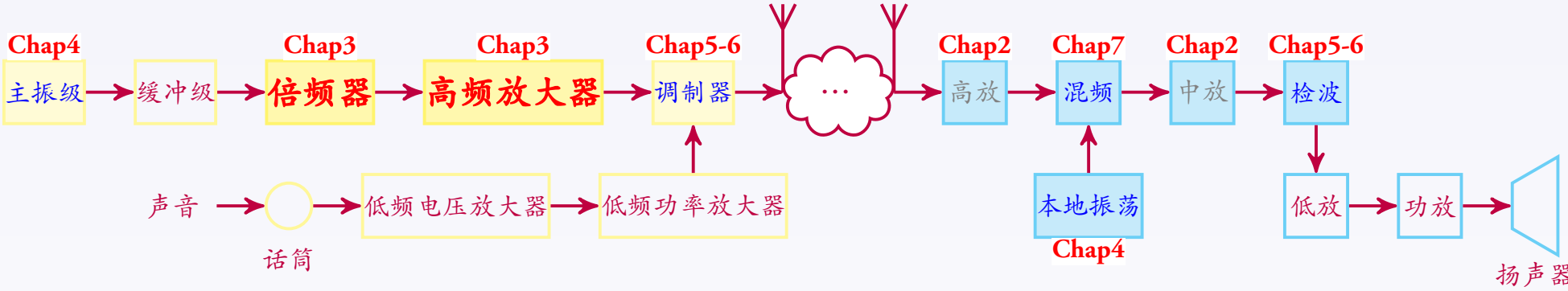
# 课程主要内容

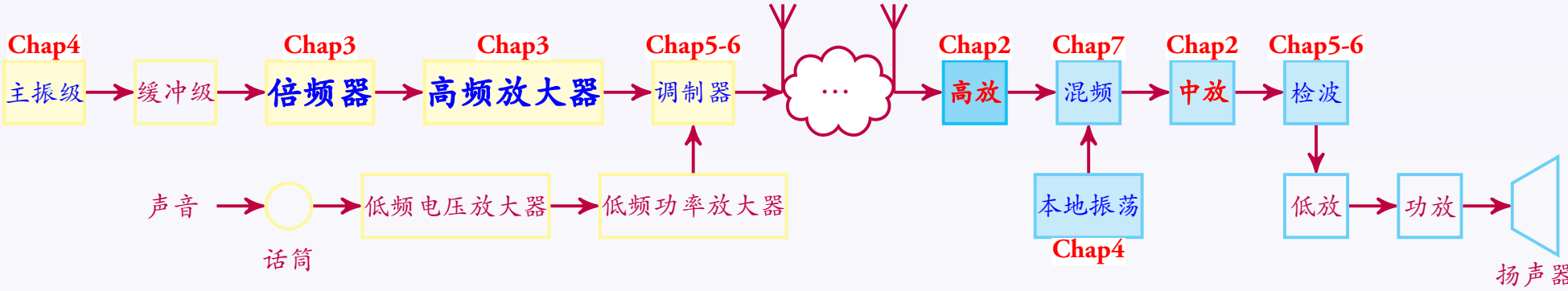



1. Chap2 谐振回路 高频电路基础
2. Chap2 小信号调谐放大器 放大选频
3. Chap3 调谐功率放大器 **功率 效率 谐波抑制度**
4. Chap3 倍频器
5. Chap4 正弦波振荡器
6. Chap5 振幅调制与解调
7. Chap6 角度调制与解调
8. Chap7 变频器
9. Chap8 锁相环

1. 电阻、电容、电感等无源线性元件
2. 二极管、三极管等有源非线性器件
3. LC 谐振回路、基本放大电路、振荡器电路等

着重讨论发送设备和接收设备各单元的工作原理和组成，以及构成发送、接收设备的各种单元电路的工作原理、典型电路和分析方法。

# 高频调谐功率放大器 VS. 小信号调谐放大器




| | 高频调谐功率放大器 | 小信号调谐放大器 |
|---|---|---|
| 输入信号电压 | 几百毫伏到几伏 | 微伏至毫伏 |
| 晶体管工作 | 延伸到非线性区域（截止和饱和区）；丙类状态；发射机高放 | 线性范围（放大区）；甲类状态；接收机高放、中放 |
| 功率和效率 | 输出功率大，以满足天线发射和其他负载的要求 | 功率较小，但通过匹配阻抗可以获得很大的功率增益；效率较低 |
| 主要指标要求 | 输出功率、效率和谐波抑制度等 | 有足够的增益，满足通频带和选择性要求，工作稳定等 |

# 高频调谐功率放大器

郑海永
选课号：0202004　　课程号：071502101211
上课时间地点：周 1/34 节/7108 周 4/12 节/7108

中国海洋大学 电子工程系

2012 年 10 月

# 本章主要内容


1. 调谐功率放大器的用途与特点
2. 调谐功率放大器的工作原理
3. 功率和效率
4. 调谐功率放大器的工作状态分析
5. 调谐功率放大器的实用电路
6. 功率晶体管的高频效应
7. 倍频器

# 目录


1. 调谐功率放大器的实用电路
   - 直流馈电电路
   - 自给偏压环节
   - 输入、输出匹配网络
2. 功率晶体管的高频效应
   - 高频功率晶体管的电流放大倍数
3. 倍频器
   - 倍频器

# 内容提要


1. 调谐功率放大器的实用电路
   - 直流馈电电路
   - 自给偏压环节
   - 输入、输出匹配网络
2. 功率晶体管的高频效应
   - 高频功率晶体管的电流放大倍数
3. 倍频器
   - 倍频器

# 内容提要

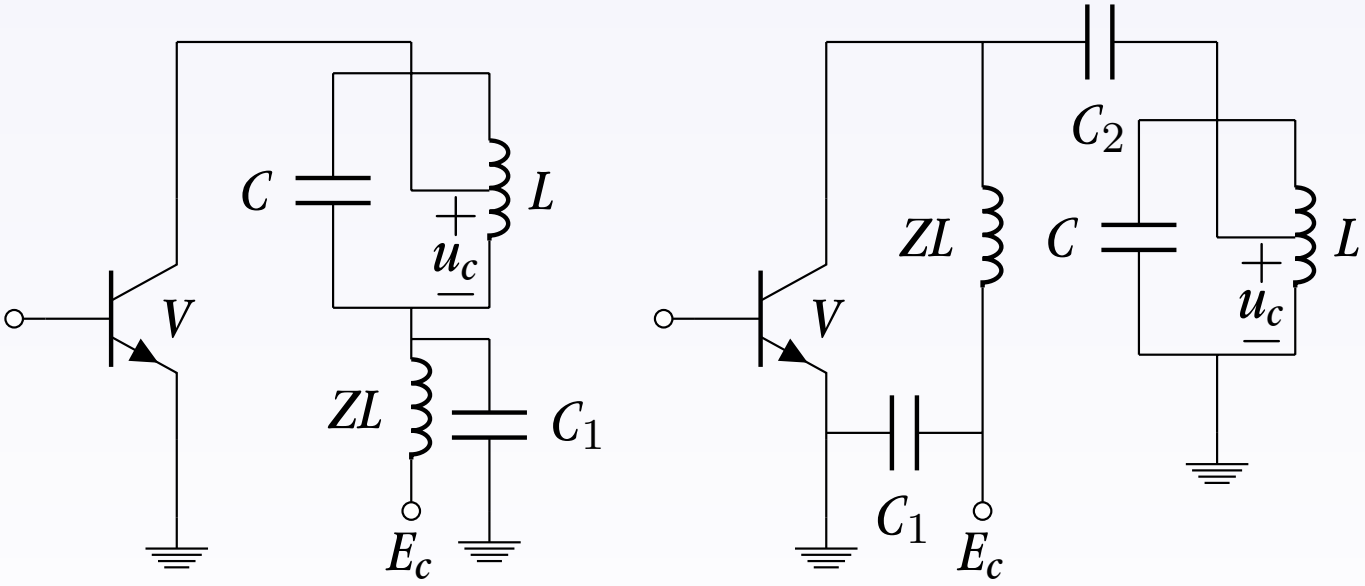
1 调谐功率放大器的实用电路
- 直流馈电电路
- 自给偏压环节
- 输入、输出匹配网络

