

有線电通信技术

(下 册)

中国人民解放军通信兵学院

下 册 目 录

§三篇 載波通信机

第八章 載波电话原理

§ 8—1 載波电话的基本原理	1
§ 8—2 氧化銅調幅器	5
§ 8—3 網絡基础	10
§ 8—4 濾波器	22
§ 8—5 混合綫圈和平衡網絡	36
复習題	41

第九章 国产B—84單路載波电话机

§ 9—1 性能及基本操作方法	45
一、技术数据	45
二、結構	47
三、二綫單路終端运用及方框圖	49
§ 9—2 电路及元件分析	52
一、載波发話电路	52
二、載波受話电路	63
三、載波发鈴电路	70
四、載波收鈴电路	72
五、值机員通話电路	75
六、电源設備	76
七、測試設備	78
§ 9—3 本机的运用	78
一、多路运用	78

二、增音运用.....	79
三、机器的同桿运用.....	80
四、載波綫路的檢查哨.....	81
五、載頻振盪器頻率校正.....	81
§ 9—4 国产B—845(6)單路載波机.....	81
一、概述.....	81
二、机器結構与操作使用.....	83
三、綫路原理.....	87
复習題.....	90
第十章 3 Z D—1型三路載波机	
§ 10—1 概述.....	93
一、頻率安排.....	93
二、本机运用中的一些数据.....	94
§ 10—2 方框圖.....	96
一、发信支路.....	96
二、收信支路.....	97
三、載頻供給系統.....	99
四、电报群調制及去調制.....	100
§ 10—3 各机盤部件及电路.....	100
一、音頻終端盤.....	100
二、分路調制盤.....	105
三、前群調制盤.....	105
四、方向調制盤.....	106
五、发信放大器.....	106
六、收信控制盤与收信放大器.....	107
七、导頻接收盤与导頻扩張盤.....	110
八、方向前群去調整与分路去調整.....	112

九、振盪器及各次諧波的產生	118
十、電報調制及去調整	118
十一、控制測量盤	119
十二、電源盤	120
十三、配綫盤	121
十四、备件及附件	121
§ 10—4 多路載波制度的有關問題及電路特性的 傳輸標準	122
一、多路載波的頻率分配	122
二、我國的多路載波電話採用前群調制式的原因	123
三、載波機的同杆運用	123
四、電路特性的傳輸標準	125
復習題	128
第十一章 B S O J —12型12路載波電話機	
§ 11—1 概述	130
§ 11—2 方框圖	133
§ 11—3 自動電平調整	134
復習題	136
第十二章 載波電報	
§ 12—1 調幅制載波電報	137
§ 12—2 調頻制載波電報	140
§ 12—3 調幅制與調頻制載波電報的比較	143
復習題	145
第十三章 會議電話	
§ 13—1 音頻二綫制和四綫制會議電話	146
§ 13—2 利用載波電路的會議電話	148
§ 13—3 會議電話的匯接裝置舉例	152

§ 13—4	介紹几种會議電話終端机	154
§ 13—5	提高會議電話質量的几种措施	156
	复習題	157

第四篇 接力机

第十四章 A 366—T型接力机

§ 14—1	無線电多路接力通信概述	159
§ 14—2	收发信机部份	169
§ 14—3	載波部份	177
§ 14—4	电源設備	193
§ 14—5	电台的使用	199
	复習題	210

第三篇 載波通信机

第八章 載波电话原理

§ 8—1 載波电话的基本原理

一、多路通信的基本原理

架设一对长途线路需要化很大的财力与物力，据统计线路设备费用要占全部设备投资的98%左右，而机器费用仅占2%。因此提高线路利用率，实现长途通信的多路化，使一对线路能当作很多对线路使用，是非常重要的。自从出现了载波电话机，通信多路化的问题就得到了较圆满的解决。在架空铜线上使用载波电话机，最多能同时通16路电话，若使用同轴电缆则可达2760路电话之多。我国在大跃进前，载波电话机尚不能制造，完全需要靠进口来解决。大跃进的兩、三年里，由于党的正确领导，和广大职工发挥了冲天的革命干劲，我們已经不但能生产各种类型的载波机，而且在质量上达到了较高水平。目前载波机已陆续装备到我軍各部队使用。这充分说明了党提出的三面紅旗的绝对正确和無比威力。

