



第三章 高频谐振放大器

- 3.1 高频小信号放大器
- 3.2 高频功率放大器的原理与特性
- 3.3 高频功率放大器的实际线路



3.3 高频功率放大器的实际线路

一、直流馈电线路

1. 直流馈电线路的组成原则

- ① 直流馈电线路包括集电极和基极馈电线路，它应保证：
- (a) $u_{be} = E_b + u_b$ ，使基极回路得到正确的工作点 E_b 和激励电压 u_b
 - (b) $u_{ce} = E_c - u_c$ ，使集电极回路得到正确的工作点 E_c 及输出电压 u_c
- ② 使 I_{c0} ， I_{c1} ， I_{b0} ， I_{b1} 各自有各自的通路，不开路不短路

$$I_{b0} : \quad b \rightarrow e \rightarrow E_b \rightarrow b$$

$$I_{b1} : \quad b \rightarrow e \rightarrow \text{基极回路} \rightarrow b$$

$$I_{c0} : \quad c \rightarrow e \rightarrow E_c \rightarrow c$$

$$I_{c1} : \quad c \rightarrow e \rightarrow \text{输出回路} \rightarrow c$$

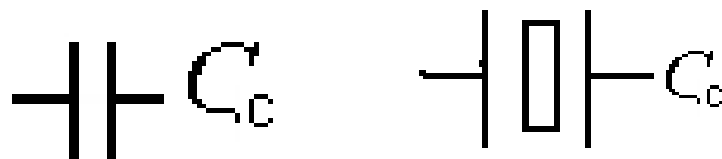


③ 正确使用扼流圈、隔直电容

