

090778

87.158
TJB

中等專業學校教學用書

長途通信

鐵道部教材編輯組選編

1961年

中等专业学校教学用书

長途通信

铁道部教材編輯組选編

1961年

內 容 簡 介

本書系铁道部教材編輯組編，推荐作为中等专业学校教学用書，适用铁道有线通信专业，并可做为一般通信技术人员业务参考之用。

本書主要介紹載波通信的原理，載波机械設備基本部件的原理，重点介紹了M型、OB—3型、BSOJ—12型三種型式的載波電話机，并对載波电报、會議電話、长途机械室、长途电路的特性及設計等进行了叙述。

主編单位：上海铁道学院中专部通信教研組

主 編 人：上海铁道学院中专部通信教研組教师集体編写。

中等专业学校教学用書 长 途 通 信

铁道部教材編輯組編
郑州铁路局印刷厂印刷

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印张 $19 \frac{5}{8}$ ·字数477千

插表3开1个4开1个5开3个6开1个8开1个6开1个

1961年7月第1版

印数0,001—905册

定价：2.20元

緒 言

为了准确的組織列車运行和保証行車安全，以及为了公务通信，鐵路必須有質量良好的通信設備。我国幅員廣闊，鐵路綫遍及全国，因此，构成全国鐵路长途通信網，就具有特別重要的意义。

对于长途通信技术的要求，是要使通信不受距离和地点的限制，在質量良好的情況下，保証不間断的使用。同时綫路的建設和維護的費用都非常巨大，必須充分有效地运用，以提高綫路利用率。

长途通信的发展历史可分为二个时期，第一个时期是发展音頻電話；第二个时期，高频電話（載波電話）得到迅速的发展与使用。在长途通信的发展过程中，主要解决的問題是延长通信距离，改善傳輸質量，提高綫路利用率和保証电路运用上的可靠性。

現有长途通信机械設備，主要是載波机。即將若干話路的音頻电流，分別搬移到不同的高頻頻率范围，然后汇合同在一对綫路上传輸，到达对方后，再分別將高频电流还原成原来的音頻电流，完成这样任务的机械，就叫載波机。

隨着长途通信技术的发展，在一对明綫綫路上，能同时得到3—12个載波話路，在一个話路上，再能开放12—24个載波电报电路，且傳輸距离大大延长，不仅能够組織国内长途通信網，而且还建立了国际間的长途通信網。

长途通信的新技术，是采用同軸電纜傳輸，目前这种電纜可以傳輸1860个電話电路。苏联最近試驗用波导管傳輸，用頻率很高（35,000—75,000兆赫）的无线電波在波导管內傳輸，可得到几十万个电报或電話电路，这样有綫和无綫通信就无法加以区别了。

解放前，我国处于半封建半殖民地的地位，长期受帝国主义国家的侵略与掠夺，鐵路长途通信設備也和其他各項設備一样，既簡陋又杂乱。中华人民共和国成立以后，在党的英明领导下，立即对全国鐵路通信設備进行了整頓，建立了全国鐵路长途通信網。隨着国民經济第一个和第二个五年計劃的执行，大規模的經济建設，鐵路運輸业务蓬勃的发展，对长途通信的要求亦随之日益增长。目前現場已广泛采用了三路、十二路載波机。今后，鐵路系統长途通信將向着多路化、自动化方向发展，其远景是非常美丽的。

目 錄

緒 言

第一章 长途通信的基本原理

§ 1.1 直达通信距离的确定及增加通信距离的方法	(1)
§ 1.2 非直綫性元件	(3)
非直綫性元件的概念	(3)
非直綫性元件的作用	(4)
§ 1.3 利用非直綫性元件变频的载波通信原理	(6)
以频率划分的多路通信	(6)
用非直綫性元件进行变频的概念	(6)
传输边带	(7)
应用载频和单边带电流传输通話信号	(7)
应用载频抑制的单边带电流传输通話信号	(8)
§ 1.4 明綫二綫制载波电话机	(9)
单路载波电话机	(9)
三路载波电话机	(11)
有群变频的三路载波电话机	(13)
§ 1.5 电纜四綫制载波电话机	(13)
§ 1.6 通信綫路的复用	(15)