那么载波机是如何实现多路化的呢？我們知道人們講話的声音是比较复杂的，其频率成份很多，主要的频率是300—3000周。这段频率范围叫作話音頻帶，简称音頻。如果我們把几部單机都接在同一对线上（圖8—1），它們之間会互相干扰，因为

每个用戶的話音电流都是一样的頻率（300—3000 周），所以一个用戶講話时，其它用戶都听得見，大家同时講話就誰也听不清了。由此可見要实现多路化，就必需設法改变每个用戶的話音电流的頻率，使他們互不相同，这样即使是在同一对綫上传送，由于頻率互不相同，彼此之間也不会干扰了。無線电收音机能听到很多电台广播，也正是因为各电台的頻率不相同。載波电话实现多路化的基本思想就在于此。載波机能改变用戶話音电流的頻率，把每个用戶的音频变为不同的高頻帶，使他們之間在傳輸时互不干扰。

我們以三路載波机为例來說明載波多路通信的原理。如圖 8—2 所示。在每一路各加上不同的高頻：

第一路加 6 K C，音频变成了 6.3—9 K C

第二路加 9 K C，音频变成了 9.3—12 K C

第三路加 12 K C，音频变成了 12.3—15 K C

把原来是相同的音频变成了彼此不同的高頻，再把它們送到綫路上就不会干扰了。但对方接收下来以后，必須再設法把它們还原成音频，才能听见。任何載波机都是用这个办法来达到多路化的，当然各种載波机所加入的高頻并不都是一样的。

每个高頻分別由振盪器产生。如圖 8—3。这个高頻我們常称为載頻。因为它好像是載負音频的交通工具一样，載波电话就是根据这个意义来命名的。音频变成高頻的任务，由調幅器来完成。將音频与載頻同时送到調幅器里經過互相作用，就可以把音频加于載頻之上，輸出如前面所說的含有音频的高頻电流（即 6.3—9 K C，9.3—12 K C 及 12.3—15 K C）了。但从調幅器輸出的电流还有其它頻率成份，如果把它們也送往綫路，就会影响另外几路通話，因此調幅之后应加上一只濾波器，以便把其它頻率成份的电流濾掉或阻止。濾波器是由电容、电感等元件組

成的，它只能讓事先設計好的頻率通過，凡不合乎設計要求的一切頻率均被它阻止。利用這個特性就可以濾掉調幅器的其他頻率成份。因此第一路濾波器的可通範圍只是 $6.3-9\text{ KC}$ ，第二路為 $9.3-12\text{ KC}$ ，第三路為 $12.3-15\text{ KC}$ 。經過這個步驟以後，各路高頻信號才可以送到綫路上去。以上是載波機發話的過程。

對方收到這些高頻電流後，首先需要把各路分開，以免互相混淆，這個任務仍要由濾波器來完成。各路濾波器的可通範圍與發送端的一樣，所以第一路高頻信號（ $6.3-9\text{ KC}$ ）就只能從第一路濾波器進入機器，其它兩路則只能從另外兩路濾波器進入機器。因此，雖然對方把三路信號一起送過來，但我們用濾波器卻能很方便的把它們分成三路。這一步驟在載波機里是非常重要的，因為它使各路信號由於頻率不同而互不干擾。由此可見，如果不能把它們分成三路，那就沒法實現多路化。各路分開以後的電流還是高頻，是無法聽見和聽懂的，必需把它們還原成音頻。這個任務由反調幅器來完成。它的作用與調幅器正好相反。調幅器把音頻變為高頻，反調幅器則把高頻還原成音頻。還原的方法是在反調幅器里加入與發方相同的載頻和高頻信號相減以得到音頻。例如第一路高頻是 $6.3-9\text{ KC}$ ，即音頻加上 6 KC ，在反調幅器里也加進去 6 KC 的載頻和它相減，其結果是， $(6.3-9\text{ KC}) - 6\text{ KC} = 0.3-3\text{ KC}$ 這正好是原來的音頻信號。其它兩路高頻還原為音頻的方法也和第一路相同，即：

$$\text{第二路 } (9.3-12\text{ KC}) - 9\text{ KC} = 0.3-3\text{ KC}$$

$$\text{第三路 } (12.3-15\text{ KC}) - 12\text{ KC} = 0.3-3\text{ KC}$$

總起來說，載波機實現多路化的關鍵有二：一是在發方將每路音頻變為不同的高頻（變頻），以及在收方將各路高頻還原；二是用濾波器將各路信號分開（分路），其原理可概括為“一變、二分三還原”七個字。

