

《高频电子线路》课程教案

一、讲授题目:本课程的研究对象

二、教学目标

使学生知道本课程的研究对象,方法及目标

三、教学重点难点

教学重点:接收设备的组成及原理

教学难点:接收设备的组成及原理

四、教学过程

高频电子线路是电子信息、通信等电子类专业的一门技术基础课,它的研究对象是通信系统中的发送设备和接收设备的各种高频功能电路的功能、原理和基本组成.

*消息 (NEWS MESSAGE:

—— 关于人或事物情况的报道。

—— 通信过程中传输的具体对象: 文字, 语音, 图象, 数据等。

* 信息 (INFORMATION

—— 有用的消息

*信号 (SIGNAL:

—— 信息的具体载体。

* 输入变换器

—— 将输入信息变换为电信号。

* 发送设备

—— 将输入电信号变换为适合于传输的电信号。

* 传输信道

-- 信号传输的通道。

-- 有线信道: 平行线、同轴电缆或光缆, 也可以是传输无线电波。

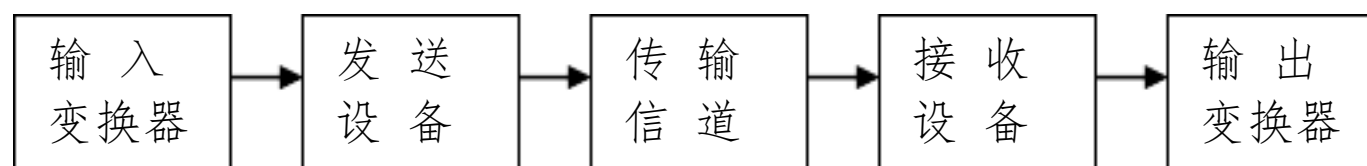
—— 无线信道: 自由空间或某种介质。

* 接收设备

—— 将输入电信号变换为适合于变换的电信号。

*输出变换器

—— 将接收设备输出的电信号变换成原来的信息, 如声音、文字、图像等。



通信系统方框图

通信系统分类:

1) 按通信业务分类

* 单媒体通信系统: 如电话, 传真等

* 多媒体通信系统: 如电视, 可视电话, 会议电话等

* 实时通信系统: 如电话, 电视等

* 非实时通信系统: 如电报, 传真, 数据通信等

- * 单向传输系统: 如广播, 电视等
- * 交互传输系统: 如电话, 点播电视等
- * 窄带通信系统: 如电话, 电报, 低速数据等
- * 宽带通信系统: 如点播电视, 会议电视, 高速数据等

2) 按传输媒体分类

a) 有线传输介质:

- * 双绞线(屏蔽双绞线, 非屏蔽双绞线)

损耗大, 几千比特/秒 ~ 几百兆比特/秒

- * 同轴电缆

损耗小, 价高, 抗干扰能力强, 几百兆比特/秒

- * 光纤

损耗小, 价高, 抗干扰能力强, 带宽大, 体积小, 重量轻, 几千兆比特/秒。

实例:

光纤 在几千米距离内, 数据率 = $2 \text{ GHz} / \text{s}$

同轴电缆 在 1 千米距离内, 数据率 = 几百 MHz / s

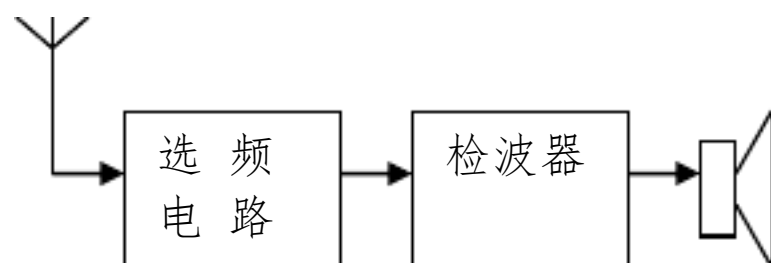
双绞线 在 1 千米距离内, 数据率 = 几 MHz / s

b) 无线传输信道: 自由空间或某种介质.

无线电接收设备的组成与原理

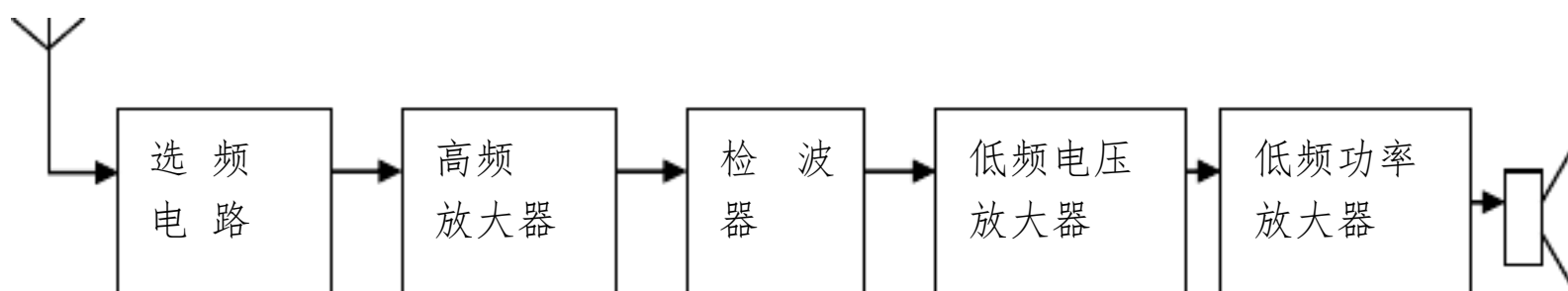
无线电接收过程正好和发送过程相反, 它的基本任务是将通过天空传来的电磁波接收下来, 并从中取出需要接收的信息信号。