2 功率晶体管的高频效应
- 高频功率晶体管的电流放大倍数

3 倍频器
- 倍频器

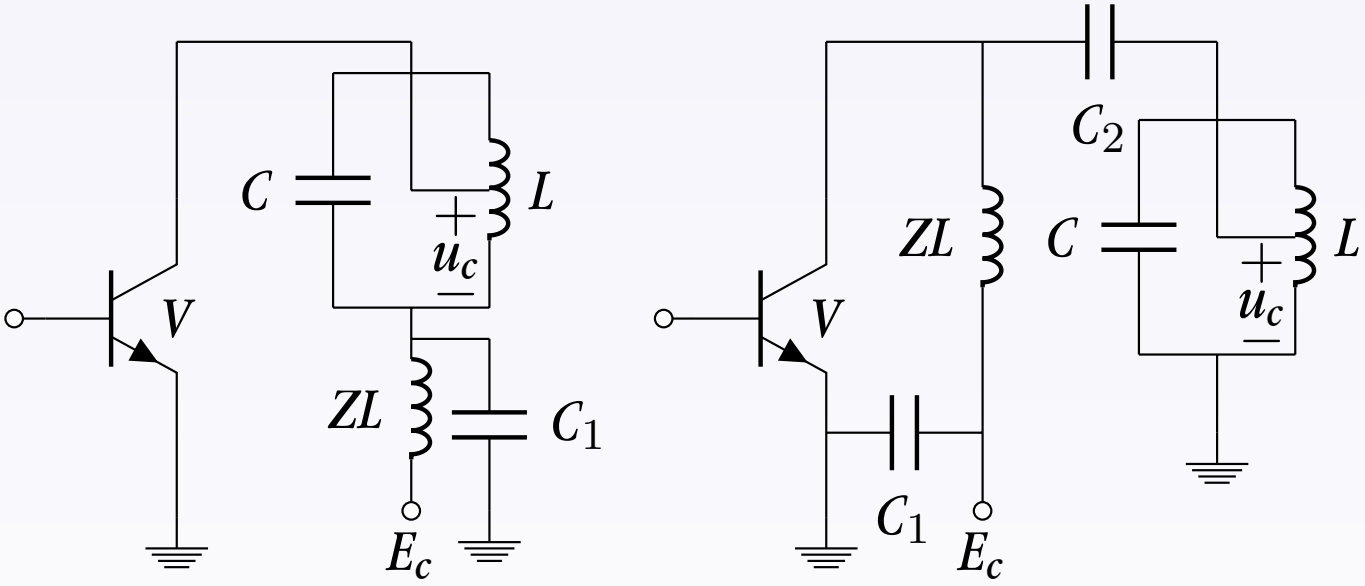
# 串馈与并馈

电源、晶体管和负载串联连接与并联连接



# 串馈与并馈

电源、晶体管和负载串联连接与并联连接

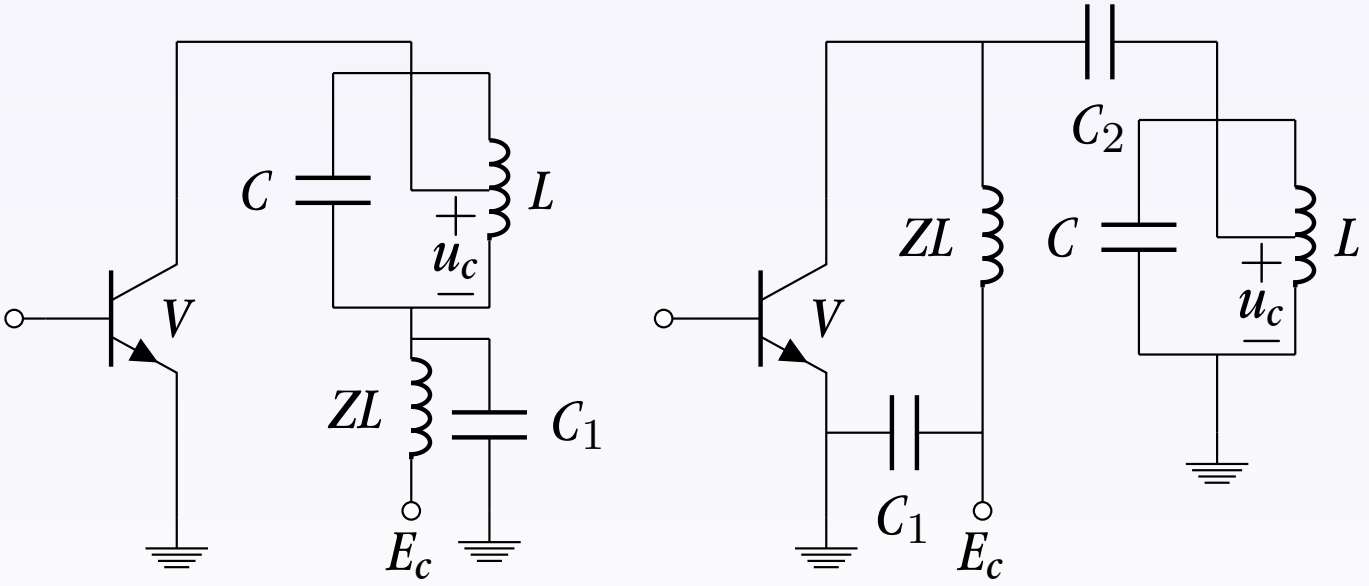



## 并馈

- 优点：$C_2$ 隔直流，谐振回路处于直流地电位，滤波元件可以直接接地，因此电路板安装比较方便。
- 缺点：高频扼流圈 $ZL$ 和隔直电容 $C_2$ 都处于高频电压下，对调谐回路有不利影响。
- 馈电支路的分布电容限制放大器工作在更高频段。

# 串馈与并馈

电源、晶体管和负载串联连接与并联连接




## 串馈

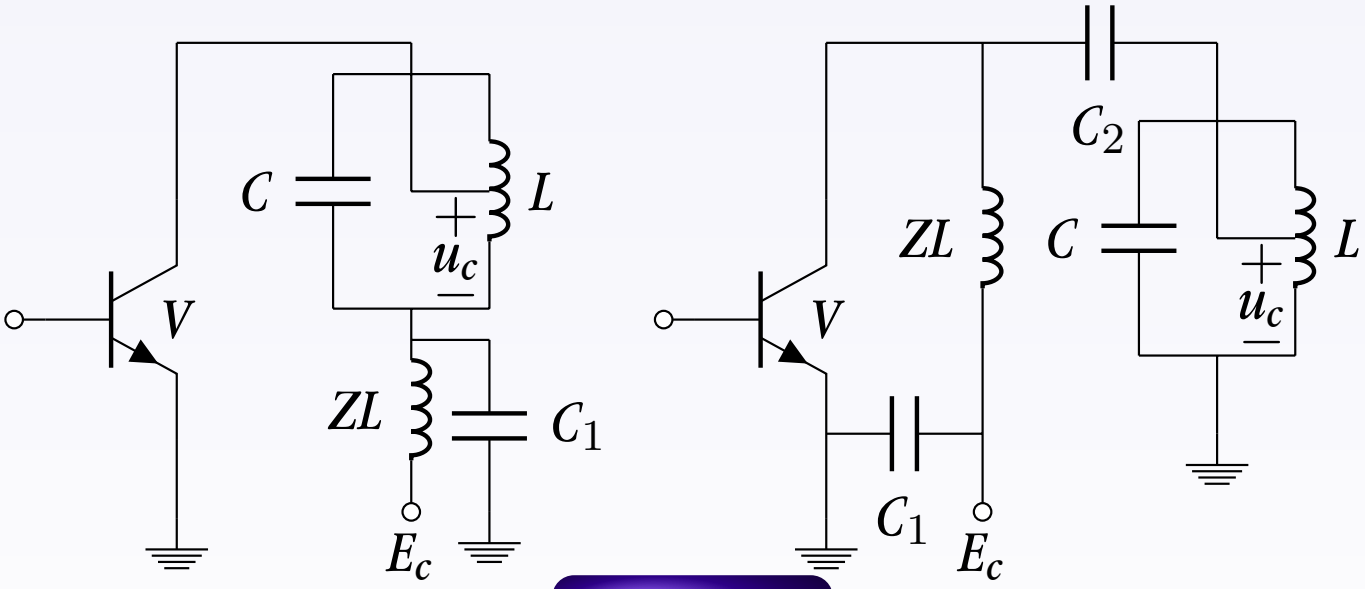
- 优点：谐振回路通过旁路电容 $C_1$ 接地，所以馈电支路分布参数不会影响谐振回路工作频率。
- 缺点：谐振回路处于直流高电位上，谐振回路元件不能直接接地，调谐时外部参数影响较大，调整不变。
- 适于工作在频率较高的情况。

## 并馈

- 优点：$C_2$ 隔直流，谐振回路处于直流地电位，滤波元件可以直接接地，因此电路板安装比较方便。
- 缺点：高频扼流圈 $ZL$ 和隔直电容 $C_2$ 都处于高频电压下，对调谐回路有不利影响。
- 馈电支路的分布电容限制放大器工作在更高频段。

