

科學圖書大庫

通信電子學

譯者 王 彭 夏文彥

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

通 信 電 子 學

譯者 王 彭 夏文彥

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

科學圖書大庫

監修人 徐銘信 科學圖書編譯委員會主任委員
編輯人 林碧銓 科學圖書編譯委員會編譯委員

版權所有

不許翻印

中華民國六十六年三月十八日初版

通信電子學

基本定價 2.60

譯者 王 彭 中華電視台微波站站長
夏文彥 華視台長兼副工程師

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(63)局版臺業字第0116號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686號
發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 1 5 7 9 5 號
承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話 9719739

我們的工作目標

文明的進度，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成爲事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，允爲社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啓發，始能爲蔚爲大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏爲監修人，編譯委員林碧銓氏爲編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分爲叢書，合則大庫。爲欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於爲國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尚在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；

大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尚祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

序 言

本書係專為通信電子技術人員編纂之通信電子學，美國社會及技術學院已採用為二年制電子技術訓練課程第二學年之教科書。

全書蒐集近代發展之最新電子科技知識，學者對設計通信系統及電子電路最常遇見之工程上之需求，諸如如何減低雜訊，增進通信距離，改善傳真度，或保護頻帶等，均可從學習中不斷激發而獲得新知。

學者宜具有交直流電路，及數學方面之中級代數與三角學等知識。全書未引用微積分，惟學者如已修畢或同時修習一般電子課程，當更有助於學習效果。本書之第一及第二章乃討論幅調及頻調之理論，因此學者可了解此二通信系統之基本性質，而對其所涉及之理論與電路可有一完整之觀念。

本書在敘述及引介新的理論與觀念時，常佐以實際數字之例證，使學者極易瞭解原理之應用，在這些例題中，凡有關特殊課題之內容必先予複習以助學習，每一例題中係以提供適當解題之方法為着眼，因全書列舉之例題極多，故本書亦適合個別自修訓練使用。

編者已廣蒐集最新常用之裝備及組件之資料，同時對正在實驗而尚未問世之裝備其資料與數據亦透過廠商多方蒐集，而且該項資料中並包含有最新商用組件之資料。本書并附印有若干廠商之目錄資料，俾能配合實際所學，藉以瞭解商用品之實用性。

Lloyd Temes

目 錄

序 言

第一章 幅 調

幅 調	2
數學表示	3
調變因數與百分率調變度	3
頻 譜	4
功率含量	5
抑止載波、雙旁帶、與單旁帶傳輸	6
使用示波器決定傳統幅調波	
百分率調變的兩種方法	7
應用標準時基拂掠法	7
應用梯次圖場法	7

第二章 頻 調

幅調訊號與雜訊	13
頻 調 波	13
頻調訊號的另一數學表示法	14
圖形表示法	15
聯邦通信委員會與頻率偏移	16
百分率調變	17
旁 帶	18
白色耳函數	18

最高調變頻率與聯邦通信委員會	18
為何調變訊號 (f_m) 會影響頻帶寬度 (BW)	20
中心頻率與頻帶寬度之分配	20
頻道寬度與訊號頻帶寬度之關係	22
偏 移 率	23
窄頻帶頻調與寬頻帶頻調	25

第三章 幅調發射機

一個簡單的建議	28
一個擴展的建議	28
調變放大器	29
非線性放大器	30
一種有趣的實驗	32
C類調變放大器	33
高位準與低位準調變	34
實用的低功率發射機	34
電晶體式民用頻帶發射機	37
幅調廣播帶之商用發射機	37
蓋次 (Gates) BC - 10H 型	37
蓋次先鋒 II 型	37
蓋次 (Gates) BC - 1 G 型	45

仿真天線·····	45
單旁帶傳輸·····	45
平衡調變器·····	46
對克 (Drake) T4XB 發 射機·····	48
單旁帶傳輸之優劣點·····	49

