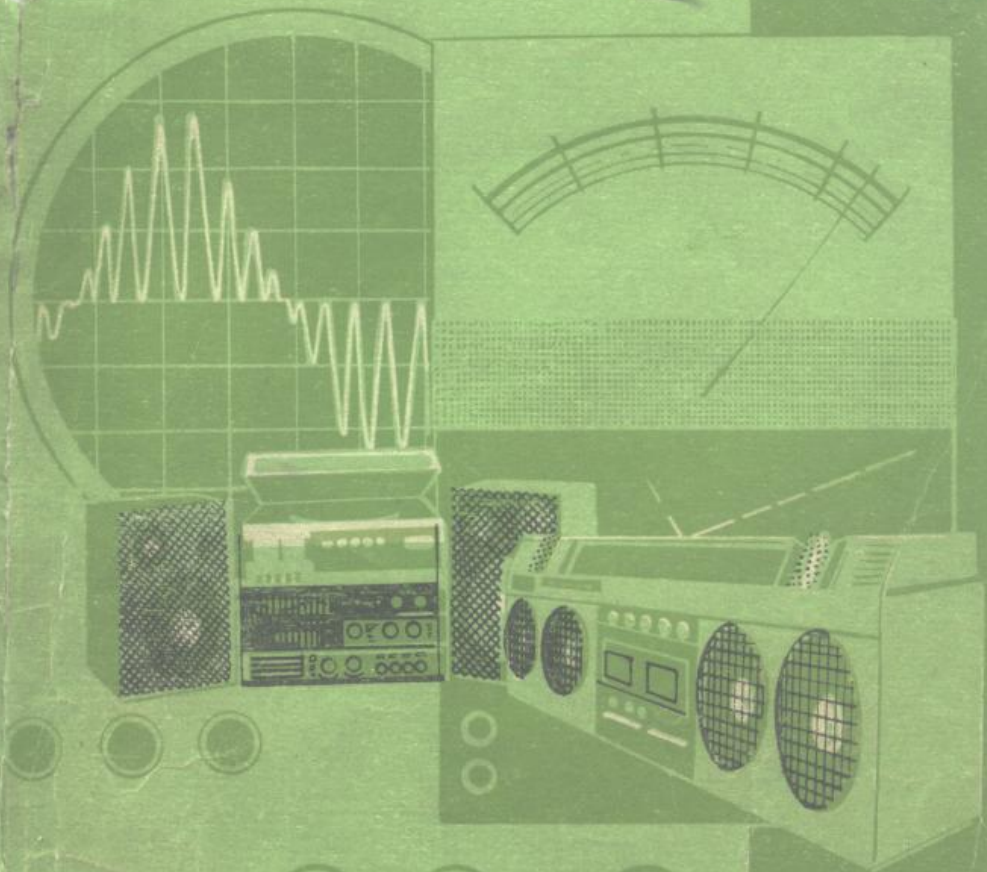




鲁 廉 编 著

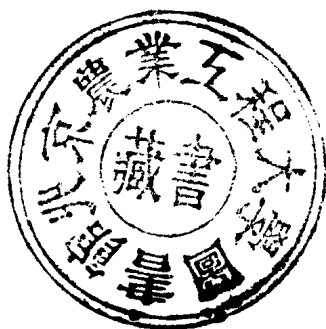
调频立体声收音机

——原理、维修与测试

调频立体声收音机

—原理、维修与测试

鲁 廉 编著



電子工業出版社

内 容 提 要

本书是一本专门介绍调频立体声收音机的小册子，全书共分两大部分。

第一大部分主要讲调频、调频单声及立体声收音机的工作原理。笔者根据自己从事“调频”工作的经验、体会，采用与“调幅”对比的方法，把“调频”中难以理解的抽象概念形象化，给读者以形象、生动的物理概念。这当中没有使用高深的数学知识，因此，具有初中文化程度的同志便可理解。