a. 高频扼流圈（大电感） L_c ：通直流、断交流



b. 旁路电容 C_c ：通交流、隔直流



④ 交流信号不能通过直流电源，偏置电压一端接地。

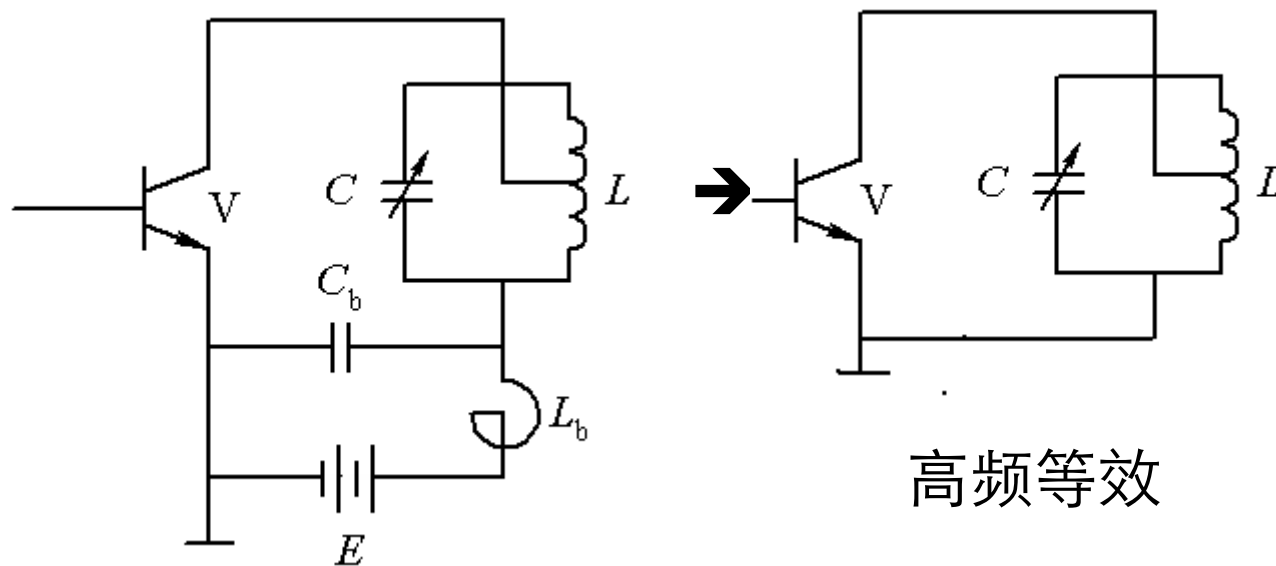
◆ 交流有交流通路，直流有直流通路，交流不过直流源



2. 集电极馈电线路

馈电（供电，直流源）形式：串联馈电、并联馈电

① 串联馈电——晶体管、回路、电源三者串联



a. 串联馈电

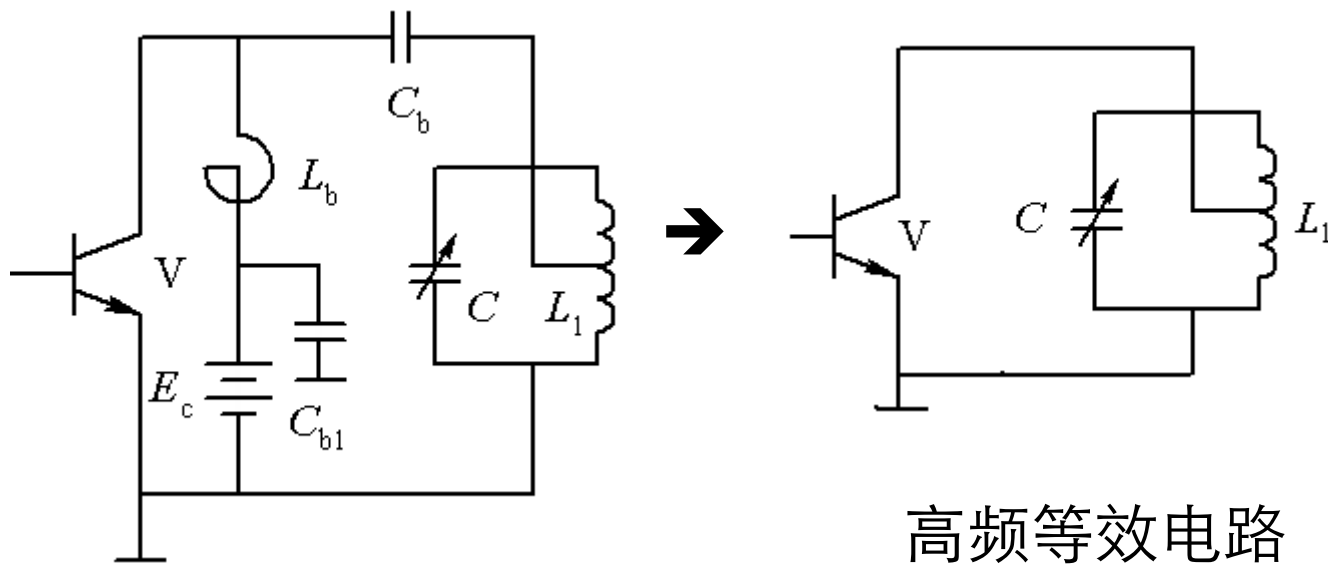
■ L_b —扼流圈，
将 E_c 与高频电流
隔开；

■ C_b —旁路电容
，对高频短路，
使高频不流过直
流源 E_c 。

■ 中心抽头用来
完成阻抗匹配

◆ 优点： L_b ， C_b 接高频低电位，其对地的分布参数对回路无影响； 缺点： 回路 L ， C 两段都不能接地，安装不方便。

② 并联馈电——晶体管、回路、电源三者串联



并联馈电

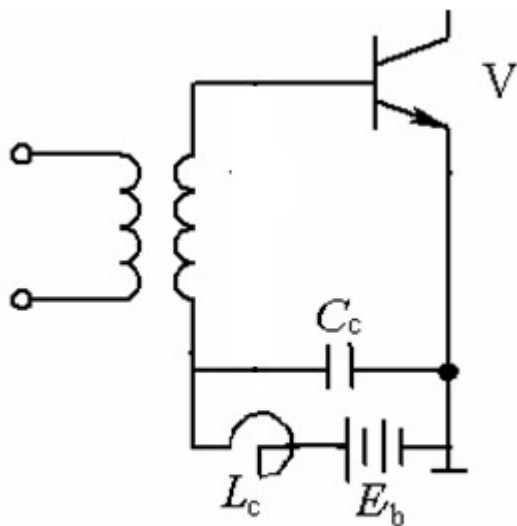
■ L_b ——扼流圈，通直隔交：直流短路，交流开路

■ C_b ——隔直电容，对交流短路，直流开路

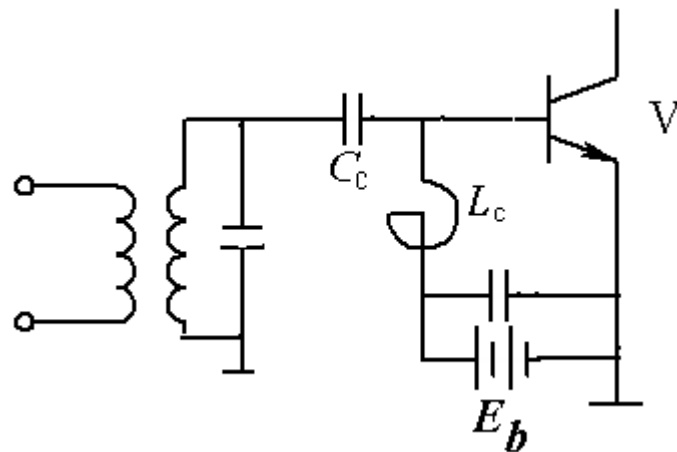
- ◆ **优点：**回路的一端，尤其是 C 的一端，高频接地，便于安装；
- ◆ **缺点：** L_b ， C_b 接在高频高电位，分布参数对回路调谐有影响。

