



TI杯2019年全国大学生电子设计竞赛

赛题解析与技术交流研讨会



电子科技大学

University of Electronic Science and Technology of China

2019年全国大学生电子设计竞赛题目交流

**G题：双路语音
同传的无线收发系统**



电子科技大学：李玉柏
ybli@uestc.edu.cn

主要内容

- 命题背景说明
- 题目内容解读
- 知识点说明
- 高频电路类题目的几点思考





1、命题背景说明

- 大学生电子设计竞赛是教育部倡导的四大学科竞赛之一，是面向大学生的群众性科技活动。
- 指导思想与目的
 - ✓ 推动高校信息与电子类学科面向二十一世纪课程体系和课程内容的改革
 - ✓ 推动高校实施素质教育，培养大学生的创新能力、协作精神和理论联系实际的学风
 - ✓ 加强学生工程实践素质的培养、提高学生针对实际问题进行电子设计制作的能力



1、命题背景说明

□ 竞赛的宗旨

- ✓ 以竞赛为载体，把创新能力、协作精神、理论联系实际学风、动手能力、工程实践能力、针对实际问题进行电子设计制作的能力培养作为具体目标
- ✓ 通过竞赛把对人才素质的检验反馈到教改中去，以期推动全国普通高等学校信息与电子类学科课程体系和内容的改革，促进教育教学改革。

以赛促教、促学

核心促进课程改革和实验室建设



1、命题背景说明

□ 命题范围（2019年）：

- ✓ 以电子电路（含模拟和数字电路）设计应用为基础，可以涉及模-数混合电路、单片机、嵌入式系统、DSP、可编程器件、EDA软件、**互联网+**、**大数据**、**人工智能**、**超高频**及光学红外器件等的应用。
- ✓ 题目设计内容包括“理论设计”和“实际制作与调试”两部分。
- ✓ 竞赛题目应具有实际意义和应用背景，并考虑到目前教学基本内容和新技术应用趋势。

1、命题背景说明

- 在以前十多届全国电子设计竞赛的命题来看，题目一般大致可以归纳成五类：
 - ✓ 电源电路类
 - ✓ 基本电路类
 - ✓ **通信技术类**
 - ✓ 仪器仪表类
 - ✓ 测量与控制类
- 其中强化高频电路设计，往往是在通信技术类题目中得以体现，因为通信的频带越来越高。





1、命题背景说明

- 课程《高频电子电路》知识作为竞赛内容。
 - ✓ 第1章 绪论
 - ✓ 第2章 选频网络
 - ✓ 第3章 高频小信号放大器
 - ✓ 第4章 非线性电路、时变参量电路和变频器
 - ✓ 第5章 高频功率放大器
 - ✓ 第6章 正弦波振荡器
 - ✓ 第7章 振幅调制与解调



1、命题背景说明

- 课程《高频电子电路》知识作为竞赛内容。
 - ✓ 第8章 角度调制与解调
 - ✓ 第9章 数字调制与解调
 - ✓ 第10章 反馈控制电路
 - ✓ 第11章 频率合成技术
 - ✓ 第12章 电子设计自动化（EDA）与软件无线电技术简介
- 其中小信号放大电路、功放电路和振荡电路多次作为电子设计竞赛题目。

2、G题：双路语音同传的无线收发系统

双路语音同传的无线收发系统（G 题）

【本科组】

一、任务

设计制作一个双路语音同传的无线收发系统，实现在一个信道上同时传输两路语音信号。系统的示意图如图 1 所示。

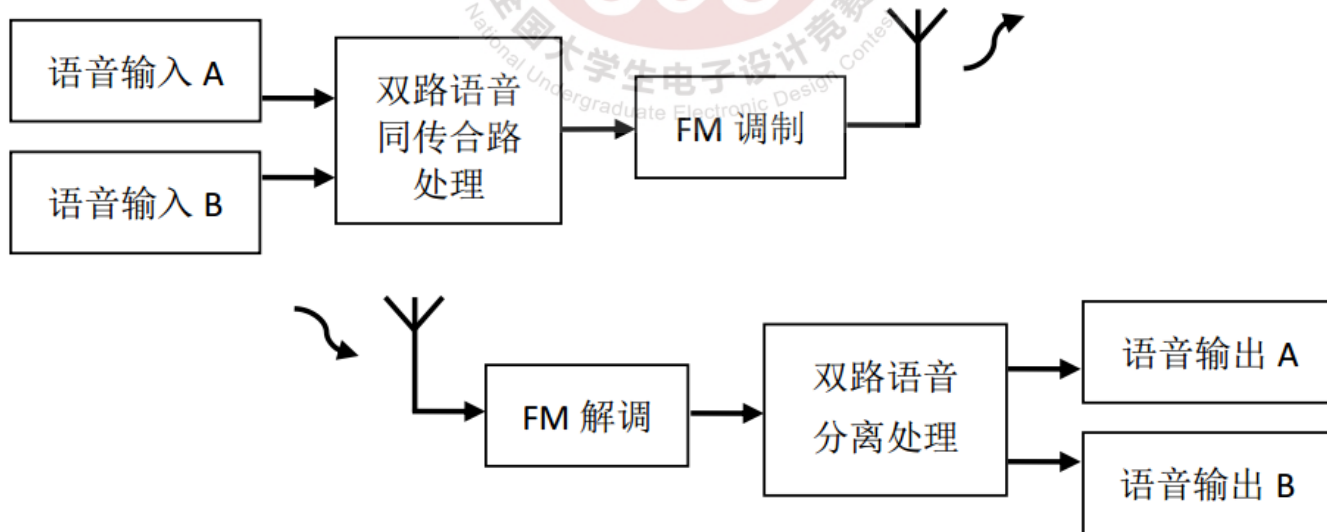


图 1 双路语音同传无线收发系统示意图



2、G题：双路语音同传的无线收发系统

二、要求

1. 基本要求

- (1) 制作一套 FM 无线收发系统。其中，FM 信号的载波频率设定为 48.5MHz，相对误差的绝对值不大于 1%；峰值频偏不大于 25kHz；天线长度不大于 0.5m。
- (2) 通过 FM 无线收发系统任意传输一路语音信号 A 或者 B，语音信号的带宽不大于 3400Hz。要求无线通信距离不小于 2m，解调输出的语音信号波形无明显失真。
- (3) 通过 FM 无线收发系统同时传输双路语音信号 A 和 B。要求无线通信距离不小于 2m，解调输出的双路语音信号波形无明显失真。



2、G题：双路语音同传的无线收发系统

2. 发挥部分

- (1) 要求设计制作的发射电路中 FM 信号的载波频率能通过一个电压信号 $v_c(t)$ 进行调节，用来模拟无线通信中载波频率漂移的情况。电压信号 $v_c(t)$ 单位电压调节载波频率产生的频率漂移量，由参赛者自行设计。
- (2) 在保证系统能正确进行双路语音无线传输的前提下，通过 $v_c(t)$ 信号调节 FM 信号的载波频率产生不小于 300 kHz 的漂移，要求调节时间 τ 不超过 5s（秒）。
- (3) 在保证系统能正确进行双路语音无线传输的前提下，通过 $v_c(t)$ 信号调节 FM 信号的载波频率，按照图 2 所示进行漂移，要求 FM 信号的载波频率漂移范围 Δf_0 越大越好。

2、G题：双路语音同传的无线收发系统

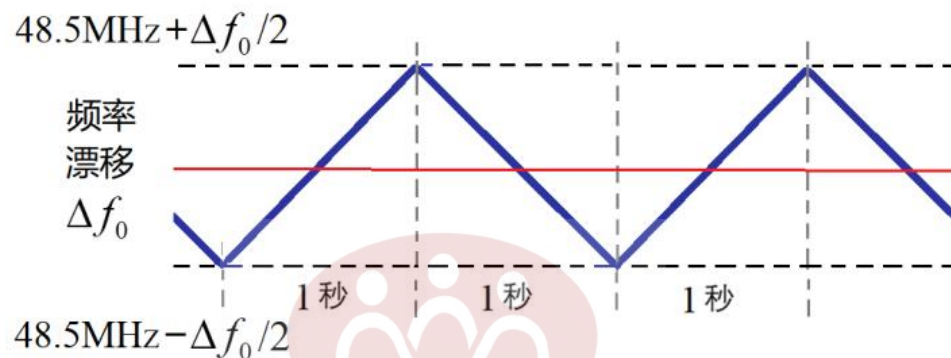


图 2：载波频率漂移的图示

(4) 其他。

三、说明

- (1) 系统输入的语音信号，可以由标准的信号源产生；解调的语音信号输出应留有测试接口，以便示波器观测。
- (2) 制作的 FM 发射电路应在发射天线端引出测试端口，以便测试。

