

电子学与无线电原理

(下 册)

人民邮电出版社

电子学与無綫电原理

(下 册)

F. E. 特 尔 曼
陈 章 等译

中 国 科 学 出 版 社

ELECTRONIC AND RADIO ENGINEERING

F. E. TERMAN

Assisted by

R. A. HELLIWELL, J. M. PETTIT

D. A. WATKINS, W. R. RAYBO

Fourth Edition 1955 McGraw-Hill Book Company, INC.

內 容 提 要

本書共26章，15-26章作为下册。在下册中講述的基本內容是电子学的基本原理与無綫电工程。在电子学的基本原理中有調幅、調頻、檢波、微波电子管、脉冲技术与晶体管等。在無綫电工程中有电波傳播、天綫、收發信机及通信系統、电视、雷达与导航等，是無綫电工程技术人員及大学無綫电系学生的参考書。

电子学与無綫电原理(下册)

著者：(美国) F. E. 特 尔 曼

譯者：陈 章 錢鳳章 陆鍾屏 李嗣池
吳伯修 王端驥 莫純晶

出版者：人 民 邮 电 出 版 社
北京东四6条13号

(北京市書刊出版業登記證出字第0四八号)

印刷者：北 京 市 印 刷 一 厂

發行者：新 华 書 店

开本 850×1168 1/32

1959年12月北京第一版

印张 17 22 32 頁：283

1959年12月北京第一次印刷

印刷字數 431,959字

印数 1—4,700册

統一書号：15045·总1103-無298

定价：(10) 3.10 元

編 者 序

我国人民在党的领导下积极貫徹党的鼓足干劲、力争上游、多快好省地建設社会主义的总路綫，和一整套“兩条腿走路”的方針，大搞技术革新和技术革命的羣众运动，实现国民經济的繼續躍进。在科学技术战綫上，我們学习苏联等社会主义国家的先进思想和先进經驗，傳播我国科学技术新的創造和成就，循着党所指引的又紅又專的道路，推动我国科学技术的迅速发展，取得了很大的胜利。此外，为了适当地运用国外的一些科学技术知識，作为参考材料和工具，使它来为我国的社会主义建設服务，使它为我們蓬勃发展的技术革新的羣众运动所利用，我們选譯了国外的一些科学技术著作，供同志們选用和参考。

特尔曼編著的这本书是講述电子学与無綫电工程的基本理論的，是第四版修訂本，在叙述方法上以物理概念为主，很少用到高等数学；缺点是系統性比較差，有些地方講得不够詳尽，特別是在理論与实际的联系方面很欠缺。

近几年来，电子学与無綫电技术发展得很快，特别是苏联应用于宇宙火箭的电子学与無綫电技术的高度成就，能够在几十万公里远程的太空中，以遙控設備自动拍發信号，自动攝取和傳送月球背面的圖象等等，更是动人心魄。我們也要在电子学和無綫电方面迅速提高和普及技术知識，来更好地为祖國的电信事業服务。

編 者

1959年11月

目 录

第十五章 調幅	1
15-1 調幅波.....	1
15-2 板極調幅丙类放大器.....	3
15-3 柵極調幅丙类放大器.....	8
15-4 其他調幅系統.....	11
15-5 載頻抑止, 單边帶及殘留边帶系統.....	16
第十六章 檢波器与混頻器	24
16-1 調幅波的檢波.....	24
16-2 二極管檢波器.....	24
16-3 实用的二極管檢波器.....	26
16-4 实用二極管檢波器的損耗、頻率和相位畸变.....	31
16-5 板極檢波器.....	33
16-6 真空管檢波器作真空管电压表.....	36
16-7 利用旋轉矢量来决定已調波的包絡性質和相角变化.....	39
16-8 外加信号含有两个調幅波时的檢波效应.....	42
16-9 超再生檢波器.....	43
16-10 頻率的交換.....	45
16-11 交換頻率用的混頻和变频管.....	47
16-12 混頻管工作状态的数量分析 (变频跨导).....	50
16-13 混頻管的噪声.....	53
16-14 晶体二極管混頻器.....	55
第十七章 調頻	64
17-1 已調頻波.....	64
17-2 相位調制.....	70
17-3 已調頻波和已調相波对已調幅波的关系.....	72
17-4 網絡对已調頻波的响应.....	73
17-5 产生已調頻波和已調相波的方法.....	78

