

《高频电子线路》课程思政教学案例（一）

开课学院：电子信息工程学院

制作人：曹晖

课程名称	高频电子线路	授课对象所属专业	电子信息工程专业
课程类型	专业课	开课年级	大三（上）
课程性质	必修课	课程总学时	80

一、课程简介

《高频电子线路》是电子信息工程本科专业一门实践性很强的核心课程，它主要研究无线电通信系统中信号的产生、传输与处理。课程建设过程中，遵循“OBE”教育理念，坚持以学生为中心、企业需求为导向，产教融合，创新发展。经过十多年的课程建设，《高频电子线路》课程 2008 年被评为校精品课程，2014 年被评为校精品资源共享课，2021 年被评为校级“线下一流课程”。

通过本课程的学习，可使学生掌握高频电路的基本原理和基本分析、计算和设计方法，以及实验操作技能。在实现培养目标的过程中，本课程起到增强学生对通信电路工作适应能力和开发创新能力的作用，也可为学习后续课程和专业技术工作打下基础。

二、案例基本信息

- 1.案例名称：无线电通信系统的发展与构成
- 2.对应章节：第一章第 1 节
- 3.课程讲次：第 1 次

三、案例教学目标

1.知识目标：学生能够掌握和理解通信系统的内涵、发展以及架构；掌握各类通信系统的工作要求；理解通信系统的要求如何影响电路的设计；了解我国与通信有关的重大工程和国家战略。

2.能力目标：学生获得自我学习的能力、建立自我跟踪技术前沿的意识、形成总结技术发展的习惯。

3.价值目标：通过学习通信发展的历程，提高科学素养；通过了解我国的通信领域的重大工程，树立民族自信心；通过学习通信系统的应用，建立工程意识。

四、案例主要内容

1、课堂上简要介绍近代从第一代到第五代移动通信的发展历程，树立中国特色社会主义道路自信、理论自信、制度自信、文化自信。

2、“高频”主要讲授无线模拟通信系统组成及实现；调制与解调的概念。

3、课后学习视频：中国通信 30 年——从一无所有到世界最强，学生在讨论区谈一谈感悟。

4、课后查资料：无线通信电子器件发展历史过程中几次里程碑，经历过怎样的讨论和争鸣？

五、案例教学设计

1.案例导入

课前学习通平台发布：

世界无线电日是哪一天？

无线电技术有哪一些应用？

广播、电视、手机、微波炉、探月、量子通信

我国有哪一些无线电技术世界领先？

2. 教学方法

(1) 问题导入

①提问：世界无线电日：2月13日，

应用：（自由发言），引出探月、火星探测、天眼、量子通信等

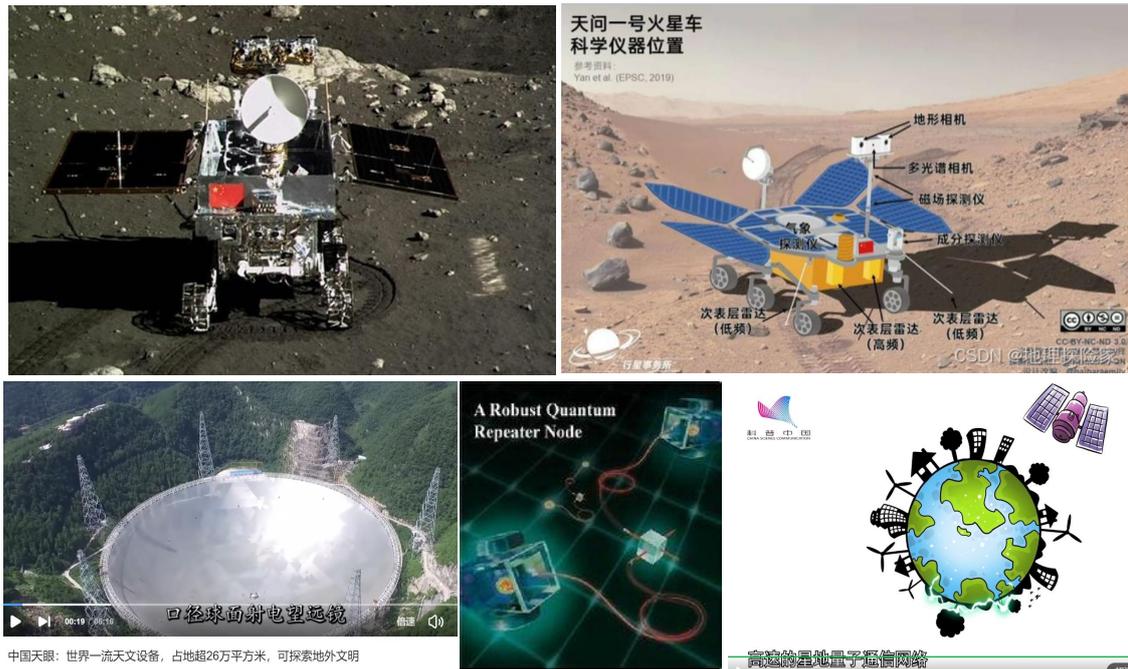


图 1 通信在新科技中应用

②无线电通信历史 (学习通视频), 无线电之父马可尼, 用电磁波进行 2 公里的无线电通信实验并获得成功, 后来又发明了定向天线, 并于 1909 年与布劳恩一起获得了诺贝尔物理学奖。在实验的过程中, 马可尼勇于探索, 积极思考, 经历了重重困难, 最终获得了成功, 为人类的无线通信奠定了坚实基础。通过这些优秀的案例, 使得学生在今后的学习工作中, 能够乐观面对, 积极主动地思考, 勇于探索新的世界。





图 2 无线电通信历史简介

③课堂上简要介绍近代从第一代到第五代移动通信的发展历程，中国在第四代、第五代移动通信系统上表现突出，尤其是在量子通信方面处于全球领先地位。这些成就都是在中国共产党坚持改革开放的基本国策下取得的，通过简短讲解让学生充分树立中国特色社会主义道路自信、理论自信、制度自信、文化自信，这也是我国逐步进入世界舞台中央的体现。