下图是一个最简单的接收机的方框图, 它由接收天线、选频电路、检波器和输出变换器(耳机)四部分组成。



最简单的接收机方框图

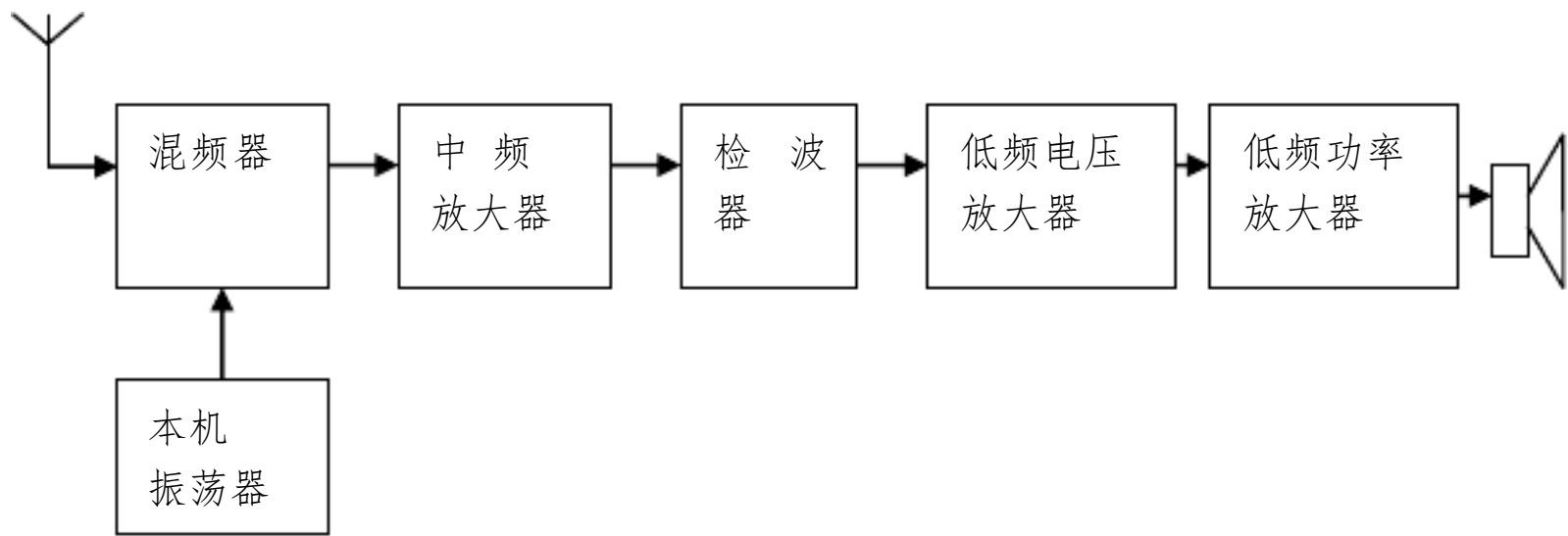
直接放大式接收机的方框图如下图所示。



直接放大式接收机方框图

直接放大式接收机的特点是灵敏度较高, 输出功率也较大, 特别适用于固定频率的接收. 但是, 在用于多个电台接收时, 其调谐比较复杂。再则, 高频小信号放大器的整个接收频带内, 频率高端的放大倍数比低端要低。因此, 对不同的电台其接收效果也就不同。为了克服这样的缺点, 现在的接收机几乎都采用超外差式线路。下图所示是超外差式接收机的方框图。

超外差式接收机的中频放大器的中心频率是固定不变的, 而且接收机的主要放大倍数由中频放大器承担, 所以, 整机增益在接收频率范围内, 高端和低端的差别就会很小。对于调谐来说, 仅对混频器的选频输入回路和本机振荡器进行同步调谐, 这是容易实现的。



超外差式接收机的方框图

超外差接收机由于有固定频率的中频放大器，它不仅可以实现较高的放大倍数，而且选择性也很容易得到满足。可以同时兼顾高灵敏度与高选择性，这是非常重要的。

本课程讲授的各功能电路，大多属于非线性电子线路。非线性电子线路的分析方法与线性电子线路的分析方法是不相同的。因而，在学习本课程各功能电路时，要根据不同电路的功能和特点，掌握各个功能电路的实现方法和基本原理；要根据输入信号的大小和器件的工作状态的不同选用不同的近似分析法，系统地了解非线性电子线路的分析方法。高频电子线路的理论与实践必须紧密联系，要学会用理论去指导实验和分析实验现象，从而得出合理的结论，这对我们以后的工作会有很大帮助。

无线信道及传播方式

表列出了无线电波的频段划分、主要传播方式和用途等。表中列出的频段、传播方式和用途的划分是相对而言的，相邻频段间无绝对的分界线。

表 无线电波的频段、传播方式和用途

频带	波长	名称	主要传播方式	典型应用
3 ~ 30 kHz	100 ~ 10 km	甚低频	地波	远距离导航；声纳；电报；电话
30 ~ 300 kHz	10 ~ 1 km	低频（长波）	地波	导航系统；航标信号；电报；通信
0.3 ~ 3 MHz	1000 ~ 100 m	中频（中波）	地波或天波	调幅广播；舰船无线通信；测向；遇险和呼救
3 ~ 30 MHz	100 ~ 10 m	高频（短波）	天波或地波	调幅广播；短波通信；飞机与船通信；岸与船通信
30 ~ 300 MHz	10 ~ 1 m	甚高频（超短波）	直线传播	电视广播；调频广播；航空通信；导航设备
0.3 ~ 3 GHz	100 ~ 10 cm	特高频（分米波）	直线传播	电视广播；雷达；遥控遥测；导航；卫星通信；移动通信；
3 ~	10 ~ 1	超高频	直线传播	卫星通信；空间通

30 GHz	cm	(厘米波)	播	信；微波接力；机载 雷达；气象雷达
30 ~ 300 GHz	10 ~ 1 mm	极高频 (毫米波)	直 线 传 播	雷达着陆系统；射电 天文

无线电波的主要传播方式图
《高频电子线路》课程教案

- 一、讲授题目：高频电路基础知识
- 二、教学目标
 - 掌握谐振回路,理解高频小信号放大器的主要技术指标
- 三、教学重点难点
 - 教学重点:谐振回路
 - 教学难点：谐振回路

四、教学过程

- * 高频：被放大信号的频率在数百千赫至数百兆赫。由于频率高，放大器的晶体管的极间电容的作用不能忽略。
 - * 小信号：放大器输入信号小，可以认为放大器的晶体管（或场效应管）是在线性范围内工作，这样就可以将晶体管(或场效应管)看成为线性元件，分析电路时可将其等效为二端口网络。
 - * 放大器：功能是实现对微弱的高频信号进行不失真的放大。
- 高频小信号放大器的分类