# 串馈与并馈

电源、晶体管和负载串联连接与并联连接

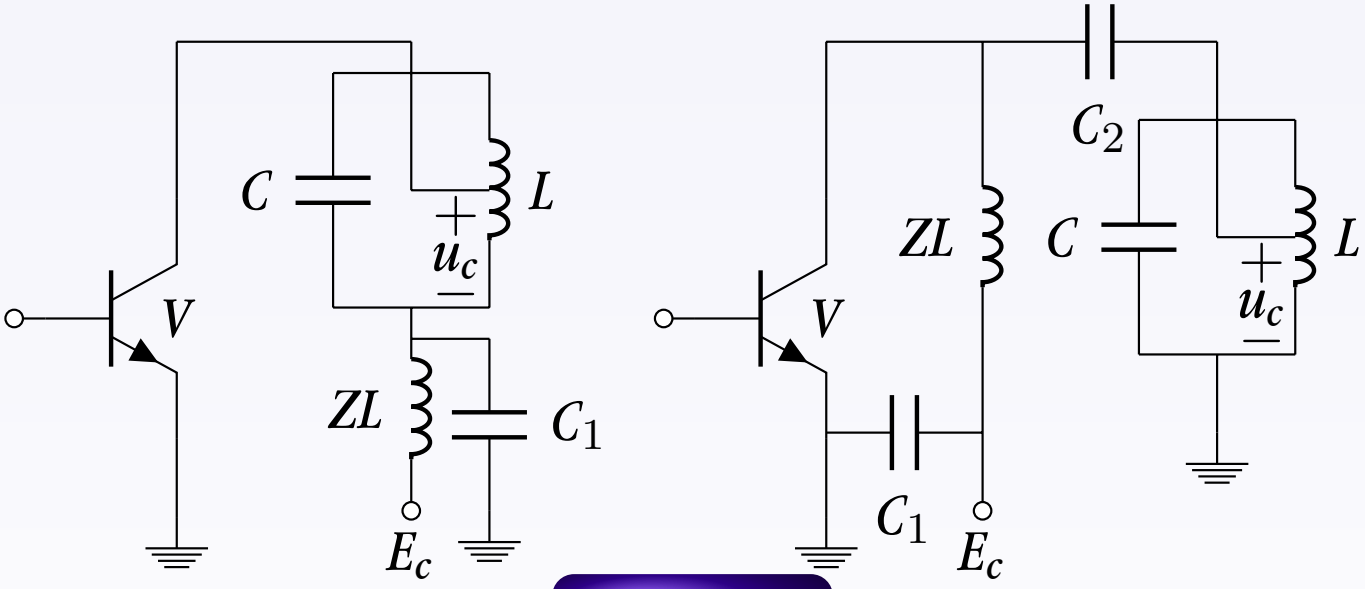



谐波分量

- 高频扼流圈对高频有扼制作用；其阻抗应比相应支路阻抗大一个数量级（10 倍）。
- 旁路电容对高频有短路作用；其阻抗应比相应支路阻抗小一个数量级。

# 串馈与并馈

电源、晶体管和负载串联连接与并联连接



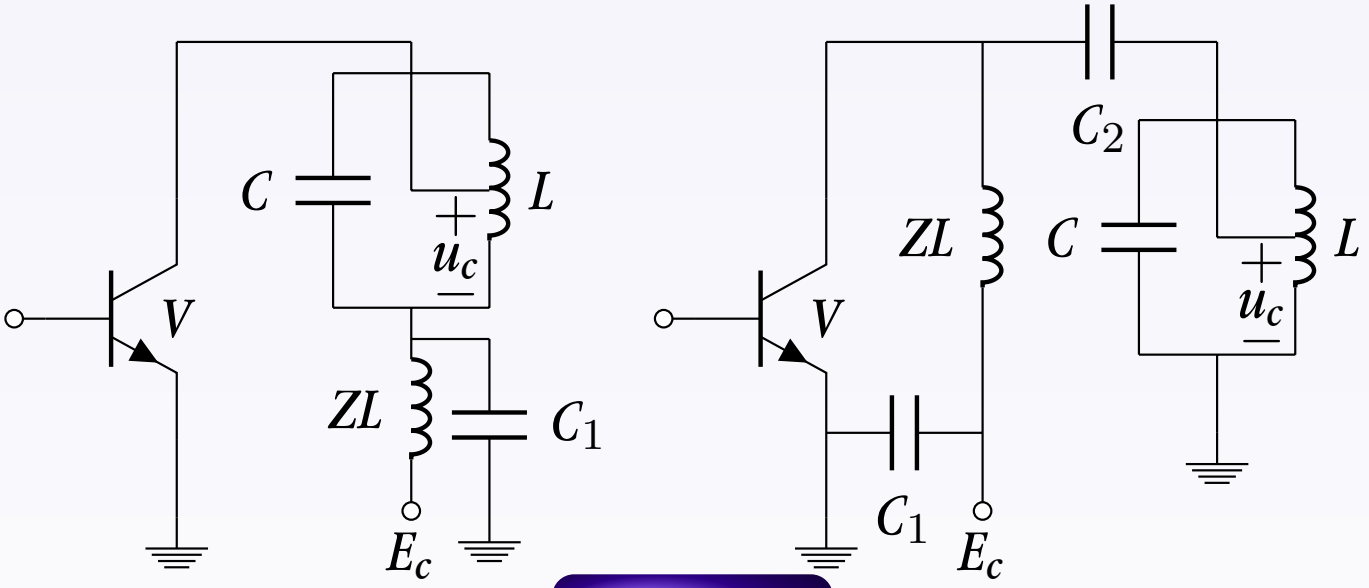

谐波分量

- 高频扼流圈对高频有扼制作用；其阻抗应比相应支路阻抗大一个数量级（10 倍）。
- 旁路电容对高频有短路作用；其阻抗应比相应支路阻抗小一个数量级。

| 串馈 | 并馈 |
| --- | --- |
| $x_{C_1}=\left(\frac{1}{5\sim20}\right)R_c \quad x_{L_1}=(5\sim20)R_c$ | $x_{C_2}=\left(\frac{1}{5\sim20}\right)R_c \quad x_{L_2}=(5\sim20)R_c$ |

# 串馈与并馈

电源、晶体管和负载串联连接与并联连接




谐波分量

- 高频扼流圈对高频有扼制作用；其阻抗应比相应支路阻抗大一个数量级（10 倍）。
- 旁路电容对高频有短路作用；其阻抗应比相应支路阻抗小一个数量级。

高频扼流圈电感量原则上大一些好，但太大则线圈圈数过多，分布电容增大，影响扼流作用。

- 工作频率较高时，系数应取下限，如 $x_L = (5 \sim 10)\,R_c$。
- 工作频率较低时，系数应取上限或更大，如 $x_L = (20 \sim 100)\,R_c$。

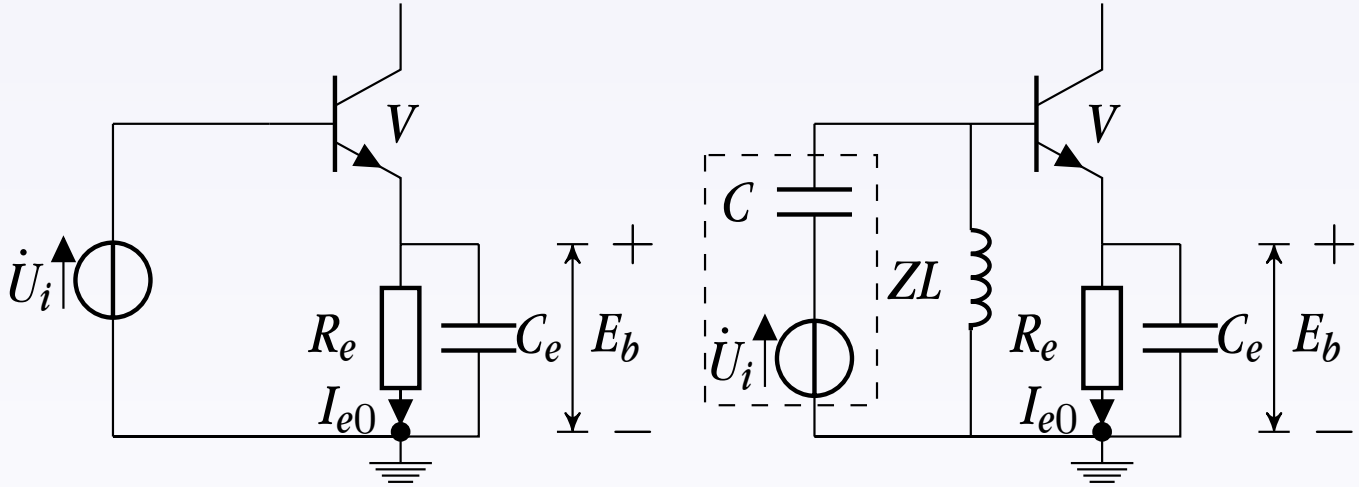
# 内容提要

1 调谐功率放大器的实用电路
- 直流馈电电路
- 自给偏压环节
- 输入、输出匹配网络

2 功率晶体管的高频效应
- 高频功率晶体管的电流放大倍数

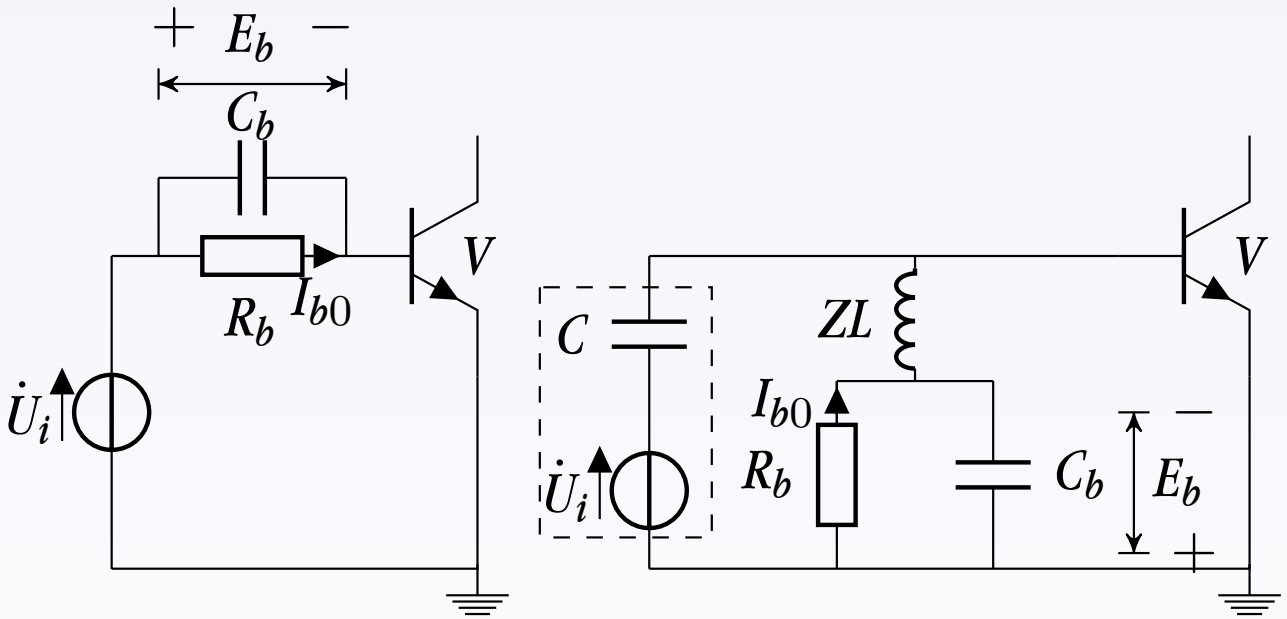
3 倍频器
- 倍频器

# 射级电流自给偏压环节




- 射级电流的直流成分 $I_{e0}$ 通过电阻 $R_e$ 形成电压 $I_{e0}R_e$ 对晶体管是一个反偏压。$R_e = \frac{E_b}{I_{e0}}$
- 为保证偏压不随交流波动旁路电容 $C_e$ 放电时间常数应足够大。$R_eC_e \geqslant \frac{5}{f}$
- $ZL$ 的作用是将射级偏压引向基级，同时也为基级直流提供通路。
- 当调谐功率放大器设计在欠压状态下工作时，采用射流偏压环节较好。

