

第一章 绪论

一个完整的通信系统应包含信息源，发送设备，信道，接收设备和收信装置。

调制是用调制信号控制载波的幅度，频率和相位。

无线通信为什么要进行调制？

- 1、将信号搬移到信道中的不同频段，从而可用同一信道传送多个信号。
- 2、无线通信时天线理论的约束。（天线理论：天线长度必须和电振荡的波长可以比拟，才能有效地把电振荡辐射出去。）

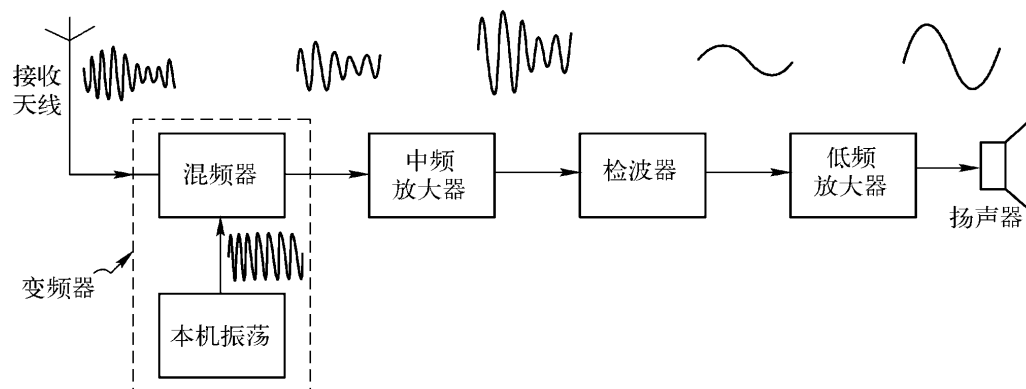
调制：将携带信号的低频电信号（称基带信号、低频信号或调制信号）“装载”到高频振荡信号（载频信号）上，生成已调信号。

解调：从已调信号接收到的高频信号中将低频信号提取出来。

基带信号：没有进行调制之前的原始信号（低频电信号），也称调制信号。

载频信号：未经调制的高频振荡信号。

已调信号：经过调制的高频振荡信号。



变频器=混频器+本机振荡器，将接收天线接收的信号频率记为 f_1 ，本机振荡频率为 f_2 ，经变频器后信号频率为 f_0 ，则有 $f_0 = |f_1 - f_2|$ ，可保证 f_0 为固定值，选台时选择不同的 f_1 是通过 f_2 的变化来实现的，通过调节本机振荡频率的大小来调节从而使 f_0 固定。