图高频小信号放大器的通频带

- 1) 高频：几百千赫至几百兆赫（ $10^5\sim10^8\text{Hz}$ ）
- 小信号：。

- (2) 相对带宽：
 - (3) 窄带放大器：
- 高频小信号放大器的主要技术指标

- (1) 电压增益与功率增益
- (2) 通频带
- * 相对带宽：
- * 窄带放大器：
- (3)) 矩形系数
- (4) 噪声系数

高频电路的基础知识
滤波器(选频回路)的输出信噪功率比

滤波器的理想幅频特性

LC串并联谐振回路的特性

一个实际的电感元件可以用一个理想无损耗的电感 L 和一个串联的损耗电阻 r 来等效，也可以用一个理想无损耗的电感 L 和一个并联电导 g 。来等效。如图所示。

有损电感的等效关系

电容元件的高频特性

对于电容元件，由于在高频电路所讨论的频率范围内，损耗很小，因而就认为是理想元件，不考虑其损耗的影响。

LC串联谐振回路

图 LC 串联谐振回路

图 LCr 串联谐振回路

由图 A,从信号源向右看

其电抗特性如图 B所示。由图可知，

图 A LCr 串联谐振回路

图 B 串联谐振回路电抗与频率的关系

由得回路谐振频率为

或

定义回路空载品质因数为：

定义回路有载品质因数为：

当在 LC 串联谐振回路加入激励电压 U时，流过电路的电流 I 可表示为

当(谐振)时,流过的电流

最大,, 称为谐振电流。归一化电流：

图 相对幅频特性与相频特性

当（谐振）时，回路电感和电容上的电压可表示为

这两个电压大小相同,方向相反。

《高频电子线路》课程教案

一、讲授题目：并联谐振

二、教学目标

掌握并联谐振

三、教学重点难点

教学重点：谐振回路参数计算,等效变换

教学难点:谐振回路参数计算，等效变换

四、教学过程

LC并联谐振回路

一个 LC并联电路,由于电感 L有损耗，可等效为如图(a)所示的电路。并联回路的导纳为

(a) (b)

图 LC 并联谐振回路

式中，

回路谐振频率为

令

当

回路谐振频率和有载品质因数为

则并联谐振回路的阻抗的模及相角为

可以看出，当时，回路谐振，回路等效为纯电阻，其阻值最大为 R 。在回路加电流源 I 激励时，输出电压时，。并联谐振回路的输出电压相对幅频特性和相频特性为

图 并联回路的阻抗特性

串并联阻抗的等效互换

下图是一个串联电路与并联电路的等效互换图。设串联电路是由 X ，与 r 组成，等效后的并联电路是由 X 与 R 组成。所谓“等效”是指在工作频率¹ 相同的条件下， AB 两端的阻抗相等²。也就是

等效互换电路

根据品质因数 Q 的定义，

式中， Q_2 为并联回路的品质因数。可见等效互换结果 Q 不变，即 $Q_1=Q_2=Q$ ，可得

这个结果表明，串联电路转换为等效并联电路后， R_2 为串联电路 r_1 的 Q^2 倍，而 x_2 与串联电路 x_1 相同，保持不变。

《高频电子线路》课程教案

一、讲授题目：晶体管高频小信号谐振放大器

二、教学目标：掌握高频小信号放大器

三、教学重点难点

教学重点：体管高频小信号等效电路

教学难点：单调谐回路谐振放大器

四、教学过程

晶体管 y 参数等效电路

晶体管 y 等效电路图

根据二端口网络理论，
其中，称为输出短路时的输入导纳；

称为输入短路时的反向传输导纳；

称为输出短路时的正向传输导纳；

称为输入短路时的输出导纳。

对于共发射极组态，，其中 y 参数用、、表示。对于共基极组态，，其 y 参数用、、表示。对于共集电极组态，，其 y 参数用、、表示。

混合等效电路

下图所示是晶体管混合等效电路。

放大器的等效电路及其简化

单调谐回路谐振放大器

单级调谐放大器高频等效电路图

单调谐放大器简化等效电路图

由三极管的内部特性，有
由外部负载特性，有 得
放大器的输入导纳为
得放大器的输出导纳为

设 T_1 和 T_2 是同型号的晶体管，电感线圈的电感量为 L ，在工作频率时的空载品质因数为 Q_0 ，则空载谐振电导。由于，故可用和并联表示，用和并联表示。

根据接入系数的定义,。由简化等效电路可以很方便地对放大器的技术指标进行分析。

放大器的技术指标

1. 电压增益

根据定义,,

式中,;

从等效关系可知

则

放大器谐振时,, 对应的谐振频率,则

可见,谐振时的电压增益与晶体管的正向传输导纳成正比,与回路两端总电导成反比,负号表示放大器的输入与输出电压相位差

《高频电子线路》课程教案

一、讲授题目:小信号谐振放大器的稳定性

二、教学目标:了解晶体管高频小信号谐振放大器的稳定性

三、教学重点难点

不稳定的原因及提高稳定性的措施

四、教学过程

谐振放大器存在不稳定的原因

在实际运用中,晶体管存在着反向传输导纳 y_{re} ,放大器的输出电压可通过晶体管的 y_{re} 反向作用到输入端,引起输入电流的变化,这种反馈作用将可能引起放大器产生自激等不良后果。

由图可见,放大器的输入导纳。其中, Y_F 是频率的函数.在某些频率上, g_F 有可能为负值。回路的总电导将可能减小,甚至为零, Q_L 将趋于无限大,放大器处于自激振荡状态。

图 等效输入电路

放大器的稳定系数及稳定增益

图 调谐放大器等效电路

提高谐振放大器稳定性的措施

使晶体管 y_{re} 的反馈作用消除的过程称为单向化。单向化的目的就是提高放大器的稳定性。单向化的方法有中和法和失配法。

(一)中和法

所谓中和,是在晶体管放大器的输出与输入之间引入一个附加的外部反馈电路,以抵消晶体管内部 y_{re} 的反馈作用.下图所示是有中和电路的放大器。

具有中和电路的放大器

(二)失配法

失配法的实质是降低放大器的电压增益,以确保满足稳定的要求。可以选用合适的接入系数 p_1 、 p_2 或在谐振回路两端并联阻尼电阻来实现降低电压增益。在实际运用中,较多的是采用共射一共基级联放大器,其等效电路如图所示。

共射一共基级联放大器

《高频电子线路》课程教案

一、讲授题目:高频功率放大器

二、教学目标

理解晶体管高频功率放大器的功能、分类和主要技术指标

三、教学重点难点

1、基本电路及其特点

2、高频功率放大器的工作原理

四、教学过程

一、 高频功率放大器的功能

无线电通信的任务是传送信息. 为了有效地实现远距离传输, 通常是用要传送的信息对较高频率的载频信号进行调频或调幅, 经过高频功率放大达到较大功率, 再通过天线辐射出去。