# 基级电流自给偏压环节




- 基级直流成分 $I_{b0}$ 通过电阻 $R_b$ 造成的电压 $I_{b0}R_b$ 对基级是个反偏压。$R_b = \frac{E_b}{I_{b0}}$
- 为了减少 $E_b$ 随交流电流波动旁路电容 $C_b$ 放电时间常数应足够大。$R_bC_b \geqslant \frac{5}{f}$
- 高频扼流圈 $ZL$ 防止输入信号被 $C_b$ 短路。
- 当调谐功率放大器设计在过压状态时采用基流偏压环节较好。

# 内容提要

1 调谐功率放大器的实用电路
- 直流馈电电路
- 自给偏压环节
- 输入、输出匹配网络

2 功率晶体管的高频效应
- 高频功率晶体管的电流放大倍数

3 倍频器
- 倍频器

# 匹配网络

**输入匹配电路** 实现信号源输出阻抗与放大器输入阻抗之间的匹配，以期获得最大的激励功率。

**输出匹配电路** 将负载 $R_L$ 变换为放大器所需的最佳负载电阻，以保证放大器输出功率最大。

- 匹配网络应具有选频作用，充分滤除不需要的直流和谐波分量，以保证外接负载上仅输出高频基波功率。
- 匹配网络还应具有阻抗变换作用，以保证放大器工作在所设计的状态。
- 匹配网络应能将功率管输出的信号功率高效率传送到外接负载。

1. 并联谐振回路匹配电路
2. 滤波器型匹配网络

# 匹配网络

**输入匹配电路** 实现信号源输出阻抗与放大器输入阻抗之间的匹配，以期获得最大的激励功率。

**输出匹配电路** 将负载 $R_L$ 变换为放大器所需的最佳负载电阻，以保证放大器输出功率最大。

- 匹配网络应具有选频作用，充分滤除不需要的直流和谐波分量，以保证外接负载上仅输出高频基波功率。
- 匹配网络还应具有阻抗变换作用，以保证放大器工作在所设计的状态。
- 匹配网络应能将功率管输出的信号功率高效率传送到外接负载。

1. 并联谐振回路匹配电路
2. 滤波器型匹配网络

# 匹配网络

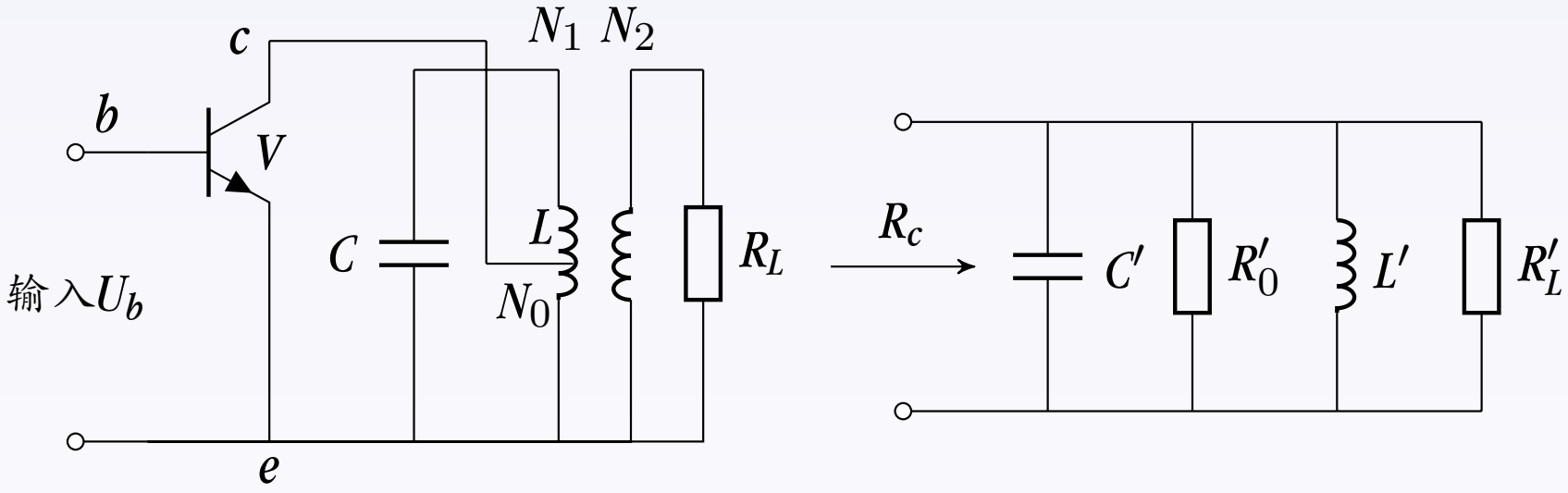
**输入匹配电路** 实现信号源输出阻抗与放大器输入阻抗之间的匹配，以期获得最大的激励功率。

**输出匹配电路** 将负载 $R_L$ 变换为放大器所需的最佳负载电阻，以保证放大器输出功率最大。

- 匹配网络应具有选频作用，充分滤除不需要的直流和谐波分量，以保证外接负载上仅输出高频基波功率。
- 匹配网络还应具有阻抗变换作用，以保证放大器工作在所设计的状态。
- 匹配网络应能将功率管输出的信号功率高效率传送到外接负载。

1. 并联谐振回路匹配电路
2. 滤波器型匹配网络

# 并联谐振回路匹配电路

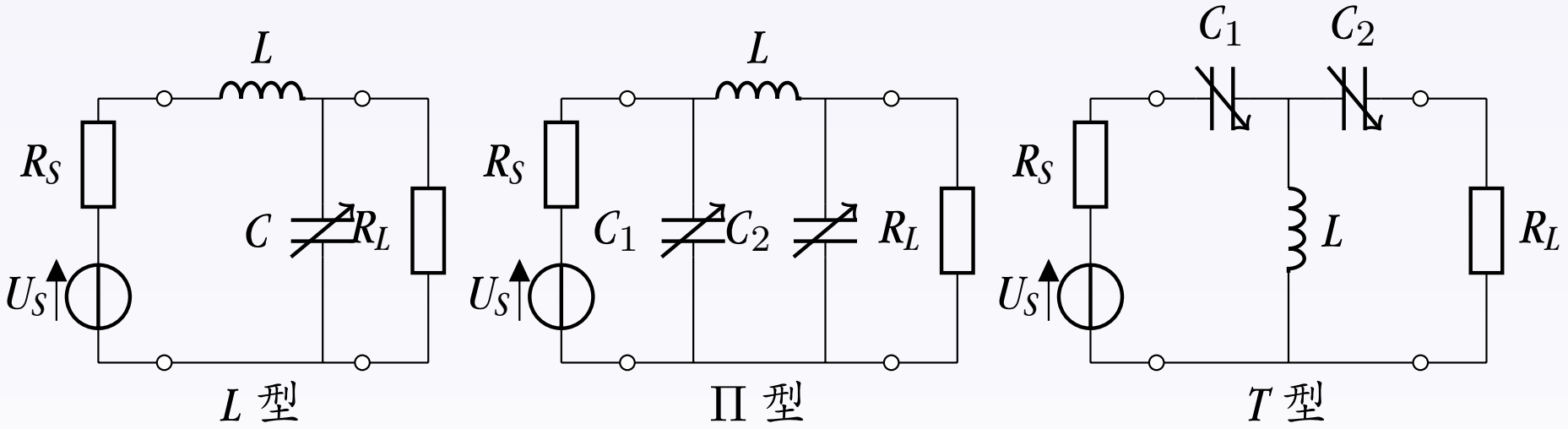



放大器处于临界状态等效电阻就是放大器阻抗匹配所需的最佳负载电阻

$$R_c = R_{cp} = \frac{U_{cm}^2}{2P_o} = \frac{(E_c - U_{ces})^2}{2P_o}$$

$$\frac{N_0}{N_1} = \sqrt{\frac{R_{cp}}{Q_L \omega L}} \quad \frac{N_2}{N_1} = \sqrt{\frac{\eta_T R_L}{Q_L \omega L}}$$

# 滤波型匹配网络




- 调整可调元件 $(L, C_1, C_2)$ 可改变谐振频率、有载 $Q$ 值、匹配阻抗。
- 在甚高频或大功率输出级，广泛利用 $L$、$C$ 变换网络来实现调谐和阻抗匹配。