17-6	已調頻波和已調相波的檢波	84
17-7	比例檢波器	89
第十八章	波形形成, 非綫性波和脉冲技术	97
18-1	非正弦波波形	97
18-2	削波	97
18-3	波形的积分和微分	103
18-4	多諧振盪器	105
18-5	跳躍(艾可焦頓)电路	113
18-6	間歇振盪器	114
18-7	方形波产生法	117
18-8	脉冲發生器	118
18-9	产生脉冲用的綫性和脉冲形成網絡	121
18-10	箝位电路——直流复位	125
18-11	鋸齒波产生器	128
18-12	鋸齒波产生器的綫性修正	132
18-13	在感-阻电路中产生鋸齒电流波	137
18-14	時間延迟电路	138
18-15	由非綫性波形提出的电路要求——脉冲变压器	150
18-16	各种特殊电路結構	141
第十九章	微波电子管	151
19-1	微波电子管	151
19-2	多腔速調管放大器	151
19-3	反射速調管振盪器	154
19-4	行波管	161
19-5	返波振盪器(Carcinotron 卡錫諾腔)	167
19-6	磁控管振盪器	172
19-7	微波振盪器的自动頻率控制	179
第二十章	供电子管工作作用的电源	185
20-1	由陰極加热电源来的交流哼声	185
20-2	供应陽極电能的整流器	186
20-3	整流电路	189
20-4	采用串联电感器(扼流圈)輸入式濾波的整流器性能	194

20-5	采用并接电容器输入式滤波器的整流器性能	201
20-6	滤波器	205
20-7	整流——滤波器计算举例	209
20-8	稳定电源装置	210
20-9	高电压阴极射线管的阳极电源	212
20-10	从低压直流电源获取板极功率	214
第二十一章 晶体三极管与其他有关半导体器件		218
21-1	半导体	218
21-2	纯(本征)半导体的电导性	219
21-3	杂质半导体	222
21-4	电流流动中的物理过程——漂移与扩散	226
21-5	用能带说明绝缘体, 金属与半导体的电导性	230
21-6	面接合型二极管	232
21-7	加有偏压的 $P-n$ 结内载流子漂移与扩散的进一步讨论	236
21-8	$P-n$ 结的电路性质	244
21-9	面接合型晶体三极管	246
21-10	面接合型晶体三极管所发生作用的详情	251
21-11	晶体三极管小信号公式与等效电路	254
21-12	面接合型晶体三极管的高频效应	260
21-13	晶体三极管共发射极与共集电极接法	264
21-14	晶体三极管特性的量测	268
21-15	适合高频用的改进的面接合型晶体三极管	271
21-16	点接触型二极管	273
21-17	点接触型晶体三极管	274
21-18	晶体三极管的应用	277
21-19	晶体管的噪声	284
第二十二章 無線电波的傳播		291
22-1	与無線电波傳播有关的因素	291
22-2	地波	292
22-3	地面对無線电波的反射	297
22-4	空間波的傳播	298
22-5	关于空間波傳播的其他問題	303