高频功率放大器的特点是放大信号频率高, 要求输出功率高和效率高。高频功率放大器的功能是用小功率的高频输入信号去控制高频功率放大器, 将直流电源供给的能量转换为大功率的高频能量输出, 其输出信号与输入信号的频谱相同, 如图 1 所示。

图 1 高频功率放大器的频谱表示

二、高频功率放大器的分类

高频功率放大器可分为窄带功率放大器和宽带功率放大器两类

窄带功率放大器一般都具有窄带选频网络, 难于做到瞬时调谐。

宽带高频功率放大器采用了具有宽频带特性的传输线变压器作为负载, 不需要调谐, 适用于频率相对变化范围大。

为了提高效率, 窄带高频功率放大器工作状态多选用在丙类或丁类, 甚至戊类放大; 宽带高频功率放大器只能选用甲类和乙类推挽放大工作状态。

三、高频功率放大器的主要技术指标

高频功率放大器的主要指标是高频输出功率、效率、功率增益和谐波抑制度等。

图 2 是丙类高频功率放大器的原理电路图。

图 2 (a) 所示是一般中间级原理电路, 其负载是下一级的输入阻抗经变压器二次侧折合到一次侧, 与 L_c 谐振回路组成的等效负载。

图 2(b) 所示是最简单的输出级原理电路, 其负载是天线, 而天线的等效阻抗可看成为天线电容 c 和电阻 r 。串联组成。

从原理图可以看出, 无论是中间级还是输出级, 其负载均可等效为并联谐振回路。因而, 在分析讨论丙类高频功率放大器时, 通常是用图 3 所示的原理电路。

图 2 丙类高频功率放大器原理图

图 3 高频功率放大器原理图

从原理图可以看出, 丙类高频功率放大器的特点是:

① 为了提高效率, 晶体管发射结为负偏置, 由 V_{BB} 来保证。

② 负载为谐振回路, 除了确保从电流脉冲波中取出基波分量, 获得正弦电压波形外, 还能实现放大器的阻抗匹配。

丙类高频功率放大器

一、 工作原理

丙类高频功率放大器的发射结在 V_{BB} 的作用下处于负偏压状态, 当无输入信

号电压时,晶体管 T 处于截止状态,集电极电流 $i_c = 0$.

当输入信号电压为 u_i 时,基极与发射极之间的电压,由输入特性可得基极电流为脉冲形状。可用傅里叶级数展开为

式中, I_{B0} 为基极电流的直流分量; I_{B1} 为基极电流的基波电流振幅; 分别为基极电流的二次至 n 次谐波电流振幅。

同理由正向传输特性可得集电极电流为脉冲状,也可用傅里叶级数展开为
式中, I_{C0} 为集电极电流的直流分量; I_{C1} 为集电极电流的基波电流振幅; 分别为集电极电流的二次至 n 次谐波电流振幅。

当集电极回路调谐于高频输入信号频率 f 时,由于回路的选择性,对集电极电流的基波分量来说,回路等效为纯电阻 R ; 对各次谐波来说,回路失谐,呈现很小的阻抗,回路两端可近似认为短路; 而直流分量只能通过回路电感支路,其直流电阻很小,也可近似认为短路. 这样,脉冲形状的集电极电流 i_c 流经谐振回路时,只有基波电流才产生电压降,即回路两端只有基波电压。因而输出的高频电压信号的波形没有失真。回路两端的基波电压振幅 U 为

《高频电子线路》课程教案

一、讲授题目: 丙类 (C类) 高频功率放大器的工作原理

二、教学目标

理解晶体管高频功率放大器的工作原理

三、教学重点难点

集电极余弦电流脉冲的分解

四、教学过程

下图是丙类高频功率放大器各级电压和电流的波形图。

各级电压和电流波形

丙类 (C类) 高频功率放大器的折线分析法

由于丙类高频功率放大器工作在大信号非线性状态,所以,晶体管的小信号等效电路的分析方法是不适用的。虽然采用静态特性曲线经过理想化成为折线来进行近似分析会存在一定的误差,但是,用它对高频功率放大器进行定性分析是一种较为简便的方法。

1、晶体管特性曲线的理想化及其解析式

静态特性曲线及其理想化

输入特性曲线的理想化

图(a) 所示的虚线表示的直线就是理想化的输入特性曲线. 其数学表示式为
式中, g_b 为理想化输入特性的斜率, 即

正向传输特性曲线的理想化

理想化晶体管的电流放大系数 β 被认为是常数, 因而将输入特性的 i_b 乘以 β 就可得到理想化正向传输特性。正向传输特性的斜率为

g 称为理想化晶体管的跨导. 它表示晶体管工作于放大区时, 单位基极电压变化产生的集电极电流变化。正向传输特性的数学表示式为

输出特性曲线的理想化

图(b) 所示的输出特性曲线要分别对饱和区和放大区采取不同的简化方法。

在饱和区, 根据理想化原理, 集电极电流只受集电极电压的控制, 而与基极

u_{BE} 值, 应重合为一条通过原点的斜线. 该斜线称为饱和临界线, 其斜率用 g 表示. 它表示晶体管工作于饱和区时, 单位集电极电压变化引起集电极电流的变化关系. 可表示为式(1)中.

在放大区, 根据理想化原理, 集电极电流与集电极电压无关. 那么, 各条特性曲线均为平行于 u_{CE} 轴的水平线. 又因 $g = \Delta i_C / \Delta u_{BE}$ 为常数, 故各平行线对等差的 Δu_{BE} 来说, 间隔应该是均匀相等的.

2、集电极余弦电流脉冲的分解

余弦电流脉冲的表示式

余弦电流脉冲是由脉冲高度 I_{CM} 和通角 θ_c 来决定的. 只要知道这两个值, 脉冲形状便可完全确定.

在已知条件下, 通过理想化正向传输特性求出集电极电流脉冲, 可用下图来说明.