# 内容提要

1 调谐功率放大器的实用电路
- 直流馈电电路
- 自给偏压环节
- 输入、输出匹配网络

2 功率晶体管的高频效应
- 高频功率晶体管的电流放大倍数

3 倍频器
- 倍频器

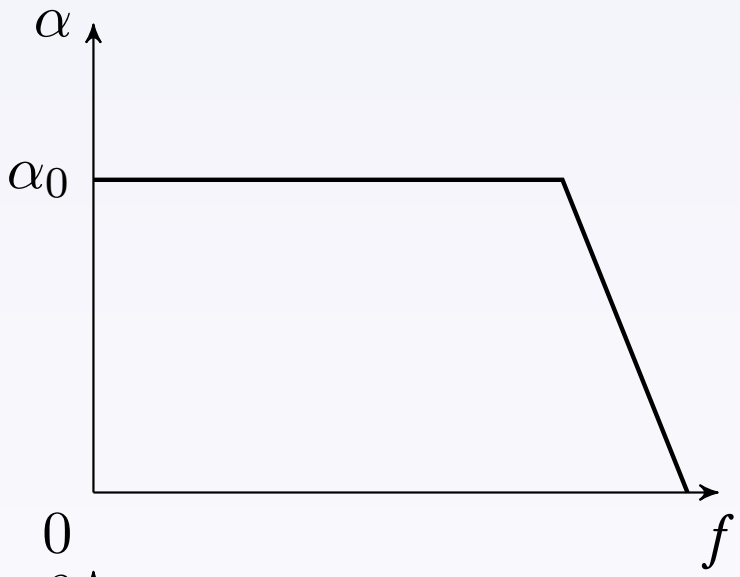
# 内容提要

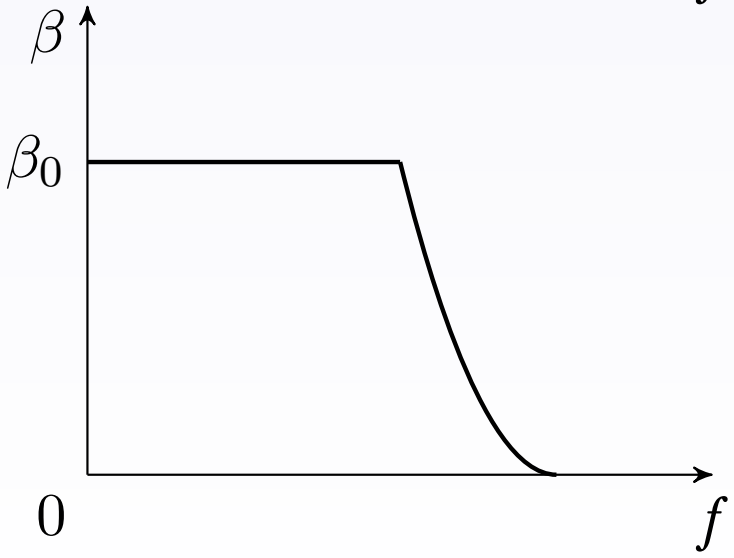
1 调谐功率放大器的实用电路
- 直流馈电电路
- 自给偏压环节
- 输入、输出匹配网络

2 功率晶体管的高频效应
- 高频功率晶体管的电流放大倍数

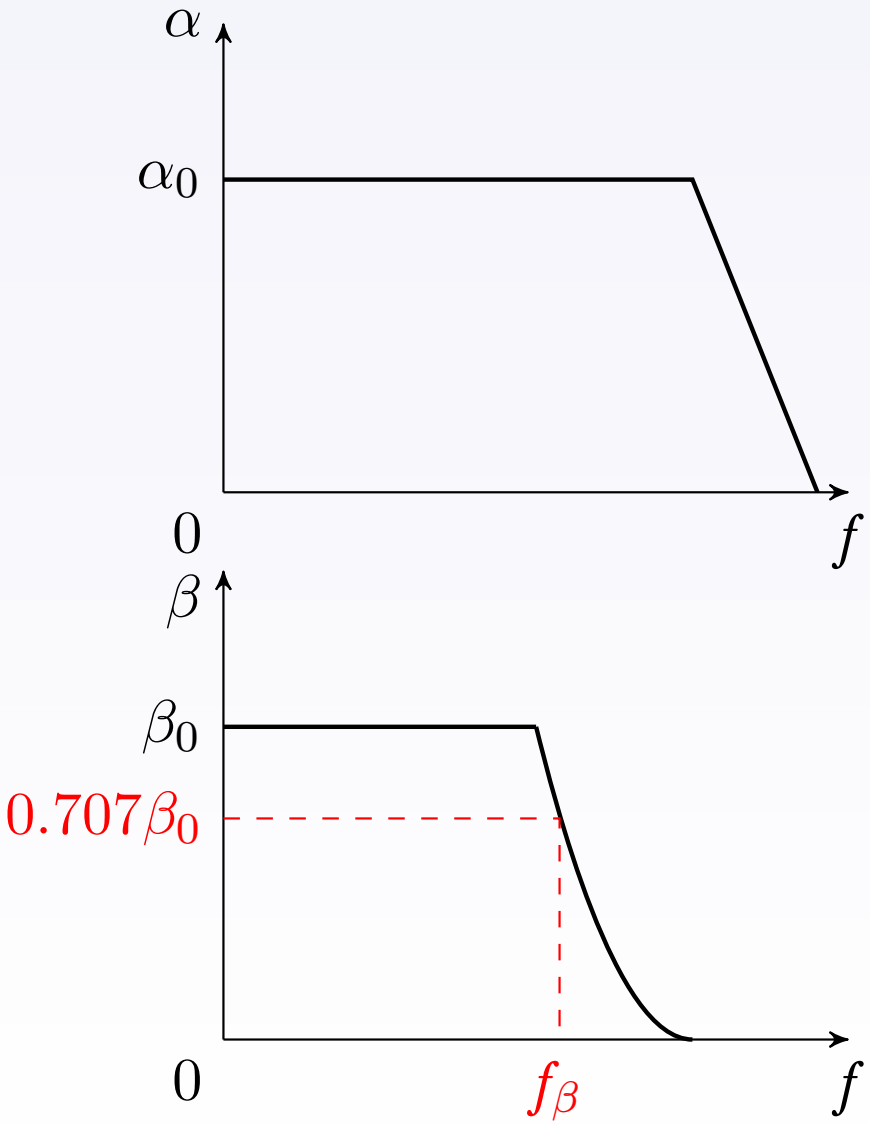
3 倍频器
- 倍频器

# 晶体管高频放大的频率参数



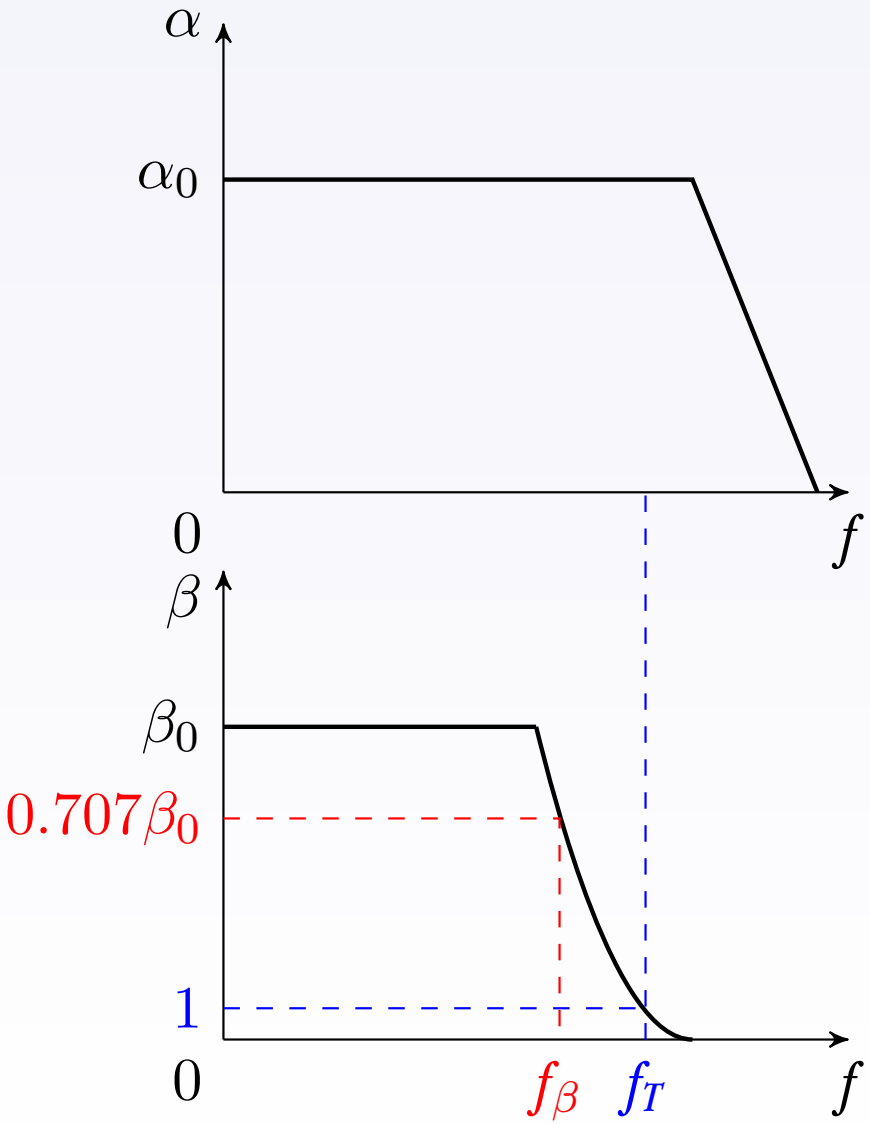
# 晶体管高频放大的频率参数




1. $\beta$ 截止频率$f_\beta = \frac{1}{2\pi C_{b'e} r_{b'e}}$ 是 $\beta$ 下降到 $0.707\beta_0$ 时的频率。
2. 特征频率 $f_T$是 $\beta$ 下降到 1 时的频率。
3. $\alpha$ 截止频率$f_\alpha$ 是 $\alpha$ 下降到 $0.707\alpha_0$ 时的频率。
4. 最高振荡频率 $f_{\max} = \frac{1}{4\pi}\sqrt{\frac{\beta_0}{r_{bb'} r_{b'e} C_{b'e} C_{b'c}}}$

$$\beta = \beta_0 \frac{\dot{I}_{b1}}{\dot{I}_b} = \frac{\beta_0}{1 + j\omega C_{b'e} r_{b'e}} = \frac{\beta_0}{1 + j\frac{f}{f_\beta}}$$

