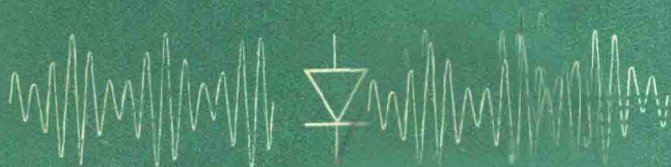


錢乃輝 編著

收音机的检波器

人民邮电出版社



內 容 提 要

这本小册子介绍了收音机中常用的檢波器和鑑頻器的原理、电路和测试。

为了考虑各方面讀者的需要，故書中不但有淺显的物理現象的講解、实用具体电路，也有些簡明的数学分析。

收音机的檢波器

編著者：錢 乃 燁

出版者：人 民 郵 電 出 版 社

北京東四六條13號

(北京市書刊出版登記證出字第〇四八號)

印刷者：北 京 市 印 刷 一 廠

發行者：新 華 書 店

開本 787×1092 1/32

印張 1 頁數 16

印刷字數 27,000 字

印數 1—15,000 冊

1958 年 12 月北京第一版

1958 年 12 月北京第一次印刷

統一書號：15045·第 963—第 254

定價：(9)0.12 元

目 录

一、概論	1
二、無線电調幅信号的檢波及調頻信号的鑑頻	3
三、檢波器的基本原理	4
1. 直綫性檢波器	5
2. 平方律檢波器	11
3. 鑑頻器	12
四、各种常用的檢波器	14
1. 矿石檢波器	14
2. 电子管檢波器	16
a. 二極管檢波器	16
б. 柵極檢波器	16
в. 屏極檢波器	18
г. 陰極檢波器	18
д. 再生式檢波器	18
е. 超再生檢波器	20
ж. 自差式檢波器	21
з. 外差式檢波器	23
3. 晶体管檢波器	24
五、各种檢波器的比較	25
六、常用檢波器的設計	27
1. 二極管檢波器的設計	27
2. 再生式檢波器的設計	29
七、檢波器的測試	31
1. 檢波器增益的測試	31
2. 檢波器非直綫性失真的測試	31

一、概 論

無線電廣播電台播送言語或音樂的時候，必須把言語或音樂的聲頻信號，“加”在射頻信號上(即所謂調制)，才可能從天綫上發射出去。調制的方式很多，但我們一般廣播中所用的為幅度調制（簡稱調幅）和頻率調制（簡稱調頻）。

所謂調幅是使高頻的振盪幅度隨着聲波幅度的變化而變化。例如聲波幅度大時高頻的幅度也大，聲波幅度小時高頻幅度也小（如圖一）。

調頻是指高頻振盪的頻率隨聲波的幅度而變化的一種。例如聲波幅度大時高頻頻率高，小時頻率低（如圖二）。我們從接收天綫上接收到的，只有被聲頻信號調制過的射頻（高頻）信號。