丙类状态下集电极电流波形图

设激励信号为 $u_{BE} = U_{BM} \cos \omega t$, 则. 而晶体管理想化正向传输特性可表示为 $i_C = I_{CS} \sin \theta$, 将 u_{BE} 代入式中, 可得

当时, $\theta = \theta_c$, 代入上式中可得

上式表明, 已知 V_{BB} , U_{BM} 和 U_{BZ} 可确定高频功率放大器的半通角 θ_c , 有时也称为通角. 通常用 $\theta_c = 180^\circ$ 表示甲类放大; $\theta_c = 90^\circ$ 表示乙类放大; $\theta_c < 90^\circ$ 表示丙类放大. 但是, 必须注意的是高频功率放大器的实际全通角为 $2\theta_c$.

当时, $\theta = 0$, 可得

得集电极余弦电流脉冲的表示式为

余弦电流脉冲的分解系数

周期性的电流脉冲可以用傅里叶级数分解为直流分量、基波分量及高次谐波分量, 即 i_C 可写成为式(2)中

α_0 称为余弦电流脉冲分解系数. $\alpha_0(\theta_c)$ 为直流分量分解系数; $\alpha_1(\theta_c)$ 为基波分量分解系数; $\alpha_n(\theta_c)$ 为 n 次谐波分量分解系数. 这些分解系数在使用中, 通常不需要通过积分关系求出各个分量, 可以由下图或本章附录中查得. 图中给出了 α_0 、 α_1 、 α_2 、 α_3 和 $g_1 = I_{C1m} / I_{C0m}$ 与 θ_c 的关系曲线. 本章附录给出了不同 θ_c 值所对应的 α_0 、 α_1 、 α_2 和 g_1 的数据值.

余弦脉冲分解系数与 θ_c 的关系

《高频电子线路》课程教案

一、讲授题目: 高频功率放大器特性

二、教学目标

理解晶体管高频功率放大器的工作原理

三、教学重点难点

1、功率放大器的功率与效率

2、高频功率放大器的负载特性及动态特性

四、教学过程

可知,丙类高频功率放大器的 u_{ce} 和 i_{cE} 为

而集电极电流 i_{cE} 是脉冲状的周期函数,可分解为傅里叶级数。故丙类高频功率放大器的直流电源 V_{CC} 供给的输入直流功率为

因为谐振回路谐振于基波频率,并呈纯电阻 R_p ,对其他谐波的阻抗很小,且为容性;所以,只有基波电流与基波电压才能产生输出功率。高频一周的平均输出功率 P_o :

直流电源提供输入功率与高频输出功率之差是晶体管集电极损耗功率,即高频功率放大器的集电极效率为

式中,称为集电极电压利用系数;称为波形系数。

从上面各式,并参照脉冲分解系数与图 0 关系图,可看出:

(1) 在电压利用系数的理想条件下,甲类放大器的通角为 180° ,故甲类放大器的理想效率;乙类放大器的通角为 90° ,故乙类放大器的理想效率;丙类放大器的通角小于 90° ,故丙类放大器的理想效率,而越小,越高。

(2) 谐振高频功率放大器在谐振电阻 R_p 一定的条件下, $\eta = 120^\circ$ 时,输出功率最大,但是,集电极理想效率只有 66%;而 $\eta = 1.5 \sim 15^\circ$ 时,效率最高,输出功率却很小。故在实际运用中,为了兼顾高的输出功率和高的集电极效率,通常取 $\eta = 60^\circ \sim 80^\circ$ 的丙类工作状态。

丙类高频功率放大器的动态特性

在高频功率放大器的电路和输入、输出条件确定后,也就是在晶体管、电源电压 V_{CC} 和 V_{BB} 输入信号振幅 U_{cm} 和输出信号振幅 U_p (或 R_p) 一定的条件下, $i_c = f(u_{BE}, u_{CE})$ 的关系称为放大器的动态特性。

当放大器工作于谐振状态时,高频功率放大器的外部电路关系式为
由上二式可得

动态特性应同时满足外部电路和内部电路关系式,而内部关系式是由晶体管折线化的正向传输特性所决定。对于导通段,即
可得

显然,上式是一个直线方程。斜率为,在轴上的截距为

若已知高频功率放大器晶体管的理想化输出特性和外部电压 V_{CC} 、 V_{BB} 、 U_{cm} 和 U_p 的值,如何求出动态特性和电流、电压波形呢?通常可以采用截距法和虚拟电流法。

* 截距法。

用截距法求动态特性

* 虚拟电流法。

虚拟电流法求动态特性

功率放大器通常是按晶体管集电极电流通角 θ 不同划分为甲类、乙类和丙类放大器。谐振功率放大器的工作状态是指处于丙类或乙类放大时,在输入信号激励的一周内,是否进入晶体管特性曲线的饱和区来划分,它分为欠压、临界和过压三种状态,用动态特性能较容易区分这三种工作状态。

下图给出了丙类谐振高频功率放大器的三种不同工作状态(欠压、临界和过压)的电压和电流波形。

丙类高频功率放大器的三种工作状态

丙类高频功率放大器的负载特性

负载特性是指在晶体管及 V_{CC} 、 V_{BB} 、 U_{cm} 一定时,改变回路谐振电阻 R_p ,高频

R 变化的关系。

晶体管一定,是指理想化特性一定,即 g_c 、 U_{bz} 不变^p。采用虚拟电流法可求出不同 R 值对应的动态特性,可清楚地分析负载特性。动态特性的斜率 g_d 与 R_p 的关系是^p

丙类高频功率放大器的负载特性

各级电压变化对工作状态的影响

1、改变集电极电源电压对工作状态的影响

改变 VCC 对电流和功率的影响

2、改变 U_{bm} 对工作状态的影响

改变 U_{bm} 对工作状态的影响

改变 U_{bm} 对电流和功率的影响

3、改变 V_{BB} 对工作状态的影响

改变 V_{BB} 对工作状态的影响

《高频电子线路》课程教案

一、讲授题目：丙类功率放大电路

二、教学目标

熟悉功率放大器的馈电电路和匹配网络

三、教学重点难点

1、馈电电路组成原则

2、匹配网络原理

四、教学过程

丙类高频功率放大器是由输入回路、晶体管和输出回路组成。输入、输出回路在功率放大器中的作用是,(1)提供放大器所需的正常偏置;(2)实现滤波(调谐于基波频率);(3)保证阻抗匹配。