从圖8—3可見，在綫路上还可通一路普通音频电话，为了防止高频信号流入，在双方單机前需加一只低通滤波器，它只能通过3 K C 以下的音频电流。

了解了三路載波机原理，对于單路、十二路載波电话原理，可同理类推。

二、載波电话机的收发組成原理

前面說的是一方发另一方收的情况，但通話是双向的，所以每一方向都要有一套收发设备。圖8—4表示出第一路的收发设备。其它兩路设备也是同样的。值得注意的是同一路发与收的频率不是一样的，例如第一路发的频率是6.3—9 K C，而对方第一路发的频率是另外一个頻帶，例如20.3—23 K C，这是为了减少干扰的緣故。

当用戶講話时，話音电流应当送到发信支路，受話时，电流应由收信支路进入用戶單机，可是收发支路是接在一起的，在靠外綫的一端，因收发频率不同，又有滤波器的阻止，所以发信支路电流不会流入收信支路去，而綫路送来信号时也不会流入发信支路，但是在靠用戶單机的一端，不管发的，或收的电流都是一样的0.3—3 K C，因此从接收支路流到用戶單机的电流，有可能流入发信支路去，这显然是不能允許的，为了解决收发支路在用戶端可能发生的互通現象，需要加入一只混合綫圈，使收发支路能截然分开。加了混合綫圈后，发信的电流不会流入收信支路，而收信的电流也不会流到发信支路去了。

本章后几节的中心任务，就是要專門来分析調幅器、滤波器、混合綫圈等元件的工作原理，为学习具体机器奠定理論基础。

§ 8—2 氧化銅調幅器

調幅器是載波機中的重要元件，它是用來把音頻信號變為高頻信號（調幅）或者用來把高頻信號還原成音頻信號（反調幅）的。調幅器可以用電子管、氧化銅、或其它非線性元件（如硒、鎢）組成。最初載波機中的調幅器多用電子管，而目前載波機中的調幅器多用氧化銅半導體組成。因為它有許多優點，如：體積小，重量輕，故障少，耐震，壽命長，好維護，不需要電源，工作特性穩定等。

一、氧化銅半導體

氧化銅半導體是銅制的圓片，這種銅片一面經過特別的热處理，變成氧化亞銅，在純銅和氧化亞銅之間有一薄層，叫做閉塞層，在氧化亞銅的外面再壓以石墨和銅的接觸墊圈，其結構如圖 8—5 所示。這種氧化銅是一種非直線性的元件，它的電阻大小隨外加電壓的極性和大小而變。尤其是電壓的極性改變時氧化銅電阻的改變就特別明顯。當氧化亞銅的一面接上電源正極，而銅的一面接上電源負極時，電阻很小，約為數十歐姆；若極性反接則電阻很大，可達數十萬歐姆。此外，當外接電源電壓的大小改變時，氧化銅電阻的大小也會跟着改變。利用這些特性，就可以作整流、檢波、限幅和調幅（變頻）等之用。

二、環式氧化銅調幅器

下面，我們專門研究目前載波機中最常用的環式氧化銅調幅器。它的電路是四個以環狀連接着的氧化銅元件 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 和兩個變壓器 T_1 、 T_2 組成，1—1 端加信號電源，3—3 端加載波電源，2—2 端輸出調幅波，如圖 8—6 所示。這種調幅器的主要優點是幅調波中不包含載波頻率，而其他無用的高次諧波成份也比其他型式的調幅器少，所以在載波機中得到了最廣

泛的应用。

(一) 工作原理

究竟幅調波是怎样产生的，可參看下列情况。

如圖 8—7。当只加载波电源而未加調幅信号时，則輸出变压器初級綫圈上有电流 i_1 及 i_2 通过，由于变压器上、下半个綫圈及四个氧化銅的电性能都完全一样，所以 i_1 和 i_2 的大小相等，但方向相反，其磁力綫互相抵消。所以在綫圈 2—2 端就沒有輸出。