第二章 载波电话机械中的基本部件

§ 2.1 衰耗均衡器	(16)
衰耗均衡器的用途	(16)
二端網絡衰耗均衡器	(17)
四端網絡衰耗均衡器	(18)
可变衰耗均衡器	(25)
§ 2.2 混合綫圈	(27)
概說	(27)
三綫圈变压器式混合綫圈	(27)
平衡衰耗	(31)
两个轉电綫圈构成的混合綫圈	(32)
§ 2.3 平衡網絡	(34)
§ 2.4 变频器	(36)

~ 2 ~

氧化銅元件的特性	(36)
桥式調幅器	(38)
环式(斜格式)調幅器	(39)
阻抗控制式調幅器	(41)
調幅器的工作衰耗	(43)
載波漏泄	(44)
§ 2.5 限幅器	(45)
限幅器的应用	(45)
氧化銅限幅器	(45)
电子管限幅器	(48)
含气管限幅器	(49)
§ 2.6 滤波器的运用	(49)
滤波器組及对其衰耗特性的要求	(49)
滤波器的并联运用	(51)
滤波器电路结构的討論	(55)

第三章 M型三路載波电话机

§ 3.1 概說	(58)
§ 3.2 方框图	(59)
发信电路	(61)
收信电路	(61)
振鈴电路	(62)
§ 3.3 分路設備	(62)
混合綫圈盘	(62)
調幅器盘	(63)
反調幅器盘	(65)
§ 3.4 群路設備	(66)
发信群放大器	(66)
收信群放大器	(67)
§ 3.5 振鈴設備(信号器)	(69)
2,300赫振蕩器	(69)
振鈴器	(70)
§ 3.6 电平討論	(73)
发信电路的电平	(74)
收信电路的电平	(74)
振鈴电平	(75)
§ 3.7 測試設備	(75)
振鈴試驗器	(75)
傳輸測試器	(78)
灯絲效率試驗器	(81)

§ 3.8 联络设备.....	(82)
§ 3.9 电源设备.....	(84)
§ 3.10 告警设备.....	(85)
电路告警.....	(85)
电源告警.....	(86)
§ 3.11 测试和调整.....	(86)
阶层电平调整.....	(86)
调幅器载频调整.....	(87)
同期试验.....	(88)
调幅器平衡调整.....	(90)
混合线圈平衡度试验.....	(90)
电路频率特性试验.....	(90)
综合特性试验.....	(91)

第四章 OB-3型三路载波电话机

§ 4.1 概說.....	(93)
应用范围.....	(93)
频率分配及搬移步骤.....	(93)
端机方框图.....	(96)
电平图.....	(98)
机架结构及电源.....	(100)
§ 4.2 分路设备.....	(102)
用户电路.....	(102)
混合线圈.....	(102)
%线转换插口.....	(103)
限幅器.....	(104)
变频电路.....	(105)
§ 4.3 群路设备.....	(110)
群频、导频供给设备.....	(110)
群调幅设备.....	(116)
群放大器.....	(117)
导频指示器.....	(119)
群频滤波器和方向滤波器.....	(119)
缓冲放大器.....	(120)
§ 4.4 自动电平调整设备.....	(123)
工作原理.....	(123)
导频接收器.....	(125)
调节网络和调整器.....	(130)
§ 4.5 振铃设备.....	(135)
音频振铃信号1000/20赫振荡器.....	(136)