也可认为输入、输出回路它是由直流馈电电路和匹配网络两部分组成。

一、直流馈电电路

晶体管高频功率放大器的直流馈电电路分为集电极馈电电路和基极馈电电路两类。

(一) 集电极馈电电路

集电极直流馈电有串联馈电和并联馈电两种形式。晶体管、负载回路和直流电源组成串联连接形式称为串联馈电;晶体管、负载回路和直流电源组成并联连接形式称为并联馈电。

图(a)是串联馈电电路。

图(b)是并联馈电电路。

集电极电路的两种馈电形式

(二) 基极馈电电路

基极馈电电路的组成也有串联馈电和并联馈电两种形式,如图所示。

基极电路的两种馈电形式

下图是谐振功率放大器的自给反向偏置电路。图(a)所示利用基极电流的直流分量, I_{BO} 在基极电阻 R_b 上的压降产生自给负偏压。图所示利用发射极电流的

I_{E0} 在 R 上的压降产生自给负偏压。其优点是利用发射极电流直流分量的负反馈作用，有利于工作状态的稳定。在功率放大器输出功率大于 1 W 时，通常采用自给反向偏置电路。

自给反向偏置电路

二、匹配网络

在发射机中，为了获得大的高频输出功率，通常可采用多级高频功率放大的方式。根据丙类功率放大器在发射机中所处位置的不同，常将丙类功率放大器所采用的匹配网络分为输入、输出和级间耦合三种电路。输入匹配网络用于信号源与丙类功率放大器之间；输出匹配网络用于输出级与天线负载之间；级间耦合匹配网络用于丙类功率放大器的推动级与输出级之间。这三种匹配网络都可以采用由 L 和 C 组成的 L 形、 π 形或 T 形这样的基本网络。匹配网络在电路中的作用是实现滤波与阻抗匹配。

（一）输入匹配网络

由于高频功率晶体管的输入阻抗实数部分的数值一般很小，通常只有几欧，而信号源的内阻比晶体管输入电阻要高。为了使信号源的功率有效地加到高频功率晶体管的发射结上，可采用输入匹配网络来实现低输入电阻与高信号源内阻的匹配。下图所示是常用的输入匹配网络。

输入匹配网络图

（二）级间耦合匹配网络

下图所示是常用的级间耦合匹配网络。

级间耦合匹配网络

（三）输出匹配网络

下图所示是常用的输出匹配网络。

输出匹配网络

《高频电子线路》课程教案

一、讲授题目：振幅调制电路

二、教学目标

掌握普通调幅波的调制方法，频谱分析

三、教学重点难点

1、普通调幅波的数学表示式及其频谱

2、调幅波的功率关系

四、教学过程

调制是通信系统中的重要的环节。通信系统的主要目的是实现远距离地不失真地传送信息。所需传送的信息通过换能器转换成电信号，此电信号是占有一定频谱宽度的低频信号，通常称为基带信号。直接将基带信号进行传输，要实现多路远距离传输是困难的。通常是将基带信号加载到高频信号上去，用高频信号作为运载工具，这样就能较好地实现多路有选择性的远距离通信。将需传送的基带信号加载到高频信号上去的过程称为调制。

一、普通调幅波的数学表示式及其频谱

若载波信号电压为，调制信号为，根据定义，普通调幅波的振幅为

其中, Ω 和 F 分别为调制信号的角频率(单位为 rad/s) 和频率(单位为 Hz), 通常满足。根据调幅波的定义

式(5—4)就是单频调制时普通调幅波的表示式。式中 $U'_m(t)$ 称为包络函数。它是由调幅波各高频周期峰值连成的一条曲线, 而 $m = k_a U_a / U_{cm}$ 。其中, k_a 为比例系数, m 称为调幅指数(调幅度)。普通调幅波的波形如图5—1所示。从图中可以看到, 已调波的包络形状与调制信号一样, 称之为不失真调制。从调幅波的波形上看出包络的最大值 $U_{m\max}$ 和最小值 $U_{m\min}$ 为

故可得

由上式可看出, 不失真调制时 $m \leq 1$, 若 $m > 1$, 则已调波包络形状与调制信号不一样, 产生严重失真, 这种情况称为过量调幅, 必须尽力避免, 其波形如图所示。

调幅波波形

过量调幅波形图

为了说明调制的特征, 还常用频域表示法, 即采用频谱图。可以利用三角公式将其展开为

这表明单频信号调制的调幅波由三个频率分量组成, 即载波分量 ω_c 、上边频分量 $\omega_c + \Omega$ 和下边频分量 $\omega_c - \Omega$, 其频谱如图所示。显然, 载波分量并不包含信息, 调制信号的信息只包含在上、下边频分量内, 边频的振幅反映了调制信号振幅的大小, 边频的频率虽属于高频的范畴, 但反映了调制信号频率与载波的关系。实际上, 调制信号是含有多个频率比较复杂的信号。如调幅广播所传送的语言信号频率约为 $50 \text{ Hz} \sim 3.5 \text{ kHz}$, 经调制后, 各个语言频率产生各自的上边频和下边频, 叠加后形成了所谓上边频带和下边频带, 如图所示。因为上、下边频振幅相等且成对出现, 所以上、下边频带的频谱分布相对载波是对称的, 其数学表示式可写为

因为多频调制时各个低频分量的振幅并不相等, 因而调幅指数 m 也不相同, 所以就整个调幅波来说, 常引用平均调幅指数的概念。大量实验表明, 未经加工处理的语言信号的平均调制系数为 $0.2 \sim 0.3$ 。

由调幅波的频谱图可以看出, 调制过程实质上是一种线性频谱搬移过程。经过调制后, 调制信号的频谱由低频被搬移到载频附近, 成为上、下边频带。

单音调制的调幅波频谱图 多音调制的调幅波

二、普通调幅波的功率关系

为了分清调幅波中各频率分量的功率关系, 通常将调幅波电压加在电阻 R 两端, 电阻 R 上消耗的各频率分量对应的功率可表示为

(1) 载波功率

(2) 每个边频功率

(3) 调制一周内的平均总功率

上式表明, 调幅波的输出功率随着 m 增大而增大, 当 $m=1$ 时, $P_{\text{OT}} = 2P_c / 3$, 而 $P_{\text{OT}} = P_c + P_{\text{sb}} + P_{\text{sb}}$, 这说明当 $m=1$ 时, 包含信息^{OT}的上、下边频功率之和只占总输出功率的 $1/3$, 而不含信息的载波功率却占了总输出功率的 $2/3$ 。从能量观点看, 这是一种很大的浪费。而实际调幅波的平均调幅指数为 0.3 , 其能量的浪费就更大。这是普通调幅制本身固有的缺点。目前这种调制只应用于中、短波无线电广播系统中, 而其他通信系统采用另外的调制方式。

