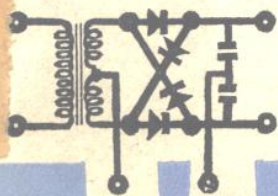


半导体手册  
第10編



# 调制与解调



科学出版社

73.67073  
157  
10:1

《半导体手册》第10編

# 調制与解調

《半导体手册》翻译组译

31550067

科学出版社

1971 9 14

## 毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

打破洋框框，走自己工业发展道路。

外国有的，我們要有，外国沒有的，我們也要有。

对于外国文化，排外主义的方針是錯誤的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借鏡；盲目搬用的方針也是錯誤的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

## 譯 者 的 話

本书是根据〔日〕半导体手册编委会编《半导体手册》1963年初版本译出。内容包括半导体物理学、半导体材料、晶体二极管和晶体三极管的工作原理、晶体二极管和晶体三极管、特种半导体器件、晶体二极管和晶体三极管特性、半导体电路理论、线性放大、振荡、调制与解调、脉冲电路、数字电路、电源、微波电路、参量放大器、数据等16编。

本书于1966年已全部译完，因工作量较大，未能及时出版。最近，我们征求读者意见，认为做为一般了解和查阅半导体电子技术的参考书，还应出版。我们遵照毛主席关于“洋为中用”的教导，为适应读者的要求，又继续进行审查校对，现将其单行出版。

本书主要特点是将半导体基础知识和应用技术综合汇编在一起的半导体电子技术的资料性参考书。书中在基础知识方面涉及的范围较为广泛，在应用技术方面介绍的比较全面，各编重点不一样，仅供读者参考。

原书中主要缺点表现在：有些编的内容尚有形式化的数学推导较多，物理分析较少；有些编在讲解概念和理论分析上有些模糊；有些编在文字和数字上有错误；有些编则为一些资产阶级学术权威和厂商吹嘘、捧场；有些编内容是从别的资料中传抄过来的，未经过实践验证。我们遵照伟大领袖毛主席“一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收”的教导，加以删

节和校正。

本书在译校过程中,很多工厂、学校、科研单位给予了很大的支持和热情帮助,并提出不少宝贵意见,我们对这些单位表示衷心的感谢。

由于外文、专业知识的限制,在文字翻译及技术概念的表达上不免会有错误,又由于我们毛泽东思想学习的不够好,所以对原书中的其他错误观点及存在的问题,未能指出和很好的批判,恳切希望广大读者批评指正。

# 目 录

|                        |      |
|------------------------|------|
| 第一章 连续波的调制             | (1)  |
| 1.1 调幅                 | (1)  |
| 1.1.1 概述               | (1)  |
| 1.1.2 双边带调制器与解调器       | (2)  |
| 1.1.3 残余边带调制器与解调器      | (3)  |
| 1.1.4 单边带调制器与解调器       | (4)  |
| 1.2 调频                 | (12) |
| 1.2.1 概述               | (12) |
| 1.2.2 调制器              | (13) |
| 1.2.3 频率解调器            | (17) |
| 1.2.4 鉴频器              | (20) |
| 1.2.5 其他解调器            | (24) |
| 第二章 脉冲调制               | (25) |
| 2.1 概述                 | (25) |
| 2.2 脉冲调制和脉冲解调理论        | (28) |
| 2.3 脉冲调制电路与解调电路        | (47) |
| 2.3.1 脉冲振幅的调制电路与解调电路   | (47) |
| 2.3.2 脉冲宽度的调制电路与解调电路   | (49) |
| 2.3.3 脉冲相位的调制电路与解调电路   | (53) |
| 2.3.4 脉冲数的调制电路与解调电路    | (55) |
| 2.4 脉冲调码               | (57) |
| 2.4.1 脉冲调码和定差调制装置的性能结构 | (57) |
| 2.4.2 瞬时压缩电路与瞬时伸展电路    | (60) |