它的振幅或頻率雖然按着聲頻信號而變化，但是實際上却並不包含原來聲頻信號的頻率成份，它只包含射頻的載波頻率和射頻的邊帶頻率。

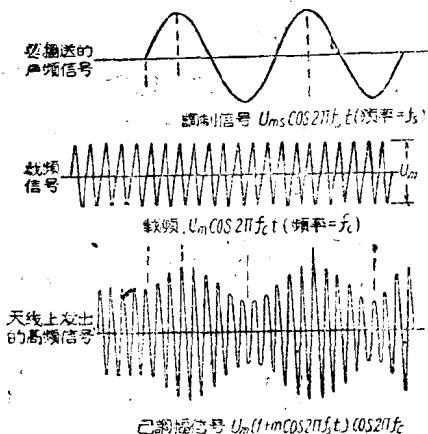


圖 一

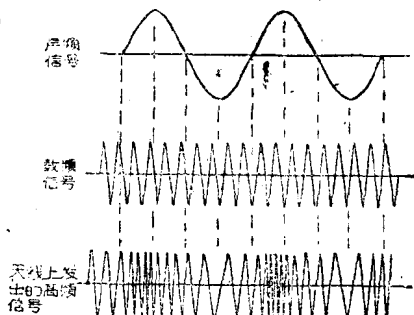


圖 二

例如广播电台播送一个频率为 f_s 的单纯音。从接收天线接收到的，只是振幅按频率 f_s 而变化的射频信号(圖一甲的下一行)。

用数学式表示，就是，

$$U = U_m(1 + m \cos 2\pi f_s t) \cos 2\pi f_c t = U_m \cos 2\pi f_c t +$$

$$\frac{m}{2} U_m \cos 2\pi(f_c + f_s)t + \frac{m}{2} U_m \cos 2\pi(f_c - f_s)t.$$

式中 U_m 为载频电压的振幅， m 为调幅度， f_s 为声频电压的频率， f_c 为载频电压的频率。把这式子用三角公式展开后，可以得到已调幅信号中所包含的各种频率成份，它包含有载频 f_c 和边频 $(f_c + f_s)$ 、 $(f_c - f_s)$ ，只是没有声频 f_s (圖三)。

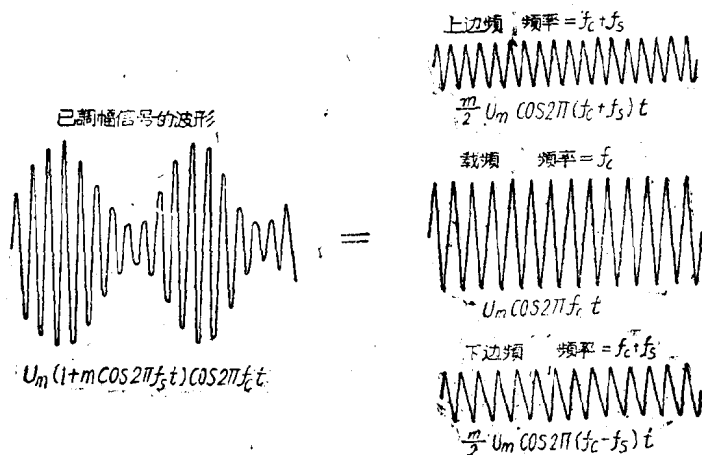


圖 三

要从已调幅信号里，得到原来调制的声频信号，必须：(1)从这些组成频率里，产生包含有原来声频信号的新频率成份；(2)然后再从许多混合的频率成份中，把这个声频信号分离出来。这样从射频的已调制信号中，获得原来调制的声频信号的过程称为检波。任

何收音机中不能沒有檢波器，因此可以說檢波器是收音机里最主要的部分。

二、無線電調幅信号的檢波及調頻信号的鑑頻

1. 調幅信号的檢波

播送言語和音乐最普通的調制方法是調幅。調幅就是把射頻信号的振幅按照声頻信号的变化来加以控制。我們要从接收到的已調幅信号中，得到原来調制的声頻信号；必須讓已調幅信号通过一种非直綫性的元件，使从已調幅信号原有的組成頻率中，产生出新的頻率。新的頻率中有載頻和边頻相減的頻率 $f_c - (f_c + f_s)$ 、 $f_c - (f_c - f_s)$ ，載頻和边頻相加的頻率 $f_c + (f_c + f_s)$ 、 $f_c + (f_c - f_s)$ 和其他較高的頻率。其中載頻和边頻相減的頻率，就是原来調制的声頻 f_s 。然后我們再設法除去其余的較高頻率，就能得到所需要的声頻信号了。所謂非直綫性元件就是指在該元件上的电压和电流不成正比的特性，即不按一般欧姆定律的特性。非直綫性的元件有檢波用的矿石、半导体整流器、电子管和晶体管等。这些元件大部分都能用作檢波器。另外能使信号产生非直綫性失真的各种放大器，也能起檢波的作用。