振鈴器	(137)
§ 4.6 供电設備和报警設備	(140)
供电設備	(140)
报警設備	(141)
§ 4.7 联络設備 (二綫式通話呼叫裝置)	(143)
§ 4.8 測試設備	(146)
振鈴試驗器	(146)
試驗电流振蕩器和电平測量器 (奈批表)	(148)
H3.T电子管測量器	(150)

第五章 BSOJ—12型十二路載波電話机

§ 5.1 概說	(155)
§ 5.2 終端机构成	(158)
发信电路	(161)
A——B收信电路	(163)
B——A收信电路	(164)
終端机机架結構	(165)
§ 5.3 增音机方框图及其机架結構	(165)
§ 5.4 群电路設備	(167)
发信群放大器	(167)
收信群放大器	(168)
綫路放大器	(168)
§ 5.5 載頻和导頻供給設備	(170)
供給系統	(170)
諧波发生器	(174)
导頻穩定器	(175)
§ 5.6 导頻控制电路	(176)
§ 5.7 自动电平調整設備	(179)
A— B方向的自动 电平調整	(180)
B— A方向的自 动电平調整	(186)
傳輸截止电路	(189)
§ 5.8 振鈴設備	(190)
500赫每秒断續20次的发生电路	(191)
振鈴器的发送电路	(192)
振鈴器的接收电路	(193)
§ 5.9 进局設備	(194)
进局电綫	(195)
串音抑止設備	(195)

第六章 載波电报

§ 6.1 概說	(198)
分类	(198)
載波电报的調制方式	(198)
載波电报的傳輸頻帶	(199)
頻率分配	(200)
§ 6.2 工作原理	(202)
§ 6.3 調幅器	(204)
§ 6.4 TP—59型調頻(移頻)电报	(205)
概說	(205)
工作原理	(208)
收信部分	(209)
电路分析	(211)
§ 6.5 調頻制載波电报与調幅制載波电报的比較	(212)

第七章 會議電話

§ 7.1 汇接方式	(214)
簡易汇接式	(214)
电阻汇接式	(215)
分配器汇接式	(215)
§ 7.2 新型會議電話总机	(217)
概說	(217)
工作原理	(219)

第八章 长途測試

§ 8.1 TM5210阻抗电桥	(221)
概說	(221)
使用方法	(222)
§ 8.2 YY—11—43傳輸电平指示器(奈批表)	(226)
概說	(226)
使用方法与操作步驟	(228)
§ 8.3 串音衰耗的測量	(229)
串音衰耗的意义及計算	(229)
电平差法	(230)
比較法	(231)
201串音測試法	(233)
§ 8.4 检波放大器	(236)
概說	(236)
TM5117/5 检波放大器	(237)
§ 8.5 三号試驗台	(240)
概說	(240)

測試線路的原理.....	(241)
引入回線电路.....	(245)
主要盘的电路分析.....	(247)
試驗电路.....	(248)
§8.6 用脉冲測試法測定通信線路的障礙地点.....	(258)

第九章 长途机械室

§9.1 长途机械室的设备.....	(264)
电纜箱架.....	(264)
引入架.....	(264)
試驗架.....	(267)
引入試驗架.....	(267)
中間配綫架.....	(267)
供电架.....	(269)
§9.2 机械室设备的布置.....	(274)
对房屋的要求.....	(274)
机械室的设备布置.....	(274)

第十章 长途电话电路的特性

§10.1 电路的衰耗及其頻率特性.....	(277)
§10.2 电路的振幅特性.....	(279)
§10.3 载波电路发信端与收信端的载頻偏差.....	(280)
§10.4 电路的稳定度.....	(281)
§10.5 杂音.....	(282)
杂音的来源.....	(282)
測量杂音的方法.....	(283)
杂音的标准.....	(284)
杂音防护度.....	(284)
§10.6 电路特性的測量.....	(285)
淨衰耗及其頻率特性的測量.....	(285)
振幅特性的測量.....	(285)
电路的稳定度測量.....	(286)
串杂音的測量.....	(286)