|             |                      |              |
|-------------|----------------------|--------------|
| 2.4.3       | 电压保持电路 .....         | (63)         |
| 2.4.4       | 编码器电路 .....          | (63)         |
| 2.4.5       | 译码器电路 .....          | (71)         |
| 2.4.6       | 二进制码再生重复电路 .....     | (73)         |
| <b>第三章</b>  | <b>电报电码的调制</b> ..... | <b>(78)</b>  |
| 3.1         | 概述 .....             | (78)         |
| 3.2         | 电码类型 .....           | (78)         |
| 3.3         | 调制方式 .....           | (80)         |
| 3.4         | 调制、解调与半导体电路 .....    | (82)         |
| 3.5         | 调幅 .....             | (83)         |
| 3.5.1       | 调制器 .....            | (83)         |
| 3.5.2       | 解调器 .....            | (87)         |
| 3.5.3       | 高速调幅 .....           | (90)         |
| 3.6         | 调频 .....             | (92)         |
| 3.6.1       | 调制器 .....            | (92)         |
| 3.6.2       | 解调器 .....            | (97)         |
| 3.6.3       | 高速调频 .....           | (103)        |
| 3.7         | 调相 .....             | (107)        |
| 3.7.1       | 调制器 .....            | (107)        |
| 3.7.2       | 解调器 .....            | (109)        |
| 3.7.3       | 特殊的调制与解调方式 .....     | (109)        |
| 3.8         | 晶体三极管继电器 .....       | (111)        |
| <b>参考资料</b> | .....                | <b>(115)</b> |

# 第一章 連續波的調制

## 1.1 調 幅

1.1.1 概述 調幅波一般可用下式表示:

$$\begin{aligned} M(t) &= A_c[1 + kV(t)] \cos(\omega_c t + \Phi_c) \\ &= A_c \cos(\omega_c t + \Phi_c) + kA_c \cos(\omega_c t + \Phi_c) \int_{\omega_{v_1}}^{\omega_{v_2}} A_v \cos(\omega_v t + \Phi_v) d\omega_v \end{aligned} \quad (10.1)$$

式中  $A_c \cos(\omega_c t + \Phi_c)$  是載波,  $1 + kV(t)$  是調制函數,  $A_v \cos(\omega_v t + \Phi_v)$  是已調波,  $\omega_1$  和  $\omega_2$  是傳輸界限角頻率, 在式(10.1)中, 設

$$c = 2\pi f_c t + \Phi_c \text{ (載波頻率)}$$

$$v = 2\pi f_v t + \Phi_v \text{ (信號頻率)}$$

即  $v(t) = A_v \cos v$ , 則

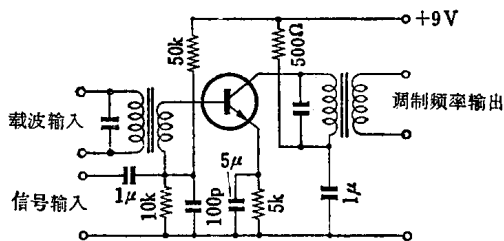
$$\begin{aligned} M(t) &= A_c \cos c + \frac{1}{2} kA_c A_v [\cos(c + v) + \\ &\quad + \cos(c - v)] \end{aligned} \quad (10.2)$$

要獲得式(10.1)的調制, 一般是利用真空管、晶体三极管、晶体二极管等的非线性制成的积分调制器, 进行编码传输、載波电话等的調制, 則主要利用继电器、晶体二极管制成开关调制器。在这种情况下, 式(10.1)可以写成下列形式:

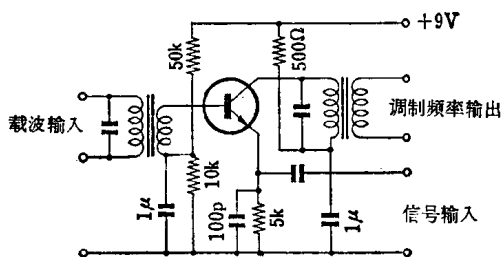


$$M(t) = [A_c \cos \omega_c t + v(t)] \frac{1}{2R} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \times \\ \times \frac{\sin m \frac{\pi}{2}}{m \frac{\pi}{2}} \cos m \omega_c t \quad (10.3)$$