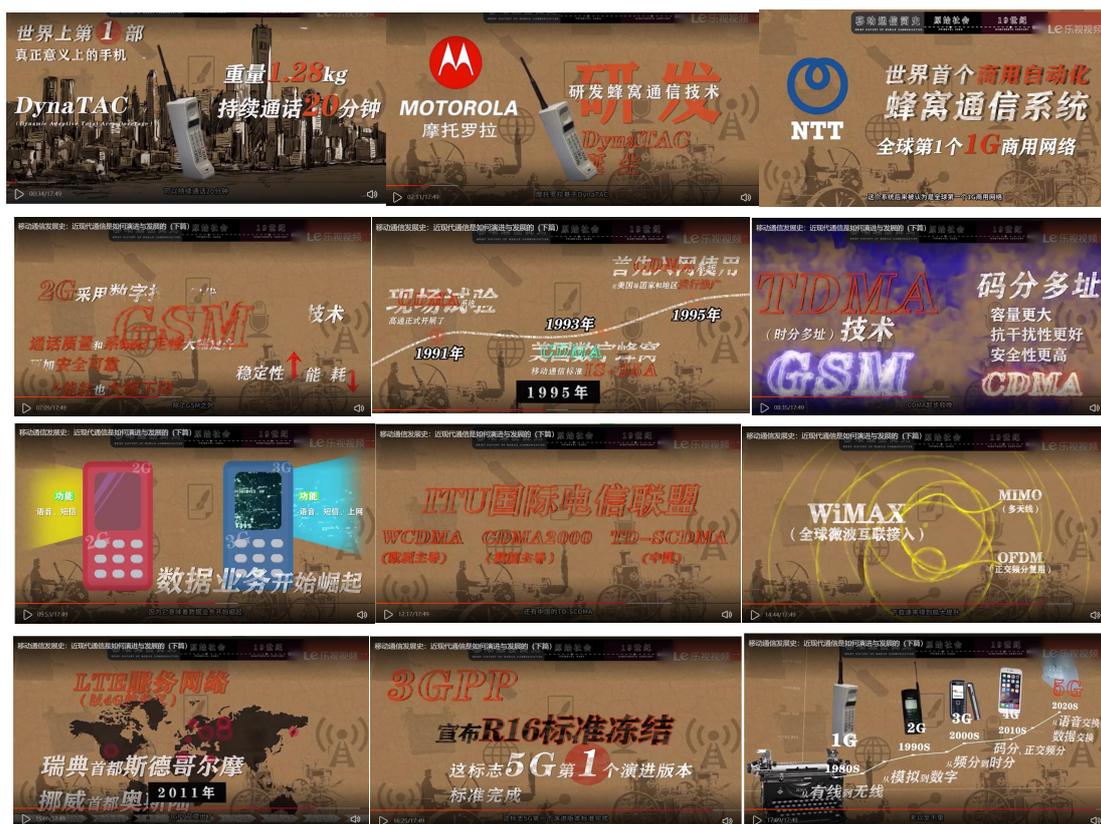
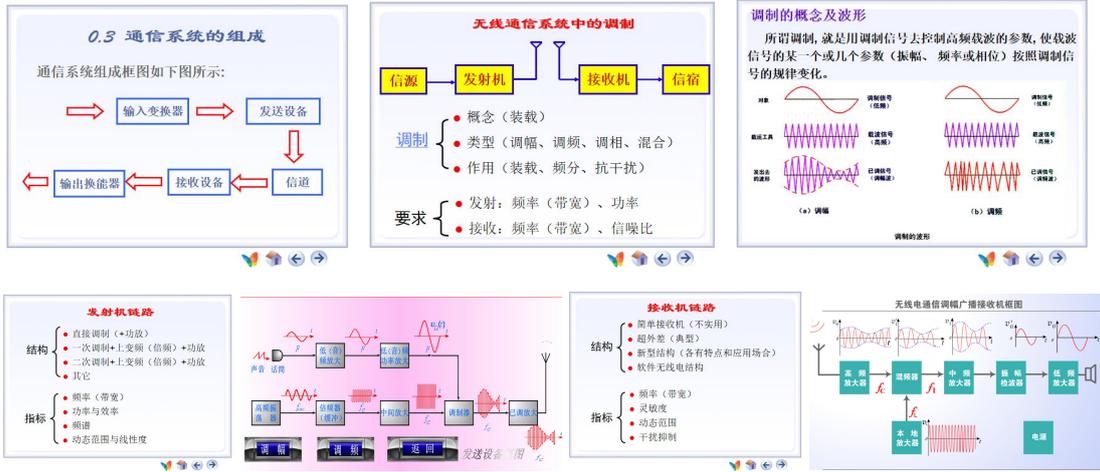


图 3 第一代到第五代移动通信的发展历程

④由信号传输，引入调制与解调的概念、“高频”无线模拟通信系统组成及实现，建立系统与工程应用思维。



⑤课程学习方法与考核要求



针对课程特点，介绍线上线下混合式教学学习方法和考核要素。

3、课后学习视频：中国通信 30 年——从一无所有到世界最强，学生在讨论区谈一谈感悟。

4、课后查资料：无线通信电子器件发展历史过程中几次里程碑，经历过怎样的讨论和争鸣？学生在讨论区谈一谈技术创新的作用和感悟。从信息技术的重要性，引导专业认可、专业热爱。通过学习，学生认识到科学思维在大学生活中的重要性。

六、教学反思

本节课教学过程中，使用问题导向，在无线电通信发展介绍中，引入了“近代我国在无线电通信中的重大工程”这一思政素材，引导学生树立专业自信，激发自豪感和勇于探索的创新精神。在通信系统知识点介绍中，采用图解法、类比法，帮助理解调制、解调的基本概念，及其在通信系统构成中的应用，突出系统特性，引导学生积极思考，加深知识理解记忆。由于教学团队教师思政教学能力有限，今后需加强团队教师课程思政教学能力培养方面的学习和交流，能够

在课程教学中潜移默化的融入思政元素，激发学生的学习主动性，提高专业课程教学质量。

《高频电子线路》课程思政教学案例（二）

开课学院：电子信息工程学院

制作人：曹晖

课程名称	高频电子线路	授课对象所属专业	电子信息工程专业
课程类型	专业课	开课年级	大三（上）
课程性质	必修课	课程总学时	80

一、课程简介

《高频电子线路》是电子信息工程本科专业一门实践性很强的核心课程，它主要研究无线电通信系统中信号的产生、传输与处理。课程建设过程中，遵循“OBE”教育理念，坚持以学生为中心、企业需求为导向，产教融合，创新发展。经过十多年的课程建设，《高频电子线路》课程 2008 年被评为校精品课程，2014 年被评为校精品资源共享课，2021 年被评为校级“线下一流课程”。

通过本课程的学习，可使学生掌握高频电路的基本原理和基本分析、计算和设计方法，以及实验操作技能。在实现培养目标的过程中，本课程起到增强学生对通信电路工作适应能力和开发创新能力的作用，也可为学习后续课程和专业技术工作打下基础。