如圖 8—8。当只加調幅信号而未加载波电源时，則因氧化銅的短路，而在輸出变压器的初級也無电流，故 2—2 端也沒有輸出。

如圖 8—9 (一)。当調幅信号和載波电源都加上时，并設載波电压远大于信号电压，則氧化銅的通断实际上决定于載波电压的極性。这时輸出变压器初級圈上就有电流 i_1' 和 i_2' 通过，这两个电流的方向虽相反，但大小却不相等。这两个电流是載波电压和信号电压互相作用的結果， i_1' 变大， i_2' 变小，即 $i_1' > i_2'$ ，所以在次級圈上就有感应电流輸出，其方向和 i_1' 相反和 i_2' 相同。

今設調幅信号就是音頻信号，而音頻低于載頻，音頻变化一次載頻就要变化很多次，所以当信号电压的極性未变时，載波电压的極性却要改变，如圖 8—9 (二) 所示。此时輸出变压器初級圈上仍有电流 i_1' 和 i_2' 通过，也仍然是 $i_1' > i_2'$ ，但方向却和上次相反，所以次級圈上輸出电流的方向也和上次相反。

通过上述分析可以看出，当調幅信号和載波电源都加到調幅器时，就有輸出。此輸出波形的振幅决定于調幅信号，依調幅信号的大小而变；而方向則决定于載波电源，依載波电源的極性而变。这就是說，載波的振幅受到了信号的調制，成为一种幅調波，如圖 8—10 所示。

(二) 波形分析

究竟幅調波中包含那些頻率成份，可首先用圖解的方法分析于下：

如圖 8—11。①是調幅波，②是載波，設二者都是單一的正弦波，而載波的頻率 F_c 比調幅波的頻率 f_a 大六倍，即 $F_c = 6f_a$ ，此外，載波的振幅也远比調幅波大。③是環式氧化銅調幅器 2—2 端輸出的幅調波，由圖中看出，幅調波已是一複雜波，根據電工中講過的道理，此複雜波可分解為很多正弦波的組合，而其中主要的二個就是圖中的④和⑤（由圖中不难看出，把④波和⑤波逐點相加的結果就得出近似于③的波），④稱為上邊波，它的頻率 $F_{上} = F_c + f_a$ ，⑤稱為下邊波，它的頻率 $F_{下} = F_c - f_a$ ，此外，上、下邊波的振幅都小于調幅波。

以上所說是假定調幅波為一個單一的正弦波，但實際上調幅波是一個複雜波，它含有一個頻帶 $f_{a1} \rightarrow f_{a2}$ 。所以幅調波中的上、下邊波也都是複雜波，也各包含一個頻帶。上邊波的頻帶是 $F_c + (f_{a1} \rightarrow f_{a2})$ ，稱為上邊帶；下邊波的頻帶是 $F_c - (f_{a1} \rightarrow f_{a2})$ ，稱為下邊帶。

由此可知，環式調幅器的幅調波中並不包含載頻本身，主要有上下兩個邊帶，而高次諧波成份也比較少。從 § 8—1 中知道，在幅調波中對載波電話有用的只是上下二個邊帶，載頻本身及高次諧波成份都是沒有用的，而且還有害處。關於幅調波中不包含載頻本身的好處，在下一個問題中要專門討論。而高次諧波少的好處，則是相應地提高了有用邊帶的功率，因為調幅器輸出的功率是分佈在幅調波的各种頻率成份上的，無用的諧波成份少了，則有用邊帶分得的功率就必然增多。

為了進一步研究環式調幅器輸出波形的頻率成份，可以把它看作是兩個波形乘積的結果，如圖 8—12 所示。方波 $H(t)$ 實

实际上包含許多頻率成份，根据分析它可用下式表示：

$$H(t) = \frac{4}{\pi} \left(\sin 2\pi F_c t + \frac{1}{3} \sin 2\pi 3F_c t + \frac{1}{5} \sin 2\pi 5F_c t + \dots \right)$$