3. 基极馈电线路

① 馈电形式：串馈、并馈



a. 串联馈电



b. 并联馈电

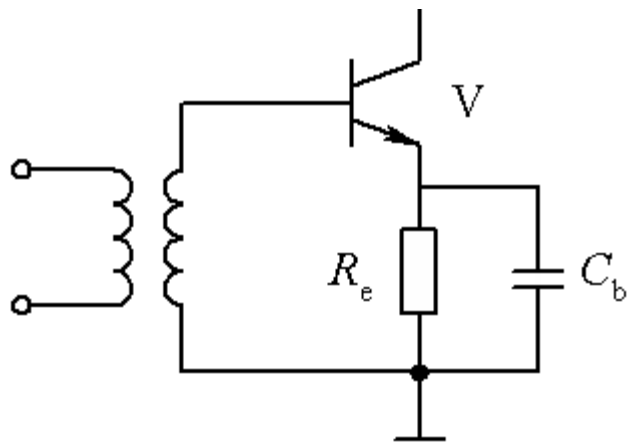
注：一般要求直流电源一端接地，
因此 L_c 和 E_b 的位置不要交换。

偏压的供给方法：固定偏压，自给偏压，组合偏压，零偏压

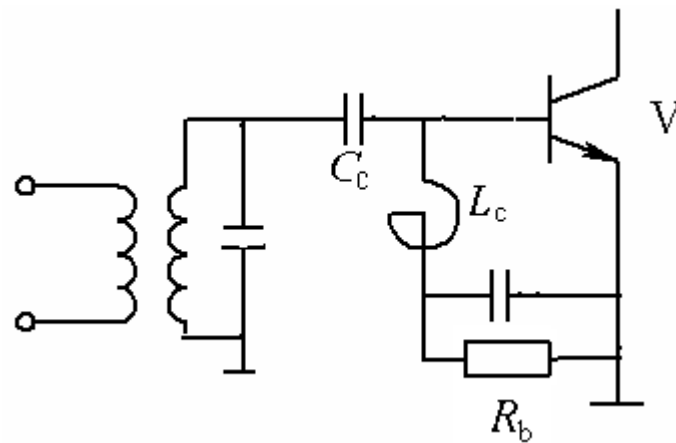
(a) 固定偏压，外加 E_b (如上图)

优点：电压稳定； 缺点：须外加电源或分压电路

(b) 自给偏压



串馈自给偏压



并馈自给偏压

● i_b 中分解的直流分量 I_{b0} 通过 R_b/R_e 产生压降，使 $E_b = -I_{b0}R_b$

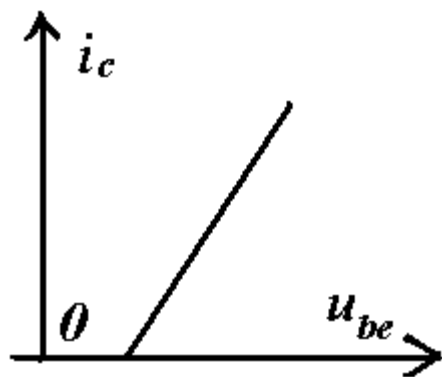


自给偏压的**优点**:

■不用外加电流，且能自动调节工作状态。

$$I_b \uparrow \rightarrow i_c \uparrow, I_{b0} \uparrow \rightarrow E_b = -I_{b0}R_b \downarrow$$

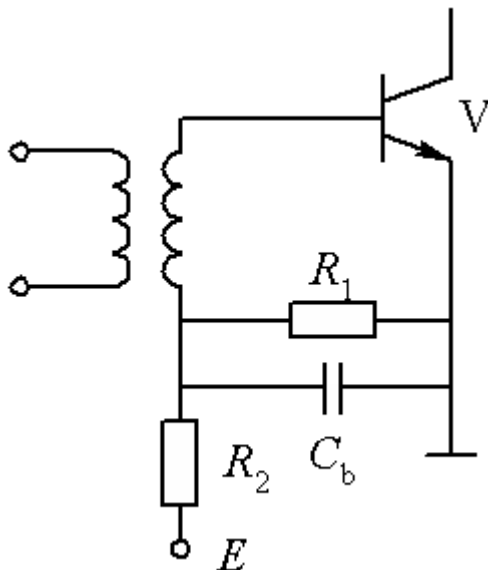
$$\rightarrow u_{be} = E_b + u_b \downarrow$$



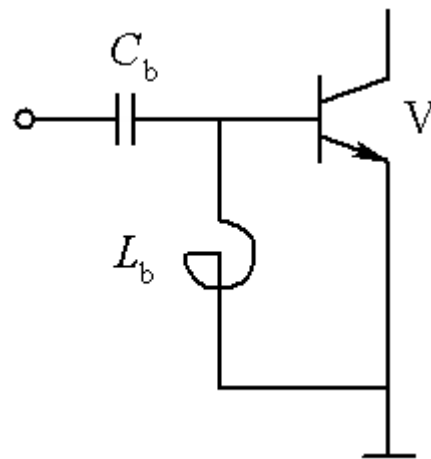
$\rightarrow i_c \downarrow$

\rightarrow 放大器工作状态变化不大

(c) . 组合偏压：固定及自给偏压组合使用



组合偏压



零偏压

(d) . 零偏压：偏压为 0



二、输出匹配网络

高频功放的级与级之间或功放与负载之间是用输出匹配网络来连接的，一般用双端口网络来实现。

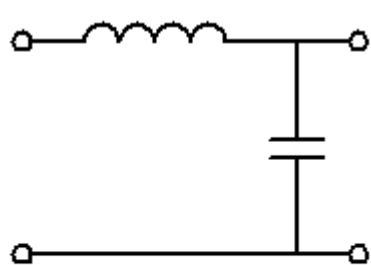
双端口网络的特点：

- （a.）保证放大器传输到负载的功率最大，即起到**阻抗匹配**的作用。
- （b.）抑制工作频率范围外的不需要的频率，即有**良好的滤波**作用。
- （c.）改变工作频率时，调谐要方便，并能在波段内保持较好的匹配和较高的效率。