第四章 幅調接收機

TRF 接收機之缺點·····	51
超外差式接收機·····	53
檢 波 器·····	54
美國通用五燈接收機·····	55
五柵變頻管·····	57
廣播帶電晶體接收機·····	59
訊號雜訊比·····	60
靈 敏 度·····	60
選 擇 性·····	60
穩 定 度·····	61
通信用接收機·····	61
頻帶擴延·····	62
雙 變 頻·····	62
電報的接收·····	63
差頻振盪器·····	64
訊號強度表·····	64
靜音電路·····	64
單旁帶接收·····	65
引示載波單旁帶傳輸·····	66

第五章 頻調接收機

反加強網路及限制器·····	68
限制器與幅調雜訊·····	69
反加強網路及頻調雜訊·····	69
解 調·····	70

通用技術之需求·····	70
隨頻率改變之相移器·····	70
總解調網路·····	71
福斯特 - 希萊鑑別器·····	72
比率檢波器·····	73
比率檢波器之限制器作用·····	74
比率檢波器之應用·····	74
雙向通信·····	74

第六章 頻調發射機

供給頻調射頻訊號之方法·····	79
直 接 法·····	80
電晶體電抗調變器·····	80
電抗管調變器·····	81
變容器二極體頻調調變器·····	82
直接法之限制·····	82
間 接 法·····	82
產生相調訊號·····	83
頻率補償網路·····	83
阿姆斯壯頻調訊號之產生技 術·····	84
倍增器·····	86
C類倍增器·····	86
變容器倍增器·····	86
倍增與外差·····	86
商用裝備·····	87

第七章 播音室控制台

分貝 (DB) 與音量單位 (VU) ·····	95
DB 可用電壓、電流、及電 阻表示之·····	97
當 $R_1 = R_2$ 時·····	99

公認的參考位準	100
混 合 器	101
並聯電阻混合器	102
衰 減 墊	107
T形衰減墊	107
轉換器輸入訊號的混合系統	111
聲頻傳輸線	112
平衡線與非平衡線	113

第八章 電 視

聲訊部份	124
圖像訊號	124
映 像 管	125
掃描及偏向	126
電源供給	127
電視訊號	128
頻率響應	129
電視接收機	129
電視之發送端	130
攝 像 管	131
光導攝像管	131
電視發射機	133
彩色電視	134
彩色映像管	135
螢光幕	136
白色平衡	137
插入空白	137
完整的彩色電視訊號	138
彩色繫色訊號	139
色訊訊號之組成方法	139

第九章 調諧電路

<i>RLC</i> 串聯電路	143
-----------------	-----

串聯諧振電路之頻帶寬度及 Q 值	144
<i>LC</i> 並聯電路	147
有電阻之 <i>LC</i> 並聯電路	148
<i>RLC</i> 並聯電路之頻帶寬度	149
增加一個外加電阻	151
耦合電路	153
射頻變壓器	154
耦合係數	155

第十章 射頻放大器

極際電容	160
截止頻率	160
f_a 、 f_β 、及 f_T	161
最大頻率 f_{max}	162
中和	163
直流偏壓	165
串饋	166
並饋	166
射頻耦合	166
中頻放大器	167

第十一章 振盪器

反饋	173
常用振盪器之電路	174
柵漏偏壓	176
有關振盪器原理之另一方法	176
晶 體	177

第十二章 脈波調變

時間多工制	181
其它種脈波調變之方法	181
數據之傳輸	183

調解器	183
傳輸	184

第十三章 輸送線

輸送線上之脈波	186
輸送線上之正弦波	187
單位長度的電容量及電感量	189
特性阻抗	190
無限長線上之電壓	191
閉路線上之脈波	192
閉路線上之正弦波	193
米赫爾線	194
關於閉路終端線之結論	195
開路終端線	195
既非閉路亦非開路之輸送線	
上之脈波	196
電阻性終端線路上之正弦波	197
駐波比	198
反射係數 K_r	199
反射功率	200
速率因數	202
四分之一波長之輸送線	202
短線匹配	205

第十四章 天線

感應場與輻射場	211
同軸電纜	212
平行導線電纜	212
何為天線	213
馬可尼天線	213
輻射場型	213
無方向性及高度方向性之天線	215
天線增益	215