2. 調頻信号的鑑頻

播送言語和音乐的其他調制方法还有調頻調相等，例如北京电视台播送的电视伴音信号就是調頻制。調頻就是按照声頻信号的变化去改变射頻信号頻率的一种調制(圖二)。我們要从調頻信号中得到原来調制的声頻信号，就必须讓調頻信号通过一种能使信号振幅随頻率而变化的电路。这样一来，調頻信号也就变成了調幅信号

了。然后用調幅信号檢波的方法，来得到原来調制的声頻信号。从調幅信号中获得原来調制信号的过程称为鑑頻（圖四）用調頻制播送言語和音乐，可以减少許多杂音的干扰，使收到的声音非常清晰，但是調頻制必須应用頻率很高的載頻，因此播送的距离受到一定的限制。

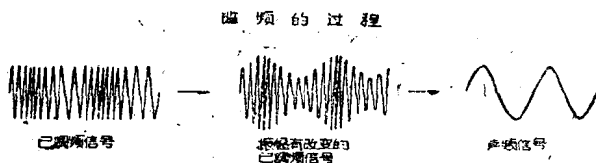


圖 四

三、檢波器的基本原理

前面說过，要从已調幅信号中得到原来的調制信号，必須使已調幅信号通过一种非直綫性的元件，目的是使通过这元件的电流波形受到歪曲。这种波形的歪曲，就是所謂非直綫性失真。受到非直綫性失真的波形里，包含了許多由載頻和边頻在非直性元件里互相作用后产生的，原来信号中沒有的新頻率成份。从这里我們才能得到所需要的声頻信号，非直綫性元件的电流和电压間的关系（圖五），也就是它的伏安特性，它并不按照欧姆定律而变化，一般可以用下式表示：

$$i = a + bU + cU^2 + dU^3 + \dots$$

式中 i ——瞬时电流； U ——瞬时电压； a 、 b ……——为随着元件而变的常数。

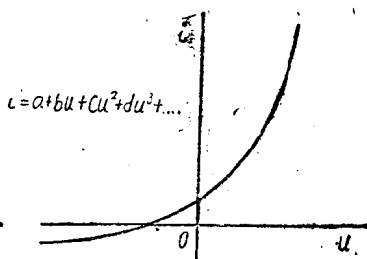
实际上用作檢波器的非直綫性元件，按它們所起的檢波作用，可以分为兩类。一类是利用非直綫性元件中單方向导电的特性，但它們导电方向的伏安特性是接近直綫性的。这类檢波称为直綫性檢

波；另一类是利用非直线性元件伏安特性中平方律关系的特性。

用数学式表示即：

$$i = a + bU + cU^2$$

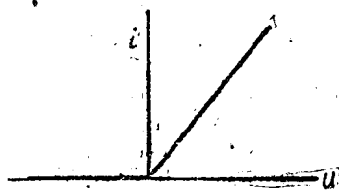
这类检波称为平方律检波。下面我们来谈谈这两类检波器的基本原理。



圖五

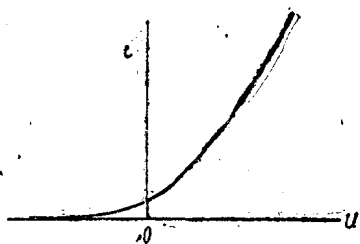
1. 直线性检波器

理想的直线性检波器，有圖六所表示的伏安特性。一般二極电子管（以下簡稱二極管），如果輸入信号不太小，可以近似的認為屬於直线性检波器的一类。它們的实际伏安特性像圖七中所示。