第二章 小信号调谐放大器

小信号调谐放大器的集电极负载是调谐回路/LC 谐振回路。

小信号调谐放大器主要有放大器和调谐回路两部分组成，性能指标有放大倍数、通频带和选择性。

谐振电路的 Q 值越高，选择性越好，但通频带越窄。

谐振回路有载 Q_L 比空载 Q_0 小，电路通频带比无载时要宽，选择性要差。

谐振回路的部分接入有互感变压器接入、自耦变压器接入和电容器抽头接入三种接入方式。

第三章 高频调谐功率放大器

调谐功率放大器一般工作在丙类状态，它的主要技术指标是输出功率、效率。

调谐功率放大器的基极采用反向偏置，目的是使放大器工作于丙类。

调谐功率放大器一般工作在丙类状态，为了兼顾功率和效率，它的导通角取 $40-70$ 度为宜。

调谐功率放大器的激励信号为正弦波时，集电极电流为余弦脉冲，但是由于利用了回路路的选频作用，可以得到基本正弦的电压输出。

根据调谐功率放大器在工作区是否进入饱和区，可将放大器分为欠压、过压和临界三种工作状态。

集电极调幅电路中功率放大器应在过压状态工作。基极调幅电路中功率放大器应在欠压状态工作。

调谐功率放大器在弱过压状态下，输出电压基本不随 R_c 变化，集电极效率 η 最高。深度过压时， i_c 波形下凹严重，谐波增多，一般应用较少。

直流馈电电路分为串馈和并馈两种，串馈电路适于工作在频率较高的情况。

第四章 正弦波振荡器

反馈式振荡器要正常工作必须满足起振、平衡和稳定三个条件。

三点式 LC 振荡器相位平衡的判断准则为射同基(集)反。

石英晶体谐振器的特点是，等效电感特别大，Q 值非常高，所以石英晶体谐振器的振荡频率稳定度非常高。

并联晶振电路工作在晶体并联谐振频率附近，晶体等效为电感。串联晶振电路工作在晶体串联谐振频率附近，晶体近乎于短路。

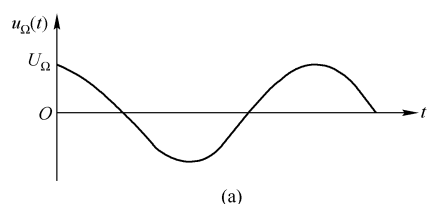
第五章 振幅的调制与解调

调制过程实现将低频信号搬移到高频段。解调过程是把低频信号从高频段搬移下来的过程。

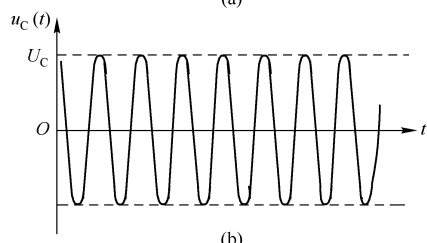
调幅波有普通调幅波、抑制载波的双边带调幅波、抑制载波的单边带调幅波三种。

DSB 调幅比普通调幅经济，但频带利用率相同。且它的包络已不再反映调制信号的变化规律。按功率电平的高低，振幅调制分为高电平调幅电路和低电平调幅电路，基极（集电极）调幅电路属于高电平调幅。

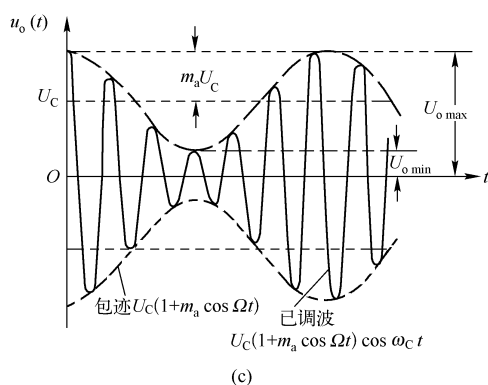
普通调幅信号



(a)



(b)



(c)

$$u_o(t) = U_c(1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega_c t$$

$$= U_c \cos \omega_c t + \frac{1}{2} m_a U_c \cos(\omega_c - \Omega)t + \frac{1}{2} m_a U_c \cos(\omega_c + \Omega)t$$

调幅波包络的最大值和最小值可表示为：

$$\begin{cases} U_{o \max} = U_c + m_a U_c = U_c(1 + m_a) \\ U_{o \min} = U_c - m_a U_c = U_c(1 - m_a) \end{cases}$$

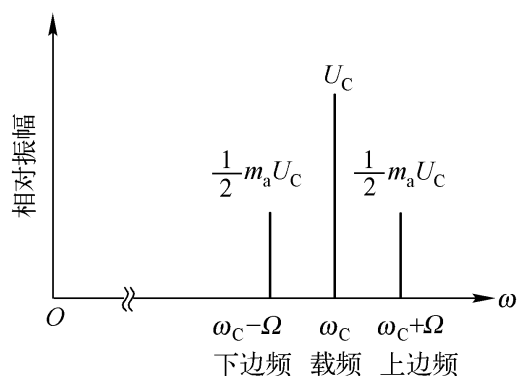
if $(U_{o \max} = U_{o \min} = U_c), m_a = 0$ 则为未调制状态