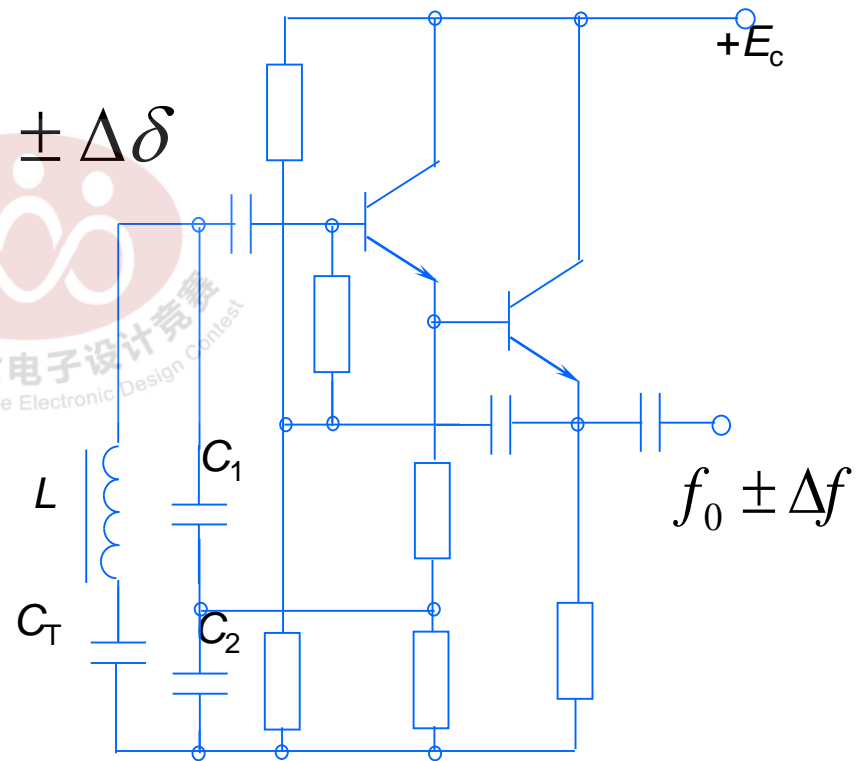
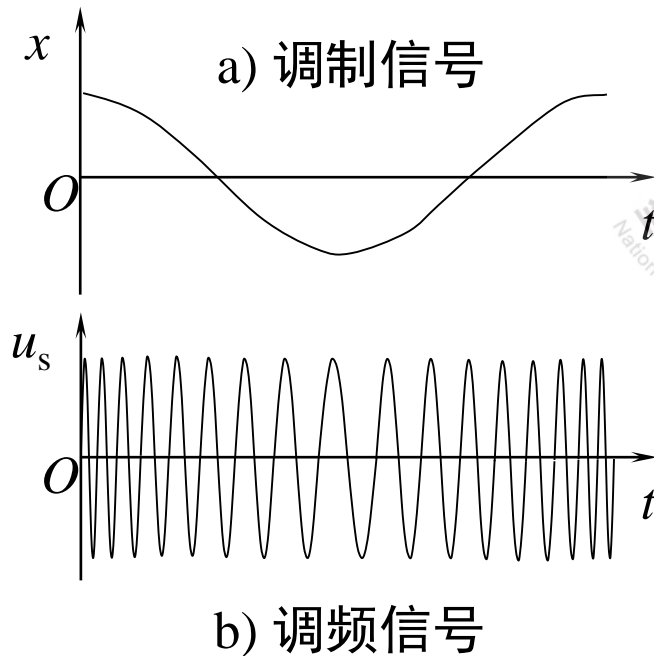


2、G题：双路语音同传的无线收发系统

- 本题目基本思想是贯彻强化高频电路设计，引导高校电子类专业加强《高频电路课程》的建设和相关高频实验室建设；
- 本题目的核心知识点：
 - ① 基带语音信号的合路与分离
 - ② FM调制解调电路实现
 - ③ 自动载波频率跟踪电路设计
- 题目本意希望FM调制解调器是完全自主设计电路来实现，因此题目对FM调频的控制信号可允许外部输入，同时载波频率可观察等提出要求。

2、G题：双路语音同传的无线收发系统

- 基于三极管的调频电路。





2、G题：双路语音同传的无线收发系统

- 归纳学生实际设计的方案，总体分为三类
 - 模拟立体声方案：使用立体声FM调制解调芯片来实现，芯片同时完成双路语音信号合路和分离处理；
 - FPGA解决方案：FM调制解调基于FPGA来实现；
 - 模拟非立体声方案：使用FM调制解调芯片，双路语音信号合路和分离单独设计。
- 模拟立体声方案方案，根据使用芯片不同分为：
 - 使用标准立体声FM芯片，由于载频不能满足要求，需要采用上下变频方式
 - 使用一些非标准的芯片，如AM/FM一体化的调制解调芯片，可以使用到48.5MHz



2、G题：双路语音同传的无线收发系统

- FPGA解决方案根据双路语音合成方法不同分为：
 - 模拟双路语音合成+ $V_C(t)$ ，经过ADC采用，由FPGA实现FM调制解调
 - 用FPGA实现双路语音合成与分离，以及FM调制解调。
。 $V_C(t)$ 经ADC采样送FPGA处理

全数字方案中双路语音合成与分离有采用TDMA、FDMA等多种数字方案。

- 模拟非立体声方案方案，使用FM调整解调芯片，核心是自己设计电路完成双路语音合成：
 - 一般是将一路语音频谱搬移到8KHz、12KHz、25KHz和38KHz，然后在加上另一路语音信号和 $V_C(t)$ 。



3、G题涉及关键知识点的解读

1) FM调制解调电路实现

- FM：高频信号的频率按调制信号的规律变化，FM信号的解调称为鉴频或频率检波。

调制信号： $u_{\Omega} = U_{\Omega} \cos \Omega t$

载波信号： $u_c = U_c \cos \omega_c t$

FM 瞬时频率：
$$\begin{aligned} \omega(t) &= \omega_c + \Delta\omega(t) = \omega_c + k_f U_{\Omega} \cos \Omega t \\ &= \omega_c + \Delta\omega_m \cos \Omega t \end{aligned}$$

k_f : 比例常数 (调制灵敏度)

$\Delta\omega_m = k_f U_{\Omega}$: 峰值角频偏。

3、G题涉及关键知识点的解读

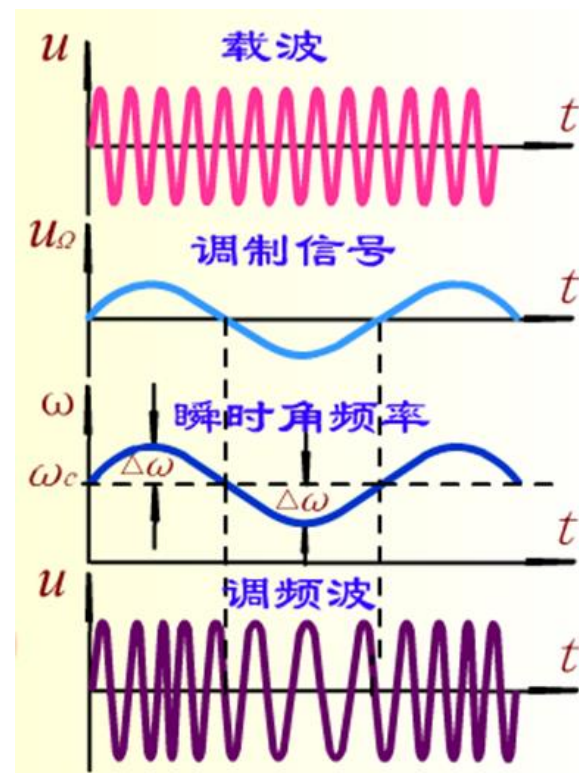
1) FM调制解调电路实现

■ FM调制波的表达式:

$$\begin{aligned}
 u_{FM}(t) &= U_C \cos\left(\omega_c t + \frac{\Delta\omega_m}{\Omega} \sin \Omega t\right) \\
 &= U_C \cos\left(\omega_c t + m_f \sin \Omega t\right) \\
 m_f &= \frac{\Delta\omega_m}{\Omega} : \text{调频指数。}
 \end{aligned}$$

■ FM调制波三个最核心的指标:

Δf_m 、 k_f 和 m_f



3、G题涉及关键知识点的解读

□ FM调制波三个最核心的指标：

(1) **峰值频偏 Δf_m** ：反映频率受调制的程度，衡量调频质量的重要指标。 $\Delta f_m = k_f U_\Omega / 2\pi$

瞬时频率的变化范围： $f_c - \Delta f_m \sim f_c + \Delta f_m$

瞬时频率的最大变化值： $2 \Delta f_m$

(2) **调频灵敏度 k_f** ：反映调制信号对瞬时角频率控制能力。

$$k_f = \Delta \omega_m / U_\Omega$$

(3) **调频指数 m_f** ：代表单音调制信号所引起的最大瞬时相位偏移量。 $m_f = \Delta \omega_m / \Omega = \Delta f_m / F = k_f U_\Omega / \Omega$

m_f 可以小于1，也可以大于1。

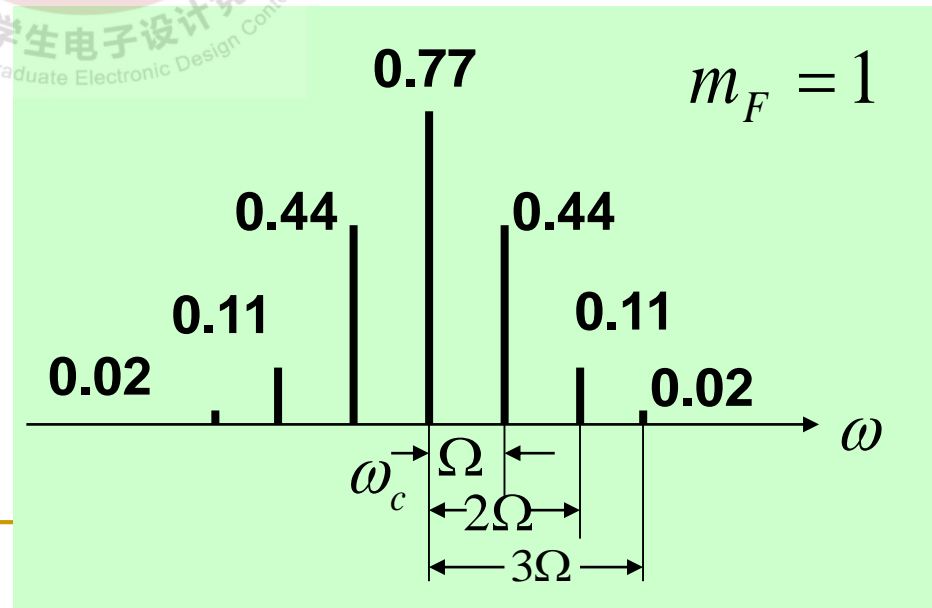
3、G题涉及关键知识点的解读

■ FM调制波的频谱分析

$$u_{FM}(t) = U_C \cos(\omega_c t + m_f \sin \Omega t) = U_C \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m_f) \cos(\omega_c + n\Omega)t$$

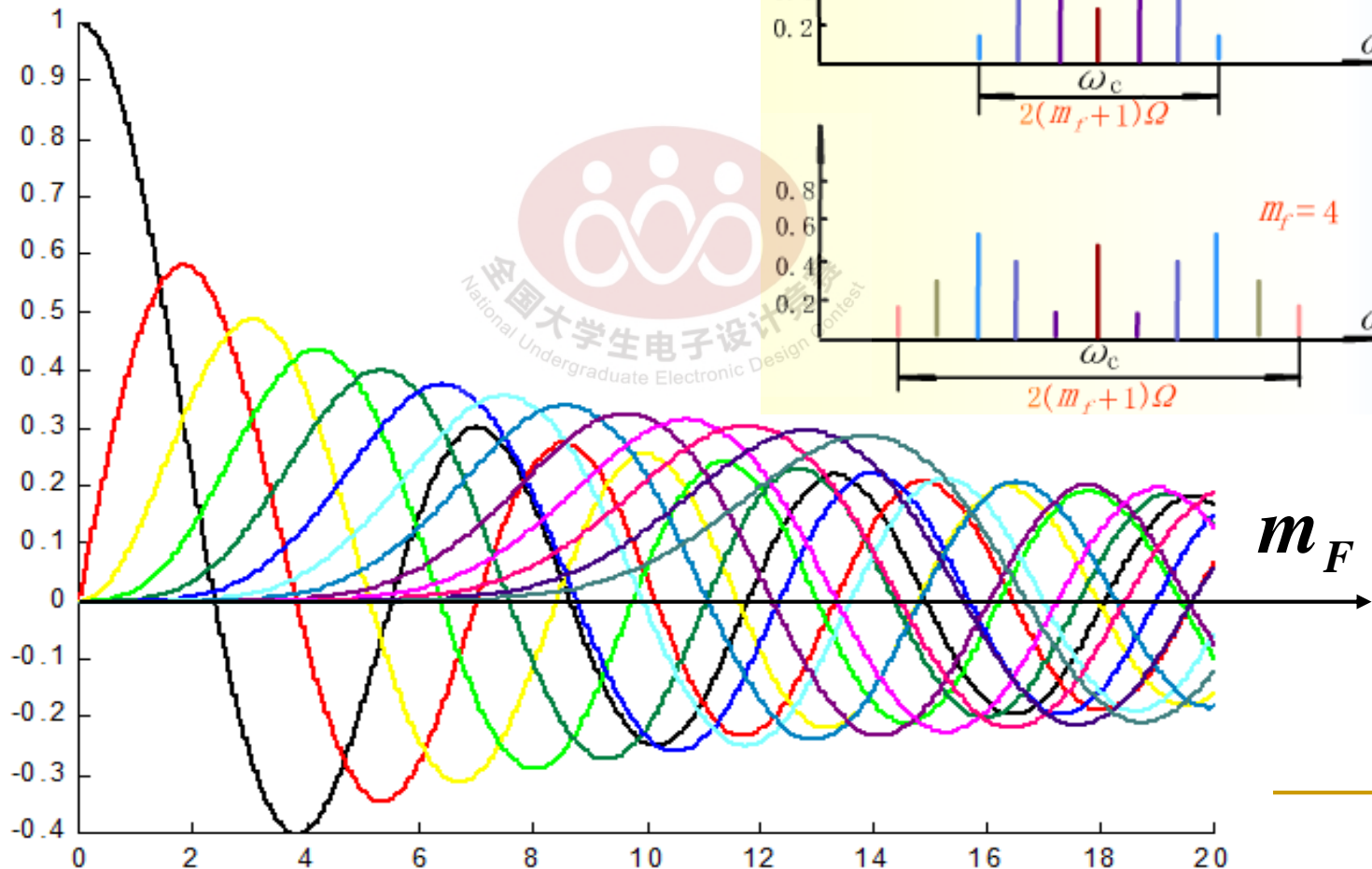
$J_n(m_f)$: 宗数为 m_f 的 n 阶一类贝塞尔 (Bessel) 函数, 可以用无穷级数进行计算:

$$J_n(m_f) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m \left(\frac{m_f}{2}\right)^{n+2m}}{m!(n+m)!}$$



3、G题涉及关键知识点的解读

FM调制波的频谱分析



3、G题涉及关键知识点的解读

- 调频波的信号带宽：通常采用的准则是，信号的频带宽度 B_s 应包括幅度大于未调载波1%以上的边频分量，即功率小于-40dB：

$$|J_n(m_f)| \geq 0.01$$

- 调频波的信号带宽的计算公式（卡森公式）：

$$B_s = 2(m_f + 1)F = 2\Delta f_m + 2F$$

- 峰值频偏 Δf_m 测试方法是利用频谱仪测试FM的信号带宽（噪声本底以上的功率谱密度），用该信号带宽的一半减去两路语音合路后的基带信号带宽，得到峰值频偏 Δf_m 的值。



3、G题涉及关键知识点的解读

2) 关于自动载波频率跟踪技术

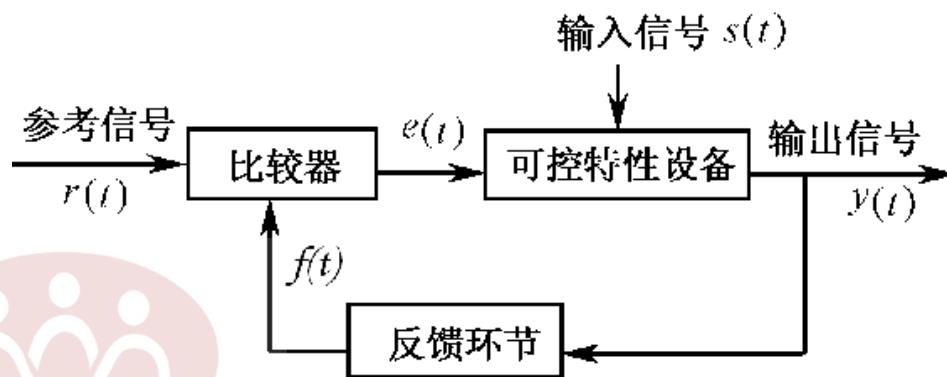
- AFC在无线通信中是关键技术问题，因为多普勒效应和收发载波频率漂移的存在等。
 - 在高频电路课程中的反馈控制电路教学内容：
 - ✓ 自动增益控制AGC
 - ✓ 自动频率控制AFC
 - ✓ 自动相位控制APC（即PLL技术）
 - 在2017年电子设计竞赛中设计了AGC电路；在99年和2001年的FM接收机设计中引入了AFC电路设计，包括自动频率搜索等内容。