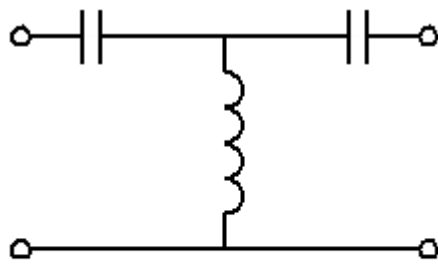
高频功放**阻抗匹配的概念**：在给定的电路条件下，改变负载回路的可调元件，使电子器件送给额定的输出功率给负载。

1. LC 匹配网络

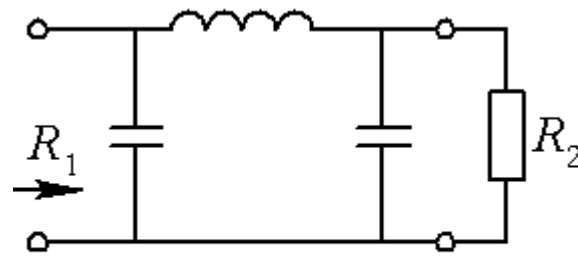
① 几中常用的 LC 匹配网络：



(a) L 型



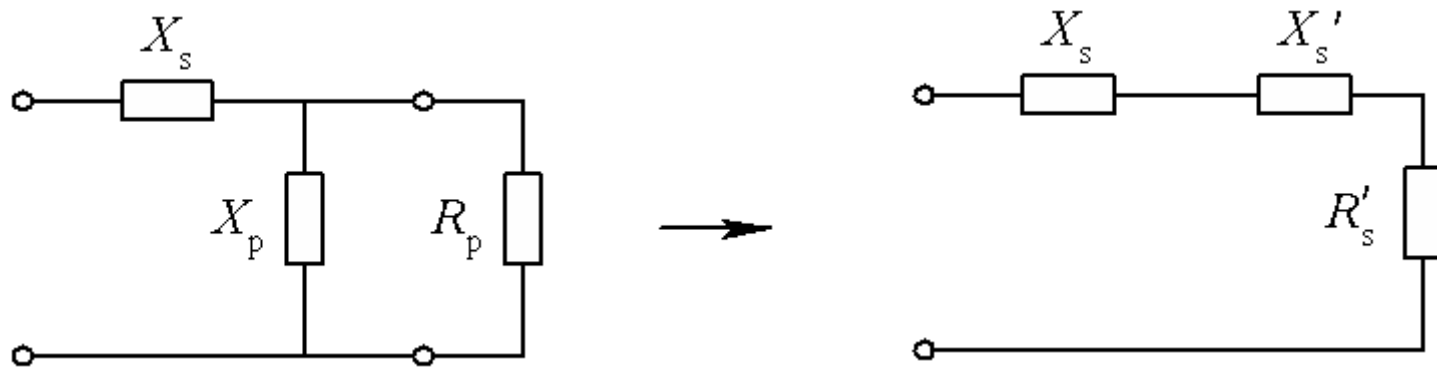
(b) T 型



(c) Π 型

L 型网络按照负载电阻与网络电抗的**并联或串联**关系可分为 L-I 型（并联）网络和 L-II 型（串联）网络。

② L-I 型网络



$$jX'_s + R'_s = \frac{R_p \cdot jX_p}{R_p + jX_p} = \frac{R_p \cdot |X_p|^2 + R_p^2 \cdot jX_p}{R_p^2 + |X_p|^2}$$

$$\begin{aligned} X'_s &= \frac{R_p^2 X_p}{R_p^2 + |X_p|^2} \\ R'_s &= \frac{R_p |X_p|^2}{R_p^2 + |X_p|^2} \end{aligned}$$

令 $Q = \frac{R_p}{|X_p|}$

则： \rightarrow

$$\begin{aligned} X'_s &= \frac{Q^2}{1 + Q^2} X_p \\ R'_s &= \frac{1}{1 + Q^2} R_p \end{aligned}$$



$$R_s' = \frac{1}{1+Q^2} R_p$$

$$X_s' = \frac{Q^2}{1+Q^2} X_p$$

$$Q = \frac{R_p}{|X_p|}$$

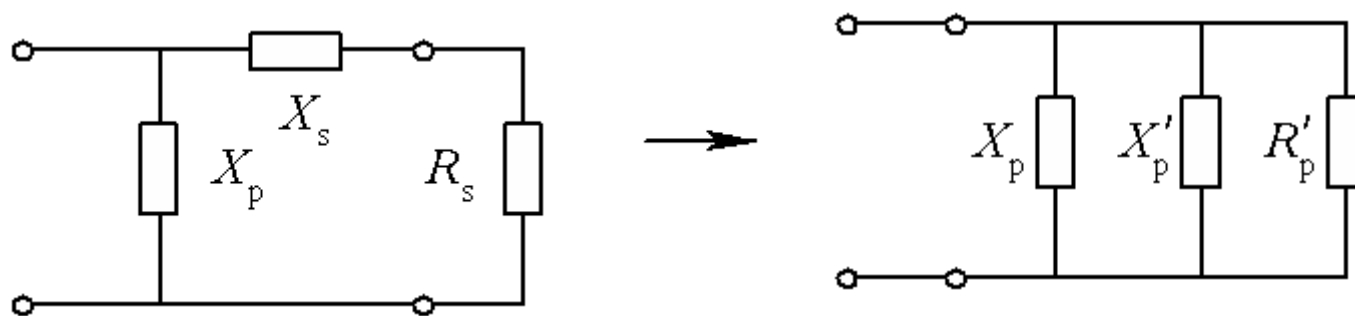
当 $R_p > R_{Lcr}$ 时，采用 L-I 型网络调整 Q 值，使大 R_p 变 R_s' 小，以获得阻抗匹配：