圖六

已調幅信号加在二極管上，得到的电流是單方向的。因为二極管的伏安特性近似直線，整流后所得到电流波形差不多等于削去一半。它的平均值就与原来的



圖七

声頻調制波形極相似。在这样整流后的电流里，我們可以得到調制的声頻部分、直流成份和很多复杂的高頻率成份。圖八就是表示整流后的电流波形和所包含的各种成份。

a. 負載电阻上直流电压降的作用。

上面所講的情况是指高频信号直接加在二極管上，即如圖九那样的情况。

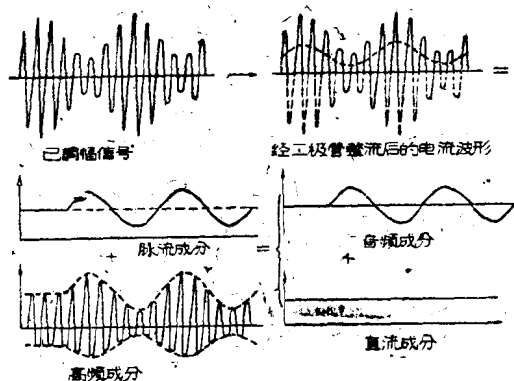


圖 八

但是這樣的電路是不切實用的。因為在電路中流動的雖然有音頻成份，但拿不出來也是枉然。所以

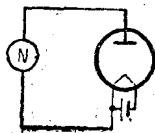


圖 九

在實際電路中都串入(或併入)負荷，如圖十那樣。

由圖中可看出，現在真正加到二極管屏極和陰極(或燈絲)間的電壓不單是高频電壓 U_k ，而還要加上整流後電流在負荷電阻 R 上產生的電壓降 U_n 。就是說

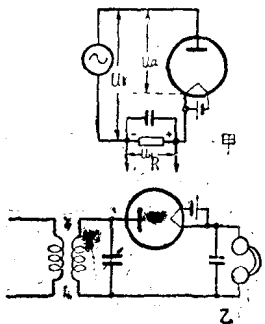
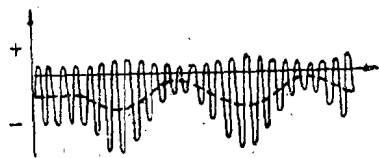
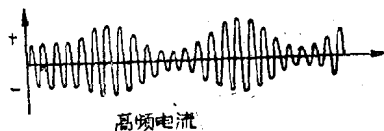


圖 十

$$U_a = U_k + U_n$$

因為整流電流是自燈絲流向屏極的(從外電路來看)，所以 U_n 對屏極是負的，燈絲是正的。就是說它抵消了一部分高频電壓(在



加至二極管屏陰上的電壓

圖 十一

高频电压对屏极为正半周时), 使流过二极管的屏流不是像圖八的情形, 刚好削去一半, 而是如圖十一。那末通过二极管的实际屏流就比圖八的小得多了, 如圖十二所示它只有在每一正半周很短的时期内能产生的脉冲电流。

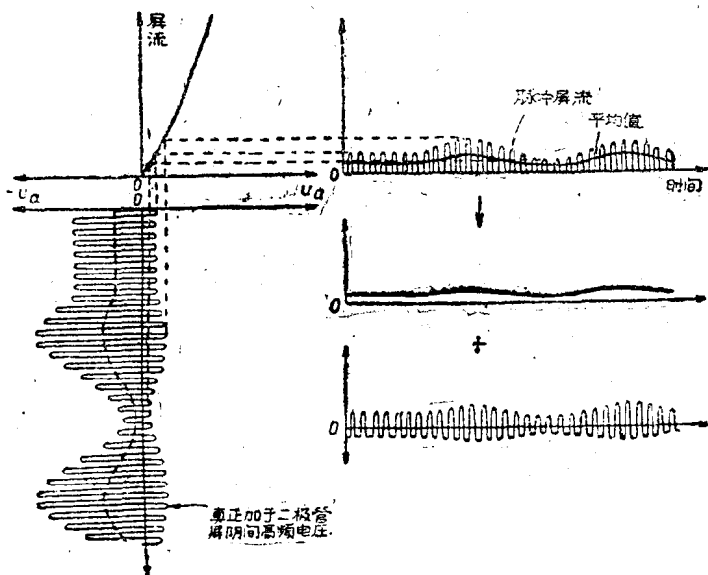


圖 十二

从圖十二中可看出通过二极管的实际屏流虽和圖八的不一样。圖的是整个正半周内有屏流, 而这里则只有正半周的頂部有屏流。可是它的平均值的形状和它的包絡綫的形状却是極相似的。