第二大部分是附录，是笔者从事调频立体声广播制式验证工作及立体声收音机研究工作的总结。这部分的理论分析较多，对于从事这方面工作的同志是很有参考价值的。

本书可供从事立体声广播技术工作的同志及广大业余爱好者参考。

2560/21

调 频 立 体 声 收 音 机 ——原理、维修与测试

鲁 廉 编著

责任编辑：王德声

*

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

山东电子工业印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/32 印张：7.25 字数：161千字

1986年1月第1版 1986年3月第1次印刷

印数：30000册 定价：1.65元

统一书号：15290·233

前 言

早在20世纪二十年代，一些关于调频理论的研究报告就陆续发表了。三十年代开始利用调频的方式作为广播手段，效果比较好。但是，当时由于对调频理论的研究还不够透彻，对于调频中的一些问题还不能作出正确的解释。例如，从理论上分析，宽带调频，则调频波应当有无限多个边频，相应的调频收音机的带宽就应当为无限宽，这在实际上是难以实现的，所以当时的调频广播没有发展起来。1935年阿姆斯特朗 (Armstrong) 证明了宽带调频所需要的无限带宽可用有限带宽代替，并能大幅度地改善信噪比，为宽频带调频广播的实现打下了理论基础。所以，从五十年代起世界上的调频广播迅速发展起来了。

由于调频广播的信噪比高、抗干扰能力强和频带宽等一系列优点，到了六十年代初美国首先采用调频方式播送了立体声的节目。随后，各国相继对立体声的广播制式进行了研究和验证，于是调频立体声广播也就发展起来了。

我国的调频广播虽然发展较晚，但发展的速度却很快。继1979年哈尔滨试播调频立体声广播之后，广东人民广播电台承担了对调频立体声广播制式验证的工作。在确定采用导频制调频立体声广播制式之后，制定了我国的调频立体声广播标准，并于1982年5月在广州通过了鉴定，从此我国的立体声广播就正式播音了。

调频立体声广播的发展促进了立体声收音机生产的发

展。在短短的两年之后，国产的调频单声、调频立体声收录机大量投放市场。在这种形势下，广大的无线电爱好者就需要一本有关调频、调频立体声收音机的参考书。为此，本书作者根据自己工作中的经验，特别是在参加广东人民广播电台调频立体声广播制式的研究和验证工作中的体会编写了这本小册子。现将此书敬献给读者。

本书分两大部分，正文和附录。正文分四章。第一章调频概述，着重介绍调频的实质及特点。通过这章读者可得到有关调频的物理概念。第二章调频收音机，介绍调频收音机的工作原理，着重介绍调频收音机的特点。第三章调频立体声收音机，介绍有关低频立体声原理及调频立体声广播原理，作为调频立体声收音机工作原理的基础。第四章，调频、调频立体声收音机的故障分析与排除。本章针对调频单声及立体声收音机原理，对一些常见的故障进行了分析，并举例说明排除故障的方法。

书后的第二部分是附录。介绍了国际电工委员会(IEC)的测量方法及几个专题，供有关人员参考。

本书的宗旨是力求内容简练，尽量少用数学公式，多用文字叙述及图形表示基本概念的实质。

由于作者水平有限，时间仓促，书中不免出现错误，请读者批评指正。

本书在编写过程中得到北京无线电厂俞锡良副总工程师和《电声技术》张炳胤副主编的指导和帮助，在此向他们～并表示感谢。

作 者

1985·1

目 录

前 言

第一章 调频波····· (1)

第一节 调频波的产生····· (1)

一、调频····· (1)

二、变容二极管的特性····· (2)

三、变容二极管调频信号发生器····· (3)

四、调频波传播的特点····· (5)

第二节 调频波的波形、频谱及向量表示····· (6)

一、调频波的波形····· (6)

二、调频波的频谱····· (9)

三、调频波边频的功率····· (14)