3、G题涉及关键知识点的解读

■ 反馈控制系统的概念

① 参考信号 r_0 保持不变，
输出信号 y 发生了变化

② 参考信号 r_0 发生了变化



总之，由于反馈控制作用，较大的参考信号变化和输出信号变化，只引起小的误差信号变化。

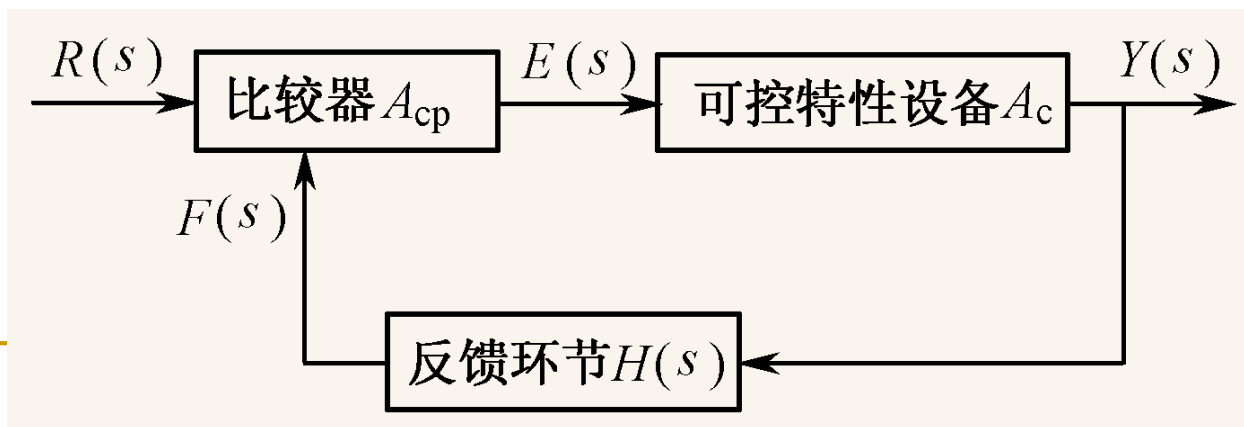
两个条件：

- ① 是要反馈信号变化的方向与参考信号变化的方向一致；
- ② 是从误差信号到反馈信号的整个通路（含可控特性设备、反馈环节和比较器）的增益要高。

3、G题涉及关键知识点的解读

■ 反馈控制系统的特点

- 1) 误差检测可以远小于参考信号与反馈信号间的起始偏差。利用这个特性，达到两个目的 - 保持输出基本不变或输出跟随参考变化；反映速度快，精度高。
- 2) 系统是根据误差信号的变化而进行调整，不论其变化的原因。
- 3) 只要合理设计，就能够减小误差信号的变化，但不可能完全消除误差的存在。



3、G题涉及关键知识点的解读

■ 系统的传递函数及数学模型：

- **闭环传递函数**是指输出信号 $Y(s)$ 与参考信号 $R(s)$ 之比

$$T(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = T_f(s)T_e(s) = \frac{A_c A_{cp}}{1 + A_c A_{cp} H(s)}$$

- **开环传递函数**是指反馈信号 $F(s)$ 与误差信号 $E(s)$ 之比

$$T_{op}(s) = \frac{F(s)}{E(s)} = A_c H(s)$$

- **正向传递函数**是指输出信号 $Y(s)$ 与误差信号 $E(s)$ 之比。

$$T_f(s) = \frac{Y(s)}{E(s)} = A_c$$

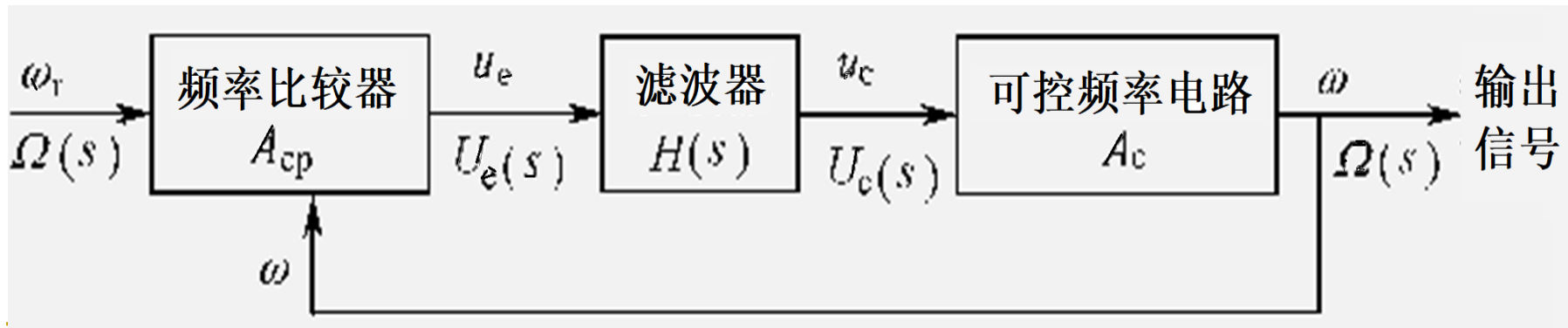
- **误差传递函数**是指误差信号 $E(s)$ 与参考信号 $R(s)$ 之比。

$$T_e(s) = \frac{E(s)}{R(s)} = \frac{Y(s) E(s)}{R(s) Y(s)} = \frac{T(s)}{T_f(s)} = \frac{A_{cp}}{1 + A_c A_{cp} H(s)}$$

3、G题涉及关键知识点的解读

■ 自动频率控制（AFC）电路

- AFC电路是一种反馈控制电路。AFC电路的控制对象则是**信号的频率**。其主要作用是**自动控制振荡器的振荡频率**。
- AFC电路在反馈环路中传递的是频率信息，误差信号正比于参考频率与输出频率之差，控制对象是输出频率。**研究AFC电路应着眼于频率。**

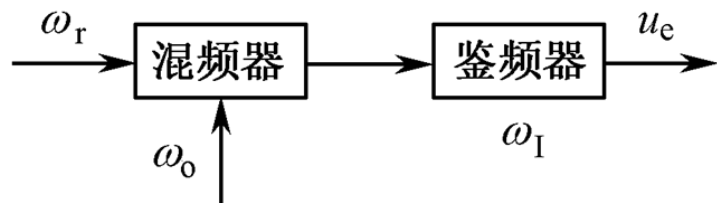


3、G题涉及关键知识点的解读

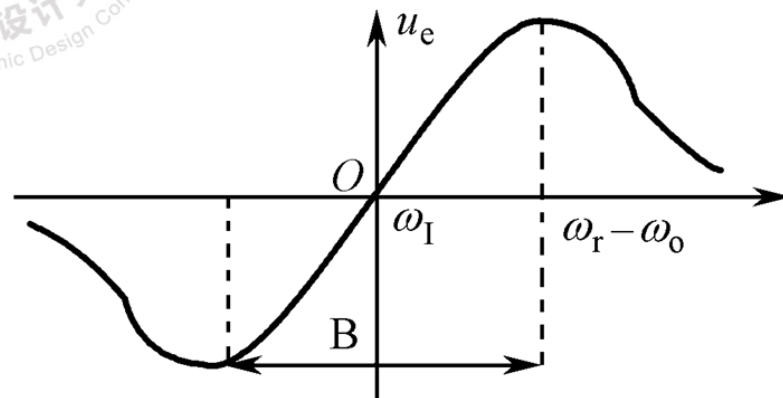
- 频率比较器**：加到频率比较器的信号，一是参考信号，一是反馈信号，它的输出电压 u_e 与这两个信号的频率差有关，而与这两个信号的幅度无关，称 u_e 为误差信号。

$$u_e = A_{cp}(\omega_r - \omega_o)$$

式中 A_{cp} 在一定的频率范围内为常数，为鉴频跨导。



(a) 频率比较器框图

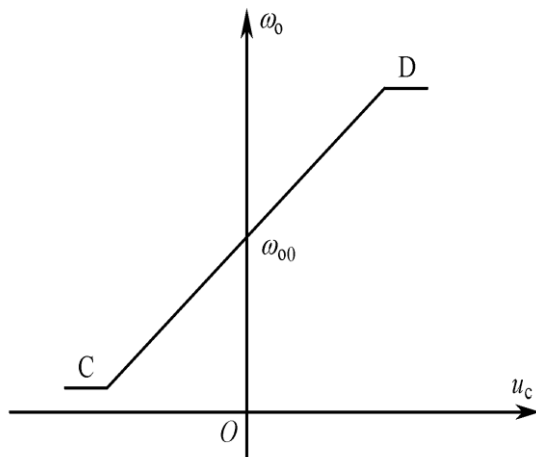


(b) 鉴频特性

混频-鉴频型频率比较器框图及其特性

3、G题涉及关键知识点的解读

- **可控频率电路**：可控频率电路是在控制信号 u_c 的作用下，用以改变输出信号频率的装置。显然，它是一个**电压控制的振荡器**。
- 压控振荡器VCO典型特性如下图。一般这个特性也是非线性的，但在一定的范围内可近似线性关系。



$$\begin{aligned}\omega_y &= \omega_{o0} + A_c u_c \\ &= \omega_{o0} + \Delta\omega\end{aligned}$$