if $(U_{o \max} = 2U_c, U_{o \min} = 0), m_a = 1$ 则为最大调制状态

if $(U_{o \max} > 2U_c, U_{o \min} < 0), m_a > 1$ 则为过调幅状态

为了避免失真，应

$$m_a \in (0,1]$$



☆包含三个频率分量：高频载波分量、下边频分量、上边频分量。

振幅调制过程就是在频谱上将低频调制信号搬移到高频载波分量两侧的过程，原高频载波信号只是起到运载低频调制信号所含信息的作用。

这种调幅波的功率利用率很低。但其优点在于检波电路很简单，可以降低接收机的造价，故仍然广泛应用于广播发送机中。

双边带调幅波

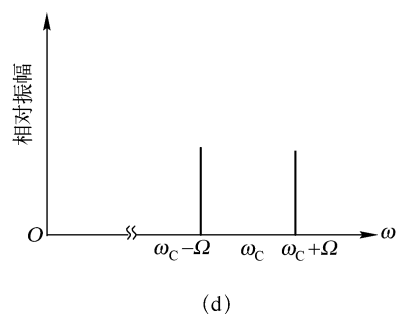
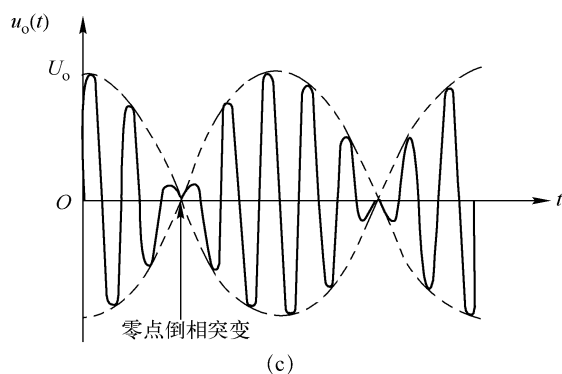
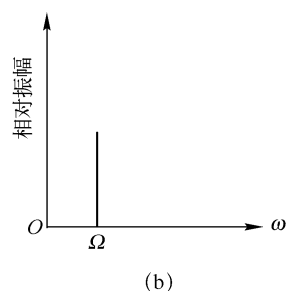
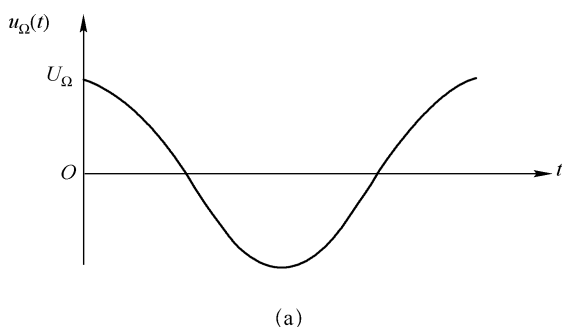
将调幅波中的载频分量抑制掉，仅将上、下边带向外发送。又称为抑制载波的双边带调幅。

☆表达式

$$u_o(t) = U_o \cos \Omega t \cos \omega_c t$$

$$= \frac{1}{2} U_o \cos(\omega_c - \Omega)t + \frac{1}{2} U_o \cos(\omega_c + \Omega)t$$

波形及频谱：



如图 (c)、(d) 所示, 双边带调幅波的包络已经不能反映调制信号的变化规律。

☆包含二个频率分量: 下边频分量、上边频分量

单边带调幅波

将双边带调幅波中的某一个边带抑制掉, 而只传送一个边带的信号。又称为抑制载波的单边带调制。

$$u_o(t) = U_o \cos(\omega_c - \Omega)t \quad (\text{上边带})$$

☆表达式:

$$\text{or } u_o(t) = U_o \cos(\omega_c + \Omega)t \quad (\text{下边带})$$

☆如上图 (a)、(b) 所示, 单边带调幅只包含一个频率分量: 下边频分量或上边频分量

☆二极管峰值包络检波器

对于普通调幅波, 由于其包络形状和调幅信号形状相同, 采用提取包络的方法, 可以实现检波, 这种检波方法称为包络 (迹) 检波。

熟悉检波电路以及各个部分作用:

各部分作用: VD 为起检波作用的非线性器件, C 为检波负载电容, R 为检波负载电阻。

工作原理简述:

- 1、二极管仅在变压器次级高频电压正半周的峰值附近一部分时间导电。
- 2、二极管导电期间, 电容 C 被充电, 其电位逐渐升高。
- 3、二极管截止期间, 电容 C 对电阻 R 放电, 电容 C 上电位逐渐下降。

失真: 即检波器输出的低频检波电压波形变化规律和输入高频调幅波的包络变化规律不同。

二极管包络检波器的电路组成 (能画出其原理图); RC 的取值对检波器的性能有何影响?

(从检波效率、输入电阻和检波失真方面分析); 存在何种失真? 产生失真的原因是什么?