至于圖十中的电容器 c , 是用来使負荷上的高频成份傍路, 使負荷上不出现我們不需要的高频成份。因为这电容器的电容很小 (只几十微微法到几百微微法), 它对音频的影响很小。

6. 二极管檢波器的工作曲綫 象圖十三所示, 在二极管电路里,

加一个可以改变的負偏电压，用这个电压数值作为横座标，使加在二極管上的交流信号电压的振幅（峰值）不变，測量每次改变負偏压的輸出电流的平均值，且用它作为縱座标。用不同的交流信号电压，可以作出一組曲綫族（圖十四）。这組曲綫称为二極管檢波器的工作曲綫。利用这組曲綫我們可以得到有不同負載电阻的二極管檢波器的工作情形。假定負載电阻等于 R_1 ，我們应用欧姆定理 ($U = -IR$) 在圖上取符合这个关系的任意二点，把它們联成一条直綫，这条直綫称为負載綫。負載綫和这組曲綫的各个交点，表示出用不同峰值的信号电压，加在这个檢波器后，在負載电阻上得到的平均电流和平均电压的数值。

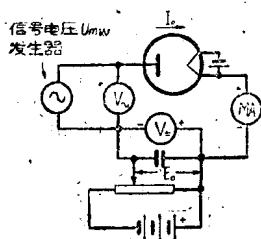


圖 十三

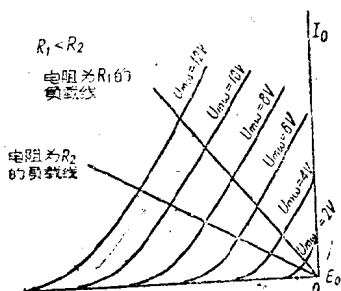


圖 十四

已調幅信号的峰值在 $U_m(1+m)$ 和 $U_m(1-m)$ 的範圍中变化着，因此从交流电压为 $U_m(1+m)$ 和 $U_m(1-m)$ 的曲綫和負載綫的交点上各可以得出檢波后在負載电阻上平均电流（縱座标）和平均电压（橫座标）变化的最大值和最小值。同时，交流电压为 U_m 的曲綫和負載綫的交点，就是这个信号的静态工作点（圖十五），工作点的縱座标就是这个信号在負載电阻上产生的負偏电压。工作点到最大交流电压曲綫的交点間的距离和工作点到最小交流电压曲綫的交点間的距离如果不相等，輸出音频信号的波形便不对称，这就会产生二次諧波的非直綫性失真。从这个圖里，我們可以估計某一个負

載电阻所产生非直线性失真的程度，以及二極管檢波器的效率。檢波器的效率(η)就是输出声频信号电压的峰值和输入已調幅信号电压包絡线峰值的比值，也就是理想整流器所能得到的声频电压输出