四、调频波的向量表示····· (16)

第三节 调频波的特性····· (19)

一、调频波的几个参数····· (19)

二、调频波与干扰····· (24)

三、调频波与调幅波的比较····· (26)

第二章 调频收音机····· (29)

第一节 高频电路····· (30)

一、输入回路····· (30)

二、高频放大器····· (33)

三、本机振荡器····· (39)

四、混频器····· (42)

第二节 中频放大器····· (43)

第三节 鉴频器····· (47)

一、斜率鉴频器····· (47)

二、相位鉴频器	(49)
三、比例鉴频器	(53)
四、锁相鉴频器	(57)
第四节 调频收音机的抗干扰能力	(59)
一、限幅器的作用	(59)
二、调频收音机的交叉调制干扰	(60)
三、抗同频干扰——俘获效应	(61)
四、信噪比	(63)
第五节 自动频率控制(AFC)	(67)
一、加AFC的必要性	(67)
二、AFC的工作原理	(68)
第三章 调频立体声收音机	(69)
第一节 声象定位原理	(69)
一、双耳效应	(70)
二、正弦定律	(72)
三、用作图法求声象角	(75)
第二节 立体声广播原理	(76)
一、编码	(77)
二、编码器	(79)
三、立体声复合信号	(81)
四、蜂房效应	(83)
五、复合信号的频谱	(86)
第三节 立体声收音机原理	(88)
一、原理方框图	(88)
二、解码器	(89)
三、串音衰减	(95)
四、分离度	(96)
五、立体声收音机线路分析	(110)

第四章 调频、调频立体声收音机故障分析与排除	(115)
第一节 单声道调频收音机的故障分析与排除	(115)
一、调幅部分正常、调频部分完全不工作	(116)
二、接通电源时有“噗噗声”， 但调频、调幅波段都不工作	(120)
三、调幅正常、调频灵敏度低	(122)
四、调幅部分音频输出正常、 调频部分的音频输出失真	(124)
五、调幅正常、调频噪声很大	(124)
六、调频收音机的调整	(126)
第二节 立体声收音机故障分析	(128)
一、一个通道在所有的波段都不工作	(128)
二、调幅正常，调频、调频立体声不工作	(129)
三、立体声接收时一个通道不工作	(132)
四、立体声接收时扬声器放出单道声	(133)
五、立体声解码器的调整	(135)
附录一 调频收音机测量方法	(137)
附录二 蜂房效应普遍性的证明	(185)
附录三 调频波表达式的推导	(202)
附录四 俘获效应中合成信号 e_R 瞬时频率的推导	(204)
附录五 调频收音机的交叉调制问题	(208)
附录六 开关解码器中开关信号的相移 和导通角对分离度的影响	(211)
参考文献	(221)

第一章 调 频 波

第一节 调频波的产生

一、调频

到目前为止，我们经常使用的收音机是调幅收音机。调幅收音机的天线接收到的电磁波是调幅波。调幅波的振幅是随要传送的音乐或语言信号的瞬时值变化的。关于调幅波的性质读者都很熟悉，这里不再赘述了。

如果传送信息的电磁波的振幅保持不变，而频率却是随所传送信息的瞬时值变化的，这时我们说这个电磁波的频率受到了调制，这个已调的电磁波称作调频波，调制信号就是要传送的信息。显然，调频波的频率不再保持不变，当然它也不再等于载波的频率（只有当调制信号等于0的那个瞬间，调频波的频率才等于载波的频率）。如果用 Δf 表示调频波与载波的频率差，当 Δf 与调制信号的瞬时值成正比时，这种调制方式就是频率调制，简称为调频。

以上对调频下了一个抽象的定义。为使读者对调频有个具体形象的物理概念，下面先介绍调频波的产生过程。这对于掌握调频的性质，特别是对理解调频收音机的原理是非常必要的。 另补此