1、检波负载时间常数过大引起的惰性失真

原因: 由负载电阻 R 和电容 C 构成的放电时间常数太大, 使得电容放电速度慢, 即检波二极管负极电位减小太慢, 正极电位将在高频的正半周峰值瞬间仍维持比其负极电位低, 从而截止。此时输出波形是电容放电波形, 产生失真。

解决或改善方法: 放电时间常数应小于临界时间常数, 即 $RC \leq \frac{\sqrt{1-m_a^2}}{m_a \Omega}$

当调幅系数的值越大或者调制信号的频率越高时, 容许的 RC 时间常数值越小。

2、检波负载交、直流值不等造成的平底切削失真

原因: 检波负载交、直流值不等, 造成平底切削失真, 当输入调幅波的幅度低于 $U_R = \frac{U_d R}{R + R_d}$ 时, 检波二极管便不再导通, 从而使得检波负载电容上的电压不能跟随输入调幅波幅度变化, 并保持为一常数。

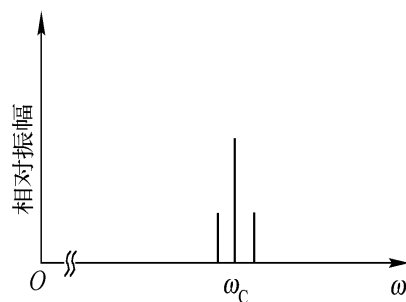
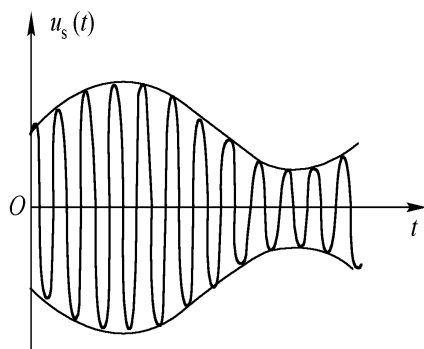
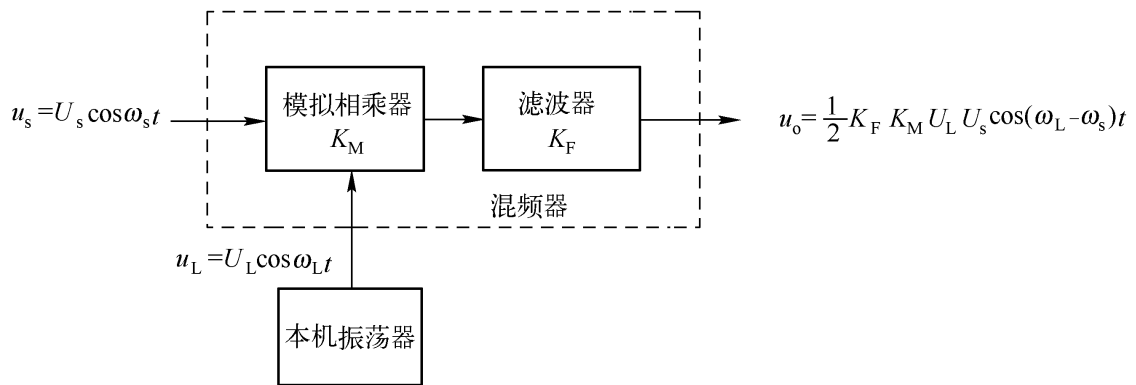
解决或改善方法: 在负载 R 上并联电容 Cd 和电阻 Rd, (图), Rd 和 Cd 组成的时间常数应足够大以避免产生低频调制信号的低频失真, 应有 $1/(\Omega_{\min} \cdot C_d) < (1/3 \sim 1/5) R_d$

混频

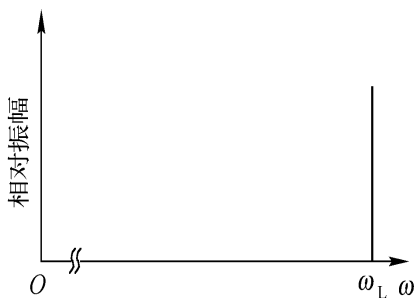
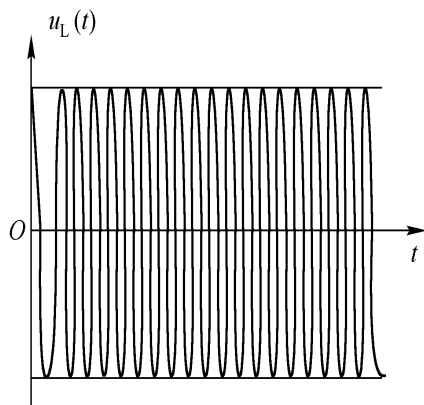
混频: 将原信号的各分量搬移至新的频域, 各分量的频率间隔和相对幅度保持不变。

相乘混频电路:

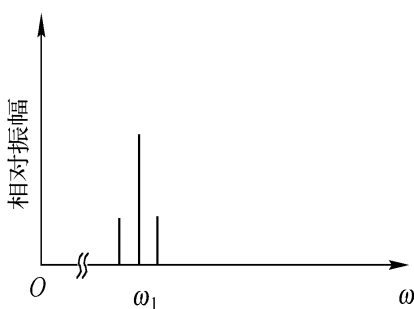
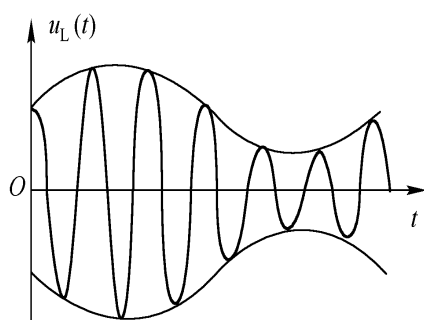
模拟相乘器加滤波器, 用滤波器滤除不需要的分量, 取和频或差频二者之一, 即构成混频器。



☆应用于超
外差式接收机：
采用变频技术使
本机振荡随接收
到的高频载波频
率变化，保持其
差值为常数并保
持固定，即
 $f_0 = |f_1 - f_2|$ 不
变。



优点：放大
器频率较低、中
心工作频率固定、增益较高、
选频特性较好。



$$(2) u_{o2}(t) = (20 + 5 \sin 2\pi \cdot 1000t) \cos 2\pi \cdot 1000000t \text{ V}$$

$$= 20 \cos 2\pi \cdot 1000000t + 5 \sin 2\pi \cdot 1000t \cos 2\pi \cdot 1000000t$$

积化和差 $= 20 \cos 2\pi \cdot 1000000t + \frac{1}{2} \cdot 5 \sin 2\pi \cdot (1000 + 1000000)t - \frac{1}{2} \cdot 5 \cos 2\pi \cdot (1000 - 1000000)t$

$$= 20 \cos 2\pi \cdot 1000000t + \frac{1}{2} \cdot 5 \sin 2\pi \cdot (1000 + 1000000)t - \frac{1}{2} \cdot 5 \cos 2\pi \cdot (1000000 - 1000)t$$

包含 1000000, 1000+1000000, 1000000-1000 三个频率，可知为普通调幅波。

附积化和差公式：
 $\sin \alpha \cos \beta = 1/2 \sin(\alpha + \beta) - 1/2 \cos(\alpha - \beta)$
 $\sin \alpha \sin \beta = 1/2 \cos(\alpha - \beta) - 1/2 \cos(\alpha + \beta)$
 $\cos \alpha \cos \beta = 1/2 \cos(\alpha + \beta) + 1/2 \cos(\alpha - \beta)$