$$\eta = \frac{U_{ms}}{mU_m}$$

式中 U_{ms} ——输出声频信号电压的峰值。

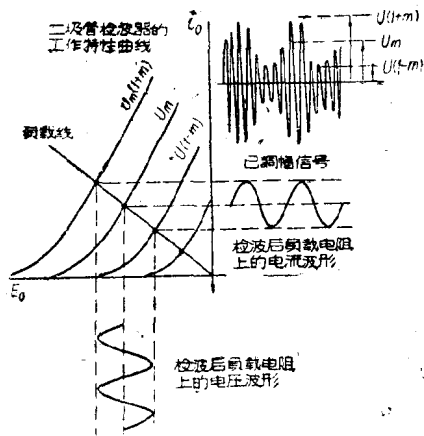


圖 十五

6. 高频旁路电容器上节提到的旁路电容器除旁路作用外由于电

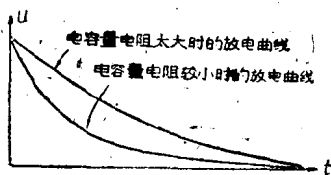
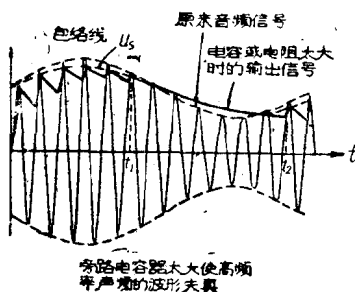


圖 十六

容器 C 受信号电压峰值的充电和较缓慢地经过负载电阻而放电，使输出电压的平均值也略有增加。但如果旁路电容器的电容量太大或负载电阻的电阻值太大，都能使电容器放电太慢，使输出电压来不及跟着较高频率的音频信号电压迅速的降低。因而将引起输出信号中较高频率波形的失真(圖十六)。

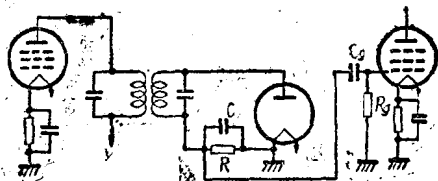
7. 交流负载阻抗太小时的波形失真 为了把负载电阻上的直流成份隔开，通常在负载电阻的后面还接一个隔直流电容器 C_g (圖十七)。在电容器 C_g 的后面 再接一个负载

电阻或电子管放大器的栅极电阻 R_g 。 R_g 和 C_g 串联后与直流负载电阻 R 并联,这就使检波器对声频信号的交流负载减小。如果旁路电容器 C 对声频信号的电抗很大,隔直电容器 C_g 对声频信号的电抗很小,那么

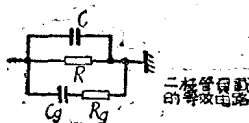
交流负载电阻

$$R \sim \approx \frac{R R_g}{R + R_g}$$

当输入信号电压幅度的变化非常缓慢时,负载线的位置在 OA (图十八)。但是当振幅按声频改变时,负载线的位置则应在 MN 。这时若调幅度很深则整流电流在某段时间内



接收机内的二极管检波电路

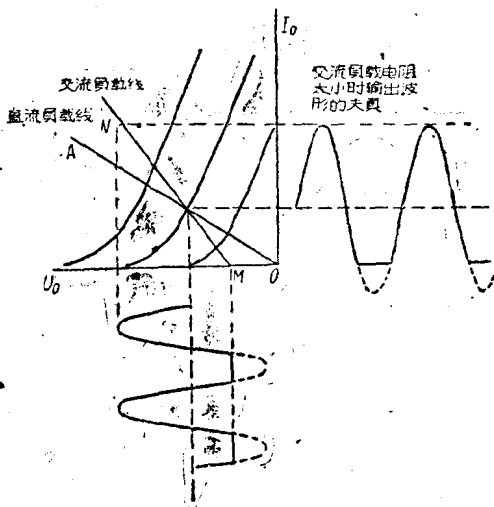


二极管检波器的等效电路

图十七

会截止。电容器 C_g 在这段时间内徐徐放电,输出声频信号电压波形中负半周的尖端部分便被削平(图十八)。为了避免这种失真, R_g 必须比直流负载电阻大数倍,才不致有很大的影响。