二、变容二极管的特性

获得调频波的方式很多,为了把调频概念讲清楚,并且又简明易懂,这里将介绍采用变容二极管获得调频的方法。为此先简单介绍一下变容二极管的特性。

与普通二极管一样,变容二极管有一个PN结,但变容二极管的PN结的结电容是可变的。如果用 C_D 代表这个PN结的结电容(单位: pF)。那么 C_D 与加在变容二极管两端的反向电压的关系如图1-1所示。从图中曲线可以看出,随着变容二极管两端反向电压的增高,结电容 C_D 值变小,反之, C_D 的值变大。

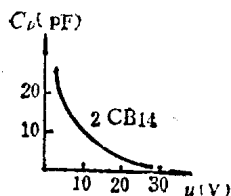


图 1-1 变容二极管特性

假设预先给变容二极管加一个固定的反向偏压 E_D , 如图1-2所示的那样, 变容二极管的PN结就有一个与此偏压相对应的电容值 C_{D0} 。现在, 如果有一个音频信号源 $u_\Omega = U_{\Omega m} \cos \Omega t$ 与变容二极管的偏压 E_D 串联, 则此时的反向偏压就等于 $E_D + u_\Omega$ 。由于 $u_\Omega = U_{\Omega m} \cos \Omega t$ 是时间的函数, 即 u_Ω 的瞬时值随时间变化。所以变容二极管的反向偏置电压也就随时间变化。下面分析一下变容二极管的电容值 C_D 如何随时间变化。

当 $u_\Omega = 0$ 时, 变容二极管的反向偏压就等于 E_D , 此时变容二极管的结电容 $C_D = C_{D0}$ 。

当 u_Ω 随时间增加而增大时, 变容二极管的反向偏压也就逐渐增加。此时, 从图1-1的曲线可以看出, 变容二极管的结电容变得小于 C_{D0} 。而且 u_Ω 的瞬时值越大, C_D 比 C_{D0} 小得就越多。当 $u_\Omega = U_{\Omega m}$ 时, 变容二极管的反向偏置达到

最大值, C_D 的值达到最小值。当 $u_Q = U_{Qm}$ 以后, u_Q 的瞬时值开始减小, 变容二极管的反向偏置开始变小, C_D 的值开始增加, 直到 $u_Q = 0$, $C_D = C_{D0}$ 。

当 u_Q 从“0”继续减小时, 从图1-1的曲线可以看出, u_Q 值下降, 变容二极管的反向电压变小, 因此结电容变得大于 C_{D0} 。当 u_Q 达到 $-U_{Qm}$ 时, 变容二极管的反向偏置达到最小值, C_D 达到最大值。

根据上述分析可知, 由于固定反向偏置电压 (E_D) 与 u_Q 串联, 使得变容二极管的结电容 C_D 之值在 C_{D0} 附近按照图1-1的曲线来回变化。

三、变容二极管调频信号发生器

上面扼要地介绍了变容二极管的结电容随外加的反向偏置电压变化的情况。利用变容二极管的这个性质, 我们可以获得调频波。

如图1-2所示, 这是调频信号发生器的原理图。图中电感 L 、电容 C 组成了并联谐振回路。在此回路的输出端串连一个变容二极管, 它的结电容用 C_D 表示。注意 C_D 值随外加反向偏置而变化, 变化的情况如前面所述。图中的 E_D 为变容二极管固定反向偏置电源。为防止 E_D 的电压加到三极管的集电极上, 图中加了隔直电容 C' 。此外, C' 还起高频振荡信号的耦合电容的作用。取 $C' \gg C_D$ (就是说, 不管变容二极管的反向偏压多么低, $C' \gg C_D$ 永远成立)。此时回路的振荡频率由电感 L 和电容 $(C + C_D)$ 确定。如果用 f_0 代表这个回路的振荡频率, 则有:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C + C_{D0})}} \quad (1-1)$$