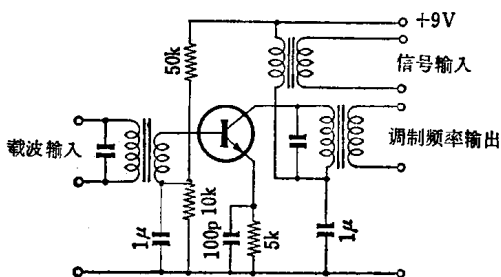
式中  $1/R$  是二极管电流流通方向的电导。



(a) 基极调制电路



(b) 发射极调制电路



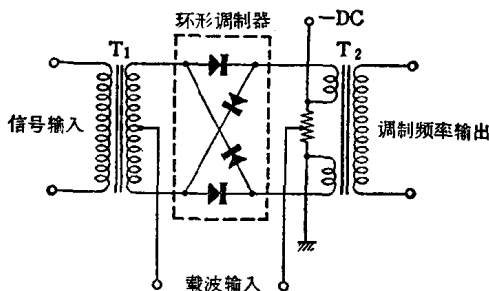
(c) 集电极调制电路

图 10.1 用三极管做的载波输出的双边带调制器

**1.1.2 双边带调制器与解调器** 双边带调制器和解调器历来用于无线电电话发射机，最近已用于电力线载波装置或简易电缆载波装置、裸线载波装置。调制器有利用三极管的基极调制器、发射极调制器和集电极调制器（图10.1），此外也有采用晶体二极管调制器的。

利用二极管的调制器，如图10.2所示，对环形调制器要外加直流偏压，就可

以获得载波输出双边带调制波。在这种情况下，调整直流偏压电流可以改变调制程度。



1. 改变直流偏压电流来调整调制度
2.  $T_1$  和  $T_2$  的阻抗参阅表 10.1

图 10-2 利用二极管做的载波输出的双边带调制器

双边带调制波的解调器，可以采用晶体二极管的全波整流电路(图 10.3)。

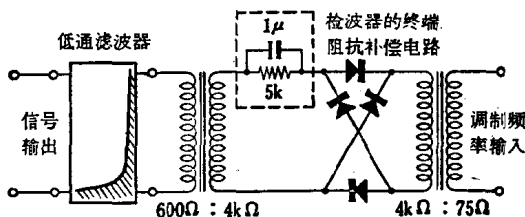


图 10-3 利用二极管做的双边带解调器

**1.1.3 残余边带调制器与解调器** 残余边带的调制，常用于高速编码传输，或用于在较宽频带内进行相似波形传输的高速传真传输以及电视的影象信号传输。图 10.4 是利用二极管做的残余边带调制器。残余边带的调制方法有两种：一种是载波输出法，另一种是载波抑制法。前一种方法使用的收发装置很简单，解调器也可以使用普通双边带解调器(不需要形成残余边带和自动相位同步等)，大多用于电视

广播等方面。后一种方法由于调制信号的分路功率大于发射输出的峰值功率，所以宽频带的有线传输等方面多采用此法。

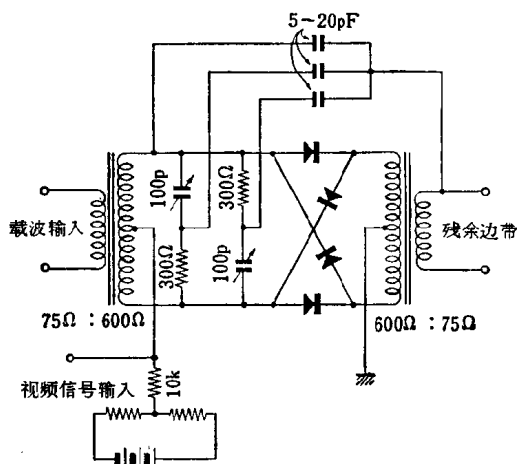


图 10·4 残余边带调制器

**1·1·4 单边带调制器与解调器** 单边带调制器和解调器历来主要用于载波电话装置，最近已用于短波无线电装置。

在单边带调制器和解调器上也使用半导体元件，例如利用二极管的正反两方向电阻值变化的开关调制器；利用三极管的非线性的积分调制器；用基极电流或发射极电流控制三极管集电极电阻的开关调制器等等。

**[1] 串联和并联的调制器与解调器**(科恩调制器和解调器或电桥型调制器和解调器) 串联调制器和解调器(图 10·5) 或并联调制器和解调器(图 10·6)的性能是：用载波电流控制二极管的正反两方向的电阻值，使电路的串联介入损耗或并联介入损耗按载波周期变化，产生相应的转换作用，以进行调制和解调。