3、G题涉及关键知识点的解读

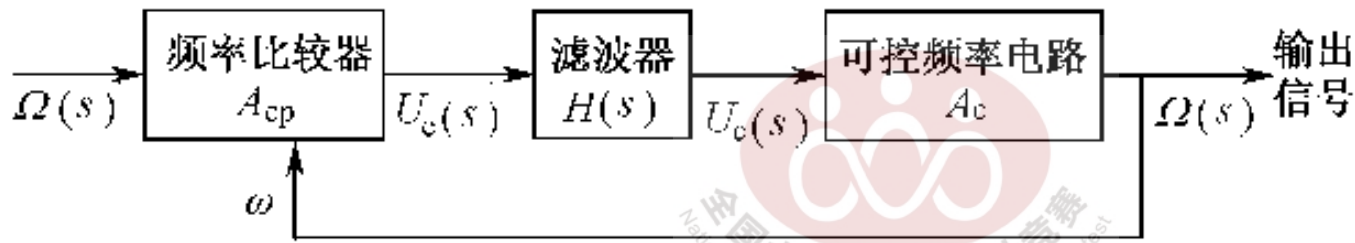
- **滤波器**：这里也是一个低通滤波器。根据频率比较器的原理，误差信号 u_e 的大小与极性反映了 $(\omega_r - \omega_o) = \Delta\omega$ 的大小与极性，而 u_e 的频率则反映了频率差 $\Delta\omega$ 随时间变化的快慢。因此，滤波器的作用是限制反馈环路中流通的频率差的变化频率，只允许频率差较慢的变化信号通过实施反馈控制，而滤除频率差较快的变化信号使之不产生反馈控制作用。

$$H(s) = \frac{U_c(s)}{U_e(s)}$$

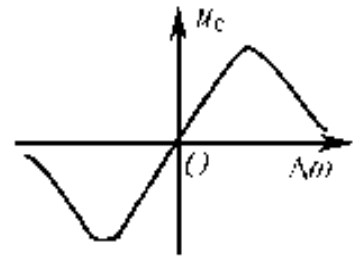
- 当滤波器为单节RC积分电路时： $H(s) = \frac{1}{1 + RCs}$

3、G题涉及关键知识点的解读

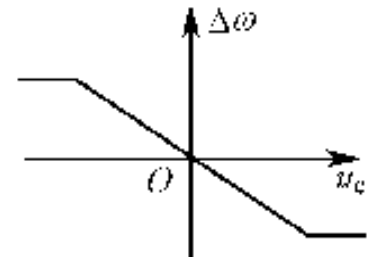
■ AFC电路的数学模型



AFC电路的数学模型

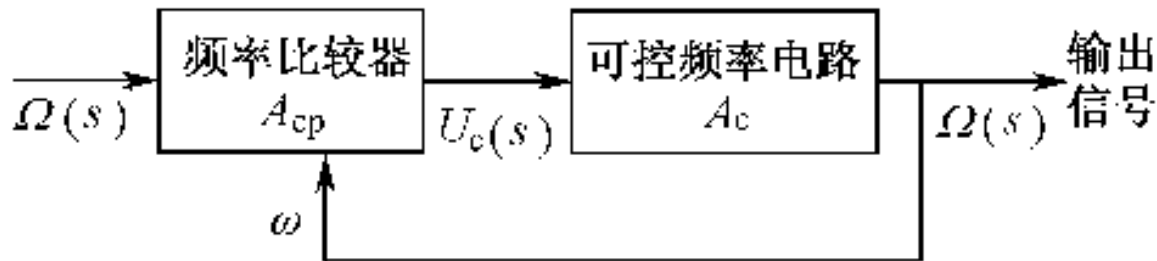


(b) 比较器特性



(c) 压控振荡器特性

➤ 当滤波的传递函数为1时，可以简化电路模型

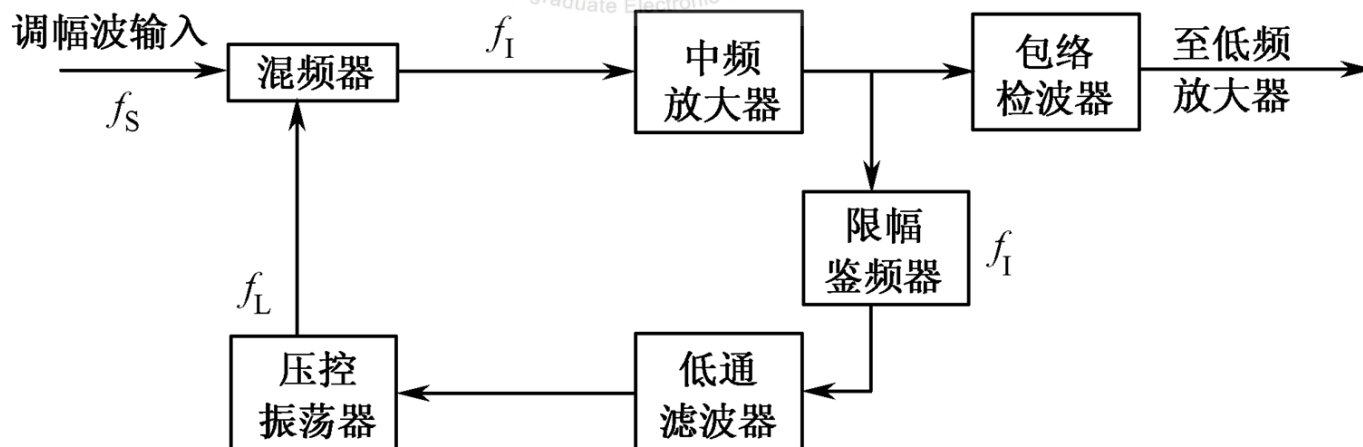


3、G题涉及关键知识点的解读

■ AFC电路的应用举例

(1) 自动频率微调电路：

- 因为超外差接收机的增益与选择性主要由中频放大器决定，这就要求中频频率很稳定。
- 以调幅AM接收机为例，AFC使中频频率减小，达到了稳定中频的目的。

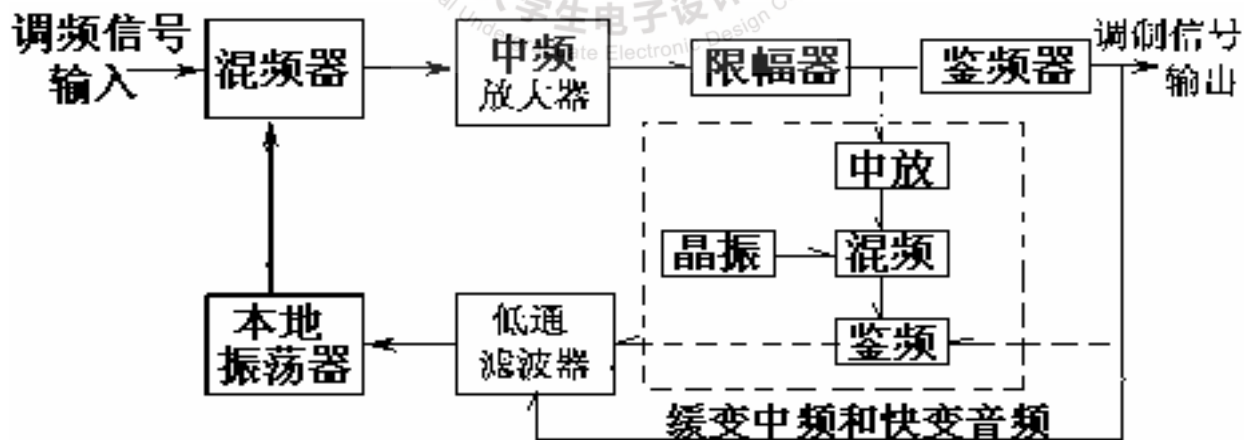


调幅接收机中AFC电路的组成方框图

3、G题涉及关键知识点的解读

■ AFC电路的应用举例

- 对于调频FM接收机，同样可以通过AFC稳定中频。
- 须注意，此时AFC的低通滤波器的带宽应足够窄，要求能滤除调制频率分量，使加到调频振荡器的控制电压仅仅是反映调频信号中心频率漂移的的缓变电压。