$$R_s' = R_{Lcr}$$

调谐时： $X_s = X_s'$



③ L-II 型网络 (X_s 与 R_s 串联)



$$jX_s + R_s = \frac{jX'_p R'_p}{jX'_p + R'_p} = \frac{R'_p |X'_p|^2 + R_p'^2 jX'_p}{R_p'^2 + |X'_p|^2}$$

$$X_s = \frac{R_p'^2 X'_p}{R_p'^2 + |X'_p|^2}$$

$$R_s = \frac{R'_p |X'_p|^2}{R_p'^2 + |X'_p|^2}$$

$$\text{令 } Q = \frac{R'_p}{|X'_p|}$$

则 \rightarrow

$$X'_p = \frac{1+Q^2}{Q^2} X_s$$

$$R'_p = (1+Q^2) R_s$$

$$\frac{X_s}{R_s} = \frac{R'_p}{X'_p}$$



$$\begin{aligned} \square X_p' &= \frac{1+Q^2}{Q^2} X_s \quad (1) \\ \square R_p' &= (1+Q^2) R_s \quad (2) \end{aligned}$$

$$\frac{X_s}{R_s} = \frac{R_p'}{X_p'} \quad \diamond Q = \frac{R_p'}{|X_p'|} = \frac{|X_s|}{R_s}$$

$$Q = \frac{R_p'}{|X_p'|}$$

■ 在 $R_s < R_{Lcr}$ 时, 可采用 L-II 型网络, 通过调整 Q 值将小的 R_s 变为大的 R_p' 以获得阻抗匹配 $R_p' = R_{Lcr}$

→

$$\begin{aligned} \square X_p' &= \frac{1+Q^2}{Q^2} X_s \\ \square R_p' &= (1+Q^2) R_s \\ \square Q &= \frac{R_p'}{|X_p'|} = \frac{|X_s|}{R_s} \end{aligned}$$