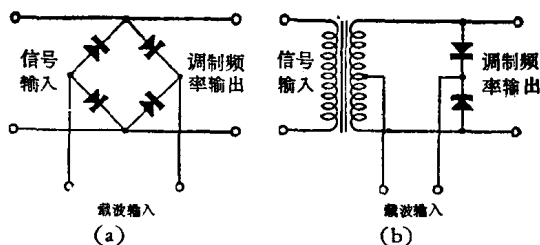


图 10-5 串联调制器

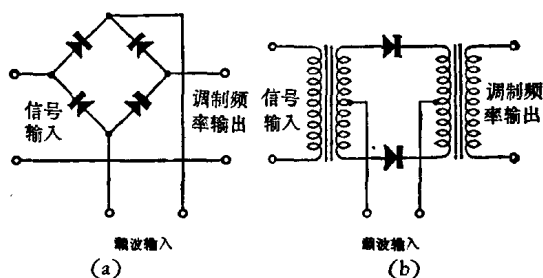


图 10-6 并联调制器

当两个电路的二极管都具有理想特性时，也就是正向电阻等于零、反向电阻等于无限大时，变换损耗为 9.9 分贝。

**【2】环形调制器与解调器** 环形调制器和解调器是双平衡调制器和解调器的一种，它是目前在载波电话装置及其他装置上应用最广的单边带调制器。这种调制器的结构是，把二极管连接成环形，利用载波控制二极管的正反两方向的电阻值，形成桥式网络，产生按载波周期变化的换向作用，以进行调制。

当二极管具有理想特性时，就是说，正向电阻等于零，反向电阻等于无限大时，变换损耗为 3.9 分贝。利用电源侧和负载侧的阻抗的反射作用，可以使变换损耗小于 9.9 分贝或 3.9 分贝，使用串联或并联的调制器和解调器时均如此。

图 10-7 是环形调制器的电路，图中(b)是 (a) 的另一形

式,当输出单边带的频率是直流或频率特别低时,这种电路非常有效。

表 10·1 是环形调制器设计示例。

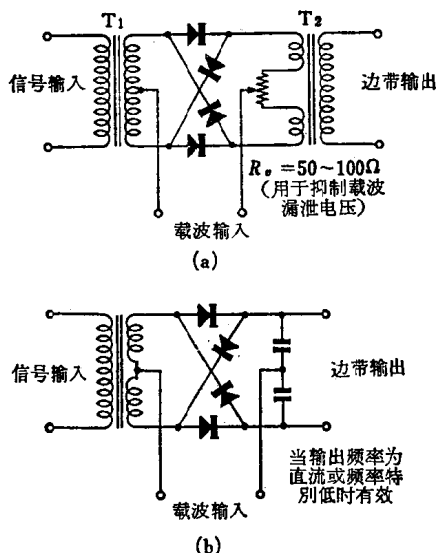


图 10·7 环形调制电路  
(关于  $T_1$  和  $T_2$  希参阅表 10·1)

表 10·1 环形调制器设计示例

| 所用频带(千赫) |             | 信号频率<br>电 平<br>(分贝) | 载波频<br>率电平<br>(分贝) | 输入变压器<br>$T_1$ 阻抗比 |             | 输出变压器<br>$T_2$ 阻抗比 |            |
|----------|-------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|------------|
| 信号波      | 载 波         |                     |                    | 电源侧<br>(欧)         | 调制器侧<br>(欧) | 调制器侧<br>(欧)        | 负载侧<br>(欧) |
| 0.3—5    | 10—30       | -15—-20             | 0—+5               | 600                | 1500        | 1200               | 75         |
| 10—30    | 50—100      | -20—-25             | +5                 | 600                | 1200        | 1000               | 75         |
| 50—150   | 300—600     | -25—-30             | +8                 | 75                 | 1000        | 800                | 75         |
| 200—600  | 500—5000    | -30—-35             | +10                | 75                 | 800         | 600                | 75         |
| 800—2000 | 10000—15000 | -30—-35             | +12                | 75                 | 800         | 600                | 75         |

为了抑制载波漏泄电流，环形调制器的输入输出变压器的绕组必须同供给载波的绕组的中点保持平衡，这时的平衡度可用图 10·8 所示的电路测量，在一般的使用条件下，端子 1.2—3.4 的衰减量有 40—50 分贝就足够。