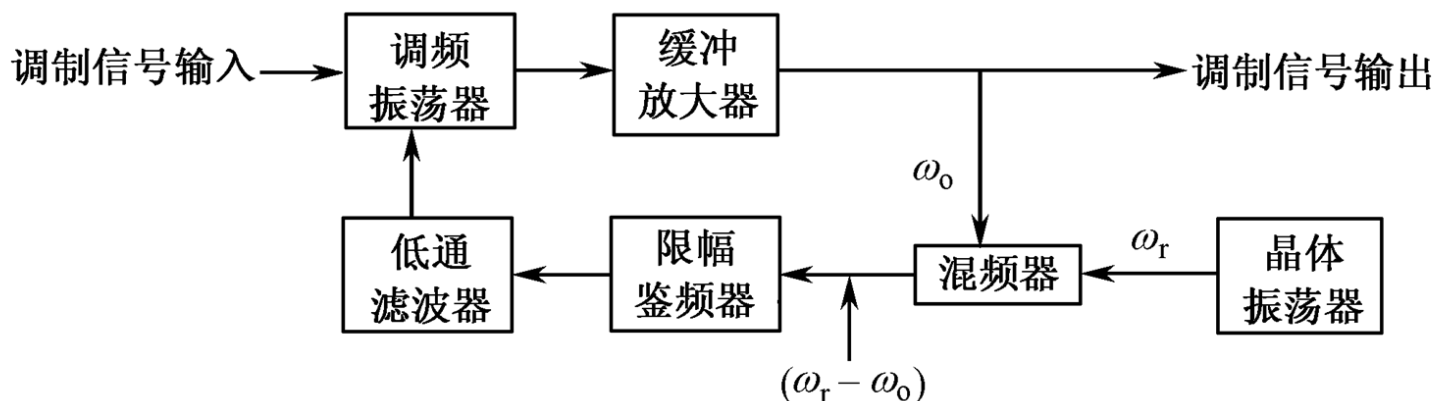


3、G题涉及关键知识点的解读

■ AFC电路的应用举例

(2) 稳定调频发射机的中心频率：

- 为使调频发射机既有大的频偏，又有稳定的中心频率，往往采用AFC电路，如下图所示。
- 须注意，此时AFC的低通滤波器的带宽应足够窄，要求能滤除调制频率分量，使加到调频振荡器的控制电压仅仅是反映调频信号中心频率漂移的的缓变电压。



具用AFC电路的调频发射机方框图



3、G题涉及关键知识点的解读

■ AFC电路的应用举例

(3) 调频负反馈调解器：

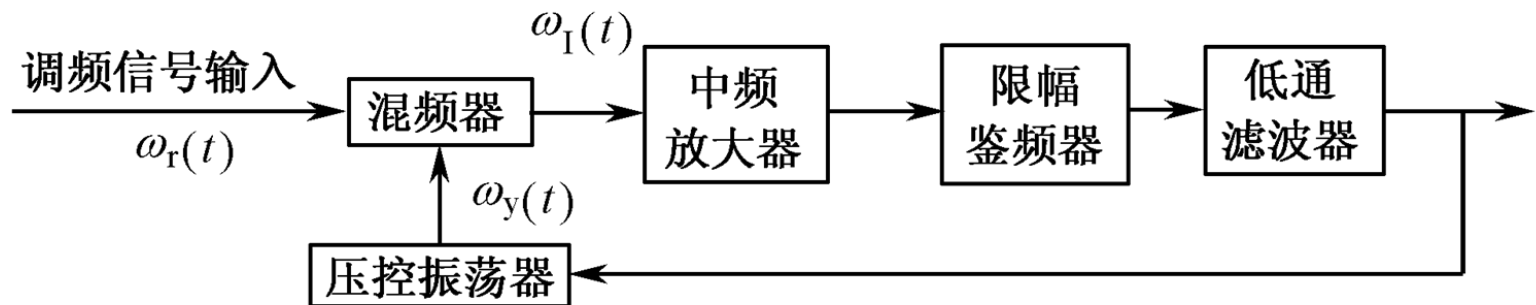
- 当存在噪声时，调频波解调器有一个解调门限值，当其输入端的信噪高于解调门限时，经调频波解调后的输出信噪比将有所提高，且其值与输入端的信噪比成线性关系。而当输入信噪比低于解调门限时，调频波解调器输出端的信噪比随输入信噪比的减小而急剧下降。因此，要保证调频波解调器有较高的输出信噪比，其输入端的信噪比必须高于解调门限值。
- 调频负反馈解调器的解调门限值比普通的限幅鉴频器低，用调频负反馈解调器降低解调门限值，这样，接收机的灵敏度就可提高。

3、G题涉及关键知识点的解读

■ AFC电路的应用举例

(3) 调频负反馈调解器：

- 调频负反馈解调器和普通调频接收机相比，区别在于低通滤波器取出的解调信号又反馈给压控振荡器，作为控制电压，使压控振荡器的振荡角频率按调制信号变化。这样就要求低通滤波器的带宽必须足够宽，以便不失真地通过调制信号。



调频负反馈解调器



3、G题涉及关键知识点的解读

■ AFC电路的应用举例

(3) 调频负反馈调解器：

- 设混频器输入调频信号的瞬时角频率为：

$$\omega_r(t) = \omega_{r0} + \Delta\omega_r \cos\Omega t$$

- 压控振荡器在控制信号的作用下，产生调频振荡的瞬时角频率为： $\omega_y(t) = \omega_{y0} + \Delta\omega_y \cos\Omega t$

- 混频器输出中频信号的瞬时角频率为：

$$\omega_I(t) = (\omega_{r0} - \omega_{y0}) + (\Delta\omega_r - \Delta\omega_y) \cos\Omega t$$

其中 $\omega_{I0} = (\omega_{r0} - \omega_{y0})$ 为输出中频信号的载波角频率；

$\Delta\omega_I = (\Delta\omega_r - \Delta\omega_y)$ 为输出中频信号的角频率偏移。



3、G题涉及关键知识点的解读

■ AFC电路的应用举例

(3) 调频负反馈调解器：

- 可见调频负反馈调解器的中频信号仍为不失真的调频波，但是
 - 其角频偏比输入调频波小，
 - 中频放大器的带宽可以缩小，
 - 加到限幅鉴频器输入端的噪声功率减小，即输入信噪比提高了；
- 若维持限幅鉴频器输入端的信噪比不变，则采用调频负反馈解调器时，混频器输入端所需有用信号电压比普通调频接收机小，即解调门限值降低。



4、电赛中通信电路题目的变化

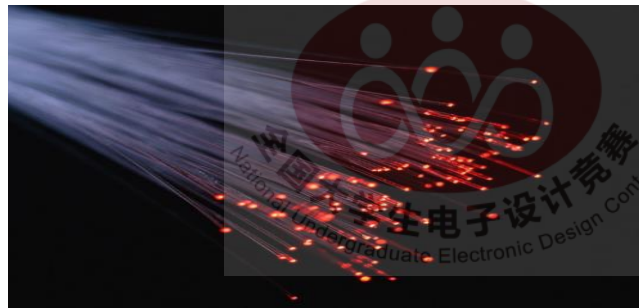
■ 历届通信电路命题的变化

- 通信技术发展日新月异，应紧跟新技术发展和行业应用变化，具体体现在对行业通信产品的发展和物联网技术的应用的关注；
- 通信电路涉及的相关课程改革和教学改革成果丰硕，比如**高频电路**相关课程改革、**高速信号处理**课程的挑战性改革、**智能信息获取与传输**、课程的普及以及AI等相关课程的开设；
- 许多知识点的扩充，比如软件无线电、嵌入式人工智能、网络通信协议、蓝牙/ZigBee/NFC等；
- 电路设计技能的提高，比如低功耗设计、电磁兼容、天线匹配，特别是电路仿真技术等。