# 晶体管高频放大的频率参数

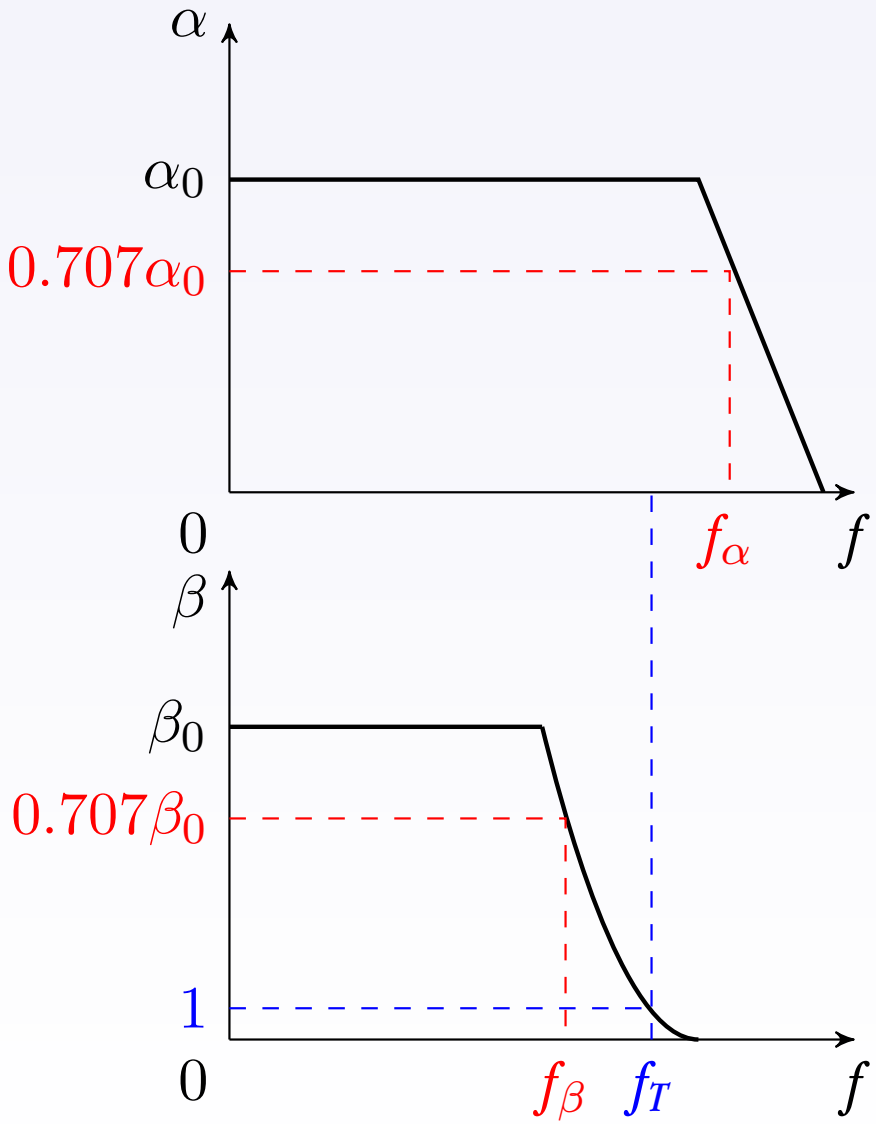



1. $\beta$ 截止频率$f_\beta = \frac{1}{2\pi C_{b'e} r_{b'e}}$ 是 $\beta$ 下降到 $0.707\beta_0$ 时的频率。
2. 特征频率 $f_T$是 $\beta$ 下降到 1 时的频率。
3. $\alpha$ 截止频率$f_\alpha$ 是 $\alpha$ 下降到 $0.707\alpha_0$ 时的频率。
4. 最高振荡频率 $f_{\max} = \frac{1}{4\pi}\sqrt{\frac{\beta_0}{r_{bb'} r_{b'e} C_{b'e} C_{b'c}}}$

$$\beta = \beta_0 \frac{\dot{I}_{b1}}{\dot{I}_b} = \frac{\beta_0}{1 + j\omega C_{b'e} r_{b'e}} = \frac{\beta_0}{1 + j\frac{f}{f_\beta}}$$

$$|\beta| = \frac{\beta_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_\beta}\right)^2}} \overset{f>3f_\beta}{\approx} \frac{\beta_0}{\frac{f}{f_\beta}} = \frac{\beta_0 f_\beta}{f} = \frac{f_T}{f}$$

# 晶体管高频放大的频率参数




1. $\beta$ 截止频率$f_\beta = \frac{1}{2\pi C_{b'e} r_{b'e}}$ 是 $\beta$ 下降到 $0.707\beta_0$ 时的频率。
2. 特征频率 $f_T$是 $\beta$ 下降到 1 时的频率。
3. $\alpha$ 截止频率$f_\alpha$ 是 $\alpha$ 下降到 $0.707\alpha_0$ 时的频率。
4. 最高振荡频率 $f_{\max} = \frac{1}{4\pi}\sqrt{\frac{\beta_0}{r_{bb'} r_{b'e} C_{b'e} C_{b'c}}}$

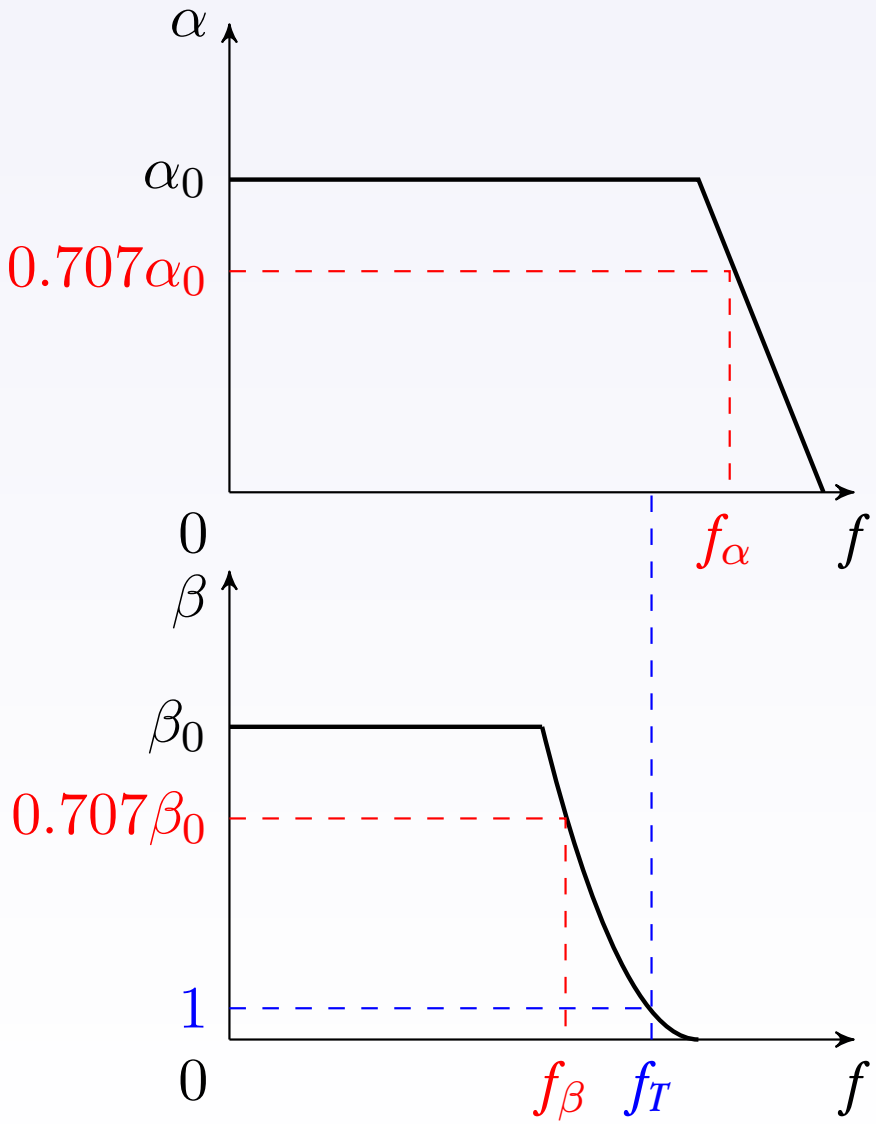
$$\beta = \beta_0 \frac{\dot{I}_{b1}}{\dot{I}_b} = \frac{\beta_0}{1 + j\omega C_{b'e} r_{b'e}} = \frac{\beta_0}{1 + j\frac{f}{f_\beta}}$$

$$|\beta| = \frac{\beta_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_\beta}\right)^2}} \overset{f>3f_\beta}{\approx} \frac{\beta_0}{\frac{f}{f_\beta}} = \frac{\beta_0 f_\beta}{f} = \frac{f_T}{f}$$