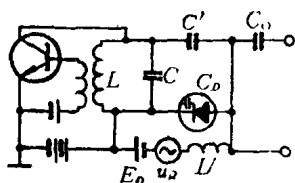


图 1-2 调频信号发生器

在图1-2中有一个音频信号源 u_{Ω} 与 E_D 串连，设 $u_{\Omega} = U_{\Omega m} \cos \Omega t$ 。其中 u_{Ω} 为音频信号的瞬时值， $U_{\Omega m}$ 为此音频信号的振幅， Ω 为其角频率。为使此音频信号能加到变容二极管上，在 E_D 与 u_{Ω} 串联的支路上又串入一个电感线圈 L' 。要求 L' 的阻抗在音频范围内是很小的。这样就可认为在音频范围内， L' 的阻抗为“0”。但对于该调频信号发生器来讲， L' 对高频振荡信号的阻抗为无穷大，相当于开路。于是加到变容二极管两端的反向偏压为：

$$E_D + U_{\Omega m} \cos \Omega t$$

根据上述的道理，变容二极管的电容值 C_D 在 C_{D0} 值附近变大、变小。根据式1-1可知，振荡器的振荡频率将随外加的音频信号 u_{Ω} 的值变化而变化。若此时的振荡频率用 f_c 表示，则 f_c 与未加音频信号源 u_{Ω} (相当于加上 $u_{\Omega} = 0$ 的情况) 的频率 f_0 之差为：

$$f_c - f_0 = \Delta f$$

经分析可知， Δf 与 $u_{\Omega} = U_{\Omega m} \cos \Omega t$ 成正比。

即：

$$\begin{aligned} \Delta f &= k u_{\Omega} \\ &= k U_{\Omega m} \cos \Omega t \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中， k 为比例常数。如果外加的音频信号 u_{Ω} 是音乐信号，则 Δf 就与音乐信号的瞬时值成正比；如果 u_{Ω} 是语言，则 Δf 就与语言信号的瞬时值成正比。总之图 1-2 中振荡器的频率是随音频信号 u_{Ω} 的瞬时值表变化的。而振荡信号的振

幅是不受影响的。这样，这个振荡器输出的信号频率就受到了调制。调制信号就是上述的音频信号 u_{Ω} 。振荡器输出的频率随 u_{Ω} 的瞬时值而变化的高频信号称为调频信号，或调频波。从下面的分析可知，调频波同样是携带信息的，这个信息就是调制信号 u_{Ω} 。

与调幅波相比，调频波除了振幅保持不变只有频率变化这个特点以外，传播还有其自己的特点。下面就来介绍调频波传播的特点。关于调频波的波形将在第二节叙述。

四、调频波传播的特点

调频广播的频段属于超短波的频率范围，它的传播方式与中、短波的传播方式有很大的不同。大家知道，大气层中有电离层，中波(只在夜间)、短波可利用电离层的反射把已调波信号传到远方。当信号的频率逐渐增高直到大于30MHz时，电离层就不再能将这种信号反射回到地面上来^[1]，因此不能利用电离层的反射来传播调频波。

另外，调频波也不能沿地球表面传播。因为调频波在地面上引起的电流导致其能量很大的衰减，并且电流损耗随着电磁波的频率增高而加大^[1]。因此调频波只能沿直线传播，只有离发射台较近的地方才能收到调频广播。

调频广播既不能利用电离层传播，又不能沿地表面传播，它只能在地球表面上以直线的方式传播，结果调频波传播的有效距离只是视距。调频发射台发射天线主要是向水平方向辐射能量，有效服务范围的半径约为50~60公里。但由于电磁波的绕射和折射现象，而且调频收音机有较强的抗干扰性能，所以在远离发射台100~150公里的地方还可以得到满意的接收。