对于调幅波，检波效率定义为输出低频电压幅值与输入高频调幅波包络幅值之比。

大信号检波器的失真主要是惰性失真和切割失真。

由于滤波电容放电慢引起的失真叫惰性失真，由于交流电阻与直流电阻不同引起的失真叫切割失真。

包络检波只能解调普通调幅波，不能解调 DSB 和 SSB 信号，抑制载波调幅的解调必须采用同步检波电路。

广播发射机接收机方框图，简要说明各部分的作用。

超外差式接收机里“混频”的作用是什么？如果接收信号的频率为 2100MHz，希望将其变为 70MHz 的中频，该怎么办？画出方框图并标明有关频率。

什么是载波？什么是调制信号和基带信号？为什么要进行调制？给出两种理由。

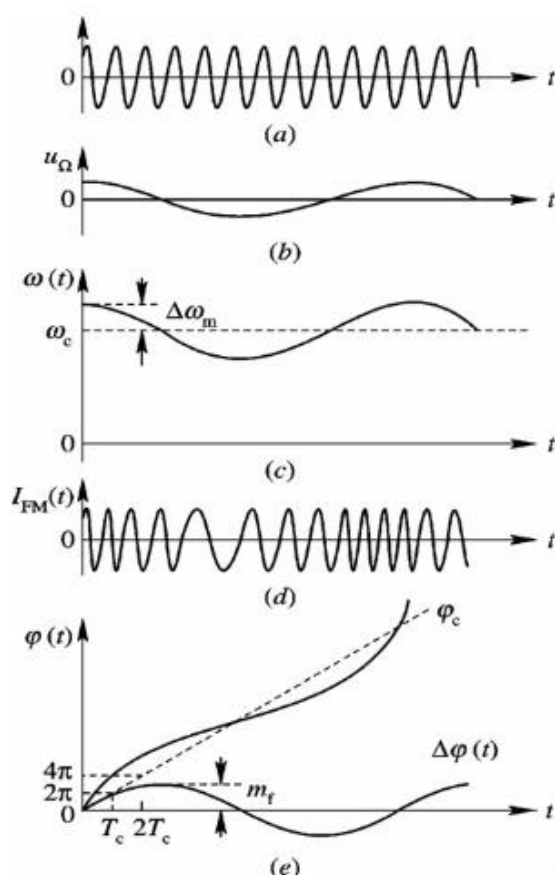
角度调制与解调

调角：用调制信号去控制高频振荡的频率或相位，使之随调制信号的变化规律而变化，这一过程称做调频或调相。

调角的逆过程称频率解调或相位解调，也称频率检波或相位检波。频率检波也称鉴频，相位检波也称鉴相。

☆通过在频域对调频、调相波表达式进行傅里叶变化可知：调频、调相的频带宽度为无限宽。

☆调频与调相波形变换过程：

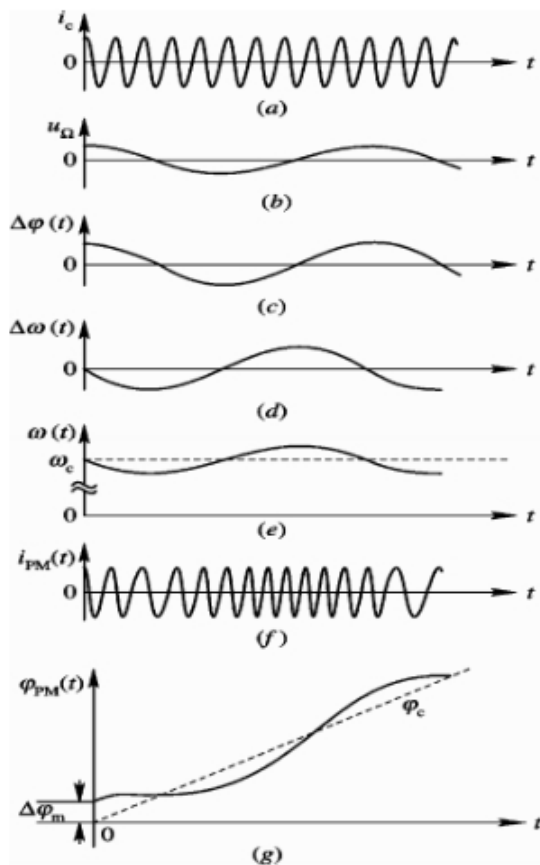


调频

(a) 图为高频载波信号波形，(b) 图为低频基带信号波形，(c) 图为载波与基波混合后信号的角频率随时间变化波形，(d) 图为调频信号输出波形，(e) 图为调频信号的相位变化分析。

说明：

- 1、由 (c) 图知混频后信号的角频率值为高频载波信号的角频率值（恒定）叠加上与基带信号波形成比例的值。
- 2、由角频率变化波形 (c) 图得出，调频是用低频基带信号来控制高频载波信号的频率。
- 3、由 (d) 图知调频波波形为疏密相间的等幅波，其疏密情况与基波信号波形变化规律一致。
- 4、由于相位是角频率的积分，所以有由 (e) 图知，调频也会导致相位发生相应变化，反之亦然。



调相 (a) 图为高频载波信号波形, (b) 图为低频基带信号波形, (c) 图为载波与基波混合后信号的相位随时间的变化量, (d) 图为载波与基波混合后信号的角频率随时间的变化量, (e) 图为载波与基波混合后信号的角频率随时间的变化波形, (f) 图为调相信号输出波形, (g) 图为调相信号的相位变化分析。

说明: 考虑到此图为调相过程, 先对相位变化进行分析, 再对角频率变化进行分析。

1、由 (c) 图知相位变化量的变化规律与基波信号波形一致。

2、由于角频率是相位的微分, 所以由 (c) 图相位变化量的变化波形求得 (d) 图角频率变化量的变化波形, 从而得出 (e) 图角频率的变化波形。

3、由 (d) 图知调相波波形为疏密相间的等幅波, 其疏密情况与基波信号波形的微分变化规律一致。

4、调频 (e) 图区别于调相 (g) 图在于调相有初始相位值。由于角频率与相位的微积分关系, 调相会导致角频率相应变化, 反之亦然

调频实现方法: 直接调频和间接调频: **需要掌握原理和实现电路**

直接调频: 由于载波信号频率 $f=1/[2\pi*(LC)-0.5]$ ----- (注: $(LC)-0.5$ 表示 LC 开根号), 所以通过直接改变电路中的①振荡器的 C (变容二极管) 或②改变振荡器的 L (电抗管) 得以实现。 此法频率稳定性较差, 但方法较简单。