22-6	大气在空间波传播中的作用	307
22-7	电离层的一般性质及其对无线电波的作用	314
22-8	电离层影响无线电波传播的物理过程	317
22-9	电离层对天波的折射及反射作用	321
22-10	射线路径、越程及最高可用频率	324
22-11	用垂直入射来测量电离层——群速和群延迟	327
22-12	斜入射与垂直入射传输的关系	329
22-13	天波信号的强度	334
22-14	电离层传播的其他问题	336
22-15	在实际无线电通信中所使用的各种频率的无线电波的传播特性	340
22-16	太阳活动对无线电波传播的关系	345
22-17	噪声与天电	346
22-18	瑞利-卡生 (Rayleigh carson) 的互易定理	348
第二十三章	天线	355
23-1	偶极天线的辐射	355
23-2	远离地面的导线辐射体的特性	357
23-3	天线的定向增益	362
23-4	天线阵	363
23-5	地面对不接地天线方向性图的影响——影像天线	374
23-6	接地天线	378
23-7	由天线阵组成的天线阵	380
23-8	辐射电阻和辐射功率	383
23-9	天线的自阻抗和互阻抗	385
23-10	耦合天线系统中电压和电流的关系	387
23-11	定向增益的计算	388
23-12	阻抗匹配和移相系统	393
23-13	平衡不平衡转换	394
23-14	其他天线系统	396
23-15	抛物面反射器天线	403
23-16	号角天线	407
23-17	透射天线	410

23-18 槽形天綫.....	411
23-19 發射天綫中寬波段的考虑.....	414
23-20 实际發送天綫.....	416
23-21 天綫在接收無線電信号时的特性.....	417
第二十四章 無線电發射机接收机和通信系統	430
24-1 調幅發射机.....	430
24-2 調頻發射机.....	434
24-3 無線电报發射机.....	437
24-4 無線电接收机的一般討論.....	439
24-5 特殊用途的接收机.....	441
24-6 無線电接收机中的几个重要問題.....	444
24-7 單边帶系統.....	452
24-8 使信号衰落效应減到最小的分集系統.....	454
24-9 接收机的噪声.....	455
24-10 調頻系統中噪声和干扰的減少.....	457
24-11 減少調幅系統的噪声.....	460
24-12 脉冲通訊系統.....	462
24-13 脉冲編碼調制.....	466
第二十五章 电视	474
25-1 电视系統的要素.....	474
25-2 电视攝象管——正电子攝象管.....	478
25-3 視象管.....	481
25-4 飞点扫描器.....	484
25-5 頻帶及析象力.....	484
25-6 电视發射机.....	485
25-7 电视接收机.....	489
25-8 接收机的扫描电路及其同步.....	492
25-9 亮度畸变和 γ	497
25-10 彩色电视三色系統的基本概念.....	497
25-11 彩色电视發射机.....	500
25-12 單色接收机接收彩色信号.....	501
25-13 三色显像管.....	502

25-14 彩色电视接收机.....	505
25-15 接收天线.....	509
25-16 多途径现象.....	510
第二十六章 雷达与导航	514
26-1 雷达.....	514
26-2 雷达发射系统.....	519
26-3 雷达天线.....	521
26-4 双向器.....	525
26-5 雷达接收机.....	527
26-6 雷达接收机的显示器.....	529
26-7 自动跟踪雷达.....	531
26-8 运动目标显示器(MTI)和固定回波的抑制.....	532
26-9 等幅波(CW)与调频雷达.....	536
26-10 雷达信标.....	537
26-11 劳兰 (LORAN) —— 远程导航.....	539
26-12 无线电航道.....	540
26-13 飞机着陆系统.....	543
26-14 无线电定向.....	547

第十五章 調 幅

15-1 調 幅 波

在一个調幅波中，射頻振盪的振幅依据傳輸信号而变化，这在第1-3节中曾經討論过。調幅波的例子如圖1-2和15-1所示。

調幅波包絡大小的变化程度用調幅度 m 表示， m 的定义是

$$\text{正向調幅度} = m_+ = \frac{E_{\max} - E_0}{E_0} \quad (15-1a)$$

$$\text{負向調幅度} = m_- = \frac{E_0 - E_{\min}}{E_0} \quad (15-1b)$$

式中 E_{\max} 、 E_{\min} 及 E_0 各为調幅包絡的最大值、最小值及平均值如圖15-1所示。当調幅是对称时，例如在正弦包絡的情况下，則 $m_+ = m_- = m$ 。