$$f_T = \beta_0 f_\beta = \gamma \alpha_0 f_\alpha$$

$$f_\beta < f_T < f_\alpha$$

# 晶体管高频放大的频率参数



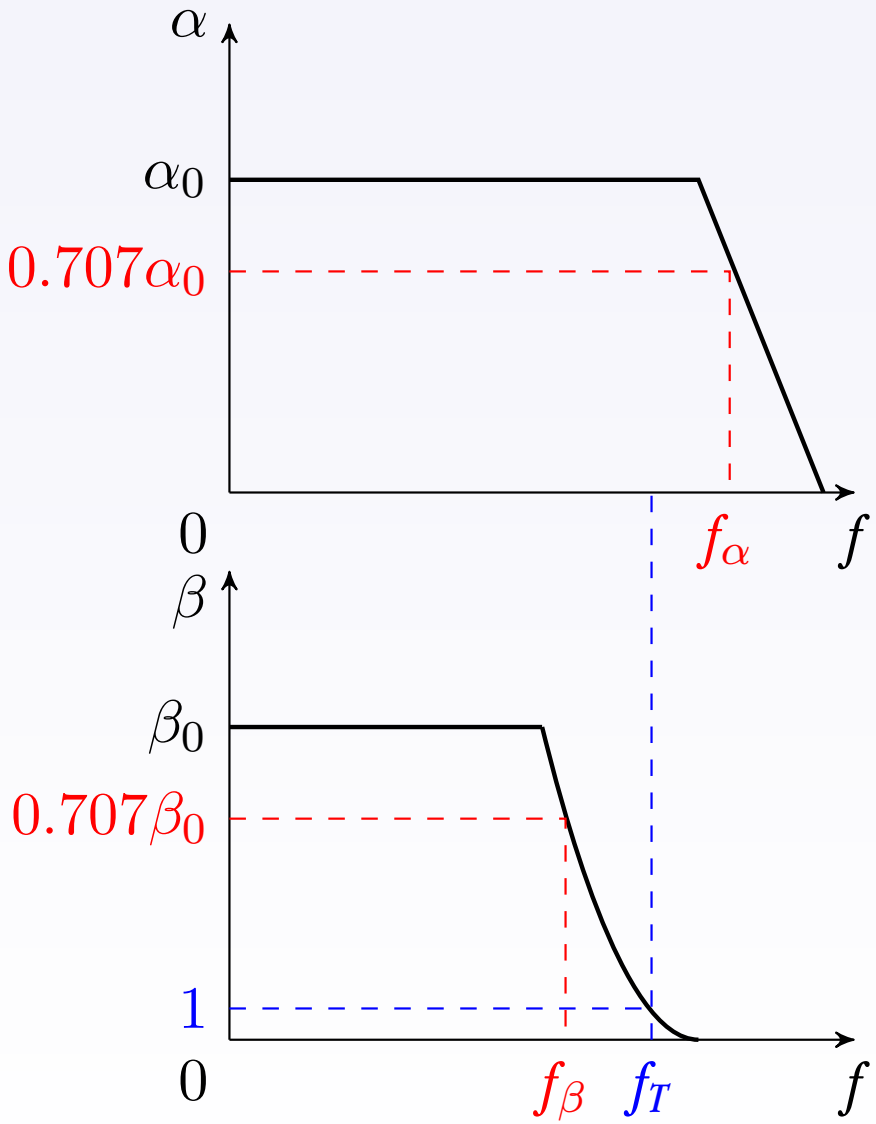

1. $\beta$ 截止频率$f_\beta = \frac{1}{2\pi C_{b'e} r_{b'e}}$ 是 $\beta$ 下降到 $0.707\beta_0$ 时的频率。
2. 特征频率 $f_T$是 $\beta$ 下降到 1 时的频率。
3. $\alpha$ 截止频率$f_\alpha$ 是 $\alpha$ 下降到 $0.707\alpha_0$ 时的频率。
4. 最高振荡频率 $f_{\max} = \frac{1}{4\pi}\sqrt{\frac{\beta_0}{r_{bb'} r_{b'e} C_{b'e} C_{b'c}}}$

$$\beta = \beta_0 \frac{\dot{I}_{b1}}{\dot{I}_b} = \frac{\beta_0}{1 + j\omega C_{b'e} r_{b'e}} = \frac{\beta_0}{1 + j\frac{f}{f_\beta}}$$

$$|\beta| = \frac{\beta_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_\beta}\right)^2}} \overset{f>3f_\beta}{\approx} \frac{\beta_0}{\frac{f}{f_\beta}} = \frac{\beta_0 f_\beta}{f} = \frac{f_T}{f}$$

$$f_T = \beta_0 f_\beta = \gamma \alpha_0 f_\alpha$$
$$f_\beta < f_T < f_\alpha$$

# 晶体管高频放大的频率参数

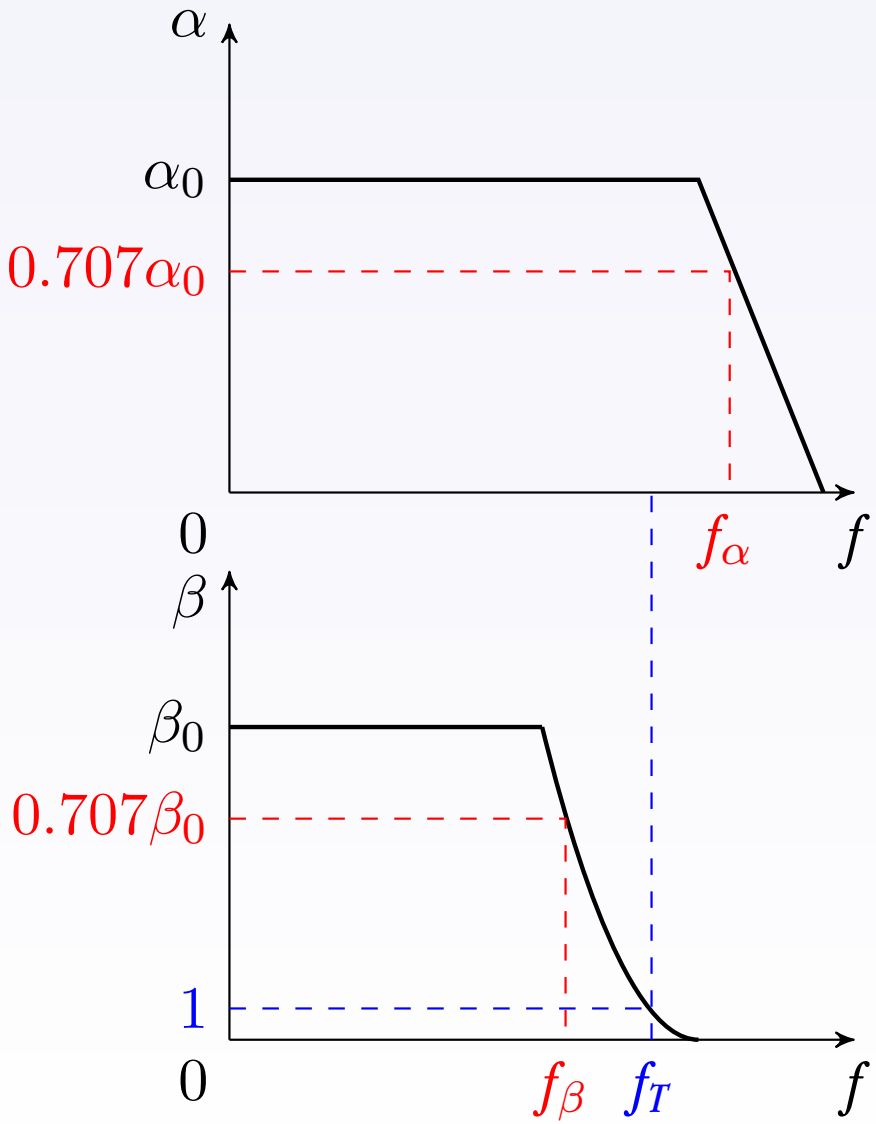



**低频工作区** $f < 0.5f_\beta$ 晶体管电流放大倍数为常数（$\beta_0$）。

**中频工作区** $0.5f_\beta < f < 0.2f_T$ 考虑各结电容对电路的影响。

**高频工作区** $f > 0.2f_T$ 不仅要考虑节电容对外电路的影响，还要考虑各极引线电感及载流子在基区渡越时间造成的不良影响。

# 晶体管高频放大的频率参数




低频工作区 $f < 0.5f_\beta$ 晶体管电流放大倍数为常数（$\beta_0$）。

中频工作区 $0.5f_\beta < f < 0.2f_T$ 考虑各结电容对电路的影响。

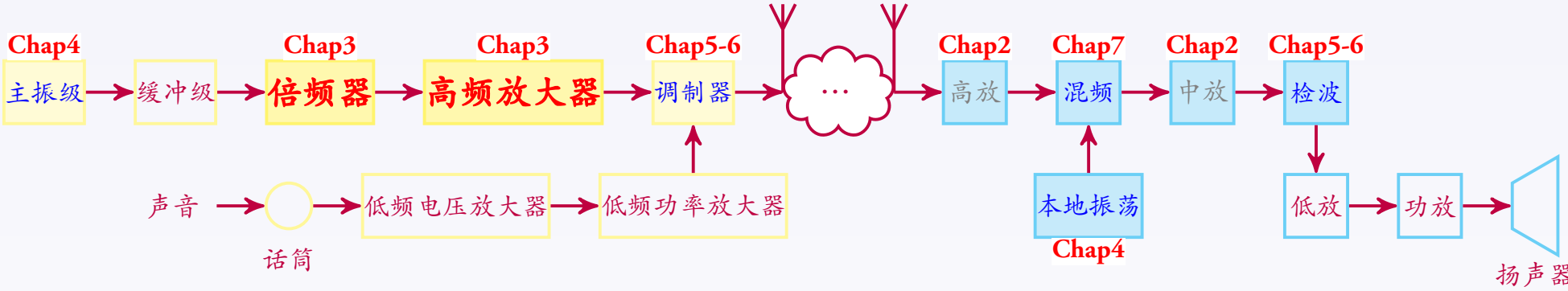
高频工作区 $f > 0.2f_T$ 不仅要考虑节电容对外电路的影响，还要考虑各极引线电感及载流子在基区渡越时间造成的不良影响。

$$f_{\max} = \sqrt{\frac{f_T}{8\pi r_{bb'} C_{b'c}}}$$

# 内容提要


1. 调谐功率放大器的实用电路
   - 直流馈电电路
   - 自给偏压环节
   - 输入、输出匹配网络
2. 功率晶体管的高频效应
   - 高频功率晶体管的电流放大倍数
3. 倍频器
   - 倍频器

# 课程主要内容




1. Chap2 谐振回路 高频电路基础
2. Chap2 小信号调谐放大器 放大选频
3. Chap3 调谐功率放大器 **功率 效率 谐波抑制度**
4. Chap3 倍频器
5. Chap4 正弦波振荡器
6. Chap5 振幅调制与解调
7. Chap6 角度调制与解调
8. Chap7 变频器
9. Chap8 锁相环

1. 电阻、电容、电感等无源线性元件
2. 二极管、三极管等有源非线性器件
3. LC 谐振回路、基本放大电路、振荡器电路等

着重讨论发送设备和接收设备各单元的工作原理和组成，以及构成发送、接收设备的各种单元电路的工作原理、典型电路和分析方法。

# 内容提要

1 调谐功率放大器的实用电路
- 直流馈电电路
- 自给偏压环节
- 输入、输出匹配网络

2 功率晶体管的高频效应
- 高频功率晶体管的电流放大倍数

3 倍频器
- 倍频器

# 基本概念

**倍频器** 一种将输入信号频率成整数倍增加的电路，主要用于甚高频无线电发射机或其他设备的中间级。

## 采用倍频器的主要原因

1. 降低设备的主振频率。（振荡器频率愈高，稳定性愈差。）
2. 对于调相或调频发射机，利用倍频器可增加调制度，就可以加大相移或频移。
3. 许多通信机在主振级工作波段不扩展的条件下，利用倍频器扩展发射机输出级的工作波段。