第十一章 长途电话电路（明綫电路）的设计計算

§11.1 概說.....	(287)
§11.2 电路的初步設計.....	(287)
§11.3 传输电平的标准.....	(289)
最高容許传输电平.....	(289)
最低容許传输电平.....	(289)

§ 11.4 电路的特性核算.....	(293)
增音段的衰耗计算.....	(293)
增音站间隔.....	(296)
终端机及增音机的增益.....	(297)
传输电平图.....	(297)
电路总杂音电压的核算.....	(299)
§ 11.5 制定设计报告.....	(301)

第一章 長途通信的基本原理

§ 1.1 直达通信距離的確定及增加通信距離的方法

音頻直达電話的距離是有限的，最大的通信距離約為500公里。

決定通信距離的最主要因素是聲音的響度，而聲音的響度與線路的種類、送受話器的特性有關。

現代電話機發話器的輸出通話功率 P_0 可達1毫瓦，當受話器的靈敏度 P_e 為1微瓦時，通信電路允許的最大衰耗為：

$$b = \frac{1}{2} \lg \frac{P_0}{P_e} = \frac{1}{2} \lg \frac{10^{-3}}{10^{-6}} = \frac{1}{2} \lg 1000 = 3.5 \text{ 奈批 (NapOr)}$$

為了保證直达通信質量完全滿意，通信電路允許的最大衰耗，通常確定為3.3奈批。

當兩個用戶通話時，整個電路包括傳輸線路和終端電路（終端機械、用戶線、中繼器等），電路衰耗分布如圖1.1

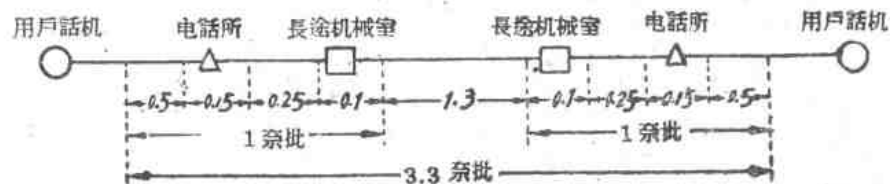


圖 1.1 通信電路衰耗的分布

所示，即為了獲得正常的通信，線路衰耗不得大於1.3奈批。

根據這個數據及各種不同類型線路的衰耗常數，可得出音頻直达電話的最大通信距離，見表1.1。

表 1.1

線路種類	導線材料	線 徑	線 徑	允許最大衰耗為1.3奈批 時的通信距離（公里）
		（毫 米）	（厘 米）	
架空明線	鐵	3.0	20	65
	鐵	4.0	20	80
	銅	3.0	20	300
	銅	4.0	20	500
電 纜	銅 （紙絕緣不加感）	0.9—1.4	/	20—40
	銅 （紙絕緣加感）	0.9—1.4	/	60—180

长途通信的基本任务是要保证通信电路的有效距离为任何长度，而直达通信的最远距离仅为500多公里，远远不能满足需要，因此必须研究增加通信距离的方法。

增加通信距离的基本方法有：

一、减小线路本身的衰耗：依靠改进线路的电特性来增加通信距离。

线路衰耗常数的近似公式为：

$$\beta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \approx \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

因为线路漏电阻比导线电阻小得很多，公式第二项就很次要了。最初阶段减小线路衰耗的方法是增加导线间距离；增加导线的直径；采用电阻系数较小的金属线和改进绝缘子的绝缘电阻。但是加粗线径在经济上不合算，线距增加后，会增加对邻近线对的干扰，所以这些方法未被广泛采用。

后来采用了人工加感的方法，使线路的距离增加了2——4倍。但加感后的线路相当为一低通滤波器，对现代长途通信所采用的高频传输有矛盾，所以加感线路的使用范围，已在逐渐缩小。