二、案例基本信息

- 1.案例名称：C 类功放工作原理
- 2.对应章节：第三章第 2 节
- 3.课程讲次：第 11 次

三、案例教学目标

1.知识目标：学生能够掌握和理解功率提高的方法；从系统的角度理解丙放工作要求，掌握丙放工作原理；理解通信系统的要求如何影响电路的设计；

2.能力目标：学生获得自我学习的能力、建立自我跟踪技术前沿的意识、形成总结技术发展的习惯。

3.价值目标：通过学习，树立无私奉献、协同发展的价值观；通过了解我国的最新科技成果，树立民族自信心；通过学习通信系统的应用，建立工程意识。

四、案例主要内容

- 1.功放在通信系统的位置，推得高频功放性能要求（高功率、高效率）
- 2.由图解法、比较法定性推导提高效率与工作点关系
- 3.C类功放工作原理，从集电极电流出发分析其提高效率的方法。
- 4.结合教学内容引入“发展的普遍性原理”、“无私奉献，协同发展的价值观”思政要素。

五、案例教学设计

1.案例导入

课前学习通平台发布：

功放在通信系统的位置，推得高频功放性能要求（高功率、高效率）

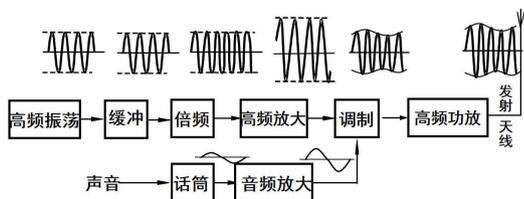


图1 无线电广播发射调幅系统框图

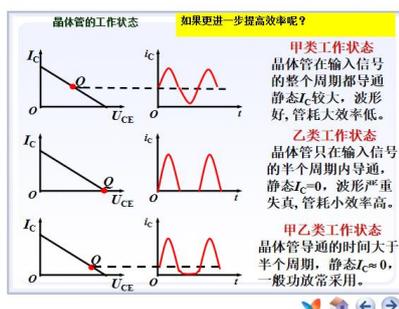
2.教学方法

(1) 问题导入：

通信系统框图，突出功放需要的特性：高功率、高效率。

采用比较法，由工作点位置移动，看功放效率的提升方法。

引出思政要素——**发展的普遍性原理**：发展的实质是事物的前进和上升，是新事物的产生和



旧事物的灭亡。用联系和发展的观点看待 A、AB、B、C 类功放提高效率的原理，利用唯物辩证法分析这类谐振功率放大器的优缺点。

(2) C 类功放工作原理：

2.2 高频功率放大器的工作原理

1 基本电路结构

除电源和偏置电路外，主要由三个部分组成：

晶体管：
大功率晶体管，能承受高电压，大电流， $f_T \uparrow$ 一般工作时发射极反偏(C类)；

输入激励电路： 提供所需信号电压；

输出谐振回路： (1) 滤波选频，(2) 阻抗匹配。

集电极电流 i_c

由于当 $\omega t = \theta_c$ 时，**导通角** $i_c = 0$

$$i_c = I_{cm} \frac{\cos \omega t - \cos \theta_c}{1 - \cos \theta_c}$$

尖顶余弦脉冲的数学表达式

$i_{c1} = -i_c R_p = -I_{cm} R_p \cdot \cos \omega t = -U_{cm1} \cos \omega t$

而晶体管集电极的输出电压： $u_{ce} = E_c - U_{cm1} \cos \omega t$

(2) 集电极输出电压

i_c 经 LC 并联谐振回路后，此回路对基波产生谐振，呈纯电阻 R_p ， i_{c1} (最大值)，而对其它谐波失谐阻抗很低，呈电感性。因而回路选出基波电压 u_{c1} ，而滤除各次谐波电压。

故回路输出的基波电压：

$$u_{c1} = -i_{c1} R_p = -I_{cm1} R_p \cdot \cos \omega t = -U_{cm1} \cos \omega t$$

而晶体管集电极的输出电压： $u_{ce} = E_c - U_{cm1} \cos \omega t$

三极管四种工作状态

根据正弦信号整个周期内三极管的导通情况划分

甲类： 通角等于 180°

乙类： 导通角等于 90°

甲乙类： 导通角大于 90° 、小于 180°

丙类： 导通角小于 90°

输出集电极电流为尖顶余弦脉冲，直接输出失真明显，导通角小于 90° ，说明晶体管工作在截止和放大两个区间。但由于尖顶余弦脉冲的周期性，可以用选频网络还原原正弦信号。学生在学习电路基础时，已经掌握晶体管工作的放大特性，它实现了信号的放大，而对于截止区却很少涉及研究。丙类功率放大器就是利用电流在截止区，其工作效率高的特点，实现了高频窄带信号的功率放大的功能。

引出思政要素——**无私奉献，协同发展的价值观**。可以发现，截止区是在背后默默支撑放大区外在的高光表现，通过截止区与放大区的科学关系，可以引申到只有无私奉献于截止区，才会有后续成功的放大区，最大限度的功率放大且效率提升，进而引出默默无闻，甘愿奉献的李强（研制出大功率无线电发射机，运用物理学分析，研究过各种无线电发射天线，演算出发射菱形天线的计算公式，对其它天线，如超低水平天线、德律风天线等也研究了计算公式）、张煦（在无线电通信领域做出了杰

出贡献，研制出中国共产党历史上第一部无线电秘密收发报机，为中国通信事业的发展奠定了基础。他积极筹建光纤通信研究机构，从教 60 余年，始终站在通信科技发展的前沿，引领中国通信事业的发展) 例子。正因为有了像李强这样很多人的付出，才会有才会有后续人才的高光绽放，才会有更多的科技成果不断涌现。

(3) 功率、效率的计算

由公式可推导出，导通角 70° 附近，可以满足高功率、高效率要求，但达不到效率 100%!! 需要进一步改进。

3、课后作业：①每个人查找一个甘于奉献、甘当人梯的先进人物，了解先进事迹，并在讨论区简要介绍。②资料查找：第三代半导体，我国在 5G 功放方面的现状、突破与差距。

六、教学反思

在本节课教学过程中，使用问题导向，从通信系统功放的位置与功能引入功放性能需求，采用比较法、图解法提出更高效率的 C 类功放以及特性，同时引入了“发展的普遍性原理”这一思政素材，引导学生树立科学的世界观、方法论。在 C 类功放原理介绍中，从晶体管集电极电流出发，采用图解法与公式分析相结合，得出 C 类功率放大器就是利用电流在截止区，其工作效率高的特点，实现了高频窄带信号的功率放大的功能，引出思政要素——**无私奉献，协同发展的价值观**，引导学生积极思考，加深知识理解记忆。由于教学团队教师思政教学能力有限，今后需加强团队教师课程思政教学能力培养方面的学习和交流，能够在课程教学中潜移默化的融入思政元素，激发学生的学习主动性，提高专业课程教学质量。