调频波是超短波，虽然有绕射能力但比较差，遇到障碍物将发生反射。所以即使在视距范围之内，如果收音机与发射台之间有高大建筑物阻挡，收听效果是不好的。例如广州的白云山距离发射台很近，是在视距范围之内，但在白云山的某些地点由于白云山阻挡，收听效果很差。然而在楼房林立的大城市收听效果却有很大改善。这是因为收音机虽收不到来自发射台的直接波，却可收到其它建筑物的反射波。因此，在大城市里，几乎到处可以收听到调频广播。由于反射波很多，它们达到收音机的路径不同，结果又使收听情况变坏，有关这个问题将在抗干扰一节中论述。

第二节 调频波的波形、频谱及向量表示

调幅波的波形大家都很熟悉，调幅波的振幅按照调制信号的瞬时值变化，调幅波的频谱也比较简单。如果调制信号是单一的正弦波，那么调幅波的谱线就只有三条：载频谱线及上、下边频谱线。向量图也很简单，只有三个向量：载波向量和上、下边频向量。

与调幅波相比，调频波无论是波形，还是向量图都要复杂得多，下面分别介绍调频波的波形、频谱及向量图。

一、调频波的波形

在第一节中介绍调频信号发生器时，谈到了调频波的频率随调制信号的瞬时值变化。而且已调波频率和载波的频率之差与调制信号的瞬时值成正比，如式(1-2)所示。根据此关系式可以画出调频波的波形。图1-3是调制信号为单一正弦波时调频波的波形图。图1-3(c)是调制信号波形，图1-3

(b) 是调频波与载波的频率差随时间变化的波形。图1-3(a)是调频波之波形，图1-3(d)是用同一个调制信号调幅的调幅波的波形。

在第一节中我们用线路图说明了调频波产生的过程。下面我们用工图1-3(a)、(b)、(c)的波形图来说明调频波形成的过程。图1-3(c)的调制信号为一正弦信号 $u_{\Omega} = U_{\Omega m} \cos \Omega t$ ，从图中看出，调制信号的瞬时值是随时间而变化的。在 $t = t_1$ 这个时刻，调制信号的瞬时值正好达到了正的极大值。此时加在变容二极管上的反向偏压最高，变容二极管的电容值 C_D 最小。图1-2的调频波信号发生器输出的

振荡信号其频率最高，图1-3(a) t_1 时刻调频波的波形最密。当 $t > t_1$ 后，调制信号的瞬时值逐渐下降，图1-3(a)调频波的波形逐渐变稀。当 $t = t_2$ 时，调制信号的瞬时值为“0”，此时变容二极管两端的反向偏压就等于直流偏压 E_D ，变容二极管的电容值就是 C_{D0} ，此时调频波的频率等于载波频率 f_0 ，即 $f_c = f_0$ 。当 $t > t_2$ 时，调制信号的瞬时值继续下降，调频波的频率 f_c 相应也降低，直到 $t = t_3$ 这一时刻，调制信号达到负的最大值。此时加在变容二极管的反向直流偏压为 E_D 与 $U_{\Omega m}$ 之差，此时刻变容二极管的反向偏压达到最小值，变容二极管的电容 C_D 达到最大值。图1-2中调频信号发生器输出的调频波频率最低。从图1-3(a)可以看出在 $t = t_3$ 时刻波形最稀，当 $t > t_3$ 时，调频波的频率 f_c 又逐渐增加，直到又达到 $f_c = f_0$ 。

