



電信建設

報 電 波 載

沈保南編著

23

華東電信出版社
電信建設叢書

、 前 言

我國有線電報電路，有鐵線、幻線及載波電報通報等三種不同方式，其中載波電報於抗戰時期初次裝置於重慶貴陽間，其後逐漸增裝，惟為數不多。待抗戰勝利後，國內有線電信線路支離破碎，電報電路之距離稍長者即須利用無線電通報，因此載波電報效用不顯。一九四九年中華人民共和國成立，全國統一，有線電信線路大量建設，載波電話機不斷裝置，均為載波電報開闢發展道路。至今我國之重要以及遠距離電報電路，大部份均已由載波電報通報。且因載波電報機一經裝置開放後，即能同時增加若干電報電路，除供給兩地直達通報外，尚可轉接他處。結果使直達電路數量大為增加，轉報手續得以減少。

載波電報機我國目前尚未自行製造，所用者程式繁多，性能不同，但其主要工作原理則一。惟關於載波電報方面之專門參攷書籍，不獨中文者遍尋無着，即外文者亦不多觀。一九五一年底筆者於華東郵電管理局技術人員訓練所任教載波電報學，即感到教本問題之困難，因而自編講義。本書即以該講義為基礎，加以充實增訂，對載波電報機之構造及作用，雖未能窺其全豹，亦可略知大概。惟筆者才疏學淺，忽忽脫稿，必有錯誤遺漏之處，又本書第六章所述多係筆者個人管見，亦難免失之主觀，尚祈讀者不吝賜正為幸。

沈 保 南

一九五二年十月

目 錄

前言	1
第一章 載波電報的基本原理	1
1.1 簡單的歷史	1
1.2 頻帶和頻率的分配	2
1.3 調變情形	2
1.4 帶通濾波器的應用	6
1.5 載波電報各路頻率的選擇	8
1.6 載波電報機的主要部份	9
第二章 載波電報機的發報部份	14
2.1 多頻發電機	14
2.2 真空管振盪器	16
2.3 諧波產生器載波電源供給	18
2.4 繼電器調幅	21
2.5 靜止繼電器調幅	23
2.6 發報濾波器	26
2.7 線路線圈	31
2.8 繼電器及其測試電路	31
第三章 載波電報機的收報部份	37
3.1 收報濾波器	37
3.2 簡單的收報部份	38
3.3 另一種收報部份的構造	40
3.4 比較完全的收報部份構造	43
第四章 直流環路和電源供給	50
4.1 兩路分極全雙工直流環路	51
目 錄	I

4.2	分極差動式半雙工直流環路	52
4.3	負電壓中立傳輸半雙工直流環路	54
4.4	負電壓中立傳輸全雙工直流環路	58
4.5	正電壓中立傳輸半雙工直流環路	60
4.6	正電壓中立傳輸全雙工直流環路	62
4.7	雙線回路的直流環路	62
4.8	載波電報機的電源供給	62
4.9	整流器的構造	65
第 五 章 各種載波電報機的介紹		75
5.1	CF-2-B 型載波電報機	75
5.2	X-61822 型載波電報機	80
5.3	40C1 型十八路載波電報機	85
5.4	TH-1/TCC-1 型單路載波電報機	88
5.5	中頻六路載波電報機	94
5.6	高頻載波電報機	96
5.7	移頻載波電報機	98
第 六 章 載波電報機的實際應用		104
6.1	載波電報機的裝置地點	104
6.2	載波電報機的轉接方法	106
6.3	直達和分段轉接的相輔運用	110
6.4	載波電報和電報幻線的轉接法	111
6.5	十路載波電報	112
6.6	話路的同步問題	113
6.7	路際串音對於載波電報的干擾	114
6.8	干擾測試	114
6.9	載波電報機的定期檢查	115
6.10	載波電報機的分裂使用	116
6.11	載波電流發送的正反問題	118
6.12	繼電器的調整和維護	120
第 七 章 參考資料		123
7.1	電報速率	123

7.2	CF-2-B 型載波電報機障礙檢查表.....	124
7.3	載波電報電路的操作方法.....	130
7.4	載波電報機的測試記錄表.....	130
7.5	載波電報機的主要部份線路圖.....	130
中英文名詞對照.....		139