为了确信上式是一方波波形，我們可以选取前兩項相加，其結果如圖 8—13 所示。圖中虛綫即基波及諧波成分，而實綫即合成的波形已接近一方波，如果选取的項數愈多，則接近程度也愈好，故上式确实代表方波波形。

如果音頻信号是用下式表示 $e_a = E_a \sin 2\pi f_a t$ 則輸出波形为 e_a 和 $H(t)$ 之乘积：

$$\begin{aligned} e &= e_a \times H(t) = \frac{4}{\pi} E_a \sin 2\pi f_a t \left[\sin 2\pi F_c t + \frac{1}{3} \sin 2\pi 3F_c t + \dots \right] \\ &= \frac{2}{\pi} E_a \left[\cos 2\pi (F_c - f_a) t - \cos 2\pi (F_c + f_a) t + \frac{1}{3} \cos 2\pi (3F_c - f_a) t - \cos 2\pi (3F_c + f_a) t + \dots \right] \end{aligned}$$

由此可見輸出波形中沒有載頻本身，只包含我們所需要的邊帶 $F_c \pm f_a$ ，此外，还包括其它高次的諧波成份如 $3F_c \pm f_a$ 等，但它們的振幅都比邊帶小，而且諧波成份的次數越高，則振幅越小。

(三) 运用条件

在討論以上調幅器的工作原理时，信号頻率和載波頻率誰高誰低是沒有关系的，但是信号电压必須小于載波电压，而且是远小于載波电压，只要載波振盪器的輸出功率足够大，而且氧化銅的薄層能够抵抗得住，則載波电压越大越好，这是氧化銅調幅器正常工作的主要条件。

从 § 8—1 中知道，当調幅器用于发信支路时，它的任务是

把音频变为边带，而音频一般都是低于载频的；但当调幅器用于接收支路时（称为反调幅器），它的任务是把边带还原为音频，而边带（如上边带）是可以高于载频的。圖 8—14 示明了 $F_c =$

$2f_a$ 及 $F_c = \frac{1}{2}f_a$ 时两种幅调波的波形。

在调幅器中信号电压必须远小于载波电压。这是因为如果信号电压大于载波电压时，氧化铜的通断就完全决定于信号电压，因而信号电压被短路，调幅器不能工作。当信号电压比载波电压小得不多时，调幅器也不能正常工作，因为氧化铜的电阻不仅和电源的极性有关，也和电压的高低有关，所以这时氧化铜电阻的大小不仅是单纯地由载波电压的极性所控制，而且还受信号电压极性的影响，因此，调幅器输出的波形就产生了失真，和理想的波形产生了甚大的差别，谐波成分大量增加，相应地削弱了有用边带的振幅，增加了调幅器的损耗，所以这对载波通信是非常不利的。

三、载波抑制

以上谈到了环式氧化铜调幅器的输出幅调波中不包含载频本身，这种现象叫做载波抑制。

在幅调波中载波的功率比边波的功率大得多，一般会大20倍左右。因此，在载波电路上如果载波不被抑制，而且和边波同时传送，则会产生下列不良后果：

（一）对相邻电路引起很大干扰

因为载波的功率很大，当载波串入邻近线路时，可能和邻近线路的载波或边波互相作用而产生音频电流，严重地干扰了通话。

（二）使载波机放大器的工作感到困难

因为一定的电子管放大器，只能有一定的栅偏压，当功率较大的载波和边波一齐送入放大器时，则会使放大器过负荷，产生

严重的非直线性失真。为了防止这种失真，就要采用功率很大的电子管，耗费很多的供电电源，但那样在经济上是很不合算的。

由此看出，载波抑制的好处是很多的。但在实际的环式氧化铜调幅器中，由于变压器上、下半个线圈及四组氧化铜的电性能不可能完全一样，所以输出变压器初级圈上、下半边两个载波电流的大小不能完全相等，次级圈上仍可能有部分载波漏出，这种现象叫做载波洩漏。为了防止载波洩漏，可以在输出变压器初级圈中间加装一只可变电阻，调整可变电阻就可以使 $i_1 = i_2$ 因而就防止了载波的洩漏，如图 8—15 所示。