当包絡振幅在包絡变化的負向峯值等于零时，我們說这个波被完全調幅；这相当于負向調幅度 $m_- = 1.0$ 或100%。

調幅波的分析 調幅波的性质已在第1-5节中分析过。那里曾指出，这种波由一个載波和两个边頻組成。載波相当于振幅不变时的振盪。因此它代表調幅包絡的平均振幅（圖15-1中的

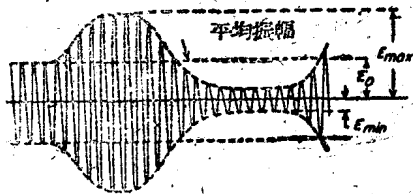


圖 15-1 調幅波

E_0), 并且它的振幅和頻率不变, 与有無調制無关^①。載波不能傳遞信号, 因为它不受調制的影响; 信号是在边頻中傳遞的, 这种边頻的产

^① 这意味着載波是被一个沒有直流分量的交流信号所調制。否則在調制信号加上后, 調幅波的平均振幅是要改变的, 这引起在調幅时載波振幅發生改变; 这种作用称为“載波偏移”。在电视發射机中, 为了表出平均亮度, “載波偏移”是有意地引进去的。

生可看作是射頻波振幅变化的結果。

在調幅包絡方程式中，任何一个頻率分量都会产生一对边頻，对称地分佈在載頻的兩边，并且与載頻之差即等于这个包絡頻率。因此，如果一个 1000 千赫的波，其振幅变化頻率为 1.2 千赫，則边頻应为 1001.2 及 999.8 千赫。

很明显，一个調幅波所佔的頻帶寬度等于最高調制頻率的二倍，因此振幅变化越快，边頻帶越寬。因此使通信滿意的必須發射的頻帶寬度取決于信号的形狀；为了發射电报信号，頻帶寬度就很窄，而發射电视信号就非常寬了。在許多具有代表性的情況下，調制頻率如表 15-1 所示。

相当于典型信号的調制頻率

表 15-1

信号种类	必須發射的最小 頻率範圍 (赫)
电报——莫尔斯电报，每分鐘 500 單字 (100 字)	0—120*
語音	
最高質量	40—15,000
典型广播节目	100—5,000
远距离电话	250—3,500
能听但質量低劣	500—2,000
电视——525 綫标准圖象，交編扫描重复率 30 赫	60—4,500,000
脉冲——寬度 1 微秒	0—1,000,000

*这里假定：为了保持点和划的波形，必須把低于点頻率三倍的所有頻率全發射出去。

一个調幅波所含的能量等于各頻率分量的能量之和，因此在調幅时能量增加，因为增加了边頻能量。故当載波的包絡被一个正弦波完全調幅时，也就是在 (1-2) 和 (15-1) 式中， $m=1$ 时，两个边頻分量中每一个的振幅等于載波振幅之半。因此每一个边頻所含能量等于載波能量的四分之一，而两个边頻在一起使得整个完全調幅波的功率比載波功率高出了 50%。在这种情况下，全部能量只有三分之一是在边頻中，而三分之二在載波。当調幅度小于 1 时，边頻功率將与 m^2 成正比。結果，当調幅度减小时，包含在边頻信号中这一部分能量也减少了。因此常常要調幅度大。