第一章

載波電報的基本原理

1.1 簡單的歷史

載波電報，也叫做音頻電報，是把某一頻帶劃分成若干路，再在每一路上用比較低的速率來通報。在載波電報的發送一端，須把各路受電報發報機控制的不同頻率的載波電流合併起來，在一個能夠通過此頻帶的電路上傳輸到對方，對方收到這些不同頻率的電流後再設法把它們分開，然後變成直流，來驅動各路電報收報機械。

遠在公元 1880—1900 年間，曼色地做了或許是最早的載波電報實際試驗。他用可聞頻率的音叉作為發送頻率電力的來源，而把調整到響應於某一發送頻率的振動膜片作為收受的器械。這樣的通報方式，因為相鄰的電路間互相干擾得很厲害，並且當時也沒有方法去補救這種缺點，所以不能付之實用。

在 1906 年俄國已獲得了有線電高頻通信技術的發明權，從事於研究新型的高頻報話設備，此後數年其他各國也有相繼開始作同樣研究的。這時因為電信上的許多設備像電話電纜的設計、負荷線圈、電話增音機等都已得到改進，這些改進產生了高度的頻率傳輸標準，使一個網絡上合併傳輸電報和電話成為可能。如俄國已完成在架空線上同時通話四路至五路，再在一個話路上通報十二至十八路的試驗。真空管構造的日益完善和寬頻帶濾波器的發明，更具備了使載

波電報成為實用的條件。

1.2 頻帶和頻率的分配

任何載波電報機，都須佔一相當闊度的頻帶，再在此頻帶內適當的分成幾路，每路傳輸一個載波電報。就載波電報機所用頻帶的頻率位置來分類，通常可以分為高頻載波電報（頻帶約自 3 千週至 11 千週左右）、中頻載波電報（頻帶約自 3 千週至 6 或 7 千週）和話頻載波電報（十二路的話頻載波電報頻帶約自 300 週至 2500 週，十八路的話頻載波電報頻帶約自 150 週至 3250 週）。

話頻載波電報須在可供通話用的電話電路（不論是實線話路或載波話路）上傳輸，所以要佔去一個電話電路。我國現在所用的載波電話頻率，大都是在 250 週至 2750 週左右，所以如果要在這種話路上傳輸十八路的話頻載波電報，其中便可能有幾路不能應用。高頻和中頻載波電報可以在線路上實線話路頻率和載波話路頻率間的頻帶上傳輸，所以不佔去話路，但是有時載波電報的頻率可能和電話的頻率有一部份重疊的地方。

話頻載波電報還分為四線制傳輸和二線制傳輸兩種，在四線制傳輸載波電報中，各路載波電報收和發的頻率可以相同，因為這些合併起來的頻率由一對線上送出，由另一對線上收進，不會互相混雜。在二線制傳輸載波電報中，收和發都合用一對線，所以各路收和發不能用相同的頻率。表 1.1 至表 1.7 是高頻、中頻和話頻載波電報頻率分配情形的實例。

1.3 調變情形

從電報的觀點上看來，載波電報（除了移頻載波電報外）是一種單流制的電報，因為它用「有電流」和「無電流」來代表「符號」和「間

隔門。通常是在符號時發送載波頻率，在間隔時則無音或不發送，但是有時也有用相反方法的（就是在符號時無音，而在間隔時發送載波頻率），視情形的需要而決定。載波電報因為採用了單流制的方法，所以在收報一端的繼電器必須有偏倚。

現在要研究到在載波電報的載波頻率，隨電報發報機的控制而接上電路或停止接上時，或者說載波頻率被電報發報機作 100% 調幅時，發生怎樣的情形。如果電報機發送雙流點子（就是連續循環而長度相等的符號和間隔），那末進入載波電報機的控制訊號將是有規則而連續的矩形正負電流脈動，如圖 1.1 中的（甲）。這個控制訊號的電流調幅了載波頻率，使它等時間的輪流發送和停發載波頻率，如圖 1.1 中的（乙）。

雙流電報在發送點子時，它的電壓的波形可以用下面的公式來表示：

$$e = E(\sin nt + \frac{1}{3} \sin 3nt + \frac{1}{5} \sin 5nt + \dots \dots \text{至無窮項})$$

