega_0 - \Omega)t. \quad (I-4)$$

這個方程式說明了下一事實：當用一個頻率來進行調幅時，已調制電流的頻帶由三個分離的頻率——載波頻率 ω_0 和兩個邊頻 $\omega_0 + \Omega$ 和 $\omega_0 - \Omega$ 所構成。相鄰兩頻率間的距離等於調制頻率 Ω ，而頻帶的寬度為 2Ω 。高頻電波的幅度按照該電波的包絡綫而變化，亦即按照調制電壓的曲綫而變化。

如果調制信號中包括若干頻率，例如 Ω_1 、 Ω_2 等，則在已調波的頻帶中就出現 $\omega_0 \pm \Omega_1$ 、 $\omega_0 \pm \Omega_2$ 等邊頻。因此，在調幅時，傳輸所佔的波道寬度決定於調制信號頻帶內的最高頻率 $\Omega_{\max}$ ，而等於 $2\Omega_{\max}$ ，它與調制係數 m 的大小無關。

當調相（以縮寫字母 ΦM 來表示）時，在最簡單的情況下（只用一個頻率來調制，已調電流的相位按照下式而變化：

$$\varphi_t = \varphi'_0 (1 + m_p \sin \Omega t). \quad (I-5)$$

以符號 $\Phi_m = m_p \varphi'_0$ ，來表示相位角變化的幅度（即最大相位偏移），得

$$\varphi_t = \varphi'_0 + \Phi_m \sin \Omega t.$$

將上式代入(I-1)式以代替 φ_0 ，得

$$i = I_m \cos(\omega_0 t + \varphi'_0 + \Phi_m \sin \Omega t).$$

爲了簡單起見，假定上式右方的 t 爲另一開始值，而以 $\omega_0 t$ 代替 $\omega_0 t + \varphi'_0$ 。這時，被頻率 Ω 所調相的電流的表示式就變爲

$$i = I_m \cos(\omega_0 t + \Phi_m \sin \Omega t). \quad (I-6)$$

在調頻（以縮寫字母 ΨM 來表示）時，加進去的調制信號只引起信號的載波頻率瞬時值的變化，而不影響它的幅度。

在最簡單的情況下（只用一個頻率來調制），已調電流的瞬時頻率 ω 決定於下式：

$$\omega = \omega_0 (1 + m_f \cos \Omega t), \quad (I-7)$$

式中 $\omega_0 m_f$ 爲載波頻率偏移的幅度，以 $\Delta \omega$ 表示，

$$\omega_0 m_f = \Delta \omega.$$

我們不能將(I-7)式中的 ω 代替(I-1)式中的 ω_0 以得到已

調頻的電流的表示式，因為現在 ω 已是與時間有關的變數了。

回憶交流電的角頻率 ω ，就可以知道， ω 為單位時間內電流相位角的變化速度。因此，如果以較普遍的形式代替(I-1)式，而以瞬時相位角 Ψ_t 表示電流 i ，使

$$i = I_m \cos \Psi_t, \quad (\text{I-8})$$

則這電流的頻率 ω 將等於

$$\omega = \frac{d\Psi_t}{dt}. \quad (\text{I-9a})$$

因為在調頻時頻率是由(I-7)式來決定的，所以必須求出在頻率按(I-7)式變化時 Ψ_t 的表示式，

$$\Psi_t = \int_0^t \omega dt. \quad (\text{I-9b})$$

以(I-7)式的 ω 值代入上式，得

$$\Psi_t = \int_0^t \omega_0 (1 + m_f \cos \Omega t) dt = \omega_0 t + \frac{m_f \omega_0}{\Omega} \sin \Omega t. \quad (\text{I-10})$$

將(I-10)式的 Ψ_t 值代入(I-8)式，導出已調頻的電流的表示式為

$$i = I_m \cos \left(\omega_0 t + m_f \frac{\omega_0}{\Omega} \sin \Omega t \right). \quad (\text{I-11})$$

$$\text{使} \quad m_f \frac{\omega_0}{\Omega} = \frac{\Delta \omega}{\Omega} = M_f, \quad (\text{I-12})$$

則(I-11)式可以改寫成

$$i = I_m \cos \left(\omega_0 t + M_f \sin \Omega t \right). \quad (\text{I-13})$$

M_f 稱為頻偏係數，它的大小決定於頻率偏移的最大值 $\Delta \omega$ 。雲·達·浦耳把 M_f 稱為調頻指數。有時 M_f 也稱為頻率偏移。

如果 $M_f = \Phi_m$ ，則(I-13)式和(I-6)式完全相似。

因此在物理意義上，調頻和調相是意義相等的，即調相波可以視作調頻波，反之亦然。

當 $M_f = \Phi_m$ 時， Φ_m 、 $\Delta \omega$ 和 Ω 間存在下述關係：

$$\Phi_m = \frac{\Delta \omega}{\Omega} \quad (I-14)$$

這一關係說明了在調相時頻率的變化決定於相位偏移的大小及相位偏移變化的速度 Ω ，亦即決定於調制信號的大小和頻率。事實上，如果將(I-6)式中的 Ψ 值即 $\Psi = \omega_0 t + \Phi_m \sin \Omega t$ 代入(I-9a)式，則在解出 $\omega = d\Psi/dt$ 後，就不難證明 $\Delta \omega = \Omega \Phi_m$ 。

如果在調制時頻率偏移 $\Delta \omega$ 與調制電壓的大小成正比，而與調制電壓的頻率無關，則這樣的調制稱為調頻。

這時出現的相位偏移 Φ_m 與調制頻率有關。

如果在調制時相位偏移 Φ_m 與調制電壓的大小成正比，而與調制電壓的頻率無關，則這樣的調制稱為調相。在這種情況下，頻率偏移 $\Delta \omega$ 與調制頻率有關。

調頻和調相間之差別如下：在調頻時，頻率偏移 $\Delta \omega$ 是調制信號幅度的綫性函數，它與調制信號的頻率無關；在調相時，頻率偏移同時決定於調制信號的幅度和頻率。關於這點可以從(I-12)和(I-14)式很明顯地看出。

因此可以得出這樣的結論，那就是可以利用調相電路以實現調頻。

果然，如果在調相發信機的低頻電路中裝置一個濾波器，而這個濾波器具有這樣的特性，那就是當它的輸入低頻電壓的幅度為一定時，它的輸出電壓與頻率成反比，則相位偏移 Φ_m 就與調制頻率成反比（在調相時相位偏移 Φ_m 與調制電壓的幅度成正比）。這就是說，當濾波器輸入端的調制信號的幅度為一定時，對於任何調制頻率來說， $\Delta \omega = \Phi_m \Omega = \text{常數}$ 這一條件均能滿足。因此，由於濾波器的存在，發信機已不是調相的，而已是調頻的了。這就是阿姆斯特屈朗用以取得調頻的原理。

另一非常重要的、調頻與調相不同的地方，就是當載波的幅度相同時，調相時邊頻的幅度僅決定於相位偏移的大小，而調頻時邊頻的幅度則決定於比值 $\frac{\Delta \omega}{\Omega} = M_f$ 的大小，這一點在以後將會談到。