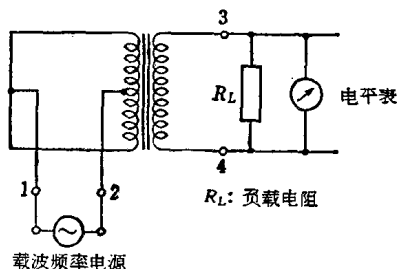
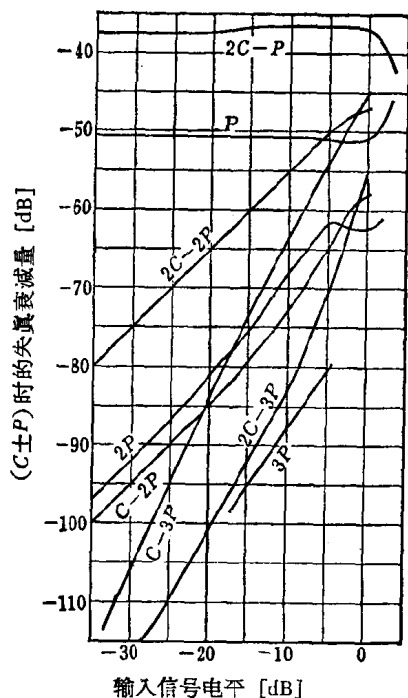


图 10·8 测量环形调制器所用变压器平衡度的电路

环形调制器和其他调制器一样，由于它具有换向作用，除了产生所需单边带以外，还会产生各种频率成分（线性失真成分），同时由于所用二极管的正向电阻和反向电阻的非线性，还会产生各种非线性失真成分。这些非线性失真成分是产生通信电流失真和多路通信装置串话的原因，因此必须极力加以抑制。图 10·9 是锗管做的环形调制器的非线性失真特性曲线。

**[3] 其他双平衡调制器与解调器** 与环形调制器和解调器具有相同作用的双平衡调制器和解调器，目前已设计出很多种，



$P$  是信号频率  $C$  是载波频率  
载波电平 +10dB

图 10·9 用锗管做的环形调制器的非线性失真特性

其中常用的一种如图 10·10 所示。图中的电阻  $R_c$  (一般使用

500—1000 欧的电阻)

虽然没有接入

调制器的转换电

路,但是  $R_c$  的载波

电压降加在二极管

的正向电压降中,

可以有效地进行转

换工作。就是说,这种电路有以下两个优点: (1)可以增大输

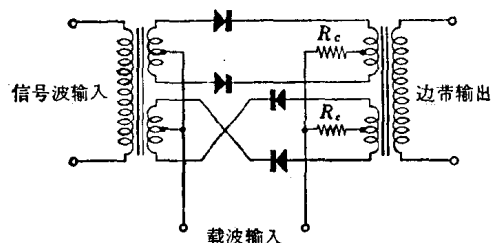
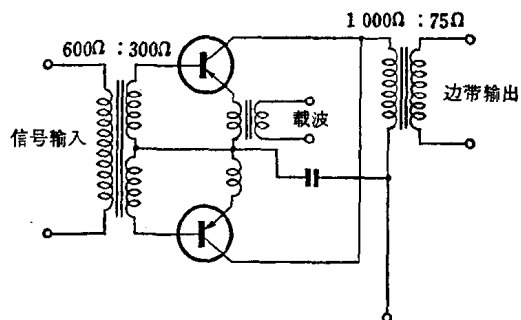
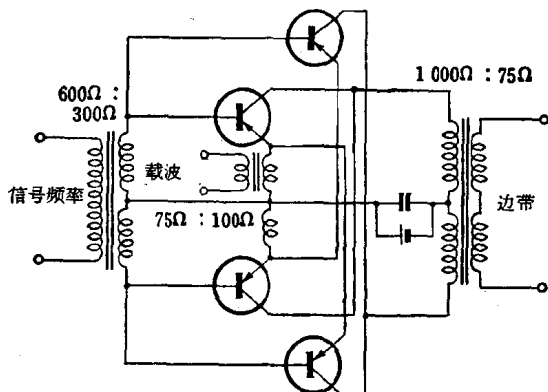


图 10·10 双平衡调制器



(a) 以推挽连接输入侧、并联连接输出侧,以产生边带



(b) 这个电路是两个(a)电路合成的。它可以抑制偶次高谐波

图 10·11 利用非线性的晶体三极管调制器

入信号频率的过载点;(2)所用载波功率小,因而可以减少载波漏泄。

**[4] 利用三极管的单边带调制器与解调器** 单边带调制器和解调器历来使用真空管，自从体积小、功率消耗少的晶体三极管出现以后，便改用晶体三极管，并且在载波电话装置中也大量使用了晶体三极管。利用晶体三极管的调制器也可以分为两种，即：利用三极管的非线性的积分调制器（图 10·11）与利用基极电流和发射极电流控制集电极电阻的开关调制器（图 10·12）。