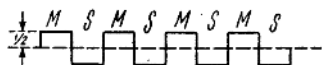
式中 e 是矩形波形的電壓， E 是電報基本頻率的電壓， n 是電報基本頻率的角速度（ $n = 2\pi f$ ，式中 f 是電報的基本頻率）， t 是從發報開始後的時間，單位秒。

載波電報機發出的載波頻率組因為是單流性質的，所以是只有一邊的半波波形。要表示這種波形的真實形式，必須把雙流波形的下邊部份去掉（就是把圖 1.1 中的（甲）化到（乙））。上面公式中， $(\sin nt + \frac{1}{3} \sin 3nt + \frac{1}{5} \sin 5nt + \dots \dots)$ 一項的數值等於 $\frac{\pi}{4}$ ，假定雙流點子的最高電壓 V_0 是 $\frac{1}{2}$ 伏，那末

$$V_0 = \frac{2}{\pi} (\sin nt + \frac{1}{3} \sin 3nt + \frac{1}{5} \sin 5nt + \dots \dots)$$

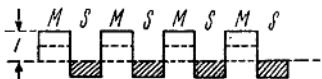
要去掉雙流波形的下邊負值部份，可以另外加上一個正 $\frac{1}{2}$ 伏的電壓，使上面的級數變成最高電壓為正 1 伏的波形，於是上式成為

$$V_1 = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} (\sin nt + \frac{1}{3} \sin 3nt + \frac{1}{5} \sin 5nt + \dots)$$



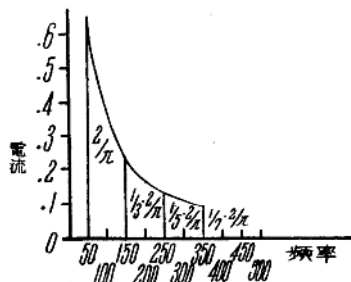
$$\frac{1}{2} = \frac{2}{\pi} (\sin nt + \frac{1}{3} \sin 3nt + \frac{1}{5} \sin 5nt + \dots)$$

(甲) 雙流點子。

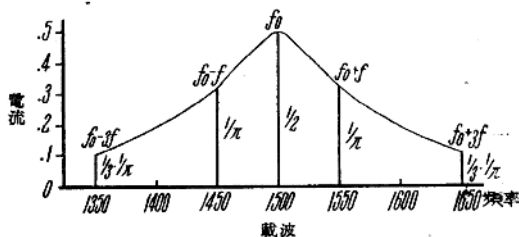


$$1 = \frac{2}{\pi} (\sin nt + \frac{1}{3} \sin 3nt + \frac{1}{5} \sin 5nt + \dots)$$

(乙) 載波點子。



(丙) 電流幅度分佈(50週/秒, 直流)。



(丁) 電流幅度分佈(50週/秒, 1500週/秒載波)。

圖 1.1

照理論上來講，括弧中級數的項數應有無窮項，但是實際上照式中寫出的項數也已足夠。此級數能代表訊號電壓的升和降，為說明便利起見，假定電壓是 1 伏，於是式中第一項代表單方向繼續不斷的正 $\frac{1}{2}$ 伏， $\frac{2}{\pi}$ 的數值約等於 0.636，是電報基本頻率的最大電壓。這表樣的一個級數，能代表相當於 1 伏直流電壓的單流點子，圖 1.1 (丙) 示基本頻率和各次奇數諧波的幅度和分佈情形。

載波電報上載波頻率的本身當然是交流的，假定載波頻率是 f_o ，載波頻率的角速度便是 $n_o = 2\pi f_o$ ，於是載波頻率就可以用 $\sin n_o t$ 的正弦波來代表。用這個交流電壓來代替上面公式中的直流 $\frac{1}{2}$ 伏，該式就成為

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{2} \sin n_o t + \frac{2}{\pi} \sin n_o t (\sin nt + \frac{1}{3} \sin 3nt + \frac{1}{5} \sin 5nt \dots) \\ &= \frac{1}{2} \sin n_o t + \frac{2}{\pi} \sin n_o t \sin nt + \frac{2}{3\pi} \sin n_o t \sin 3nt \\ &\quad + \frac{2}{5\pi} \sin n_o t \sin 5nt \dots \end{aligned}$$