調幅波的畸變 當調幅波的包絡不能完全一樣地重新產生調制信號時，這一調幅波就有了畸變。這種畸變可分成頻率畸變，振幅（非直綫性）畸變以及相位（時間延後）畸變。當一個振幅一定的調制信號所產生的調幅度隨着信號頻率而改變時，就會引起頻率畸變。頻率畸變使不同頻率的邊頻分量失去正確的相對振幅關係。當調幅波包絡不同頻率分量之間彼此的相位關係不同於調幅信號中的相位關係時，就會產生時間延後畸變。當調幅波包絡包含一部分調幅信號所沒有的頻率分量時，就會產生振幅畸變。因此，如果調幅信號是一個正弦波，則振幅畸變會使包絡含有調幅信號的諧波頻率，從而說明有高次邊頻分量存在，它們與載頻相差一個調幅信號的諧波頻率。

調幅波產生畸變的原因可能由於產生調幅波的調幅系統的不完善，也可能由於傳輸調幅波的綫路的作用。例如，當調幅波加在諧振頻率等於載頻的調諧電路時，上邊頻和下邊頻的振幅就會對稱地減小一個量值；調幅頻率越高這個量值越大。同時，邊頻還對稱地產生一個相移，這會引起時間延後畸變，在討論(12-14)式時已提過。還有，如果載頻與調諧電路的諧振頻率不重合，則上邊頻和下邊頻的振幅不等，而對載頻而言的相移不對稱。這樣就在調幅波包絡中引起十分嚴重的振幅畸變，這將在第16-7節中討論。

15-2 板極調幅丙類放大器

板極調幅丙類放大器是無線電設備中產生調幅波最廣泛應用的一種方法。在這種放大器中，調幅信號電壓疊加在普通丙類放大器直流板極供電電壓之上。這樣一來，放大器整個板極供電的有效電壓將隨調幅波包絡而變化。

板極調幅三極管丙類放大器 板極調幅三極管丙類放大器的一個典型綫路如圖 15-2a 所示。圖中有一個通常工作於（但不一定是）乙類的功率放大器，它的輸出電壓使得等效板極供電電壓依據調制信號而改變。這一放大器的輸出通常是用一只變壓器接入丙類放大器板極電路內，丙類放大器的板路作為功率放大器的負載阻抗。作這種用處

的功率放大器常称为调制器，而其输出变压器称为调幅变压器。射频抗流圈 L_c 必须具有很高的射频阻抗，但对调制频率则阻抗很小。相反，耦合电容的大小应当足以使射频旁路而对调制频率是一个高阻抗。