二、在线路上串接增音机来补偿信号电流在线路上所受到的衰耗。

增音机最主要部分是电子管放大器。当信号电平在线路上受到衰耗被减低得很小时，就在线路中间加装增音机，将电平提高后，再往下一段线路传送，如图7·2所示。

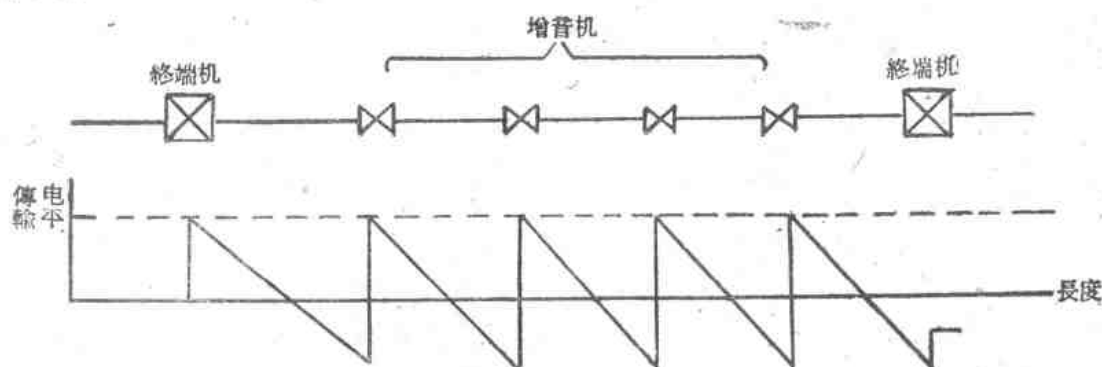


图7·2 装置增音机的长途通信电路及其传输电平图

采用这种方法，沿线路均匀分布地装置多个增音机，就能使通信距离大大增加。

一对线路上是需要传输两个方向的信号电流，所以增音机亦要保证能放大两个方向的

电流，而电子管放大器是具有方向性的，要达到双向放大，增音机必须要用两只放大器接在相反的方向上。但是若将两只放大器直接并联起来，如图7·3所示，则放大器间就形成一个回路电路，当回路电流的振幅和相位符合一定条件时，就会发生振荡的现象。为了使双向增音机正常工作，在放大器间插入一个设备，如图7·4，它对信号电流在基本传输方向的衰耗很小，而对回路电路却具有很大的衰耗，这样就可以用来防止自激振荡。这个设备就是混合线圈和平衡网络。