间接调频: 利用频率与相位之间的微分与积分关系, 首先将调制信号进行积分处理, 然后将经过处理的调制信号对高频振荡进行调相。 此法载频的稳定性高, 但不易获得大的频偏。

对调频器的主要要求 (最理想的):

1、频率偏移大, 且与调制信号保持线性关系 2、寄生调幅小 3、调制灵敏度高
最大频率偏移与调制线性度通常称为调频器的主要矛盾, 二者有类似于反比关系。

☆直接调频电路

变容二极管: 结电容随着反向电压的变化而变化。需要掌握计算公式

。

☆间接调频电路

移相法: $\theta_o(t) \longrightarrow \theta_o(t) + \Delta\psi(t)$

时延法: $U_c \cos \omega_o t \longrightarrow U_c \cos \omega_o(t - \tau)$

故欲得到线性调频, 必须满足:

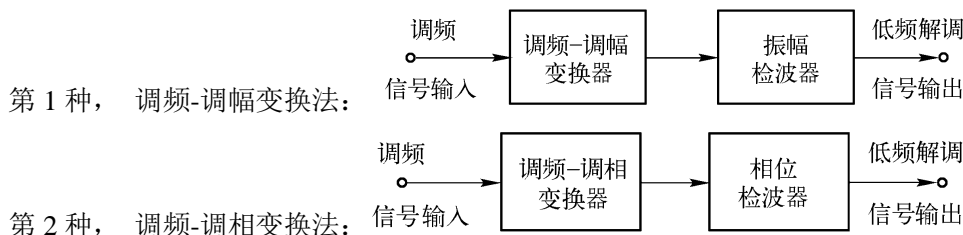
(1)、 $\Delta\psi \leq 30^\circ$; (2)、 $\Delta C \ll C_0$; (3)、变容二极管容量变化时, 回路总等效电容变化量应与调制电压 u_Ω 呈线性关系

可变时延法调相电路:

使时延 τ 受经积分处理后的调制电压 u_Ω 控制, 当时延与 u_Ω 之间呈线性关系时, 便可得到线性

调频。

频率解调的基本原理和方法



鉴频电路

单失谐回路斜率鉴频器: 属于第 1 种鉴频电路。

原理: 该电路利用 LC 谐振回路的谐振特性对调频波进行调频-调幅变换, 变换特性取决于谐振特性曲线的斜率, 故称斜率鉴频器。

调幅-调频变换器中谐振回路的谐振频率不是在输入信号的中心频率, 而是高于或低于信号中心频率, 所谓“失谐回路”就由此而得名。利用了谐振回路对不同频率呈现不同阻抗, 从而有不同电压输出的特性, 将等幅的调频波转换为幅度随频率变化的调频-调幅波。

设电路谐振频率为 f_0 , 信号中心频率为 f_0' , 则当 $f_0 > f_0'$ 时, 随着输入信号频率的升高, 输出信号幅度加大; 当 $f_0 < f_0'$ 时, 随着输入信号频率的升高, 输出信号幅度将减小。

★单失谐回路斜率鉴频电路的鉴频灵敏度有以下特点:

- 1、鉴频灵敏度随输入调频波的幅度增大而增大, 又因跨导随器件工作点的提高而增大。
- 2、鉴频灵敏度随器件工作点的提高而有所增大。
- 3、鉴频灵敏度随工作频率的升高而降低。

当 $\xi = \pm 0.7$ 时, 有最大鉴频灵敏度; 当 $\Delta \xi = \pm 0.4$ 或 $\Delta f = \pm 0.2f_0/Q$ 时, 鉴频特性近似线性。

双失谐回路斜率鉴频器:

与单失谐回路斜率鉴频器相比, 双失谐回路斜率鉴频器的鉴频灵敏度高, 非线性失真小, 而且工作频带宽度也较大。

其两个谐振回路的谐振频率 f_{01} 和 f_{02} 对称地处于调频波的载频 (中心频率) f_0 的两侧。

例题讲解

1. 在下图中, $R_s = 10K\Omega$, $R_L = 5K\Omega$, $C = 20PF$,
 $f_0 = 30MHZ$, $Q_0 = 100$, $l_{13} = 6$ 匝, $l_{12} = 2$ 匝, $l_{45} = 3$ 匝,