用於接收與發射之天線	216
反射體與導向體	216
波束寬度	217
天線阻抗	218
天線如同諧振電路	219
束射天線	219
其他種天線	219
菱形天線	219
摺式雙極天線	220
正交叉式天線	220
輪環天線	221
環形天線	221
天線陷波器	223
速度因數	224
電場強度	224
功率密度	225
電波之傳播	226
地波	226
視線波	227
天波	227
地球之大氣層	228
太空通訊	229

第十五章 微波

微波之範圍	233
耦合能量進入導波管	234
諧振空腔	234
輻射熱測量計	235
微波頻率之主動元件	235
特殊設計的微波管	236
調速管	236
各種類型的調速管	236
多空腔調速管	237

VII

行波管.....	237
磁控管.....	237
交場放大器.....	238
固態微波元件.....	238
甘恩二極體.....	239
衝潰渡時二極體.....	239
微波天線.....	240

第一章 幅 調

如衆所周知，大衆傳播之廣播無線電台並不以聲頻頻率廣播，廣播所含之訊息係由聲頻頻帶之聲頻所組成，通常係指人類所能聽到的 20 至 20000 赫 (Hz) 頻率範圍。因為在廣播之接收端吾人係以此聲頻訊息處理，然在廣播時何以要改變它的頻率呢？為何不以原始之聲頻將訊息發送呢？

在一指定地區內，若所有的廣播電台均試圖以聲頻同時廣播，因為均在相同的頻率範圍內，彼此電台之間無法鑑別，其間將彼此干擾。同時尚有另一個問題將於天線一章內詳予討論者，乃天線最適當之長度為 $\frac{1}{2}$ 或 $\frac{1}{4}$ 波長。茲將與聲頻 (20 至 20,000 赫) 相關之波長計算如下，可得：

$$\begin{aligned} f\lambda &= C \\ &= 3 \times 10^8 \\ 20\lambda &= 3 \times 10^8 \\ \lambda &= 15 \times 10^6 \text{ m} \end{aligned} \qquad \begin{aligned} f\lambda &= C \\ &= 3 \times 10^8 \\ 20,000\lambda &= 3 \times 10^8 \\ \lambda &= \frac{3}{2} \times 10^4 \\ \lambda &= 15 \times 10^3 \text{ m} \end{aligned}$$