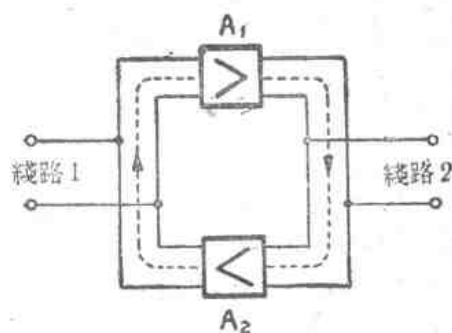


图7·3 在线路上并联两个放大器，构成双向增音机

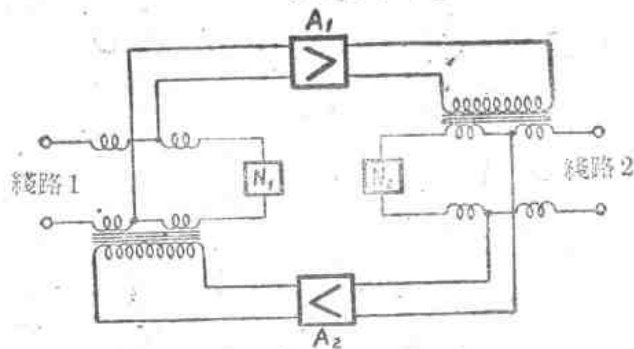


图 7.4 有混合线圈和平衡网络的双向放大器

所以在二线电路与四线电路连接处，必须接入混合线圈和平衡网络。

§1.2 非直线性元件

非直线性元件的概念

若元件的阻抗不随所通过电流或所加电压的大小及方向而改变时，叫做直线性元件。将直线性元件接入电源时，在元件中通过的电流可按照欧姆定律公式来表示：

$$i = \frac{u}{R} \quad (1.2)$$

式中 u ——加在直线性阻抗上的电压。

i ——通过它的电流。

如电导 $\frac{1}{R}$ 以 a 代之，则 1.2 式可写成

$$i = au \quad (1.3)$$

在图 7.5 中， i 和 u 的关系是直线，同时 a 代表直线对于横坐标的斜度。

在电信工程中通常会遇到具有另一种特性的元件，它的阻抗是随着所通过电流或所加电压的大小及方向而改变的，叫做非直线性元件。在这种元件里，电压的变化和电流的变化不成比例，即不能用欧姆定律来表示，电流和电压的关系不是直线，而是曲线。

严格说来，电路中的全部元件，在不同程度上，都带有非直线性现象。不过这些非直线性现象小到可以忽略不计的程度，而把它们认为是符合欧姆定律的。例如，导线的电阻与温度有关，而温度则与导线中流过的电流有关，故任一线圈的电阻值始终是或多或少地受着电流的影响。但是普通线圈中所作用的电流为一般大小时，由于温度改变而产生的线圈电阻的非直线性，小得实际上可以忽略不计。

在长途电信工程中，非直线性元件的应用是很广泛的。例如某些电子管；各种整流器；处于强磁场下的有铁心的电感线圈（铁心的磁导系数依赖于磁场强度）；以某些绝缘材料（其介电常数依赖于电场强度）作介质的电容器；稳压灯和热敏电阻等，都是属于非直线性元件。

图 7.6 表示了通过非直线性元件的电流 i 和加在它二端的电压 u 之间的非直线性关系。这种非直线关系的特性曲线，在数学上可近似地以下列多项式来表示：

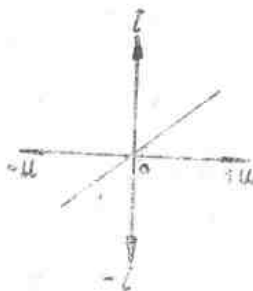


图1.5 电流和电压的直线性关系的图个

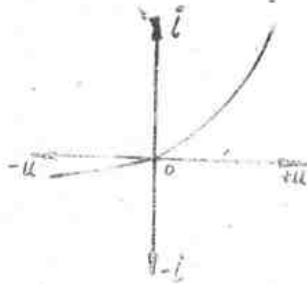
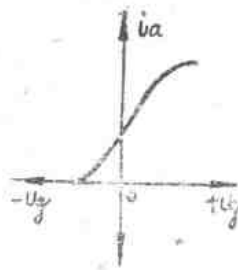


图1.6 电流和电压的非直线性关系的图个 (A) 整流器的



(B) 电子管的

$$i = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 + a_3 u^3 + a_4 u^4 + \dots \quad (1.4)$$

式中

i ——通过非直线性元件的电流，

u ——加在非直线性元件两端的电压，

$a_0, a_1, a_2, \dots$ ——常数系数，它们的大小和正负号随所分析的非直线性元件的特性曲线的形状和所选择的工作点而确定。

就如理论的研究和实验的证明一样，在1.4式中，通常可以找出系数的值及选择适当的项数用来表示非直线性元件的特性曲线的变化。(1.4)式右边的项数愈多，则此公式把非直线性元件中电流与电压的关系规律表明得也愈准确。在大多数的情况下，(1.4)式的前三项便能够相当近似地表示出非直线性元件的特性，即：