§ 8—3 网络基础

在研究长途通信机器中，经常遇到滤波器，衰减器，均衡器等，要想比较透彻弄清这些网络的原理和作用，必需有一定的网络理论基础。我们这里研究的网络是用电容、电感、电阻组成的无源线性网络，所谓无源，就是网络内没有电源。线性是元件数值不随电流电压变化而变化。网络外部有两个端子的，我们把它叫做二端网络。外部有四个端子的，就叫它四端网络。

一、二端网络

二端网络是最基本的网络。单个电阻，电感，电容组成的二端网络是最简单的二端网络。利用这些元件串并联或复联就会得到比较复杂的二端网络。

仅用电感电容组成的二端网络叫做纯抗二端网络。纯抗二端网络是理想的，它与实际网络相当近似，但分析起来比较方便。我们主要研究它的阻抗频率特性。

(一) 纯抗二端网络

1. 一元件纯抗二端网络

最简单的二端网络，仅用一个电感或一个电容组成。只用电

感組成的二端網絡，其阻抗公式为

$$Z_L = \omega L = 2\pi fL$$

它的阻抗頻率曲綫如圖 8—16 所示。曲綫表明感抗的大小是与頻率成正比的。即随頻率的升高而升高。

只用电容組成的二端網絡的阻抗公式为

$$Z_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$

它的阻抗頻率曲綫如圖 8—17 所示。这主要是从容抗公式得出。容抗的数值（絕對值）随着頻率的升高而减小。

2. 二元件純抗二端網絡

由一个电感和一个电容組成的二端網絡仅有兩種类型——即串联和并联。

对于串联的阻抗頻率特性可以这样作出。如圖 8—18。当頻率接近于零时，感抗很小，兩者加起来小的仍可忽略，因而总的电抗呈容性。頻率逐漸增加，并接近于它的自然諧振頻率 f_0 时，它的感抗增大，容抗减小，并且兩者的数值相近符号相反（互相抵消），总的电抗接近于零。当頻率繼續增加，感抗很大，容抗很小，所以总的电抗呈感性。

为要从数量上表明它的阻抗大小，对串联阻抗可以导出公式如下：

$$Z = \omega L - \frac{1}{\omega C}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

对于并联阻抗的頻率特性曲綫可以类似的作出如圖 8—19。当頻率接近于零时，感抗很小，容抗很大，并联时我們把大的阻抗看作开路（去掉容抗），故总的阻抗呈电感性。当頻率增加时，感抗变大，容抗变小。在頻率接近于它的自然諧振頻率 f_0 时，兩

者大小相近，符号相反，总的阻抗趋向无穷大。当频率继续增加，并趋向无穷大时，则感抗很大，容抗接近于零。感抗对于容抗可视为开路，故总阻抗呈电容性。

要从数量上导出它的阻抗公式，可利用并联公式：

$$Z = \frac{\frac{L}{C}}{\omega L - \frac{1}{\omega C}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

串联的和并联的两者都会发生谐振，但意义不同。串联谐振阻抗为零，并联谐振阻抗为无穷大。为便于区别，常把串联谐振的频率叫做零点，并联谐振的频率叫做极点。

3. 三元件纯抗二端网络

三元件纯抗二端网络共有四种型式，首先介绍两种，其余在讲完电抗定理之后再作介绍。

对于图 8—20 所示的二端网络分析，可分作两个部分： Z_{ab} 及 Z_{bc} 。 Z_{ab} 及 Z_{bc} 的电抗曲线如图中虚线所示。总的阻抗等于两个阻抗相加，实线即表示总的阻抗频率特性曲线。

观察这一曲线可以看出：对于三元件的谐振点共有两个，同时它的曲线总是向上发展的。

对于图 8—21 所示的二端网络也可作类似的分析。它的阻抗频率特性： Z_{ab} 及 Z_{bc} 是虚线所示，而总的阻抗为实线所示。

显然这一网络的阻抗曲线的特点与上述完全相同，即谐振点的总数为二，且阻抗曲线总是随频率增加而向上发展的。

上面两种网络的阻抗曲线也可从物理概念出发画出来。我们以第一种为例说明：当频率接近于零时， L_2 的感抗很小，即并联电路呈感性，故 $Z_{ac} = Z_{ab} + Z_{bc}$ 是感性。频率增加到 f_1 时，