《高频电子线路》课程思政教学案例（三）

开课学院：电子信息工程学院

制作人：曹晖

课程名称	高频电子线路	授课对象所属专业	电子信息工程专业
课程类型	专业课	开课年级	大三（上）
课程性质	必修课	课程总学时	80

一、课程简介

《高频电子线路》是电子信息工程本科专业一门实践性很强的核心课程，它主要研究无线电通信系统中信号的产生、传输与处理。课程建设过程中，遵循“OBE”教育理念，坚持以学生为中心、企业需求为导向，产教融合，创新发展。经过十多年的课程建设，《高频电子线路》课程 2008 年被评为校精品课程，2014 年被评为校精品资源共享课，2021 年被评为校级“线下一流课程”。

通过本课程的学习，可使学生掌握高频电路的基本原理和基本分析、计算和设计方法，以及实验操作技能。在实现培养目标的过程中，本课程起到增强学生对通信电路工作适应能力和开发创新能力的作用，也可为学习后续课程和专业技术工作打下基础。

二、案例基本信息

- 1.案例名称：检波（2）
- 2.对应章节：第六章第 4 节
- 3.课程讲次：第 28 次

三、案例教学目标

1.知识目标：学生能运用专业基础知识，掌握包络检波和同步检波的基本原理，建立无线通信系统模型，结合系统学习检波电路的性能指标与实现。

2.能力目标：注重实践能力，培养在实际工程中通过分析、综合、归纳等方法解决实际问题的能力。

3.价值目标：能根据需求对参数、测量问题提出新观点、新实现方法，引入AGC，培养学生创新意识。

四、案例主要内容

1.了解无线电简史中马可尼、波波夫之争，引入思政要素——工程师必备的素养的培养：勇于实践、锲而不舍、善于借鉴、团队协作。

2.一句话总结（理解）包络检波构成及原理，由两个失真现象，掌握包络检波参数设置及设计方法

3.同步检波及应用

4.理论结合实际应用，拓展应用领域（AGC、功率检测），培养创新意识。

五、案例教学设计（线上线下混合式）

1.案例导入

课前：由“学习通”发布线上学习任务，并完成课前测验、包络检波、同步检波实验。



2.教学方法

课中：问题导入→课程讲解

①历史与故事，引入思政，扩展（课后）：趣味现象解释



②提问，包络检波为什么要大信号？包络检波原理

二极管峰值型包络检波器

1 基本电路结构

输入回路：相当于未级中放的输出回路，输入AM信号

二极管D：相当于一个非线性元件

输出回路：低通RC滤波网络

RC网络的基本功能：

对低频调制信号 u_{Ω} ，相当于检波负载，即 $\frac{1}{\Omega} (T_D) \gg RC$

对高频载波信号短路，即滤除高频信号，即 $\frac{1}{\omega_c} (T_c) \ll RC$

即在理想情况下，RC网络的阻抗为： $Z_{RC}(\omega) = \begin{cases} Z(\omega_c) = 0 \\ Z(\Omega) = R \end{cases}$

2 工作原理分析

峰值检波器的基本条件：检波器一般工作在大信号状态，输入信号要求大于0.5V，通常在1V左右。

检波过程：

- 在输入信号 u_i 的正半周，D导通， i_D 对C充电，使 $u_C = u_i$
- 当 u_i 最大值下降 $< U_C$ ，D截止，C通过R放电，($RC > T_D$)
- 当 u_i 的第二个正半周到来， U_C 能保持 u_i 的峰值略降
- 当 u_i 的第二个正半周到来，使 u_C 能保持在 u_i 的峰值电压上。

输出波形的特征有哪些？

输出电压 $u_o = U_{DC} + u_o$ 失真

峰值检波器的应用型输出电路如下图所示

该电路：可输出恢复的调制信号 u_{Ω} ，一般作为检波电路。

学生简要回答，老师补充说明，扩展（课后）：小信号怎么办？

③什么是线性检波？

(1) 传输系数：(检波系数或检波效率)

定义： $K_d = \frac{\text{输出低频交流电压振幅}}{\text{输入已调波包络振幅}} = \frac{U_{\Omega}}{mU_{\Omega}}$

若输入信号 $u_i = u_{AM} = U_{\Omega}(1+m \cos \Omega t) \cos \omega_c t$

输出信号为 $u_o(t)$ ，则在二极管两端的电压 $u_C = u_i - u_D = u_{AM} - u_D$

由折线近似法分析可知：
 $\therefore u_o(t) = U_{\Omega}(1+m \cos \Omega t) \cos \theta = U_{\Omega} \cos \theta + mU_{\Omega} \cos \theta \cos \Omega t$
 $= U_{DC} + U_{\Omega} \cos \Omega t$

可见 $u_o(t)$ 有两部分：

直流分量： $U_{DC} = U_{\Omega} \cos \theta$

低频调制分量： $u_{\Omega}(t) = U_{\Omega} \cos \Omega t$

其中 $U_{DC} = mU_{\Omega} \cos \theta$

\therefore 有 $K_d = \frac{U_{\Omega}}{mU_{\Omega}} = \frac{mU_{\Omega} \cos \theta}{mU_{\Omega}} = \cos \theta$

其中 θ 为电流导通角。

经折线近似计算： $\theta \approx \sqrt{\frac{3\pi}{g_s R}} \approx \sqrt{\frac{3\pi R_f}{R}}$

而 $g_s \approx \frac{1}{R_f}$ ， R_f 为二极管导通内阻。

可见 $u_o(t)$ 有两部分：

直流分量： $U_{DC} = U_{\Omega} \cos \theta$

低频调制分量： $u_{\Omega}(t) = U_{\Omega} \cos \Omega t$

讨论：①在大信号检波过程中，当D和R确定后， θ 为恒定值，与输入信号大小无关，亦即检波效率 $K_d = \cos \theta$ 恒定，与输入信号的值无关，输入与输出之间为线性关系，故称为线性检波。

一般计算方法为：当输入信号为： $u_i = U_{\Omega}(1+m \cos \Omega t) \cos \omega_c t$

则输出信号为： $u_o(t) = K_d U_{\Omega}(1+m \cos \Omega t)$

② 当 $R \uparrow \rightarrow \theta \downarrow \rightarrow K_d = \cos \theta \uparrow$

但 $K_d < 1$ 理想值 $K_d = 1$ 一般当 $g_s R > 50$ ， $K_d > 0.9$

$\theta \approx \sqrt{\frac{3\pi}{g_s R}} \approx \sqrt{\frac{3\pi R_f}{R}}$ 而 $g_s \approx \frac{1}{R_f}$ ， R_f 为二极管导通内阻。