在 20 赫時之波長為 49×10^6 呎，而 20,000 赫時之波長為 49×10^3 呎。

十分顯然地，發送聲頻之天線，其長度太長頗不實用，因此無法採納。

將聲頻範圍之訊息訊號加於高頻率訊號上，並發送此一較高頻率波，當可避免上述之困擾。當接收此發送之訊號時，再予取出其所含之訊息；並用以產生聲頻訊號。

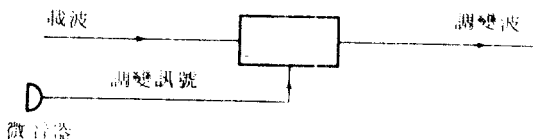


圖 1-1 載波、調變訊號與調變波相互關係之訊號流路圖。

每一電台如以不相同之頻率廣播時，吾人可藉適當

之電感電容調諧電路，以選擇吾人所欲之電台而摒拒其他電台。

在一高頻訊號上施加訊息之處理，稱作調變 (Modulating) 高頻訊號。其原含有訊息的聲頻訊號，可視為調變訊號 (Modulating signal)。

2 通信電子學

其較高頻率之訊號，即將施加訊息於其上者，可視為載波訊號（Carrier signal）。

調變訊號將訊息施加於載波後，結果所產生之電波謂之調變波（Modulated wave）。（參看圖 1-1）。

幅 調（AMPLITUDE MODULATION）

有數種方法，可將含有低頻訊號之訊息施加於高頻訊號上。其中一法可將帶有訊息之調變訊號施加於載波上，使載波波幅隨調變訊號（聲頻訊號）改變。

幅調（Amplitude modulation）即是將訊息施加於載波，使載波波幅隨被發送之訊息訊號改變的通信方法。

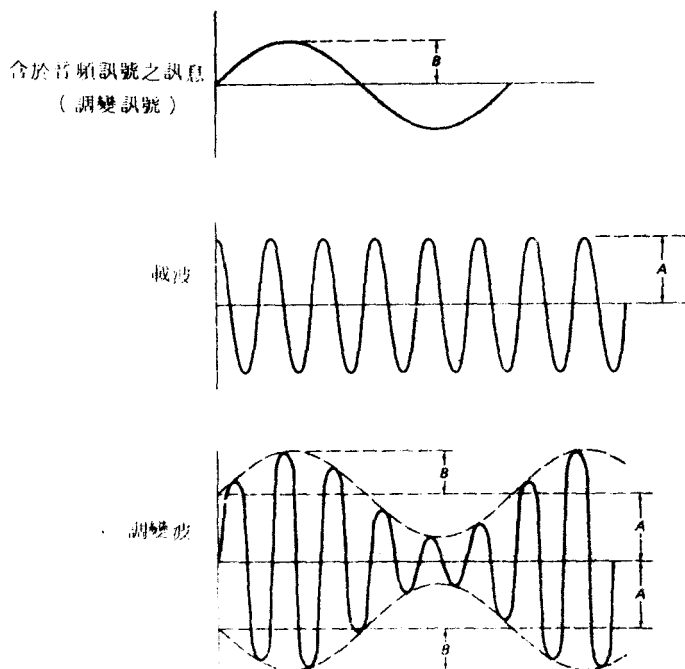


圖 1-2 有關幅調之三種波形，即調變訊號、載波、及調變波。

圖 1-2 幅調之三種波形，可做為說明：即調變訊號、載波、及調變波。

數學表示 (MATHEMATICAL DESCRIPTION)

未經調變之載波其數學公式爲：

$$A \sin 2\pi f_c t$$

式中 f_c 爲載波頻率，而 A 爲未經調變載波之峯值。

爲求簡化起見，吾人可將單一之聲頻音調作爲調變訊號，其數學表示爲

$$B \sin 2\pi f_a t$$

式中 f_a 爲聲頻音調頻率， B 爲調變訊號之峯值（參看圖 1-2）。

調變因素與百分率調變度 (MODULATION FACTOR AND PERCENT MODULATION)

有關幅調的一個重要術語爲調變因數 (Modulation factor) m 。該因數之定義爲調變訊號之峯值與未經調變載波之峯值之比。

$$m = \frac{\text{調變訊號之峯值}}{\text{未經調變載波之峯值}}$$

如以百分法表示之，即爲百分率調變度 (Percent modulation) M 。應用圖 1-2 之註釋，可表之爲：

$$m = \frac{B}{A} \quad M = \frac{B}{A} \times 100\%$$

百分率調變，可自零至 100% 之間變動而不產生失真，其後我們將會明白，廣播者的最高目標，在以接近而不超過 100% 調變值。若百分率調變增大至 100% 以上時，則失真及混合着不需要而無關之外來頻率立即發生。圖 1-3 乃說明調變的三種程度：低調變 ($M < 100\%$)，百分之百調變 ($M = 100\%$)，及過調變 ($M > 100\%$)。

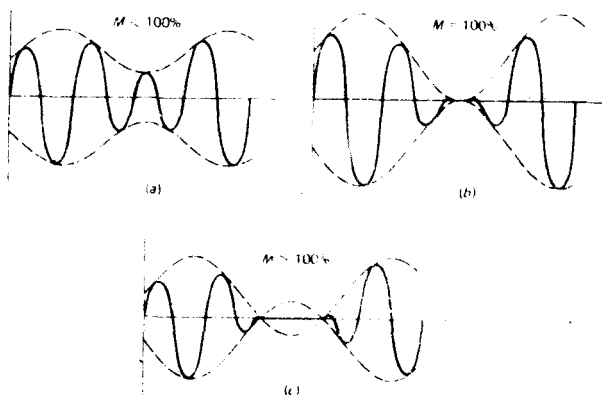


圖 1-3 (a) 低調變訊號，(b) 100% 調變訊號，(c) 過調變訊號。

三種程度：低調變 ($M < 100\%$)，百分之百調變 ($M = 100\%$)，及過調變 ($M > 100\%$)。

頻 譜 (FREQUENCY SPECTRUM)