從這個公式中發現了有兩個正弦的乘積（如 $\sin n_o t \sin nt$ 等），但是 $\frac{2}{\pi} \sin n_o t \sin nt = \frac{1}{\pi} [\cos(n_o - n)t - \cos(n_o + n)t]$ ，其他三次諧波、五次諧波都可以用同樣的方法來計算，於是

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{2} \sin n_o t + \frac{1}{\pi} [\cos(n_o - n)t - \cos(n_o + n)t \\ &\quad + \frac{1}{3} \cos(n_o - 3n)t - \frac{1}{3} \cos(n_o + 3n)t + \frac{1}{5} \cos(n_o - 5n)t \\ &\quad - \frac{1}{5} \cos(n_o + 5n)t + \dots] \end{aligned}$$

由上式可以看出，在發送載波頻率時，除了有一半幅度的基本載波頻率（ $\frac{1}{2} \sin n_o t$ ）外，還有上下兩面的各邊帶波。這些邊帶波伸展到很闊的波帶中，並且逐漸減低其幅度，如圖 1.1 (丁) 所示。在載波

頻率 $n_0 = 2\pi f_0$ 和電報發報頻率 $n = 2\pi f$ 時，這些邊帶波的數值是 $f_0 \pm f, f_0 \pm 3f$ 和 $f_0 \pm 5f$ 等等。

1.4 帶通濾波器的應用

每部載波電報機同時能收發好幾路載波電報，各路的載波頻率必須配置得使它們在工作時不會互相發生干擾。這樣在發報的一端就須在每一路裝置一具相當頻率的帶通濾波器，這些發報帶通濾波器的有效範圍，須能使侵入此濾波器範圍的鄰路頻率干擾被衰耗到可以不計的程度。這樣能使載波頻率附近所有的一切頻率，凡是在加或減 1.5 倍電報發報頻率以外的都受到很大的衰耗。

在載波電報機收報的一端又須用帶通濾波器來分開不同的頻帶，問題就在要在需要的通報速率上得到良好的電報訊號，收報帶通濾波器至少須能通過多少的頻帶闊度。收報濾波器對發報的邊帶波抑制得越多，訊號經濾波器時「建立」得越慢。在載波頻率的訊號突然經過濾波器時，因為濾波器作用，對於組成此訊號的各個頻率有限制作用，先發生瞬時電流或建立時期情形，然後達到穩定的交流狀態，如圖 1.2 (OA 就是瞬時時期)。在訊號截止時的情形也相同，電流逐漸消滅而不是立刻沒有的。這種情形能用一個簡單的公式來表示：

$$\text{建立時期} \times \text{頻帶闊度} = 1$$

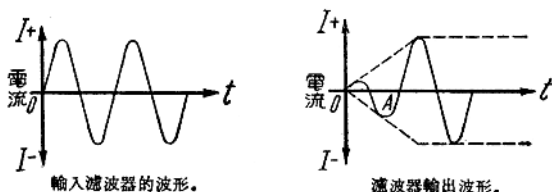


圖 1.2

在這個公式中可以看出建立時期的長短隨濾波器頻帶闊度的倒數而變動，要建立的時間越小，便須加大濾波器的頻帶闊度。對載波電報來講，如果要增加通報速率，必須使頻帶的有效闊度加大。

要使電流從最大穩定值的大約十分之一升到十分之九，所需的時間 t (單位秒) 可以用下面的公式來計算：

$$t = \frac{0.875}{f_2 - f_1}$$

$f_2 - f_1$ 就是濾波器可通過頻帶的闊度。在載波電報機上， t 的長短必須不超過電報發報時放送一個點子所需的時間。如果電報發報機每秒鐘發出 f 週，那末每點的時間 t 等於 $\frac{1}{2f}$ 秒，也就是 $2f = \frac{1}{t}$ ，