老师讲解，回应网上提问

④RC 参数的作用

结合实验现象，比较两个失真

失真类型	惰性失真	底部切割失真
失真现象：		
失真原因：	输入AM信号包络的变化率 > RC放电的速率	检波器交流负载 < 直流负载
不失真条件：	$RC \leq \sqrt{\frac{1-m^2}{\Omega m}}$	$m \leq \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{R_1 // R_2}{R}$

实验现象及分析： 改变 ω_c 惰性失真 底部切割失真

检波器设计及元件参数选择的原则

- 回路有载 Q_L 要大：这应该从选择性及通频带的要求来考虑。
一般： $Q_L = \alpha C_1 (R_1 // R_2) \gg 1$
- 为保证输出的高频纹波小，要求： $RC \gg \frac{1}{\omega_c}$
- 为了减少低频输出信号的频率失真（一般低频信号为一个窄带信号）
要求： $\begin{cases} RC \ll \frac{1}{\Omega_{min}} & C \text{ 不影响上截止频率} \\ R_1 C_1 \gg \frac{1}{\Omega_{max}} & C_1 \text{ 不影响下截止频率} \end{cases}$
- 为了避免惰性失真：要求： $RC < \sqrt{\frac{1-m^2}{\Omega_{max} m}}$
- 为了避免底部切割失真： $m < \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 或 $\frac{R_1 // R_2}{R}$

提问：引起两个失真的参数？学生讨论、再回答

推出应用（设计要求）（学生集体提出）

⑤DSB、SSB 信号怎么解调？

三、同步检波(Synchronous Detection)

作用：主要解调DSB,SSB波,也可解调AM波。

同步检波器可分为：
 乘积型
 叠加型

注意：两种检波器都需要接收端恢复载波

1. 乘积型

设输入已调波： $u_{DSB} = U \cos \Omega t \cos \omega_c t$

而恢复的本地载波为： $u_c = U_c \cos(\omega_c t + \varphi)$

则相乘器输出为： $u_{DSB} \cdot u_c = U \cdot U_c \cos \Omega t \cos \omega_c t \cdot \cos(\omega_c t + \varphi)$

$= \frac{1}{2} U \cdot U_c \cos \Omega t [\cos(\omega_c + \omega_c + \varphi) + \cos(\omega_c - \omega_c + \varphi)]$

令 $(\omega_c - \omega_c) = \Delta \omega_c$ 则经低通滤波器后的输出信号为： $u_{\Omega} = \frac{1}{2} U \cdot U_c \cos \Omega t \cdot \cos(\Delta \omega_c t + \varphi)$

$= U_{\Omega} \cos \Omega t \cdot \cos(\Delta \omega_c t + \varphi)$

讨论：

(1) 当恢复的本地载波与发射端的调制载波同步（同频，同相），则有： $\Delta \omega_c = 0$ $\varphi = 0$ $\therefore u_{\Omega} = U_{\Omega} \cos \Omega t$
即无失真将调制信号恢复出来

(2) 若本地载波与调制载波有一定的频差，即： $\Delta \omega_c \neq 0$ $\varphi = 0$
则 $u_{\Omega} = U_{\Omega} \cos \Delta \omega_c t \cos \Omega t$
即引起振幅失真。

(3) 若本地载波与调制载波有一定的相位差，即： $\Delta \omega_c = 0$ $\varphi \neq 0$
则 $u_{\Omega} = U_{\Omega} \cos \varphi \cos \Omega t$
相当于引入一个振幅的衰减因子 $\cos \varphi$ ，如果 φ 随时间变化，也会引起振幅失真。

3.案例分析:

①案例一：概念题，基本要求

引导学生做分析，熟悉概念

例：若回路 $f_0 = 465\text{kHz}$
 $R_S = 12\text{k}\Omega$ $R_L = 6\text{k}\Omega$
 $r_D = 50\Omega$ $C = 0.01\mu\text{F}$

$i_S = (1 + 0.5 \cos 8\pi \times 10^3 t) \cos 2\pi \times 465 \times 10^3 t$ mA

求： u_0 的表达式，并检查是否会产生惰性失真。

解：检波器输入电阻 $R_i = \frac{1}{2}R - \frac{1}{2} \times 6 = 3\text{k}\Omega$

谐振电路有载等效电阻
 $R_p = R_S // R_i = 12 // 3 = 2.4\text{k}\Omega$

$\therefore u_i = i_S R_p = 2.4(1 + 0.5 \cos 8\pi \times 10^3 t) \cos 2\pi \times 465 \times 10^3 t$ V

$\therefore \theta = \sqrt{3\pi r_D / R} = \sqrt{3\pi \times 50 / 6 \times 10^3} = 0.428\text{rad}$ $\therefore k_d = \cos \theta = 0.91$

$u_0 = k_d U_i(t) = 0.91 \times 2.4(1 + 0.5 \cos 8\pi \times 10^3 t) = 2.2(1 + 0.5 \cos 8\pi \times 10^3 t)$ V

例：若回路 $f_0 = 465\text{kHz}$
 $R_S = 12\text{k}\Omega$ $R_L = 6\text{k}\Omega$
 $r_D = 50\Omega$ $C = 0.01\mu\text{F}$

$i_S = (1 + 0.5 \cos 8\pi \times 10^3 t) \cos 2\pi \times 465 \times 10^3 t$ mA

求： u_0 的表达式，并检查是否会产生惰性失真。

解：不会产生惰性失真的条件：

$$R_i C \leq \frac{\sqrt{1-m_a}}{\Omega m_a} = \frac{\sqrt{1-0.5^2}}{2\pi \times 4 \times 10^3 \times 0.5} = 69 \times 10^{-6}$$

而： $R_i C = 6 \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6} = 60 \times 10^{-6} < 69 \times 10^{-6}$

不会产生惰性失真

②案例二：设计题，较高要求

由“设计要求”，学生先讨论，再讲解，遇到问题谈自己设计体会，培养探索、应用能力

例：如图二极管大信号峰值包络检波电路，已知输入电路的空载Q值： $Q_0 = 100$ ，载波频率 $f_0 = 465\text{kHz}$ ， $L = 560\mu\text{H}$
 $R_L = 5\text{k}\Omega$ 。若要求输入回路的通频带 $BW = 30\text{kHz}$
 不产生惰性失真，并且再按上交流负载后不产生负峰切割失真，确定元件 R_1, R_2, C_1, C_2, C_3 的值。

$R_p = Q_0 \omega L = 100 \times 2\pi \times 465 \times 10^3 \times 560 \times 10^{-6} = 16353\text{ k}\Omega$

$\frac{R_1 + R_2}{2} // R_p = Q_0 \omega L = \frac{f_0}{BW} \omega L$

$= \frac{465 \times 10^3}{30 \times 10^3} \times 2\pi \times 465 \times 10^3 \times 560 \times 10^{-6} = 25\text{ k}\Omega$