II. 二极管检波器的输入电阻 二极管检波器的输入电阻 R_{or} 可近似的用下式计算



图十八

$$R_{ex} = \frac{R}{2\eta} \approx \frac{R}{2}$$

式中 R 为直流负载电阻。输入电阻 R_{ex} 如果很小, 会减低前面所联接谐振电路的选择性。

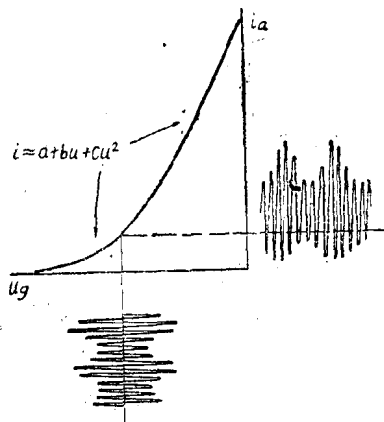
直线性检波器中所用的电容器和电阻如果选择得适当, 并且输入信号很大, 可以得到非直线性失真极小的声频输出。因此一般高级收音机都采用这种检波方式。

2. 平方律检波器

当放大器工作在特性曲线弯曲的部分时, 也可以作为调幅信号的检波器。这时如果信号电压很大, 它的工作特性可以近似的用下式表示:

$$i = a + bu + cu^2.$$

这种检波器称为平方律检波器。平方律检波器输出电流中的正半週比负半週要大 (圖十九), 所以它的电流中也包含直流成份。已调幅信号经过平方律检波器后, 正负峯值各点所联成的包络线波形, 已不对称, 它的平均值中, 包含有声频的成份。



圖十九

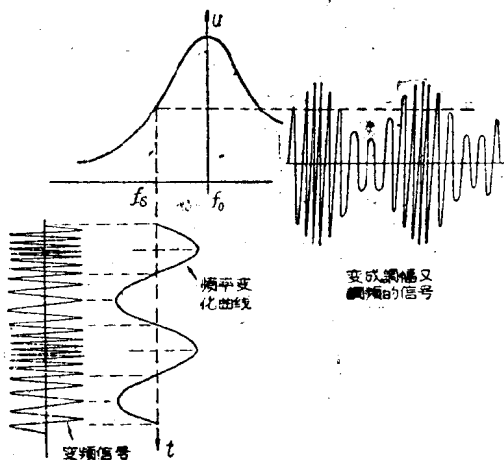
平方律检波的输出声频信号中包含有很大的二次谐波成份。如果用平方律检波器去接收已调幅信号, 会在输出中产生很大的非直线性失真。但是平方律检波器中所产生的高频产物, 比较单纯, 在实验室中有它特殊的用途。

二极管检波器的输入信号如果太小, 便工作在静态特性曲线最

下端的弯曲部分。这时整流后的电流平均值不按输入信号电压峰值正比的变化，而按输入信号电压峰值的平方而变化。因此输出的声频信号中，也包含有二次谐波。为了避免在二极管检波器中产生二次谐波的非线性失真，必须使加在二极管上的信号电压大于一定的数值（一般为十几伏以上）。

3. 鉴频器

a. 利用略为失调的谐振槽路 从已调频信号中得到调制信号最简单的方法，是使普通有谐振槽路的放大器对已调频信号的载频略为失调，让已调频信号频率变化的范围都在谐振频率特性曲线的一斜边内。这样输出信号的振幅便随信号的频率而改变，调频信号于是便成了调幅信号（图二十）。然后再经过调幅信号的检波器，便得到调制的声频信号了。这种鉴频方法的缺点，就是谐振曲线的一边不是真正的直线；因此要引起一些非线性失真。



图二十

6. 双二极管的鉴频器 最普通的鉴频器电路如图二十一所示。在高频或中频的输出端接一个对调频信号载频谐振的谐振槽路 P ，再用另一个对载频谐振的谐振槽路 S ，和 P 用互感相耦合。耦合度