但是 t 必須等於 $\frac{0.875}{f_2 - f_1}$ ，所以

$$2f = \frac{f_2 - f_1}{0.875}$$

$$\frac{f}{f_2 - f_1} = \frac{1}{1.75}$$

或 $\frac{\text{電報發報速率}}{\text{濾波器頻帶闊度}} = \frac{1}{1.75} = 0.57$

舉一個例子：假定電報發報的速率是 50 波特，那末濾波器的頻帶闊度應該是

$$\frac{50/2}{0.57} = 44 \text{ 週}$$

這個計算出來的頻帶闊度，並沒有顧到失真情形和話頻電路的干擾。在線路上可能有串音，而且負荷線圈和載波電話增音機可能引起非直線的失真。所以為安全起見，濾波器的頻帶闊度大約要增加百分之四十，就是把 44 週增加到大約 62 週。因為濾波器的頻率截止特

性不會是非常尖銳的，爲了便於濾波器的設計，相鄰兩個載波電報電路間的載波頻率間隔尚須加大約一倍，所以在實際設計上，每路載波電報常相距 120 週或 170 週。

1.5 載波電報各路頻率的選擇

選擇載波電報機各路的頻率是一件重要的事情，因爲由載波電話增音機和負荷線圈上所引起的失真，可能引起雙倍的頻率，以及引起任何兩個所發送的載波頻率的和與差（如 $f_1, 2f_1, f_2, 2f_2, f_1+f_2, f_1-f_2$ 等）。這種性質的困難能夠設法把它大爲減小，祇須將載波電報各路的頻率選擇爲某一數值的不等倍數。假定以 a 代表某一數值，使

$$A = (2p+1)a$$

$$B = (2q+1)a$$

這樣 A 和 B 都是 a 的不等倍數， p 和 q 可以是任意整數，於是它們的二倍頻率

$$2A = 2(2p+1)a$$

$$2B = 2(2q+1)a$$

它們的頻率的和是

$$A+B = 2(p+q+1)a$$

它們的頻率的差是

$$A-B = 2(p-q)a$$

所有以上的四個頻率，都是 a 的偶數倍數，但是載波電報的各路載波頻率則又是 a 的奇數倍數，所以這些偶數倍數的頻率便要落在兩個載波頻率的中間，因此對載波電報工作上祇產生最小的擾亂，其餘各路的情形都可以類推。

拿上述的原則爲依據，對於載波電報各路的頻率就可以加以決定，不過還必須注意到電報的通報速率和濾波器帶通閾度間的關係。

各路載波頻率相隔越近，在規定的頻率範圍內可通載波電報的電路數越多，但是各路的帶通濾波器越難做，而且電報通報的速率也要低些。反之，各路載波頻率相隔較遠，濾波器固然較易製造，電報通報速率也可以提高些，但是在載波電報機用和上面情形一樣的頻率範圍來講，結果要使可通載波電報的電路數相對的減少了。

依照了上面所說的各種因素來考慮，現在載波電報機有規則的各路頻率選擇方法主要的有兩種。一種是以 85 週來做基數，像美式 X-61822 型十二路載波電報機第一路為 425 週，等於 85 的 5 倍，第二路是 595 週，等於 85 的 7 倍，一直到第十二路是 2295 週，等於 85 的 27 倍。另一種是以 60 週來做基數，第一路是 420 週，等於 60 週的 7 倍，第二路是 540 週，這樣一直下去到第十八路是 2460 週，這種十八路載波電報機適合於在 250—2750 週的載波電話電路上傳輸。

1.6 載波電報機的主要部份

圖 1.3 所示是多路載波電報機中一路的主要工作部份方框圖。該圖只表示單方向（自左至右）的載波電報傳輸情形，對於反方向的傳輸則一切設備都相反，圖中各部份的工作說明如下：