■ 谐振时: $X_p' + X_p = 0$

图 3—29 是一超短波输出放大器的实际电路，它工作于固定频率。

L_1 ， C_1 ， C_2 构成一 II 型网络，改变 C_1 ， C_2 可实现调谐和阻抗匹配的目的。

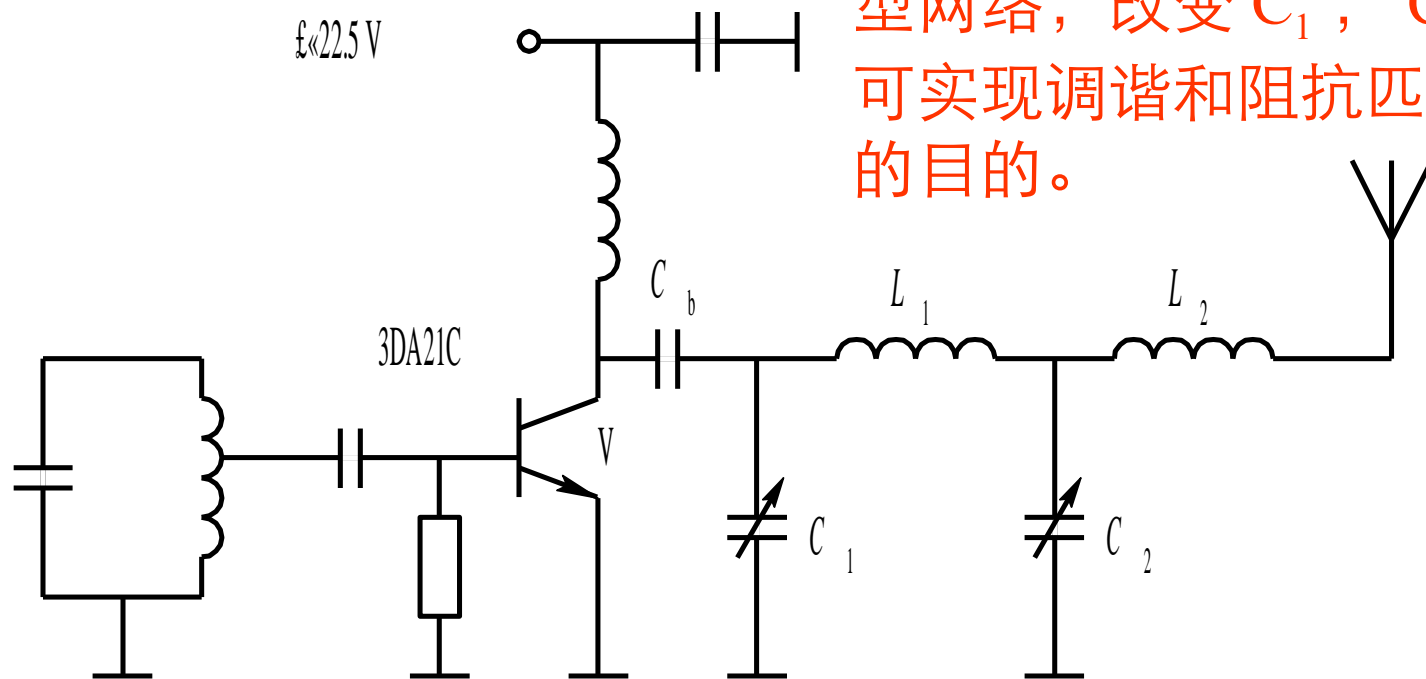
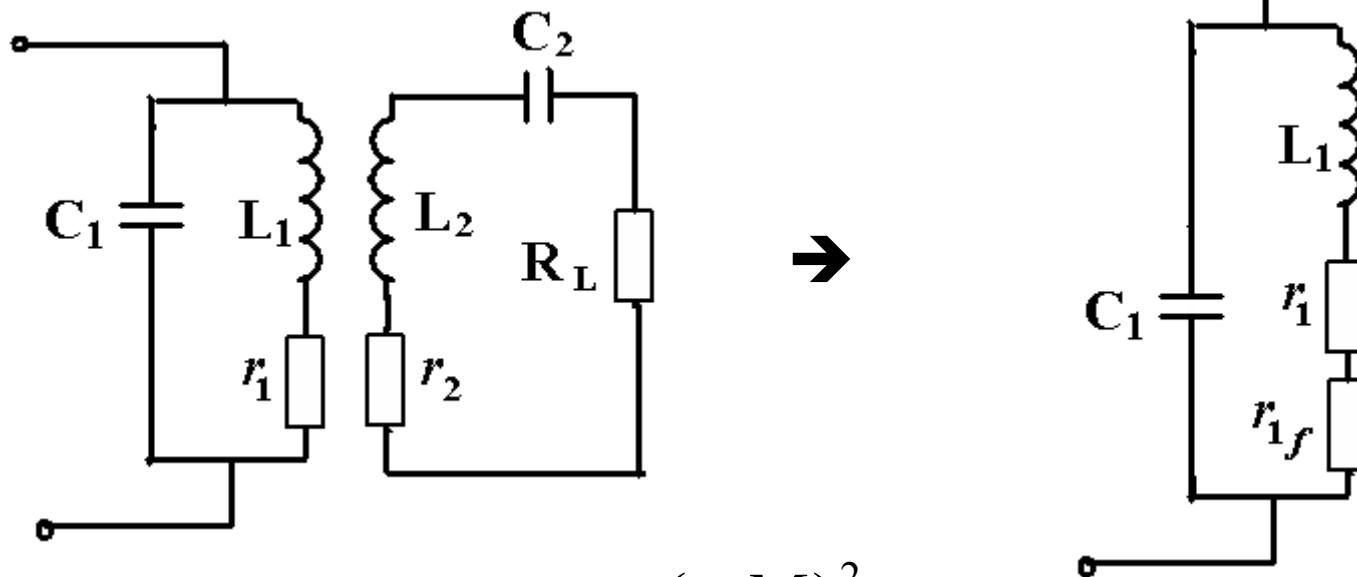


图 3—29 一超短波输出放大器的实际电路

2. 耦合回路



当次级回路谐振时, $r_{1f} = \frac{(\omega M)^2}{r_2 + R_L}$

当初级回路谐振时, $R_e = \frac{L_1}{C_1(r_1 + r_{1f})} = \frac{L_1}{C_1(r_1 + \frac{(\omega M)^2}{r_2 + R_L})}$

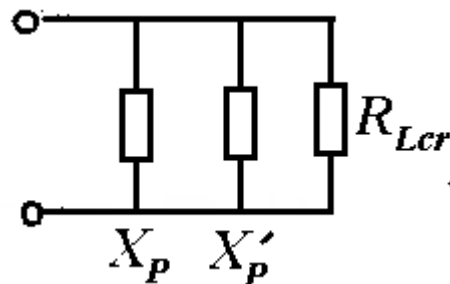
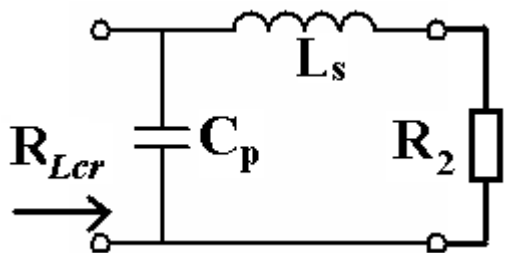
■ 调节互感 $M \rightarrow R_e$ 变化 \rightarrow 实现匹配



例：设计一 L 型匹配网络，已知工作频率 $f=5\text{MHz}$ ，功放临界电阻 $R_{Lcr}=100\Omega$ ，天线端电阻 $R_2=10\Omega$