## 分类

**参变量倍频器** 利用 PN 结电容的非线性变化得到输入信号的谐波。

**丙类倍频器** 用调谐功率放大器（丙类放大器）构成。

# 基本概念

**倍频器** 一种将输入信号频率成整数倍增加的电路，主要用于甚高频无线电发射机或其他设备的中间级。

**采用倍频器的主要原因**

1. 降低设备的主振频率。(振荡器频率愈高，稳定性愈差。)
2. 对于调相或调频发射机，利用倍频器可增加调制度，就可以加大相移或频移。
3. 许多通信机在主振级工作波段不扩展的条件下，利用倍频器扩展发射机输出级的工作波段。

**分类**

参变量倍频器 利用 PN 结电容的非线性变化得到输入信号的谐波。

丙类倍频器 用调谐功率放大器（丙类放大器）构成。

# 基本概念

**倍频器** 一种将输入信号频率成整数倍增加的电路，主要用于甚高频无线电发射机或其他设备的中间级。

**采用倍频器的主要原因**

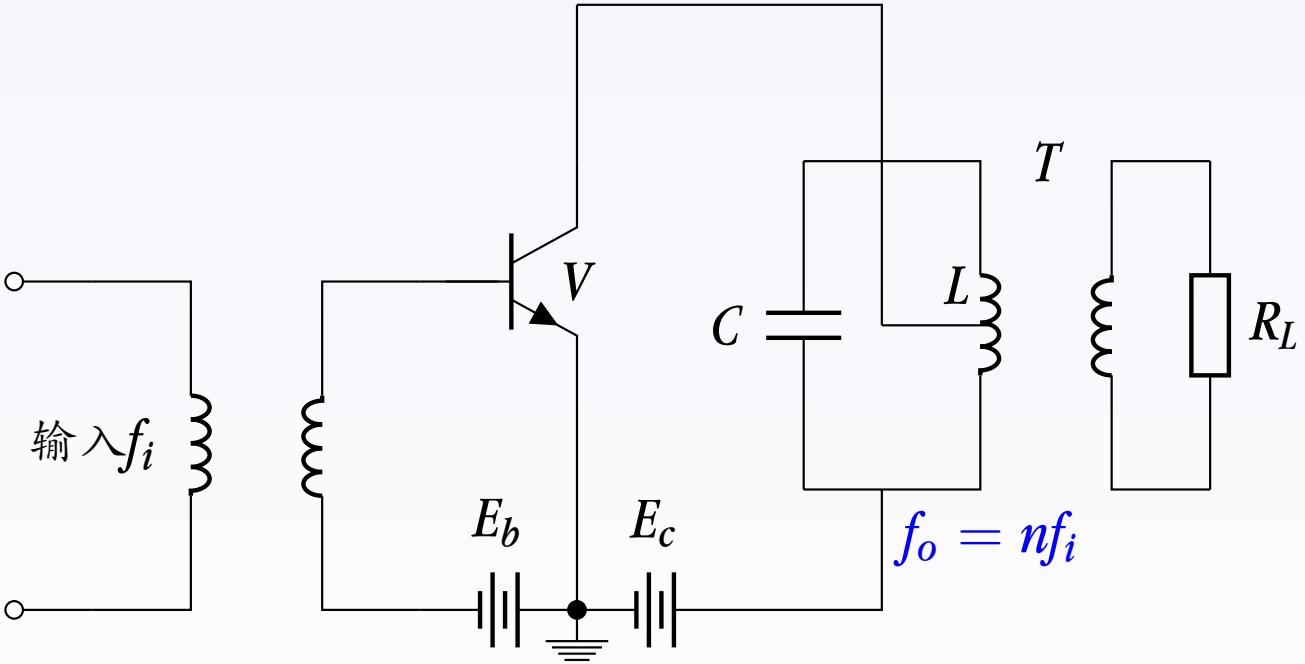
1. 降低设备的主振频率。(振荡器频率愈高，稳定性愈差。)
2. 对于调相或调频发射机，利用倍频器可增加调制度，就可以加大相移或频移。
3. 许多通信机在主振级工作波段不扩展的条件下，利用倍频器扩展发射机输出级的工作波段。

**分类**

参变量倍频器 利用 PN 结电容的非线性变化得到输入信号的谐波。

丙类倍频器 用调谐功率放大器（丙类放大器）构成。

# 基本电路



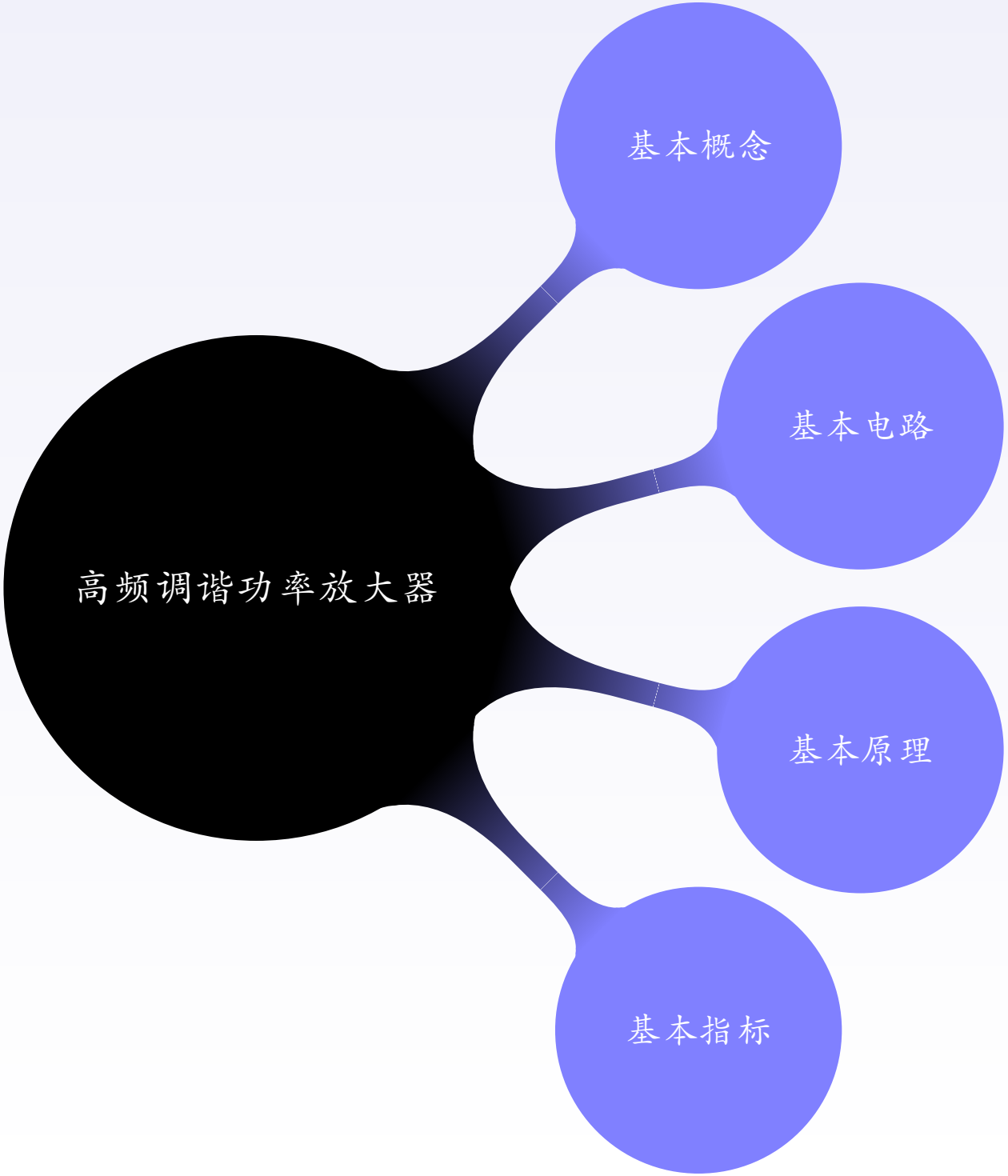
# 基本原理

$$u_{be} = U_{bm}\cos\omega t - E_b \quad u_{ce} = E_c - U_{cnm}\cos n\omega t$$

$$P_{on} = \frac{1}{2}U_{cnm}I_{cnm} = \frac{1}{2}U_{cnm}\alpha_n(\theta)I_{c\max}$$

$$\eta_{cn} = \frac{1}{2}\frac{I_{cnm}}{I_{c0}}\frac{U_{cnm}}{E_c} = \frac{1}{2}\frac{\alpha_n(\theta)}{\alpha_0(\theta)}\frac{U_{cnm}}{E_c}$$

- 无论导通角 $\theta$ 取何值，$\alpha_n$ 均小于 $\alpha_1$，即在其他情况相同的条件下，丙类倍频器的输出功率和效率远低于丙类放大器，且随着次数 $n$ 的增大而迅速降低。
- 为了提高倍频器的输出功率和效率，要选择适当的导通角 $\theta$，最佳导通角 $\theta_n = \frac{120^\circ}{n}$。
- 当倍频次数 $n$ 增加时，要保持最大输出功率和最佳效率，
  1. 首先必须加大倍频器的输入电压 $U_{bm}$ 和基级偏压 $E_b$，以保证输出电流的幅值。
  2. 其次要增加谐振回路的等效阻抗 $R_c$。
- 基波滤除、多级倍频器。


高频调谐功率放大器
基本概念
基本电路
基本原理
基本指标