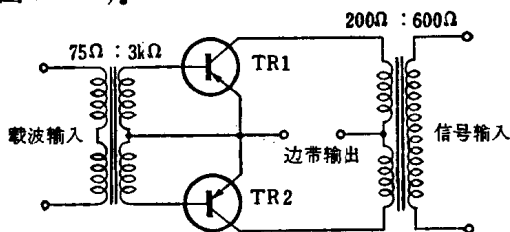


图 10·12 利用开关作用的晶体三极管调制器

【5】载波漏泄电流的抑制 单边带调制器本来是应该抑制载波的,但是由于输入输出变压器的绕组不平衡、晶体二极管特性不平衡等原因,会产生载波漏泄电流。抑制载波漏泄的方法,除了利用图 10·7(a) 所示的  $R_c$  取得平衡的方法以外,还有把微小的电容器并联在四个晶体二极管之中的一个适当的二极管上,用来补偿电抗分量的补偿电

The diagram shows a bridge rectifier circuit. The AC input is connected to the left terminals of the bridge. The output is taken from the right terminals, which are connected to a load represented by a transformer. The bridge consists of four diodes. A capacitor  $C$  is connected in parallel with one of the diodes. The current through the diodes is labeled  $I_c$  and  $I_x$ . The current through the capacitor is labeled  $I_r$ . The capacitor value is given as  $C \sim 500 \sim 800 \text{ pF}$ . The load transformer has a primary resistance of  $R_c 2k$  and a secondary resistance of  $R_s 10k$ . The output voltage is indicated by a sine wave symbol.

载波电源 (100 千赫左右)

图 10·13 利用补偿电流法抑制载波漏泄的电路

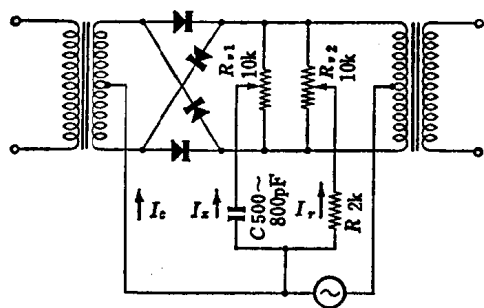


图 10·13 利用补偿电流法抑制载波漏泄的电路

流法。如图 10·13 所示,从载波电源接入载波电流  $I_c$ ,同时通



过高阻抗  $R$  和  $C$  获得微小的补偿电流  $I_r$  和  $I_c$ , 以补偿不平衡分量。例如使用频率为 90 千赫、电平为 +15 分贝的载波电流时, 可以把载波漏泄电流抑制在 -80—-90 分贝的范围内。

**[6] 利用相位差分波器的单边带调制器** 上述各种调制器, 其输出侧除所需的单边带成分外还有很多其他成分, 所

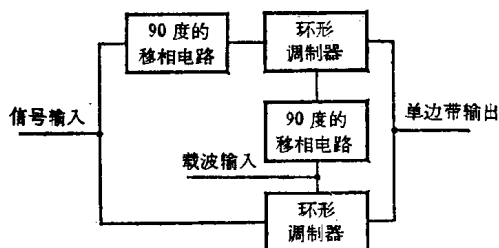


图 10·14 利用相位差分波器的调制器

以一般是把滤波器连接在调制器上来取出所需成分。

这种调制器如图 10·14 的方框图所示, 它把 90 度的相位差分波器插入信号和载波的通路

中取出所需单边带, 而不使用滤波器。

**[7] 调制器和解调器用晶体二极管** 调制器和解调器所用的晶体二极管, 一般用氧化亚铜、锗、硒、硅等材料制成。

在 10—200 千赫的载波频率范围内, 氧化亚铜整流器直径为 5 毫米左右的为宜, 过去大部分也都使用这种整流器, 但是氧化亚铜所用频率增高后, 由于并联电容的影响, 其变换损耗将增大 (直径 5 毫米的氧化亚铜整流器, 其并联电容为 2000—3000 微微法左右), 所以氧化亚铜整流器正逐渐被目前其性能已趋于稳定的锗二极管所代替。在特别需要考虑高温时, 可使用硅二极管。

锗二极管同氧化亚铜整流器相比, 并联的静电电容少 (约 1 微微法); 而且有能够耐较高温度的优点。环形调制器的四个组成元件的特性不平衡是产生载波漏泄电流和信号电流漏泄的原因, 因此必须充分注意, 一定要使元件特性保持平衡。