解：依题意知： $R_2 < R_{Lcr}$ ，故采用 L-II 型网络

采用低通 L-II 型网络：



由 L-II 型网络的匹配公式： $R_{Lcr} = R_2(1 + Q^2)$

$$\rightarrow Q = \sqrt{\frac{R_{Lcr}}{R_2}} - 1 = \sqrt{100/10} - 1 = 3$$



$$\text{又: } Q = \frac{X_s}{R_2} \quad X_s = Q R_2 = 30\Omega$$

$$L_s = \frac{X_s}{\omega} = \frac{30}{2\pi \cdot 5 \cdot 10^6} = 0.95\mu\text{H}$$

$$\text{又: } X'_p = \frac{1+Q^2}{Q^2} X_s = \frac{10}{9} \cdot 30 = 33.3\Omega$$

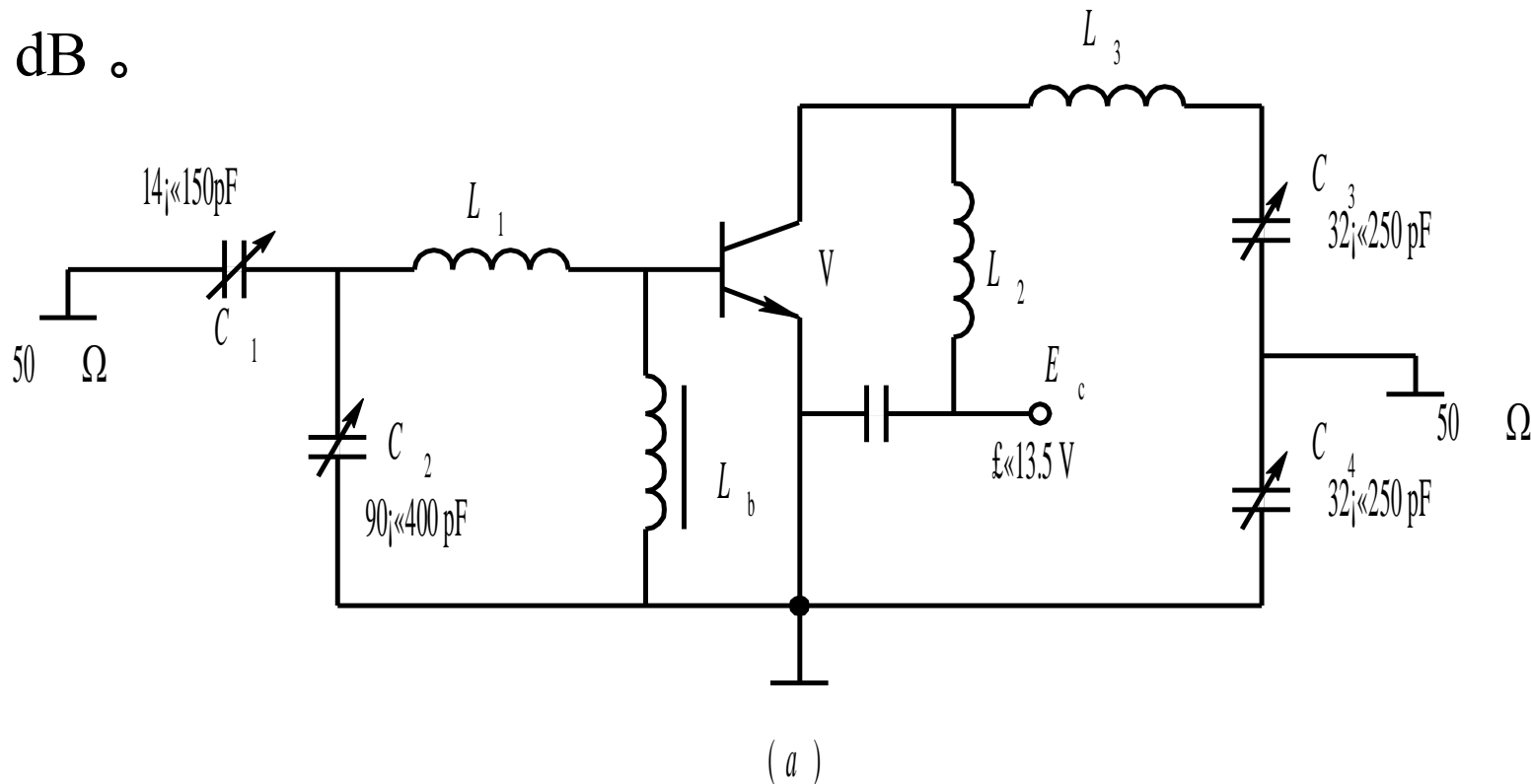
$$\text{因为在谐振时 } X'_p + X_p = 0$$

$$\Rightarrow X_p = -X'_p = -\frac{1}{\omega C_p} = -33.3$$

$$C_p = \frac{1}{33.3 \cdot 2\pi \cdot 5 \cdot 10^6} = 956\text{pF}$$

三、高频功放的实际线路举例

图 3—31(a) 是工作频率为 50 MHz 的晶体管谐振功率放大电路，它向 $50\ \Omega$ 外接负载提供 25W 功率，功率增益达 7 dB。