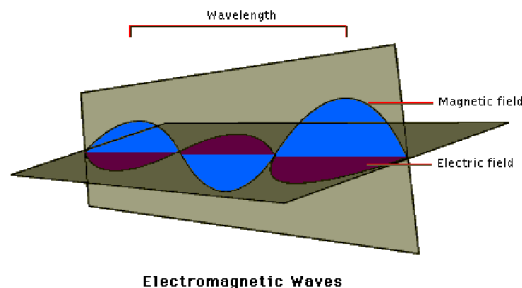
1) 越来越重视通信系统应用

■ 通信系统分类：有线、无线以及其他媒介通信等

- 有线通信包括双绞线、电力线、光纤、同轴电缆等多种介质

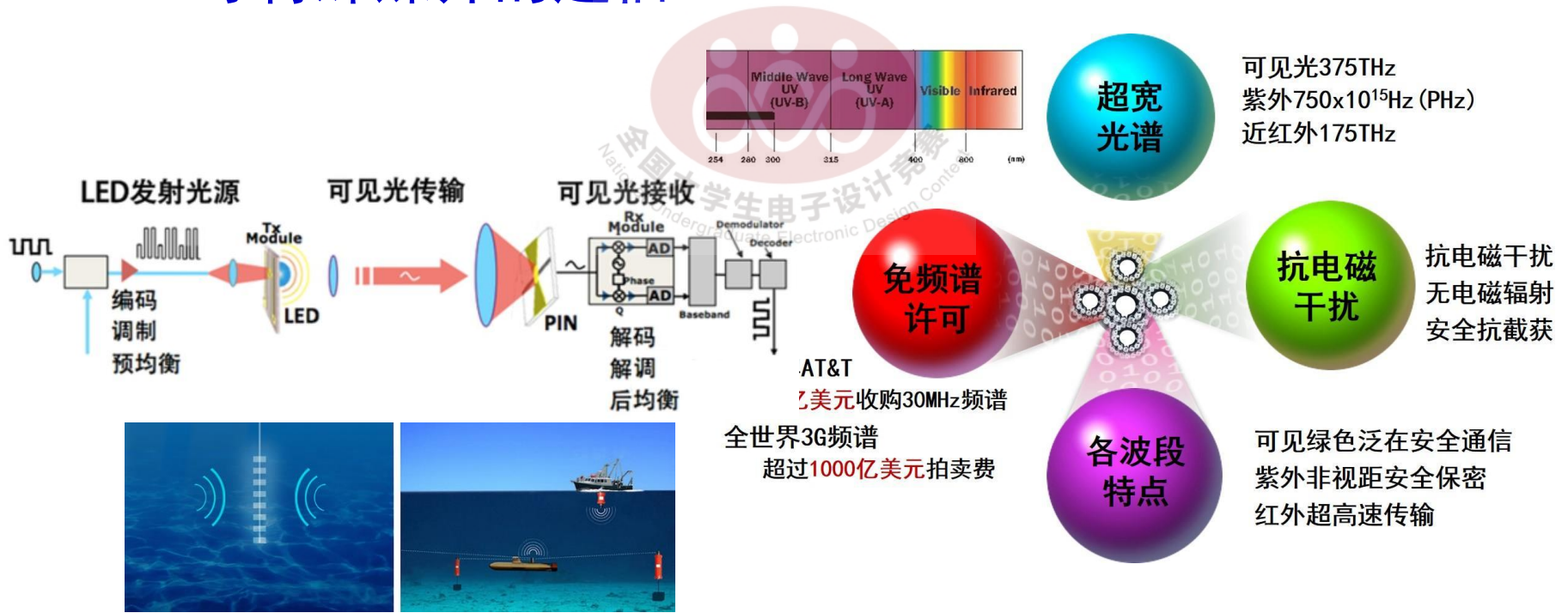


- 无线通信主要指基于电磁波在空间传输信息的通信方式



1) 越来越重视通信系统应用

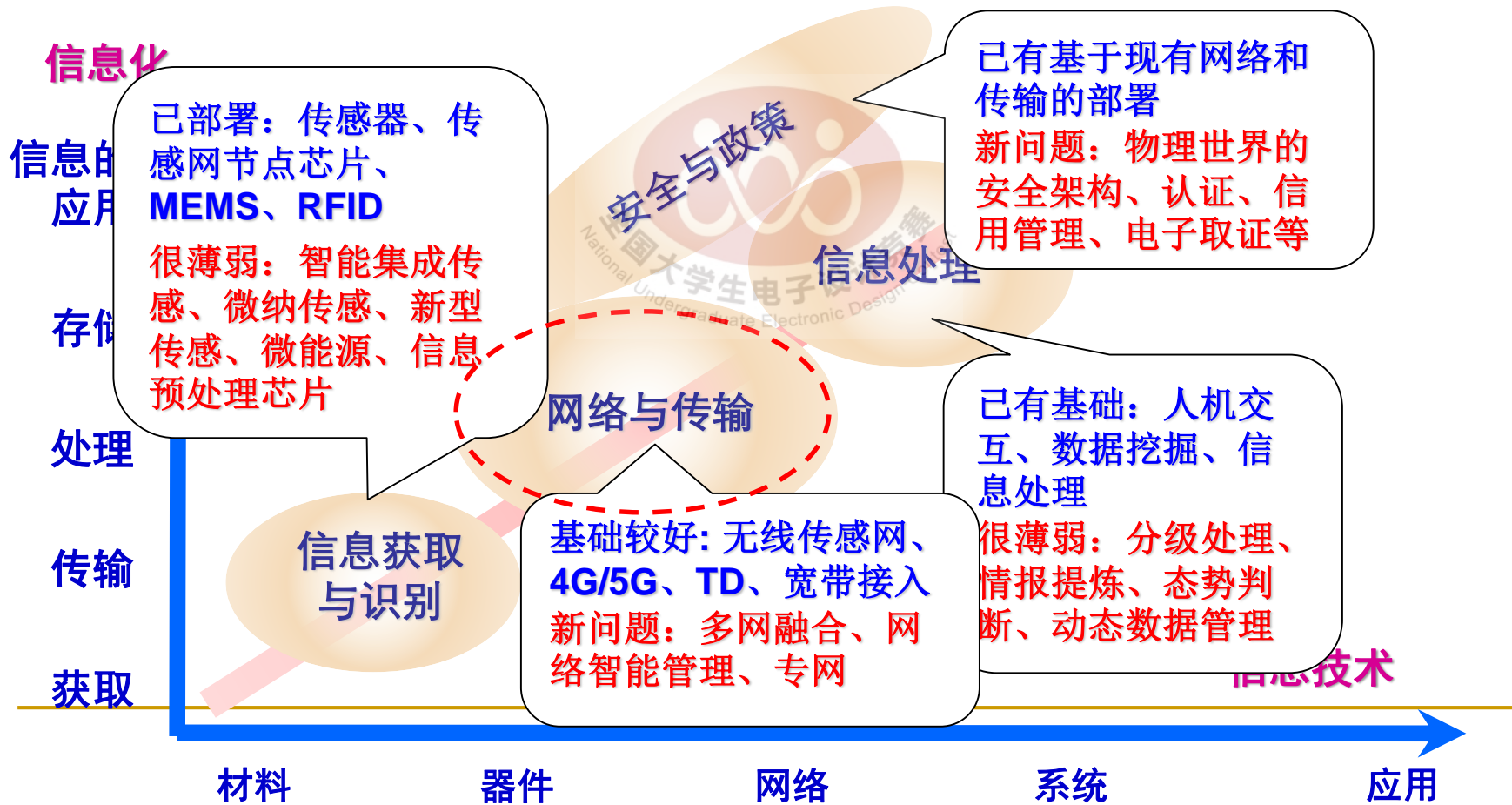
- **通信分类：有线、无线以及其他媒介通信等**
 - 其他媒介，比如基于声呐、可见光通信、红外通信等特殊媒介的通信。