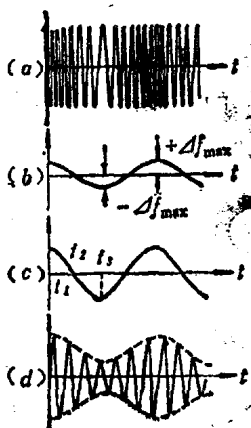


图 1-3 单一频率调制时调频波的波形

以后又重复上述过程。

根据(1-2)式,有

$$\begin{aligned}f_c - f_0 &= \Delta f \\ &= k u_{\Omega}\end{aligned}$$

由上式可知,频率变化量 Δf 与调制信号 u_{Ω} 的瞬时值是成正比的,显然频率变化量随时间变化的规律与调制信号随时间变化的规律是相同的。频率变化量 Δf 随时间变化的规律如图 1-3(b) 所示。根据式 (1-2) 可求出调频波的瞬时频率 f_c 为:

$$\begin{aligned}f_c &= f_0 + \Delta f \\ &= f_0 + k u_{\Omega} \\ &= f_0 + k U_{\Omega m} \cos \Omega t \\ &= f_0 + \Delta f_m \cos \Omega t\end{aligned}\quad (1-3)$$

式中 $\Delta f_m = k U_{\Omega m}$ 为最大频偏。

在 $t = t_1$ 这一时刻,调频波的瞬时频率 f_c 达到最大值 $f_{\max}$,即

$$f_{\max} - f_0 = \Delta f_m \quad (1-4)$$

在 $t = t_3$ 这一时刻, $f_0 > f_c$, f_c 达到最小值, $f_c = f_{\min}$,

$$f_{\min} - f_0 = -\Delta f_m \quad (1-5)$$

显然, Δf_m 越大, f_c 与 f_0 之差越大。由于 Δf_m 仅与 $U_{\Omega m}$ 有关,所以 $U_{\Omega m}$ 越大, Δf_m 越大。 Δf_m 越大,则在 $t = t_1$ 这一时刻,调频波的波形越密。而在 $t = t_3$ 这一时刻,调频波的波形越稀。反之, $U_{\Omega m}$ 越小, Δf_m 越小,相应的在 $t = t_1$ 及 $t = t_3$ 时刻,波形密、稀的差别就没有 $U_{\Omega m}$ 大时那样明显。调频波的频率虽然变化,但它的振幅始终不变,这是调频波的第一个特点,也是调频波与调幅波的一大区别。调频波的另一个特点就是上述的频率随时间变化,这是调频波与调幅波的第二大区别。

二、调频波的频谱

调幅波的频谱是比较简单的,当调制信号为单频正弦信号时,调幅波仅包含三个频率成分:载波,频率为 f_0 ;上边频 $f_0 + F$;下边频 $f_0 - F$, F 为音频调制信号的频率。在频谱图上有三根谱线与之对应,如图1-4(a)所示。调幅波的向量表示如图1-4(b)所示。

调幅波向量等于载波向量、上边频向量、下边频向量这三个向量的和。当调制信号为一单频正弦信号时,调幅波只有一对边频。由于

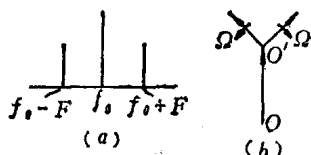


图 1-4 单频正弦信号调制时调幅波向量图和频谱图

上边频的频率是 $f_0 + F$,因此上边频向量转动的角频率就等于 $2\pi(f_0 + F)$;载波向量转动的角频率 ω_0 为 $2\pi f_0$,所以上边频向量相对于载波向量以 $\Omega = 2\pi F$ 的角速度逆时针旋转。同理,下边频向量相对于载波向量以 $\Omega = 2\pi F$ 的角频率顺时针旋转。因为上、下边频向量以相同的角频率、相反的方向相对于载波向量旋转。因此,任何时刻,上边频向量与载波向量的夹角在数值上永远等于下边频向量与载波向量的夹角,二边频向量分别在载波向量的两侧。由于上、下边频向量的长度相等,所以任意时刻,上、下边频向量之和向量永远在载波向量这条直线上。这样,由载波向量、上边频向量、下边频向量构成的调幅波向量永远与载波向量重合。调幅波向量围绕 O 点转动的角频率就等于载波向量围绕 O 点转动的角频率。这是调幅波向量的第一个特点。

调幅波向量的第二个特点是,调幅波向量的长度随时间