基极采用零偏，集电极采用串馈，由 L_2 、 L_3 、 C_3 、 C_4 组成 π 型网络

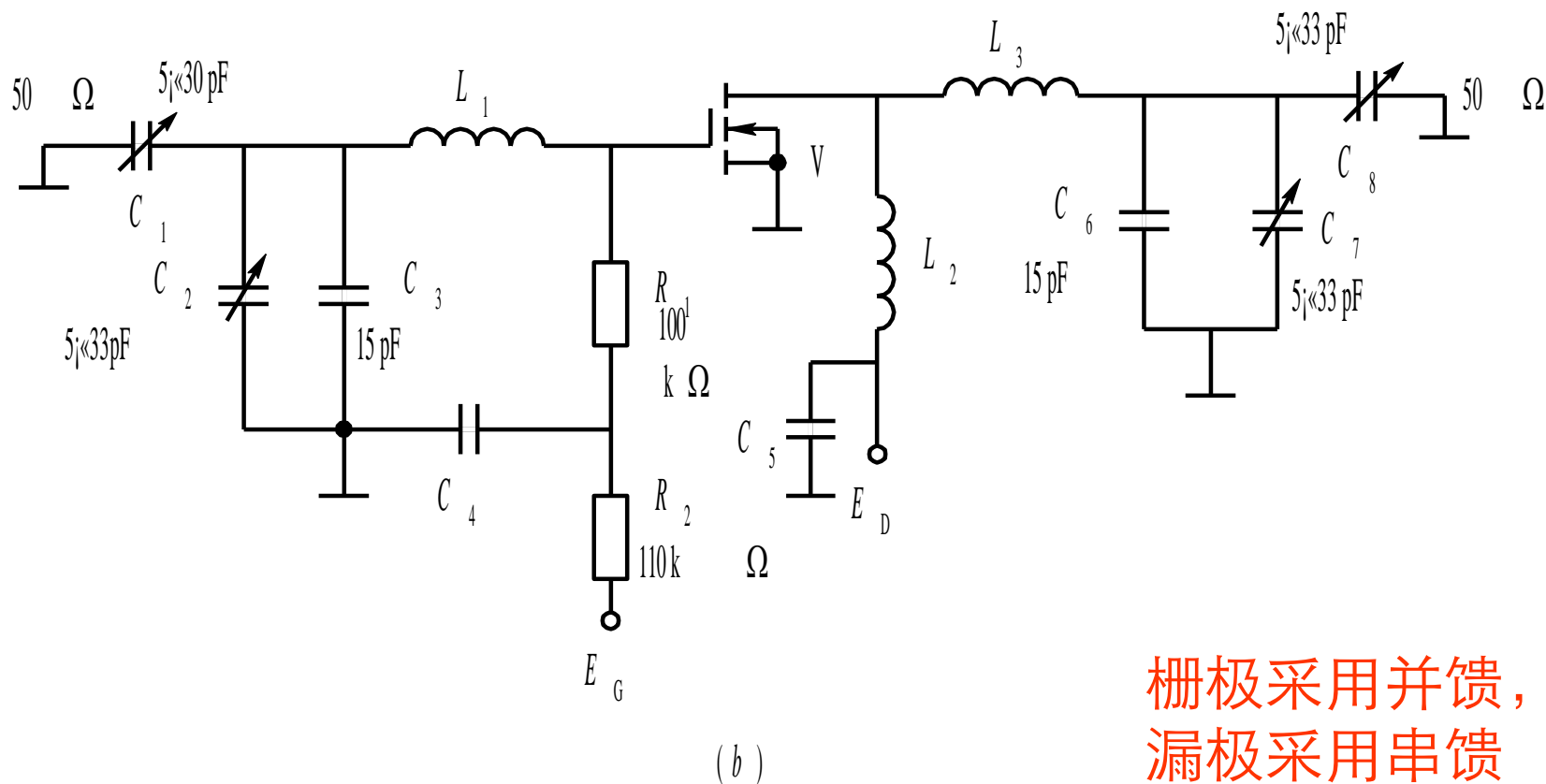


图 3—31 高频功放实际线路



第三章 小结

主要内容：

(1) 小信号放大器：工作在晶体管的**线性放大区**，**A类**工作状态（导通角 180° ），采用 Y 参数等效电路进行定量分析。

掌握：(a) Y 参数等效电路；(b) 性能指标的计算，如电压放大倍数，输入导纳，输出导纳，通频带等；(c) 提高放大器稳定性的方法：**中和法**，**失配法**

(2) 谐振功率放大器：工作在**截至和线性放大区**，**C类**工作状态（导通角小于 90° ），利用波形图进行定性分析

掌握：(a) 谐振功放的工作原理；(b) 动态特性：会画动态特性曲线，以及对应的电压电流波形；(c) 工作状态：工作状态的划分，判定



(d.) 负载特性、调制特性、振幅特性：定义，特性曲线，波形

(e) 针对不同的用途，工作状态的选择

如：集电极调制——欠压；基极调制——过压
放大已调信号——欠压；恒压输出——过压

(f) 能量的计算： P_0 ， P_1 ， P_c ， η 等的计算

(3) 谐振功放的实际线路

掌握： (a) 线路的组成原则；(b) 会画交流等效电路；(c) 会改正线路错误；

(4) 输出匹配网络

掌握： L 型 (L-I；L-II) 匹配网络的计算