$\frac{R_1 + R_2}{2} = R_p \Rightarrow R_1 = 2R_2 = 58\text{ k}\Omega$

不产生惰性失真：
 $(R_1 + R_2)(C_1 + C_2) \leq \frac{\sqrt{1-m_a^2}}{\Omega m_a} = \frac{\sqrt{1-0.5^2}}{2\pi \times 10^3 \times 0.5}$

$\therefore C_1 + C_2 \leq 4.755\mu\text{F}$

取 $C_1 + C_2 = 4\mu\text{F}$ $C_1 = C_2 = \frac{C_1 + C_2}{2} = 2\mu\text{F}$

不产生负峰切割失真： $\frac{R_2 // R_L + R_2}{R_1 + R_2} \geq m_a = 0.5$

$\Rightarrow R_1 \geq 24.66\text{ k}\Omega$
 $R_2 \leq 33.34\text{ k}\Omega$
 $R_1 + R_2 = 2R_2 = 58\text{ k}\Omega$

③案例三：分析计算，扩展应用

老师先介绍分析方法，讲解第一题，后面的相似问题，引导学生举一反三得理论结果

例：如图所示电路中，二极管为理想二极管， R_g 远大于 R ，若输入 u_i 为下式，试分别求 u_{01} 和 u_0 表达式：

(1) $u_1 = 3 \cos \omega_c t$;
 (2) $u_2 = 2 \cos \Omega t \cos \omega_c t$;
 (3) $u_3 = -2(1 + 0.6 \sin \Omega t) \cos \omega_c t$;
 (4) $u_4 = 3 \cos(\omega_c + \Omega)t$;
 (5) $u_5 = 3(1 - 0.5 \cos \Omega t) \sin[\omega_c t + \varphi(\Omega)]$;

解：(1) $u_{01} = 3V$ $u_0 = 0$

(2) $u_{01} = 2|\cos \Omega t|V$

$u_0 = 2|\cos \Omega t|V - \frac{2}{\pi} \times 2 = \frac{8}{\pi} \left(\frac{1}{3} \cos 2\Omega t - \frac{1}{15} \cos 4\Omega t + \dots \right)$

例：如图所示电路中，二极管为理想二极管， R_g 远大于 R ，若输入 u_i 为下式，试分别求 u_{01} 和 u_0 ：

(1) $u_1 = 3 \cos \omega_c t$;
 (2) $u_2 = 2 \cos \Omega t \cos \omega_c t$;
 (3) $u_3 = -2(1 + 0.6 \sin \Omega t) \cos \omega_c t$;
 (4) $u_4 = 3 \cos(\omega_c + \Omega)t$;
 (5) $u_5 = 3(1 - 0.5 \cos \Omega t) \sin[\omega_c t + \varphi(\Omega)]$;

解：(3) $\therefore u_3 = -2(1 + 0.6 \sin \Omega t) \cos \omega_c t = 2(1 + 0.6 \sin \Omega t) \cos(\omega_c t - \pi)V$

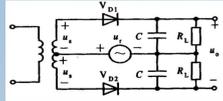
$\therefore u_{01} = 2(1 + 0.6 \sin \Omega t)V$ $u_0 = 1.2 \sin \Omega t V$

(4) $u_{01} = 3V$ $u_0 = 0$

(5) $u_{01} = 3(1 - 0.5 \cos \Omega t)V$ $u_0 = -1.5 \cos \Omega t V$

④案例四：理论分析，扩展应用

例 下图为一个平衡同步检波器电路， $u_1 = U_1 \cos(\omega_c + \Omega)t$ ， $u_2 = U_2 \cos \Omega t$ ， $U_2 \gg U_1$ 。求输出电压表表达式，并证明二次谐波失真系数为零。



题图分析：这是一个用三极管平衡电路构成的同步检波器，由于振幅调制、解调（同步检波）和混频都是频率的线性变换，故电路的基本形式是相同的，不同的是输入、输出回路和滤波器参数的不同。由题可知，输入信号为一单边带信号，恢复载波 u_2 与载波频率相同，且有 $U_2 \gg U_1$ 。由题图可以看出，是将输入信号 u_1 与恢复载波 u_2 叠加后，送到由二极管和C与R组成的包络检波电路中进行检波，故 u_1 与 u_2 的叠加应视为AM信号，且其包络与调制信号成线性关系。电路采用平衡电路，可以抵消掉一些不必要的频率分量。本例的关键是 u_1 与 u_2 的合成。

解：对于上支路，加在包络检波器的电压 $u_{D1} = u_1 + u_2$ ，则

$$u_{D1} = u_1 + u_2 = U_1 \cos \omega_c t + U_2 \cos(\omega_c + \Omega)t$$

$$= U_1 \cos \omega_c t + U_2 \cos \Omega t \cos \omega_c t - U_2 \sin \Omega t \sin \omega_c t$$

$$= (U_1 + U_2 \cos \Omega t) \cos \omega_c t - U_2 \sin \Omega t \sin \omega_c t$$

$$= U_{m1}(t) \cos[\omega_c t + \varphi_1(t)]$$

$U_{m1}(t)$ 和 $\varphi_1(t)$ 分别为合成信号 u_{D1} 的振幅和附加相位，其值分别为

$$U_{m1}(t) = \sqrt{(U_1 + U_2 \cos \Omega t)^2 + (U_2 \sin \Omega t)^2}$$

$$\varphi_1(t) = \tan^{-1} \frac{-U_2 \sin \Omega t}{U_1 + U_2 \cos \Omega t}$$

由于是包络检波器，只对振幅有关，由此有

$$U_{m1}(t) = \sqrt{(U_1 + U_2 \cos \Omega t)^2 + U_2^2 \sin^2 \Omega t}$$

$$= \sqrt{U_1^2 + 2U_1 U_2 \cos \Omega t + U_2^2 \cos^2 \Omega t + U_2^2 \sin^2 \Omega t}$$

$$= \sqrt{U_1^2 + 2U_1 U_2 \cos \Omega t + U_2^2}$$

$$= U_2 \sqrt{1 + (U_1/U_2)^2 + 2(U_1/U_2) \cos \Omega t}$$

$\because \sqrt{1+x} \approx 1+x/2, x < 1$ 且 $U_2 \gg U_1$ ，故上式可近似为

$$U_{m1}(t) \approx U_2 \sqrt{1 + 2(U_1/U_2) \cos \Omega t} \approx U_2 (1 + \frac{U_1}{U_2} \cos \Omega t)$$