因为载波本身并不包含信息，而且还占有较大的功率，为了减小不必要的功率浪费，可以只发射上、下边频，而不发射载波，称为抑制载波的双边带调幅信号，用 **DSB** 表示。这种信号的数学表示式为

单频调制的双边带信号波形如图所示。

因为双边带信号不包含载波，它的全部功率都为边带占有，所以发送的全部功率都载有信息，功率有效利用率高于 **AM** 制。因为两个边带的任何一个边带已经包含调制信号的全部信息，所以可以进一步把其中的一个边带抑制掉，而只发射一个边带，这就是单边带调幅波，用 **SSB** 表示。其数学表示式为

从上两式看出，单边带调幅波的频谱宽度只有两边带的一半，其频带利用率高，在通信系统中是一种常用的调制方式。对于单频调制的单边带信号，它仍是等幅波，但它与原载波电压是不同的，它含有传送信息的特征

双边带调幅信号的波形

四。振幅调制电路的功能

振幅调制电路的功能是将输入的调制信号和载波信号通过电变换成高频调幅信号输出。当输入调制信号，载波信号时，普通调幅波调幅电路的输出电压是，双边带调幅波调幅电路的输出电压是，而单边带调幅波调幅电路的输出电压是或。普通调幅波调幅电路输出频谱为、，双边带调幅电路输出频谱为，单边带调幅电路输出频谱为或。

振幅调制电路的功能也可用输入、输出信号的频谱关系来表示。图所示是三种调幅电路的输入、输出信号的频谱关系。

三种调幅电路的频率变换关系

五、振幅调制电路的分类及要求

在调幅无线电发射机中，按实现调幅级电平的高低可分为低电平调幅电路和高电平调幅电路。

低电平调幅是先在低功率电平级进行振幅调制，然后再经过高频功率放大器放大到所需要的发射功率。由于低电平调幅电路的功率较小，对调幅电路来说，输出功率和效率不是主要指标，重点是提高调制的线性，减少不需要的频率分量的产生和提高滤波性能。

高电平调幅是直接产生满足发射机输出功率要求的已调波。它是利用丙类高频功率放大器在改变 V_{CC} 或 V_{BB} 时具有调幅特性这一特点来实现。它的优点是整机效率高。设计时必须兼顾输出功率、效率和调制线性的要求。通常高电平调幅只能产生普通调幅波。

六。振幅调制电路的基本组成原理

从振幅调制电路的功能可以看出，在输入载波频率和调制信号频率时，要实现普通调幅波调幅或双边带调幅波调幅，必须通过调幅电路产生新的频率分量。因此，调幅电路的主要器件应是非线性器件，其特性必须含有载波信号和调制信号的乘积项。集成模拟乘法器和具有平方律特性的二极管等都能完成调幅功能。集成模拟乘法器能实现载波信号和调制信号两电压相乘二极管是利用两输入信号相加即，经二极管特性的平方项产生和的乘积项实现调幅。一般来说，振幅调制电路是由输入回路、非线性器件和带通滤波器三部分组成。输入回路的作用是将载波信号和调制信号直接耦合或相加后直接加到非线性器件上。非线性器件（乘法器、二极管、三极管）的作用是实现产生新的频率。带通滤波器的作

用是取出调幅波的频率成分，抑制不需要的频率成分。

《高频电子线路》课程教案

一、讲授题目：低电平调幅电路

二、教学目标

掌握各种低电平调幅电路

三、教学重点难点

1、二极管调幅电路原理

四、教学过程

一、单二极管开关状态调幅电路

所谓开关状态，是指二极管在两个不同频率电压作用下进行频率变换时，其中一个电压振幅足够大，另一电压振幅较小，二极管的导通或截止将完全受大振幅电压的控制，可近似认为二极管处于一种理想的开关状态。

设二极管 D 在两个大小不同的信号作用下，如图所示。 $u_1(t)$ 是一个小信号， $u_2(t)$ 是一个振幅足够大的信号。二极管 D 主要受到信号 $u_2(t)$ 的控制，工作在开关状态。设

在 $u_2(t)$ 的正半周，二极管导通，通过负载 R_L 的电流为

二极管开关状态原理电路

其中， r_d 为二极管的导通电阻。在 $u_2(t)$ 的负半周，二极管截止，通过负载的电流为零。因此，电流 i 可用下式表示：

若将二极管的开关作用以开关函数式来表示，可得

开关的控制信号及开关函数

则电流可表示

因为 $u_2(t)$ 是周期性信号，所以开关函数也是周期性函数，其周期与 $u_2(t)$ 的周期相同。图表示控制信号 $u_2(t)$ 的作用下开关函数的波形。它是振幅为 1 的矩形脉冲序列。因为 K 是周期性函数，故可将其展开为傅里叶级数，用 $K(\omega_2 t)$ 表示。

显然，开关函数的傅里叶展开式中只含直流分量、基波和奇次谐波分量。

可得

可以看出，电流 i 中包含以下频谱成分：

- ① u_1 和 u_2 的频率成分。
- ② u_1 和 u_2 的和频和差频。
- ③ u_1 的频率和 u_2 的各奇次谐波频率的和频和差频。
- ④ u_1 的偶次谐波频率。
- ⑤ 直流成分。

负载上得到的输出电压将只包含 ω_c 、 $\omega_c \pm \Omega$ 三个频率成分。这正是普通调幅波。因此，上述电路是单二极管开关状态调幅电路，只能实现普通调幅波的调幅。

二、二极管平衡调幅电路

二极管平衡调幅电路如图所示。设图中的变压器为理想变压器，其中， Tr_2 的一、二次绕组匝数比为 1:2， Tr_3 的一、二次绕组匝数比为 2:1。在 Tr_2 一次侧

输入调制电压。在 Tr 输入载波电压。在 U_{cm} 足够大的条件下, 二极管 D_1 、 D_2 均工作于受 $u_c(t)$ 控制的开关状态, 其导通电阻为 r_c 。

设流过二极管 D_1 的电流为 i_1 , 流过二极管 D_2 的电流为 i_2 , 它们的流向如图所示。在开关工作状态, $u_c(t)$ 为大信号, 对 D_1 来说, $u_c(t)$ 的正半周导通, 负半周截止。对 D_2 来说, $u_c(t)$ 的正半周导通, 负半周截止。它们的开关函数都是 $K(\omega_c t)$ 。因此, 电流 i_1 和 i_2 应为