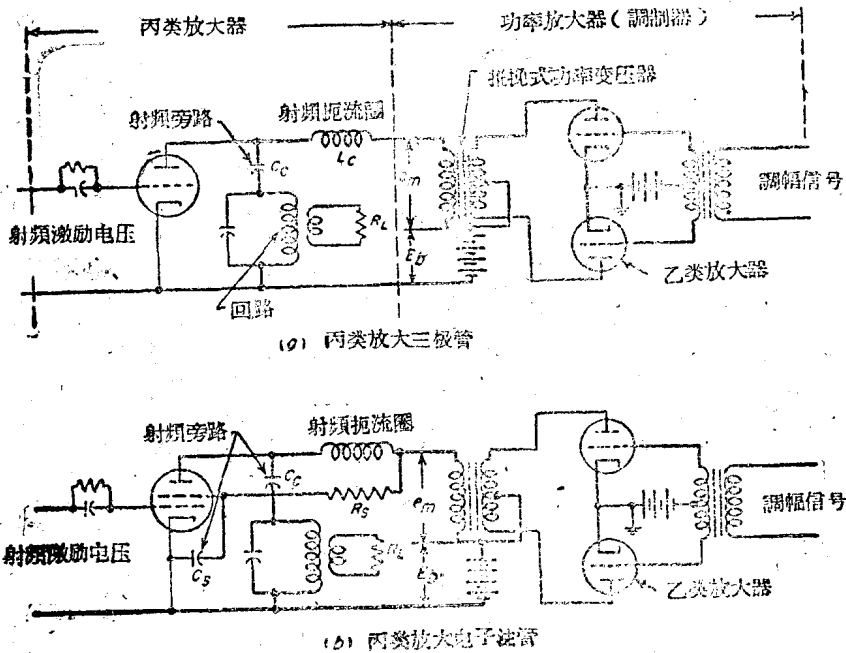


图 15-2 板极调幅丙类放大器的典型线路，为了清楚起见，三极管的中和线路没有画上去。

调制器的作用在于使丙类放大管板极供电电压的等效值随着信号而变，如图 15-3a 所示。这是一个正弦波信号，它的振幅能完全调制板极电压。因此希望两种放大器输出的射频振荡振幅与加在板极上的等效供电电压成正比。这种结果可以得到，只要在丙类放大器中加上射频激励电压，栅偏压和负载阻抗使得在调幅顶点时，当图 15-3a 中等效板极供电电压等于 $2E_b$ 时，放大器是在适当饱和的丙类情况下工作，也就是放大器能在板极和阴极之间产生一个射频峰值输出电压略

小于有效板压，并且板流通角小于 $\textcircled{1}180^\circ$ 。当达到这种情况时，在整个调幅一週中丙类放大器将必须在饱和情况下工作，这使得输出电压的振幅忠实地重新产生出调幅信号，如图 15-4 所示。

在电子管等效板极供电电压为 $2E_b$ 时，如果经过适当调整的板极调幅丙类放大器的激励电压足够大，使得在调幅顶点达到饱和，就意味着在调幅一週的其余时间，激励电压将大大超过产生饱和所必须的数值。这样会使栅极电流和栅极功率损耗在调幅谷点变得非常大，谷点的饱和程度达到极点如图 15-3 所示。然而这种结果可以在很大程度上加以避免，只要使得

$\textcircled{1}$ 为了在有效板压为 $2E_b$ 时，在调幅顶点得到一个小于 180° 的通角，偏压必须超过 $2E_b/\mu$ 。

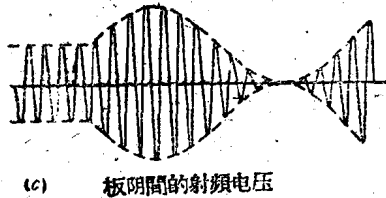
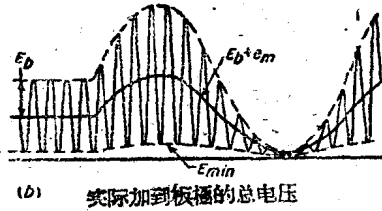
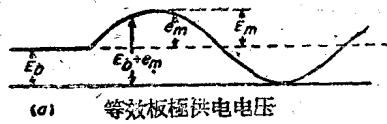


图 15-3 用固定偏压和栅漏偏压的板极调幅丙类放大器的波形图

丙类放大器控制栅極的射頻激励电源調整率很差，也就是激励电源的功率仅仅在調幅頂点即栅極电流（即激励功率）最小时，才能使丙类放大器飽和。因此当丙类放大器过飽和时，在調幅一週的其他部分正当栅極电流有增加趋向时，激励电压由于不能供給額外功率故振幅减小，而此时激励减小正是需要的。

利用栅漏偏压的被調丙类放大器也能得到同样結果。当栅流增大时，偏压增加，因此在調幅谷点减弱了栅流剧烈增加的趋势。同理，在調幅頂点，当栅流趋小时，偏压也减小，因此栅極电压更趋正，这种作用在調幅頂点是有益处的。这一作用如图 15-3f 所示。然而为了如此利用栅漏电阻电容线路，在最高調制频率时与栅漏电阻并联的栅極电容器电抗必須至少为栅漏电阻器电阻值的二倍。不然，在調幅一週中偏压就不能跟随振幅的波动而改变，而在較高調制频率时，栅漏偏压的优点將失去。