求: 一次侧电感 L , 有载品质因素 Q_e 。

解: 由于 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 可得 $L = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 C}$

代入数据可得 $L = 1.407\mu H$

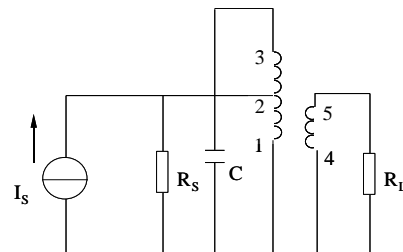
将 I_s , R_s , R_L 均折算到并联谐振回路 1-3 两端, 其值分别为 I'_s , R'_s , R'_L

令自耦变压器的匝数比为 n_1 , 即 $n_1 = \frac{L_{13}}{L_{12}} = \frac{6}{2} = 3$

所以 $R'_s = n_1^2 R_s = 3^2 \times 10K\Omega = 90K\Omega$

令变压器的匝数比为 n_2 , 即 $n_2 = \frac{L_{13}}{L_{45}} = \frac{6}{3} = 2$

所以 $R'_L = n_2^2 R_L = 2^2 \times 5K\Omega = 20K\Omega$



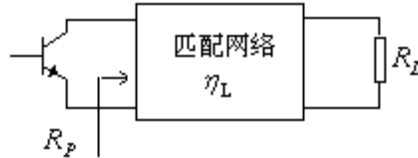
$$R_p = Q_0 \sqrt{\frac{L_{13}}{C}} = 26.5 K\Omega$$

$$R_e = R'_s // R_p // R'_L = 10.1 K\Omega$$

因此

$$Q_e = R_e \sqrt{\frac{C}{L_{13}}} = 38$$

谐振功率放大器工作于临界状态， $U_{CC}=25V$ ， $U_{cm}=22V$ ，输出功率 $P_0=5W$ ，集电极效率 $\eta_c=50\%$ ，输出匹配网络效率 $\eta_L=0.9$ 。如图所示。求：



- (1) 电源直流功率 P_{dc} ;
- (2) 直流电流 I_{c0} ;
- (3) 基波分量 I_{c1} ;
- (4) 集电极阻抗 R_p 及负载功率 P_L 。

5、解：

$$(1) \quad P_{dc} = \frac{P_0}{\eta_c} = \frac{5}{0.5} = 10W$$

$$(2) \quad I_{c0} = \frac{P_{dc}}{U_{CC}} = 0.4A$$

$$(3) \quad I_{c1} = \frac{2\eta_c I_{c0} U_{CC}}{U_{cm}} = 0.45A$$

$$(4) \quad R_p = \frac{U_{cm}}{I_{c1}} = 48.4\Omega, \quad P_L = P_0 \eta_L = 4.5W$$

已知调角波 $u(t)=10\cos(2\pi \times 10^6 t + 10\cos 2000\pi t)V$ ，试确定：

- (1) 最大频偏；
- (2) 最大相偏；
- (3) 信号带宽；
- (4) 此信号在单位电阻上的功率；
- (5) 能否确定这是 FM 还是 PM 波？

解：

$$\text{已知} \quad m = 10, \quad F = 10^3 \text{Hz}$$

$$\text{则} \quad \Delta f_m = mF = 10\text{kHz}$$

$$\text{最大相偏即为调制指数} \quad m = 10$$

$$\text{信号带宽} \quad BW = 2(m+1)F = 22\text{kHz}$$

在单位电阻上消耗的功率为 $P = \frac{1}{2} U_m^2 = 50W$

不能确定是 FM 还是 PM 波

给定调频波的中心频率 $f_c = 50MHz$ ，最大频偏 $\Delta f_m = 75kHz$ ，求：

A. 当调制信号频率 $F = 300Hz$ 时，调频指数 m_f 及调频波有效带宽 BW

B. 当调制信号频率 $F = 15kHz$ 时，调频指数 m_f 及调频波有效带宽 BW

解：1. 调频指数 $m_f = \Delta f_m / F = 75 / 0.3 = 250$ $BW = 2(\Delta f_m + F) = 2(75 + 0.3) = 150.6kHz$

2. 调频指数 $m_f = \Delta f_m / F = 75 / 15 = 5rad$ $BW = 2(\Delta f_m + F) = 2(75 + 15) = 180kHz$