圖 1 - 3 說明顯示在示波器螢幕上之幅調波，不過虛線僅表示波形之輪廓，並不實際顯示。此等虛線被稱為該波之波封 (Envelope)，此波封之繪出僅有助於對波形結構之了解。請注意在一調變波上，有上波封及下波封。調變波以數學表示之，則為：

$$(A + B \sin 2\pi f_a t) (\sin 2\pi f_c t)$$

式中 f_a 為聲頻之調變訊號， f_c 為載波頻率。

$$A(1 + m \sin 2\pi f_a t) (\sin 2\pi f_c t)$$

以電壓表示時：

$$v = V_c(1 + m \sin 2\pi f_a t) (\sin 2\pi f_c t)$$

式中 V_c 為未經調變載波之峯值電壓，以 A 表示之。

應用三角公式證明：

$$(\sin X) (\sin Y) = \frac{1}{2} \cos (X - Y) - \frac{1}{2} \cos (X + Y)$$

表示幅調波之方程式可寫為：

$$v = V_c \sin 2\pi f_c t + \frac{mV_c}{2} \cos 2\pi(f_c - f_a)t - \frac{mV_c}{2} \cos 2\pi(f_c + f_a)t$$

由此可以看出調變波有三種成份：頻率 f_c 、頻率 $f_c + f_a$ 、及頻率 $f_c - f_a$ 。其頻率與電壓之關係如圖 1 - 4 a 所示。

$f_c + f_a$ 稱為上旁側 (Upper side) 頻率，而 $f_c - f_a$ 稱為下旁側 (Lower side) 頻率。

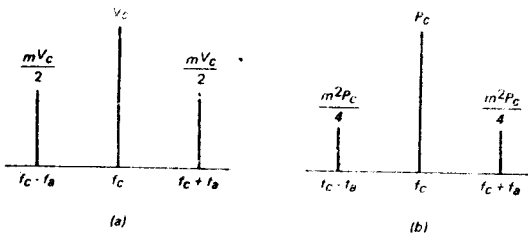


圖 1 - 4 (a) 幅調波之電壓與頻譜之關係。(b) 幅調波之功率與頻譜之關係。

大多數廣播的聲頻訊息，無論是語言或音樂，並不僅含一單純的正弦波，此正如以上討論中所假定者。相反地，在多數情形下，却為一相當複雜之波形。依據弗列 (Fourier) 原理，任一複雜波形，皆可視為一組純正弦波之總和。將弗列原理作深入之研究，將可發現決定此等成份正弦波之頻率與振幅之方法。

由以上所討論，我們知道組成完整的聲頻波之任何正弦波，皆具有上下側頻率出現在調變波之分析上。因此，我們拋開討論上下側頻率，進而談談上下旁帶 (Side band)。

由此可以明白，一電台欲播出含有零至 5000 赫 (Hz) 頻率之訊息時

，即需要上下旁帶各 5000 赫 (Hz)，總頻帶寬度即需要 10 仟赫 (KHz)，聯邦通信委員會 (FCC) 規定，一幅調廣播電台，可允有 10 KHz 之頻帶寬度。因此只有零至 5000 赫 (Hz) 間之聲頻，可用於商業幅調廣播帶。此 10 仟赫 (KHz) 之頻帶寬度規定值，係聯邦通信委員會根據可用之有限頻率間隔，電台執照之最大需求，以及能將音頻適切還原之大部份需要之訊息範圍為 0 至 5000 赫頻率之事實而制訂。

功率含量 (POWER CONTENT)

我們已分析過幅調訊號，並得知電壓與頻譜間之關係。現在，試讓我們決定功率與頻譜之關係。

因為功率與電壓的平方成正比，功率與頻譜之關係如圖 1 - 4b 所示。每一旁帶具有一功率含量，其值等於 $m^2 P_c / 4$ ， P_c 為載波頻率上訊號之功率含量。