$$i = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 \quad (1.5)$$

非直线性元件的作用

假定，在特性关系为(1.5)式的非直线性元件上作用一个正弦波电压：

$$u = u_m \sin 2\pi f t$$

把这个电压值代入(1.5)式，便得

$$i = a_0 + a_1 u_m \sin 2\pi f t + a_2 u_m^2 \sin^2 2\pi f t \quad (1.6)$$

应用三角关系式

$$\sin^2 x = \frac{1 - \cos 2x}{2}$$

在(1.6)式内以 $\frac{1 - \cos 2\pi (2f) t}{2}$ 来代替 $\sin^2 2\pi f t$ 得

$$\begin{aligned} i &= a_0 + a_1 u_m \sin 2\pi f t + a_2 u_m^2 \frac{1 - \cos 2\pi (2f) t}{2} = \\ &= a_0 + \frac{a_2 u_m^2}{2} + a_1 u_m \sin 2\pi f t - \frac{a_2 u_m^2}{2} \cos 2\pi (2f) t \end{aligned} \quad (1.7)$$

上式指出，在这种情况下，非直线性元件的电路里电流所含频率成分为：

一、电流的直流成分： $a_0 + \frac{a_2 u_m^2}{2}$ 其中 $\frac{a_2 u_m^2}{2}$ 为原有直流成分 a_0 由于非直线性

元件整流作用所增加的数值；

二、频率为 f 的原有正弦波，其振幅为 $a_1 u_m$ ；

三、由于非直线性畸变产生的频率为 $2f$ 的、原有正弦波的二次谐波，其振幅为

$$\frac{a_2 U_m^2}{2}$$

我们现在来分析当二种频率不同的正弦波电压 $U_m \sin 2\pi f t$ 和 $U_m \sin 2\pi F t$ 同时作用在非直线性元件上的情况。非直线性元件上的总电压将等于：

$$u = U_m \sin 2\pi F t + u_m \sin 2\pi f t$$

将 u 的数值代入(1.5)式内，得到

$$i = a_0 + a_1 (U_m \sin 2\pi F t + u_m \sin 2\pi f t) + a_2 (U_m \sin 2\pi F t + u_m \sin 2\pi f t)^2 = a_0 + a_1 U_m \sin 2\pi F t + a_1 u_m \sin 2\pi f t + a_2 U_m^2 \sin^2 2\pi F t + 2a_2 U_m u_m \sin 2\pi F t \sin 2\pi f t + a_2 u_m^2 \sin^2 2\pi f t$$

应用三角关系式

$$\sin^2 X = \frac{1 - \cos 2X}{2}$$

$$2 \sin x \sin y = \cos (X - y) - \cos (x + y)$$

则上式可以化成下面形式：

$$i = a_0 + \frac{a_2 U_m^2}{2} + \frac{a_2 u_m^2}{2} + a_1 U_m \sin 2\pi F t + a_1 u_m \sin 2\pi f t - \frac{a_2 U_m^2}{2} \cos 2\pi (2F) t - \frac{a_2 u_m^2}{2} \cos 2\pi (2f) t + a_2 u_m U_m \cos 2\pi (F - f) t - a_2 u_m U_m \cos 2\pi (F + f) t \quad (1.8)$$

从(1.8)式可见，由于二个频率各为 f 及 F 的正弦波电压作用在非直线性元件上的结果，在电路内产生的电流，除原有的基本波 $a_1 u_m \sin 2\pi f t$ 和 $a_1 U_m \sin 2\pi F t$ 外，还包含很多成分，就是

一、电流的直流成分 a_0 、 $\frac{a_2 u_m^2}{2}$ 、 $\frac{a_2 U_m^2}{2}$ ；

二、二次谐波成分 $\frac{a_2 u_m^2}{2} \cos 2\pi (2f) t$ 和 $\frac{a_2 U_m^2}{2} \cos 2\pi (2F) t$ ；

三、频率等于原有二个基本波频率之差及频率之和的电流 $a_2 u_m U_m \cos 2\pi (F - f) t$ 和 $a_2 u_m U_m \cos 2\pi (F + f) t$ ，这二个和频及差频的电流，是基本波相互作用的结果，叫做组合波成分。