一个經過适当調整的板極調幅丙类放大器輸出波形的包絡形状与調制信号形状非常相似。如果有任何振幅畸变存在的话，則常常是以正向調幅頂点的变平的形式出現，这是由于在正向的調幅頂点飽和不够引起的。

电子注管和四極管板極調幅丙类放大器的一些特殊考虑

在三極管板極調幅丙类放大器中，很重要

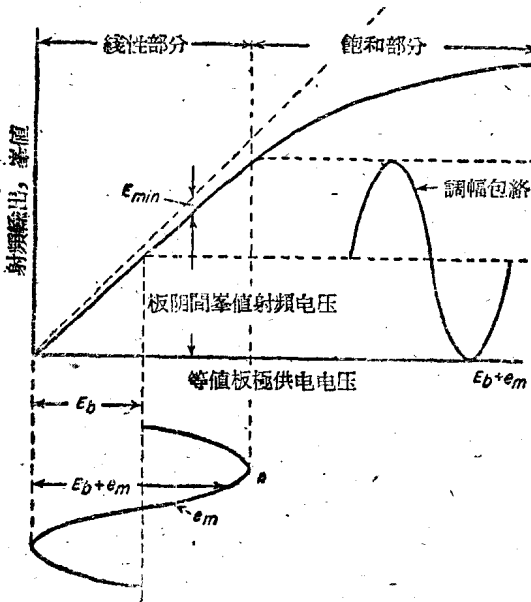


圖 15-4 在典型板極調幅丙类放大器中，射頻輸出电压与調制电压之間的关系

的一些考虑同样也适用于具有帘栅极电子管的情况。特别是所产生的已调波包络与调制信号非常相似，只要在正向的调幅顶点时四极管或电子注管丙类放大器的最低板压，刚刚足以防止虚阴极的形成。

帘栅极电子管板极调幅要唯一特殊考虑之点是帘栅电压必须与板压同时调制。这样在调幅顶点板流需要大时，就使总流增加，而在调幅谷点板流需要小时，使总流减小。利用这种根据板流需要使总流变化的方法，可使帘栅流以及帘栅耗最小。如帘栅压不加调制，则在整个调幅一週内总流不变，而当板流值小于调幅顶点的值时，帘栅流转而相应增加，结果产生很大的平均帘栅流和帘栅耗。

把板极调幅变压器的输出电压通过串联电阻 R_s 加于帘栅极上就能方便地获得调幅电压，如图 15-2b 所示。在这种线路中，旁路电容 C_s 必须很小，使得不会把最高调制频率有效的旁路。但同时 C_s 必须足够大，使能有效地把载频旁路。旁路电容器 C_s 也应满足类似的要求。

调幅器输出功率的要求 调幅器必须有足够的调制频率功率，在需要全部调幅时，能把有效板极供电电压从零变到二倍直流板压。调幅器虽然不一定需要是，但常常是一个乙类放大器，如第 10-8 节中所述。

当板极调幅丙类放大器正确地调整时，丙类放大管板极电路对调幅器而言是一个电阻，且等于比值 E_b/I_b ， E_b 是丙类放大管在未调幅时的直流板极供电电压， I_b 是其直流板流。因此调幅度取决于调幅器在其负载阻抗上所产生的交流电压值。在 100% 调幅时，交流信号电压的峰值 E_m 应当等于板极供电电压 E_b ，而信号频率的交流板流峰值等于 I_b 。这就使调幅器的输出功率等于 $E_b I_b/2$ ，或刚刚等于板极供电电源所给出的直流功率之半^①。在调幅度较小时，调幅器的输出功率将与调幅度的平方成正比。因此板极调幅丙类放大器中的功率关系可

^① 在电子注管和四极管情况下，调幅器还要供给功率去调制帘栅极。在图 15-2b 中，大部分帘栅极调幅功率消耗在电阻 R_s 上。帘栅极调制功率和板极调制功率之比等于帘栅流和板流之比。这一比值通常约为 0.05 到 0.15。