1) 越来越重视通信系统应用

■ 通信系统结构：点对点通信、多点通信等

➤ 物联网技术的发展促使多点通信体系





1) 越来越重视通信系统应用

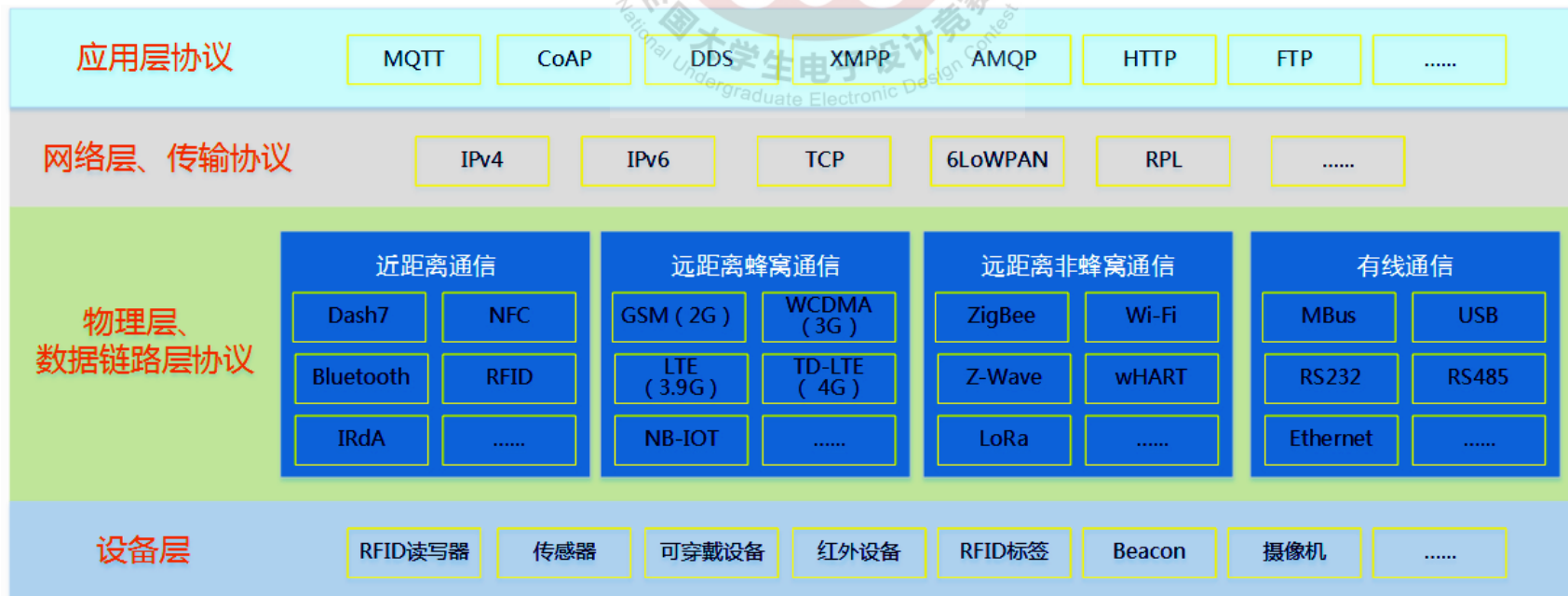
■ 通信系统结构：点对点通信、多点通信等

- 基于网络的多点通信，重点是在通信协议和网络架构。
 - ① RFID技术，IOT发展的基础技术，包括135KHz、13.56MHz、2.45 GHz、860 MHz - 960 MHz和433 MHz等多个波段的协议标准
 - ② NFC近距离无线通讯技术，是一种短距离的高频无线通信技术，可以选择106kbps、212kbps或424kbps其中一种传输速度
 - ③ Bluetooth蓝牙技术工作在2.4GHz ISM频段，带宽为1Mb/s。目前已经发布了5.0版，速度达2Mbps。

1) 越来越重视通信系统应用

■ 通信系统结构：点对点通信、多点通信等

- ④ ZigBee是一种无线连接，可工作在2.4GHz、868MHz和915 MHz三个频段上，分别具有最高250kbit/s、20kbit/s和40kbit/s的传输速率，它的传输距离在10-100m范围。



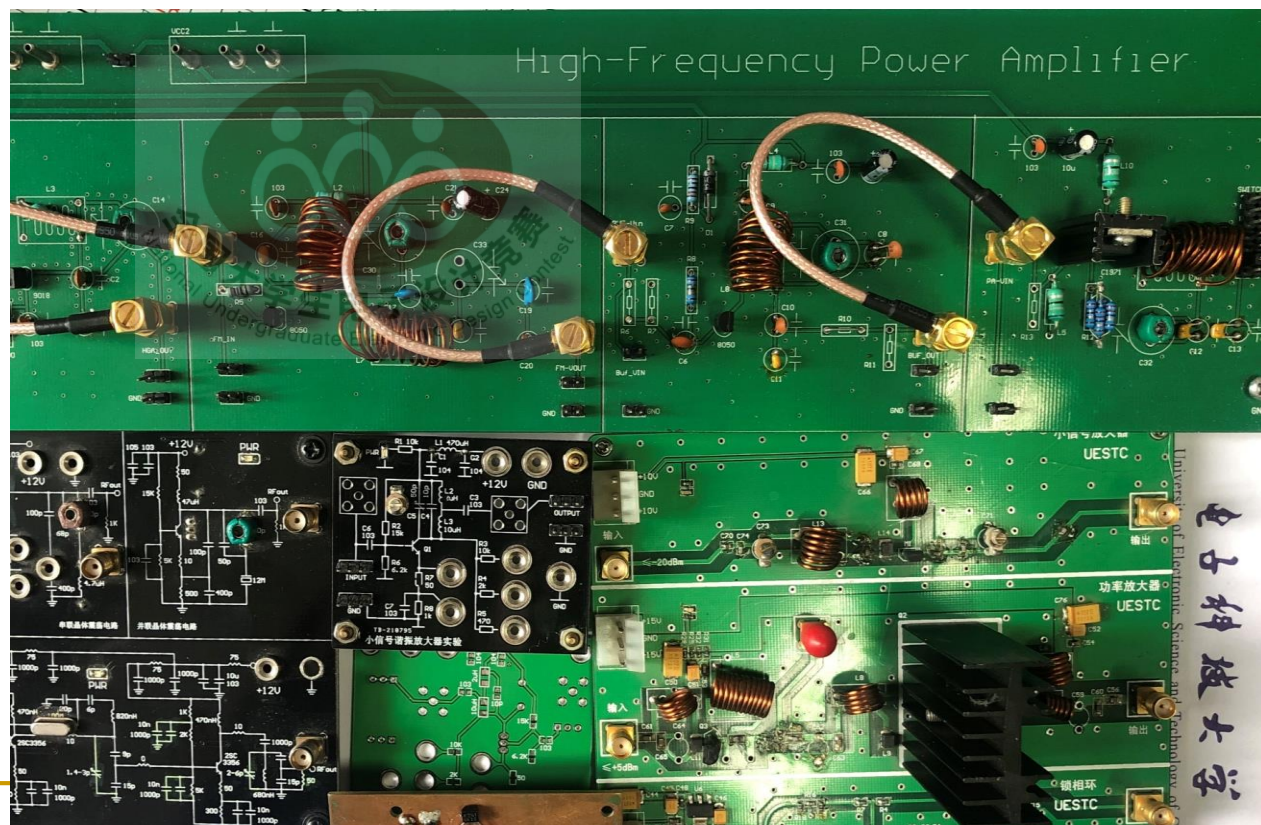
2) 工作频段越来越高

- 电子电路的工作频率越来越高，世界无线电通信大会对5G全球使用频段扩展到86GHz
- 高频集成电路发展很快，比如基于SiGe工艺的晶体管工作频率达到500GHz

WRC-15/WRC-19对5G网络全球使用频段分配决议/讨论	
频段	备注
470-698 MHz	WRC-15新增候选频段
698-790 MHz	5G试验频段
1427-1518 MHz	新增全球统一频段
3300-3400 MHz	5G试验频段
3400-3600 MHz	5G试验频段
3600-3800 MHz	5G试验频段
5150-5925 MHz	WRC-19纳入IMT使用频段
24.25-27.5 GHz	WRC-19纳入IMT使用频段
31.8-33.4 GHz	WRC-19讨论纳入IMT使用频段
37-40.5 GHz	WRC-19纳入IMT使用频段
40.5-42.5 GHz	WRC-19讨论纳入IMT使用频段
42.5-43.5 GHz	WRC-19纳入IMT使用频段
45.5-47 GHz	WRC-19纳入IMT使用频段
47-47.2 GHz	WRC-19讨论纳入IMT使用频段
47.2-50.2 GHz	WRC-19纳入IMT使用频段
50.4-52.6 GHz	WRC-19纳入IMT使用频段
66-76 GHz	WRC-19纳入IMT使用频段
81-86 GHz	WRC-19纳入IMT使用频段

2) 工作频段越来越高

- 在前几届竞赛题目涉及到小信号放大器涉及和LNA设计中，学生已经掌握了超过4GHz工作频率的集成电路使用。
- 有条件的高校应该加强高频电路课程改革和实验室建设，并普惠到本科生中。





2) 工作频段越来越高

- 本题目涉及内容基于典型的高频电路课程内容，希望推动相关课程改革和建设
- 本题目的各项功能和指标测试主要使用示波器、频谱分析仪来完成。其中示波器用来评判解调的语音信号波形是否失真；频谱分析仪用来测量峰值频偏和载波漂移等指标。
- 强化高频信号测量的相关仪器的使用，比如频谱分析仪。这有助于各个高校在高频实验室建设中争取学校支持。



电子科技大学

University of Electronic Science and Technology of China

谢谢大家!



欢迎大家到
电子科技大学!