二极管平衡调幅电路

根据变压器 Tr 的同名端及假设的二次侧电流 i 的流向, 由于 i_1 和 i_2 流过 Tr 一次侧的方向相反, 所以, 电流 i 为

由上式可见, i 中包含 ω 、 ω_c 等频率分量。

三、 二极管环形调幅电路

环形调制器与平衡调制器的差别是多接了两只二极管 D_3 和 D_4 , 它们的极性分别与 D_1 和 D_2 的极性相反, 这样, 当 D_1 和 D_2 导通时, D_3 和 D_4 是截止的; 反之, 当 D_1 和 D_2 截止时, D_3 和 D_4 是导通的。因此, 接入 D_3 和 D_4 不会影响 D_1 和 D_2 的工作。于是, 环形调制器可看成由两个平衡调制器组成。

其中, 一个平衡调制器中的晶体二极管 D_1 和 D_2 仅在 $u_c(t)$ 的正半周导通, 其开关函数为 $K(\omega_c t)$, 流过输出负载电阻 R 的电流为

另一个平衡调制器电路中的晶体二极管仅在的负半周内导通, 其开关函数为, 流过输出负载 R_L 的电流为(其电流方向如图所示)

式中,

因此, 流过 R 的总电流为

由上式可见, 与平衡调制器比较, 进一步抵消了 ω_c 分量, 而且各分量的振幅加倍。通过带通滤波器可取出频率为 ω 的电流在 R 上建立的双边带调幅电压。

《高频电子线路》课程教案

一、讲授题目：高电平调幅电路

二、教学目标

理解高电平调幅电路工作原理

三、教学重点难点

集电极调幅, 基极调幅的原理

四、教学过程

集电极调幅电路

如图所示是集电极调幅原理电路。低频调制信号 u_m 与丙类放大器的直流电源 V_{CT} , 相串联, 因此放大器的有效集电极电源电压 V_{cc} 等于两个电压之和, 它随调制信号变化而变化。图中的电容器 C' 是高频旁路电容, 它的作用是避免高频电流通过调制变压器 Tr_3 的二次绕组以及 V_{CT} 电源, 因此它对高频相当于短路, 而对调制信号频率应相当于开路。

图 集电极调幅电路

对于丙类高频功率放大器,当基极偏置 V_{BB} 、激励高频信号电压振幅 U_{bm} 和集电极回路阻抗 R_p 不变,只改变集电极有效电源电压时,集电极电流脉冲在欠压区可认为不变。而在过压区,集电极电流脉冲幅度将随集电极有效电源电压 V_{cc} 变化而变化。因此,集电极调幅必须工作于过压区。

设基极激励信号电压为 $U_{bm}\cos\omega t$,则基极瞬时电压为 $v_{be}=V_{BB}+U_{bm}\cos\omega t$,又设集电极调制信号电压为 $U_m\cos\Omega t$,则集电极有效电源电压为

式中,调幅指数

当时,则

在载波状态时, $U_m=0$ 。此时 i_{c0} 、 P_{CT} 、 P_{ce} 、 η_c 其对应的功率和效率为:

直流电源 V_{CT} 输入功率

载流输出功率

集电极损耗功率

集电极效率

则对应的各项功率和效率为:

有效电源输入功率

高频输出功率

集电极损耗功率

集电极效率

(常数)

以上各式说明,在调制波峰处所有的功率都是载波状态相应功率的 $(1+m_a)^2$ 倍,集电极效率不变。

在调制信号(音频)一周内的电流与功率的平均值

由此得出一个重要结论:在线性调幅时,集电极被调丙类放大器的平均直流电流不变。

由集电极有效电源电压 V_{cc} 供给被调放大器的总平均功率为

式中,由集电极直流电源 V_{cc} 所供给的平均功率则为

由调制信号源所供给的平均功率为

在调制一周期内的平均输出功率为

在调制信号一周期内平均集电极损耗功率为

在调制一周内的平均集电极效率则为

常数

综上所述，可得出如下几点结论：

①集电极调幅必须工作于过压区。②在调制信号一周内的平均功率都是载波状态对应功率的 $(1+m_a^2/2)$ 倍。③总输入功率分别由 V_{CT} 和 V_{CT} 所供给， V_{CT} 供给用以产生载波功率的直流功率 P_{CT} ，则供给用以产生边带功率的平均输入功率 P 。④集电极平均损耗功率等于载波点的损耗功率的 $(1+m_a^2/2)$ 倍，应根据这一平均损耗功率来选择晶体管，以使 $P_{CM} > P_{cav}$ 。⑤在调制过程中，效率不变，这样可保证集电极调幅电路处于高效率下工作。⑥因为调制信号源需提供输入功率，故调制信号源 一定要是功率源，大功率集电极调幅就需要大功率的调制信号源，这是集电极调幅的主要缺点。

基极调幅电路

如图所示是基极调幅电路。图中， $C1$ 、 $C2$ 为高频旁路电容； $C2$ 为低频旁路电容； $Tr1$ 为高频变压器； $Tr2$ 为低频变压器； LC 回路谐振于载波频率 ω_c ，通频带为 $2\omega_{Max}$ 。基极调幅电路的基本原理是利用丙类功率放大器在电源电压 V_{CC} 输入信号振幅 U_{bm} 、谐振电阻 R_P 不变的条件下，在欠压区改变 V_{BB} ，其输出电流随 V_{BB} 变化这一特点来实现调幅的。在实际电路中，由于集电极电流中的 I_{CO} ， I_{CIM} 随 V_{BB} 的变化线性范围较小。因而，调制的范围将会受到一定的限制。

基极调幅电路的特点是：必须工作于欠压区；载波功率和边频功率都由直流电源 V_{CC} 提供；调制过程中效率是变化的，只能用于输出功率小、对失真要求不严的发射机中。

图 基极调幅电路

《高频电子线路》课程教案

一、讲授题目：检波

二、教学目标：理解检波电路的工作原理，

三、教学重点难点

包络检波（大信号检波电路，小信号检波电路），同步检波电路原理

四、教学过程

调幅信号的解调是振幅调制的相反过程，是从高频已调信号中取出调制信号。通常将这种解调称为检波。完成这种解调作用的电路称为振幅检波器，一般简称

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/166152114005010102>