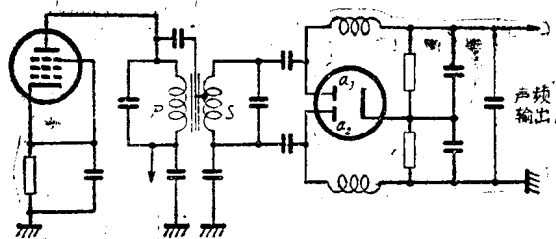


圖 二十一

略小于临界值。另外把 P 綫圈接屏極的一端經一隔直流电容器 C 接至 S 綫圈的中点。將 S 綫圈上一半的交流信号电压加上 P 綫圈对地的交流信号电压用一个二極管整流； S 綫圈另一半的交流信号电压也和 P 綫圈对地的交流信号电压相加，用另一个二極管整流。整流后它們在負載电阻上的电压降極性正相反，相减后便是負載电阻上的总輸出。在信号頻率等于載頻时， S 綫圈电路的阻抗是純电阻性， S 綫圈上的电压和 P 綫圈上的电压相位相差 90° 。如果信号頻率不等于載頻时， S 綫圈电路的阻抗便不是純电阻性，于是 S 綫圈上的电压和 P 綫圈上的电压的相位差便大于 90° 或小于 90° 。把 P 綫圈上对地的电压和 S 綫圈上二个电压用向量圖来表示就如圖二十二。二極管屏極 a_1 上电压的向量和为 E_{a_1} ，二極管屏極 a_2 上电压的向量和为 E_{a_2} ，整流后負載电阻上总电压降等于 $E_{a_1} - E_{a_2}$ 。如果信号頻率等于載頻， $E_{a_1} - E_{a_2} = 0$ 如果信号頻率高于載頻 f_c 或低

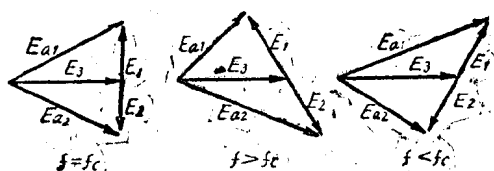


圖 二十二

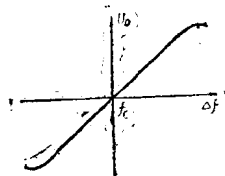


圖 二十三

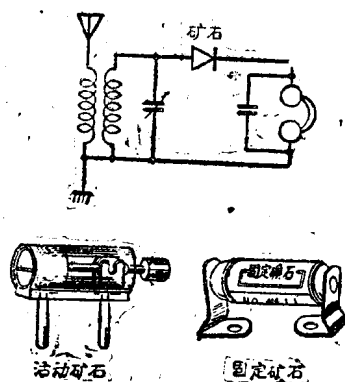
于載頻 f_c , $E_{a1} - E_{c2}$ 便不等于零。按頻率的高低或者是正值或者是負值。整流后負載电阻上电压的平均值便随頻率而改变 (圖二十三)。圖中曲綫有很長一段是直綫, 因此信号頻率在这範圍以內变动, 便能得到不失眞的声頻信号輸出。

四、各种常用的檢波器

最常用的檢波器有: 矿石收音机用的矿石檢波器、各种电子管檢波器和各种晶体管檢波器。

1. 矿石檢波器

矿石檢波器是在电子管还未發明前無線电接收机所应用的唯一檢波器。因为它構造簡單, 不需要电源供給, 現在在簡單的矿石收音机內仍广泛的应用着 (圖二十四)。



圖二十四

矿石檢波器的構造一般包括一个天然的矿石或人造的晶体, 像方鉛矿、黄鉄矿等。另外有一个銅絲或鉄絲做成的触針和矿石表面上光亮的部分接触着。触針和矿石接触的地方有一層“阻挡層”。“阻挡層”有單方向导电的作用。矿石檢波器的特性曲綫如圖二十五所示, 形狀和二極管特性曲綫很相似, 但反方向仍有微小的电流通过。矿石收音机接收到的信号大都很微弱, 所以

它們都工作在弯曲的部分, 即在平方律檢波的部分。如果离电台很近, 接收到的信号比較强, 也可認為是直綫性檢波。普通矿石檢波