上式表明，合成信号的振幅与调制信号 $\cos \Omega t$ 成线性关系。

对上支路： $u_{D1} = u_1 + u_2$ ，按上面的分析思路，可得

$$U_{m2}(t) = U_1 (1 - \frac{U_1}{U_2} \cos \Omega t)$$

输出电压 $u_{D2} = u_{D1} - u_{D2}$ ， u_{D1} 和 u_{D2} 为上、下支路包络检波器的输出，有：

$$u_o = u_{D1} - u_{D2} = k_{D1} U_{m1}(t) - k_{D2} U_{m2}(t)$$

$$= k_{D1} [U_{m1}(t) - U_{m2}(t)]$$

$$= 2k_{D1} U_1 \cos \Omega t$$

4. 问题讨论：

①由案例三，包络检波应用，(学生)推得

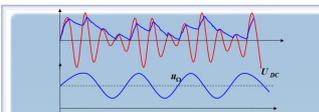
讨论：

包络检波可以做什么？（收音机电路）

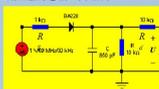
- * AM以及包含AM的复合信号
- * DC（AM信号的功率） AGC

知识拓展：检波的应用、功率检测

总结实验现象，分析实验现象产生的原因，梳理同步检波实验现象，用频谱分析法，分析实验结果

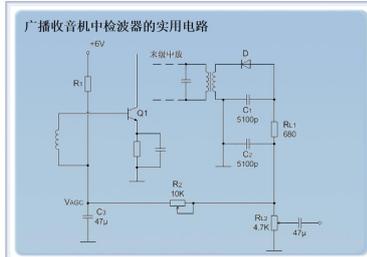


峰值检波器的应用输出电路如下图所示



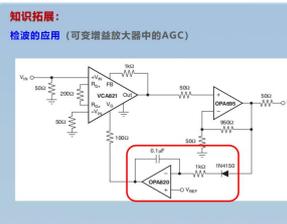
输出与已调波中载波的大小成正比的直流分量 U_{DC} （检输出功率）可作为自动增益的控制信号（AGC信号）。

广播收音机中检波器的实用电路

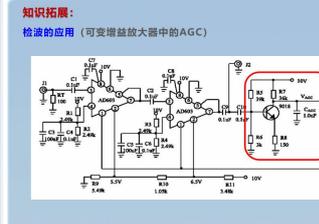


②由原理电路，提出问题，引导学生推得；实际应用举例，比赛学生讲解

知识拓展：检波的应用（可变增益放大器中的AGC）



知识拓展：检波的应用（可变增益放大器中的AGC）



知识拓展：功率检测及应用（AD8362的应用）



2023国赛二等奖 同轴电缆测试

③同步检波实验现象及理论分析（提问，老师总结）

六、教学反思

在本节课教学过程中，采用线上线下混合式教学方法，前期基本教学要求线上自学，同时完成了包络检波和同步检波实验。教学中，在介绍无线电发展史中马可尼和波波夫之争时，引入了“**工程师必备工程素养**”这一思政要素，引导学生树立“勇于实践、锲而不舍、善于借鉴、团队协作”的意识。

线下课堂教学中，使用问题导向，以学生回答问题的方式，引导学生总结并深化检波器基本要求。采用比较法、图解法、实验法等，将实验现象分析与理论紧密结合，引导学生积极思考，加深知识理解记忆。同时强化应用，引入AGC、

功率检测等，引导学生将电子设计比赛的部分内容融入教学，进行应用拓展，培养电子设计的兴趣以及创新意识，开拓学生视野。

由于教学团队教师思政教学能力有限，今后需加强团队教师课程思政教学能力培养方面的学习和交流，能够在课程教学中潜移默化的融入思政元素，激发学生的学习主动性，提高专业课程教学质量。

《高频电子线路》课程思政教学案例（四）

开课学院：电子信息工程学院

制作人：曹晖

课程名称	高频电子线路	授课对象所属专业	电子信息工程专业
课程类型	专业课	开课年级	大三（上）
课程性质	必修课	课程总学时	80

一、课程简介

《高频电子线路》是电子信息工程本科专业一门实践性很强的核心课程，它主要研究无线电通信系统中信号的产生、传输与处理。课程建设过程中，遵循“OBE”教育理念，坚持以学生为中心、企业需求为导向，产教融合，创新发展。经过十多年的课程建设，《高频电子线路》课程 2008 年被评为校精品课程，2014 年被评为校精品资源共享课，2021 年被评为校级“线下一流课程”。

通过本课程的学习，可使学生掌握高频电路的基本原理和基本分析、计算和设计方法，以及实验操作技能。在实现培养目标的过程中，本课程起到增强学生对通信电路工作适应能力和开发创新能力的作用，也可为学习后续课程和专业技术工作打下基础。

二、案例基本信息

- 1.案例名称：混频
- 2.对应章节：第六章第 5 节
- 3.课程讲次：第 29 次

三、案例教学目标

1.知识目标：推导频谱线性搬移特性、混频的作用与实现，探讨混频干扰产生的本质，学习几种干扰产生的原因、现象、抑制的方法。

2.能力目标：巩固前期知识点——振荡器、乘积电路、滤波器，学习其在混频中应用，使学生获得举一反三、自我学习的能力，形成总结技术发展的习惯。

3.价值目标：通过学习，树立“科技报国”的价值观、充分理解“科学学习方法；通过学习其在通信系统的应用，建立“局部与整体”与工程意识。

四、案例主要内容

1.由通信信号性能要求，引入混频的作用、在通信系统的位置，推得混频性能要求。

2.由图解法、比较法定性推导频谱线性搬移（调幅、混频、检波）的特性、实现方法。

3.巩固前期知识点——振荡器、乘积电路、滤波器，学习其在混频中应用。

4.探讨干扰产生的本质，学习几种干扰产生的原因、现象、抑制的方法。

5.结合教学内容引入“科技报国”、“局部与整体”思政要素。

五、案例教学设计

1.案例导入

课前学习通平台发布：

资料查找：阿姆斯特朗与超外差、软件无线电、零中频接收机

2.教学方法

(1) 问题导入：

The image shows three presentation slides. The first slide, titled '直接放大接收机' (Direct Amplification Receiver), shows a block diagram with an antenna, an input filter, a TA7642 IC, and an output filter. The second slide, titled '超外差接收机' (Superheterodyne Receiver), shows a block diagram with an antenna, high-frequency amplifier, mixer, local oscillator, intermediate frequency amplifier, detector, and low-frequency amplifier. The third slide, titled '零中频接收机' (Zero-IF Receiver), shows a block diagram with a modulated RF signal, a mixer, and two low-pass filters (LPF) for I and Q channels. It includes a mathematical expression $A \cdot \cos(\omega_0 t)$ and a note about the carrier frequency f_c .