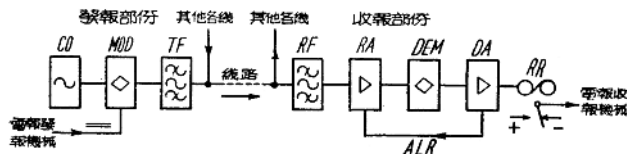


圖 1.3 載波電報機主要部份方框圖。

發報部份

CO 載波頻率振盪器。

MOD 由自動電報發報機或電鍵所控制的調幅級，通常它的

工作是由一只繼電器所完成的。

TF 發報帶通濾波器，它的可通頻帶須和該路的振盪器頻率相配合。

收報部份

RF 收報帶通濾波器，它的可通頻帶須和所收一路的載波頻率相配合。

RA 收報放大器，它的作用是將收到的音頻加以放大。

DEM 反調幅器（也就是整流器或檢波器），是將放大後的音頻電流加以整流。

DA 低通濾波器和直流放大級，它的作用是將反調幅器所輸出的直流訊號加以放大，以推動收報繼電器。

RR 收報繼電器。

ALR 收報放大級和放大限制器，其作用是使所收到的訊號強度雖然有變動，但是仍舊能有比較穩定的輸出。

在載波電報機上，每一路應包括一個收報部份和一個發報部份。例如在六路載波電報機上，便應有六個發報部份和六個收報部份（各路的收發報頻率都有規定而是不同的）。在四線制傳輸的載波電報上，所有各發報部份的輸出都並聯起來，經過一只線路線圈由一對線傳輸到對方。同樣，由對方經另一對線送來的各路載波電報混合後的頻率，也經過一只線路線圈再由收報部份的各路收報濾波器把它分路，使相當的收報電路起作用。在二線制傳輸的載波電報上，*A*端（參閱表 1.2）載波電報機的發報部份發送較高的幾路頻率，經過線路線圈由一對線傳輸到 *B* 端。同時 *A* 端接收由 *B* 端經同一對線和線路線圈傳來的較低的幾路頻率，因為二線制傳輸載波電報機收和發的各路頻率都不相同，所以雖然在同一對線上收發，仍不會互相混雜。圖 1.4 和圖 1.5 是四線制和二線制傳輸載波電報的方框圖，圖中

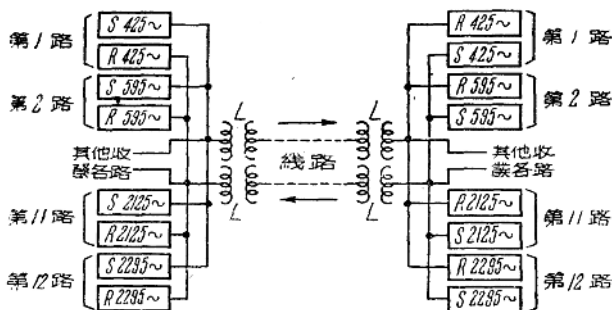


圖 1.4 四線制十二路載波電報方框圖。

表 1.1 四線十二路

載報電路	頻 率
1	425
2	595
3	765
4	935
5	1105
6	1275
7	1445
8	1615
9	1785
10	1955
11	2125
12	2295

表 1.3 四線十八路(甲)

載報電路	頻 率
1	425
2	595
3	765
4	935
5	1105
6	1275
7	1445
8	1615
9	1785
10	1955
11	2125
12	2295
13	2465
14	2635
15	2805
16	2975
17	3145
18	255

表 1.2 CF-2-B 二線四路

載報電路	A 至 B	B 至 A
1	1445	1105
2	1615	935
3	1785	765
4	1955	595

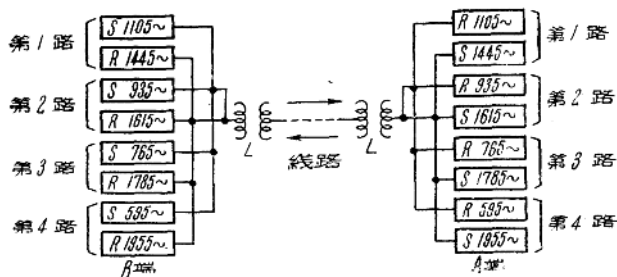


圖 1.5 二線制四路載波電報方框圖。

表 1.4 四線十八路(乙)

載報電路	頻 率
1	420
2	540
3	660
4	780
5	900
6	1020
7	1140
8	1260
9	1380
10	1500
11	1620
12	1740
13	1860
14	1980
15	2100
16	2220
17	2340
18	2460

表 1.5 TO_4 式中頻四路

載報電路	A 至 B	B 至 A
1	4020	6180
2	4260	6420
3	4500	6660
4	4740	6900

表 1.6 MF_6 中頻六路

載報電路	A 至 B	B 至 A
1	4375	4970
2	4205	5140
3	4035	5310
4	3865	5480
5	3695	5650
6	3525	5820