因此，其總功率為

$$P_T = \frac{m^2 P_c}{4} + \frac{m^2 P_c}{4} + P_c$$

式中 P_c 為載波功率之含量，不受幅調發射百分率調變之影響。

$$P_T = \frac{m^2 P_c}{2} + P_c$$

$$P_T = P_c \left(1 + \frac{m^2}{2} \right)$$

在已知百分率調變時，每一旁帶內及載波頻率各含有多少功率呢？

此問題可由以下例題說明之。

例題 1 - 1

一幅調發射機，對天線發送之總功率為 100W，百分率調變為 100%，試求載波頻率功率及含於兩旁帶內之功率。

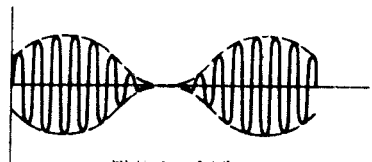
解：

已知： $P_T = 100 W$ ； $M = 100\%$

試求： P_c ； P_{upper} ； P_{lower}

$$P_T = P_c \left(1 + \frac{m^2}{2} \right) \quad 100 = P_c (1.5)$$

$$100 = P_c \left(1 + \frac{1^2}{2} \right) \quad P_c = \frac{100}{1.5}$$



例題 1 - 1 圖

$$P_c = 66.6 \text{ watts}$$

由於上下旁帶所含之功率相同，因此

$P_T = P_c + P_{usb} + P_{lsb}$
 $P_{u.s.b}$ 為上旁帶之功率含量，而 $P_{l.s.b}$ 為下旁帶之功率含量。

$$P_{lsb} = P_{usb} = \frac{P_T - P_c}{2}$$

$$= \frac{100 - 66.6}{2} = \frac{33.4}{2}$$

$$P_{lsb} = P_{usb} = 16.7 \text{ watts}$$

此一問題分析之結果，頗令人驚異。可知總功率的三分之二包含於載波頻率上，而兩旁帶平分其總功率的三分之一。載波頻率不含訊息，而所有訊息皆含於上下旁帶內。事實上，兩旁帶含有相同之訊息。載波頻率佔有發送訊號功率含量的三分之二，而所餘之三分之一由含有相同訊息的兩旁帶平分，此事說來頗為可笑，因此為有效利用所發射的可用功率，已設計了更妥善之方法。此等設計包括抑止載波傳輸 (Suppressed-carrier transmission)，雙旁帶傳輸 (Double-sideband transmission)，及單旁帶傳輸 (Single-sideband transmission)。

抑止載波、雙旁帶、與單旁帶傳輸 (SUPPRESSED-CARRIER, DOUBLE-SIDEBAND, AND SINGLE-SIDEBAND TRANSMISSION)

圖 1-5 為此三種改良型調變設計之頻譜。基本上每一種皆是將功率置於訊息之處。單旁帶設計之另一優點是頻帶寬度僅為發送所需的一半，因此可使

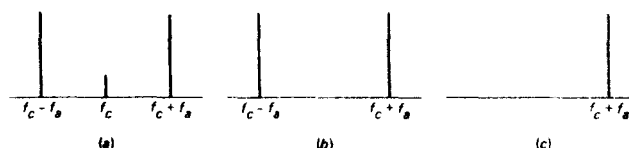


圖 1-5 (a) 單一首調抑止載波傳輸之功率與頻譜之關係。

(b) 單一首調雙旁帶傳輸之功率與頻譜之關係。

(c) 單一首調單旁帶傳輸之功率與頻譜之關係。

同時發送之電台增加一倍。此等改良型之設計，具有意想不到之效果，既使在不利的背景雜訊情形及較長之距離，仍能使電訊

到達。這三種設計之主要缺點是所需之接收機較為昂貴，因為在發射機被抑制或被消除的幅調訊號部份，當在接收機解調之前必須恢復。由於消費者對家用接收機不願花費太多，因此在標準廣播頻帶內，抑止載波、單旁帶、及雙旁帶發送尚無法採用。唯在雙向通信系統中，此等設計却頗受歡迎，因為