有科学家阿姆斯特朗的故事，引出思政要素——**科技报国**：超外差式收音机的发明，将无线电带入电子时代，领悟科学的价值和科学技术对社会的影响。

(2) 混频原理:

①概念、原理:

一、混频概述

1.混频器的功能:
混频器是频谱的线性搬移电路,是一个三端口(六端)网络

有两个输入信号:
高频调制波 $u_1(t)$
本地振荡信号 $u_2(t)$
一个中频输出信号: $u_3(t)$

两个输入信号与输出信号之间的关系: 输入信号 u_1 与输出信号 u_3 的包络形状相同, 频谱结构相同, 只是填充频谱不同, 即, 其中心频率:
 $f_3 = f_2 \pm f_1$ 其中 $f_2 = \begin{cases} f_c - f_s \\ f_c + f_s \end{cases}$ 输出中高频

混频器是频谱的线性搬移电路, 完成频谱线性搬移功能的关键是获得两个输入信号的乘积项, 具有这个乘积项, 就可以实现所需的频谱线性搬移功能。

右图为混频器的一般结构框图。
如果设输入信号:
已调波信号 $u_1 = [U_1 \cos \omega_1 t] \cos \omega_c t$
本振信号 $u_2 = U_2 \cos \omega_c t$
那么两信号的乘积项为:
 $u_1 u_2 = U_1 U_2 \cos \Omega t \cdot [\cos \omega_1 t \cos \omega_c t]$
如果带通滤波器的中心频率为 $\omega_0 = (\omega_c - \omega_1)$, 带宽 $B = 2\Omega_{\max}$
则经带通滤波器的输出为:
 $u_3 = \frac{1}{2} U_1 U_2 \cos \Omega t \cos \omega_0 t$
 $= \frac{1}{2} U_1 U_2 \cos \Omega t \cos \omega_c t$

调幅(DSB)为例, 检测与混频之间的频谱变换关系:

(1) 调幅(DSB)为例: 乘法器, 带通滤波器, U_{DSB} , $2\Omega_{\max}$

(2) 检波: 乘法器, 低通滤波器, U_{DSB} , ω_c

(3) 混频: 乘法器, 带通滤波器, U_{DSB} , U_2 , $2\Omega_{\max}$, ω_1 , ω_c , $\omega_1 - \omega_c$

②采用归纳法, 小结频谱线性搬移

引导学生自己归纳、总结

(3) 混频电路

用举例法, 分析并学习三极管混频、平衡混频、乘法器混频电路

晶体管混频器的电路举例

上图所示典型的收音机自激变频电路, 是一个把本振器与混频器两部分合在一起的变频电路。

在电路中由于输出端中频回路对本振信号旁路阻抗很小, 相当于短路, 所以对本振信号来说, 晶体管、 T_2 共同构成变压器互感耦合反馈振荡器。

晶体管混频器优点: 增益高, 噪声低;

在高质量通信设备中以及工作频率较高时, 常使用 **二极管平衡型混频器**。

优点: 噪声低, 电路简单, 组合分量少。

二极管平衡型混频器

输入信号 $u_1(t) = U_1(t) \cos \omega_1 t$
或 $U_1 \cos \Omega t$
本振信号 $u_2(t) = U_2 \cos \omega_c t$
若 $U_2 \gg U_1$, 则输出电压:
 $u_3 = R_2 g_m S(u_1, U_2)$
 $= R_2 g_m \left[\frac{1}{2} \cos \omega_1 t - \frac{2}{3\pi} \cos 3\omega_1 t + \dots \right] U_1(t) \cos \omega_c t$

如果输出中频滤波器的中心频率为 $\omega_0 = (\omega_c - \omega_1)$, $B = 2\Omega_{\max}$
消频截止频率: ω_c , 则输出电压:
 $u_3(t) = \frac{2}{\pi} R_2 g_m U_1(t) \cos \omega_c t$
而 **二极管平衡型** 的输出是平衡混频器输出信号的 2 倍, 且减少了输出信号频谱中组合频率分量, 即减少了混频器所特有的组合频率干扰。

4.其它混频电路

例: MC1596 相乘器组成的混频电路中, 如果输出回路的谐振电阻为 R_L , 则输出电压:
 $u_3 = \frac{R_L}{2R_2} u_1(t) u_2(t)$
而 $u_1(t) = U_1(t) \cos \omega_1 t$
而 $u_2(t) = U_2 \cos \omega_c t$
则输出电压:
 $u_3 = \frac{R_L}{2R_2} u_1 u_2 = \frac{R_L}{4U_2 R_2} U_1 U_2 [\cos(\omega_2 - \omega_1)t + \cos(\omega_2 + \omega_1)t]$

如果输出中频滤波器的中心频率为 $\omega_0 = (\omega_2 - \omega_1)$, $B = 2\Omega_{\max}$
谐振阻抗为 R_L , 则输出电压:
 $u_3 = \frac{R_L}{2U_2 R_2} u_1 u_2 = \frac{R_L}{4U_2 R_2} U_1 U_2 [\cos(\omega_2 - \omega_1)t + \cos(\omega_2 + \omega_1)t]$

(4) 混频干扰

产生的本质: 非线性电路, 在变频输出信号中出现干扰信号, 称为变频干扰。

归纳法总结: 几种干扰产生的原因、现象、抑制的方法

延伸提问: 放大器(混频电路)的技术指标?

思政要素: 进一步理解通信系统框图, 用局部与整体的观点, **展示认知逻辑,**

以知识讲授为载体, 按照从全局到局部, 再从局部到全局的逻辑, 完善认知模型, 完善学习方法, 从而培养学生科学的学习方法。

六、教学反思

在本节课教学过程中, 使用问题导向, 从通信系统信号接收的, 引入混频及性能需求, 引入了“科技报国”这一思政素材, 引导学生领悟科学的价值和科学技术对社会的影响。采用比较法、图解法理解频谱线性搬移及实现方法; 在混频原理介绍中, 结合前面的知识, 分析混频电路及其功能; 由通信系统中混频的位置与功能, 探讨干扰产生的本质, 采用归纳法总结几种干扰产生的原因、现象、

抑制的方法。进一步理解通信系统框图，引出思政要素——**局部与整体**，引导学生完善认知模型，完善学习方法，从而培养学生科学的学习方法。

通信过程中蕴含着丰富的科学思维、历史思维、辩证思维、系统思维和创新思维等思政元素。但这些思政元素没有进行系统化的梳理，今后需加强团队教师课程思政教学能力培养方面的学习和交流，深挖通信系统背后的思政元素进行，拟构建本课程的思政元素数据库；同时也要加强与学生“对于思政元素”讨论和交流,可以更好的了解学生的心理，促进学生对专业知识的学习效果，便于老师了解学生的学习情况，也可以帮助老师对思政数据库进行完善。