以上所得的结果用图解法在图1.7中表示出来。

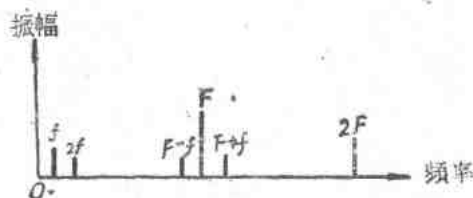


图1.7 加二个频率不同的电压在非直线性元件时，产生的电流成分

假设同时加三个(或数目更多)频率不同的正弦波电压在非直线性元件上，在这种情况下，依次类推，可以求出在非直线性元件电路里，除了原有的基本波及其二次谐波外，同时还包含原有基本波频率每二个之和及每二个之差所构成的组合波。例如当频率为 f_1 、 f_2 、 f_3 三个正弦波电压同时作用在非直线性元件上时，则得出频率为 $f_1 \pm f_2$ 、 $f_1 \pm$

$f_3, f_2 \pm f_3$ 的六个組合波成分。

由此可見，适合于直綫性元件所組成的电路的重迭定律，在非直綫性元件所組成的电路里是不适合的。在非直綫性电路里，若干电波間的相互作用，即非直綫性元件的畸变作用，是一个极重要的物理現象，也是近代載波通信方法的基础。

§ 1.3 利用非直綫性元件变频的載波通信原理

以頻率划分的多路通信

长途通信另一基本任务就是提高綫路利用率。最有效的方法是采用以頻率划分的多路高频电话（或电报）——載波电话（或載波电报）。在发信端，将电话机输出的音频电流，經過变频器的作用，变成預先指定的高频电流，經綫路传输至对方，在受信端再經過变频器，将高频电流还原为原来可听的音频电流。当几对电话（或电报）的信号电流分別經過变频器，变成几路頻率彼此不同的高频电流，在一对綫路上同时传输至对方时，依靠滤波器，使这些不同路别的电流分別到自己所属的受信电路中去，互相間就不会发生干扰。在一对綫路上，可以传输的頻率范围是很寬的，所以能同时传输多路电话和电报。

用非直綫性元件进行变频的概念

最简单的变频器就是一个非直綫性元件。在图 1.8 中，綫路的一端把頻率 f 的音频信号电压 $U_m \sin 2\pi f t$ 和頻率比 f 大得多的輔助振荡电压 $U_m \sin 2\pi F t$ 同时作用在非直綫性

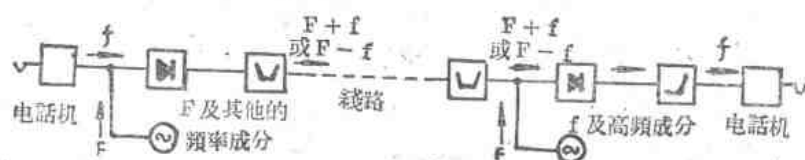


图 1.8 利用变频器传输电话信号

元件上。这时，經過非直綫性元件的作用后，在非直綫性元件的輸出端将产生頻率 $f, F, 2f, 2F, F-f$ 和 $F+f$ 的电流。利用带通滤波器从这些不同頻率的电流中，把頻率 $F, F-f$ 和 $F+f$ 的成分选出来，并沿綫路把它們送到受信端。到达受信端后，再作用在非直綫性元件上，經過变频器的作用，产生下列頻率的电流：

$$\begin{array}{l}
 F \\
 F-f \\
 F+f
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} F \\ F-f \\ F+f \end{array}} \right\} \text{原有的正弦波}$$

$$\begin{array}{l}
 2F \\
 2(F-f) \\
 2(F+f)
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 2F \\ 2(F-f) \\ 2(F+f) \end{array}} \right\} \text{原有正弦波的二次諧波}$$